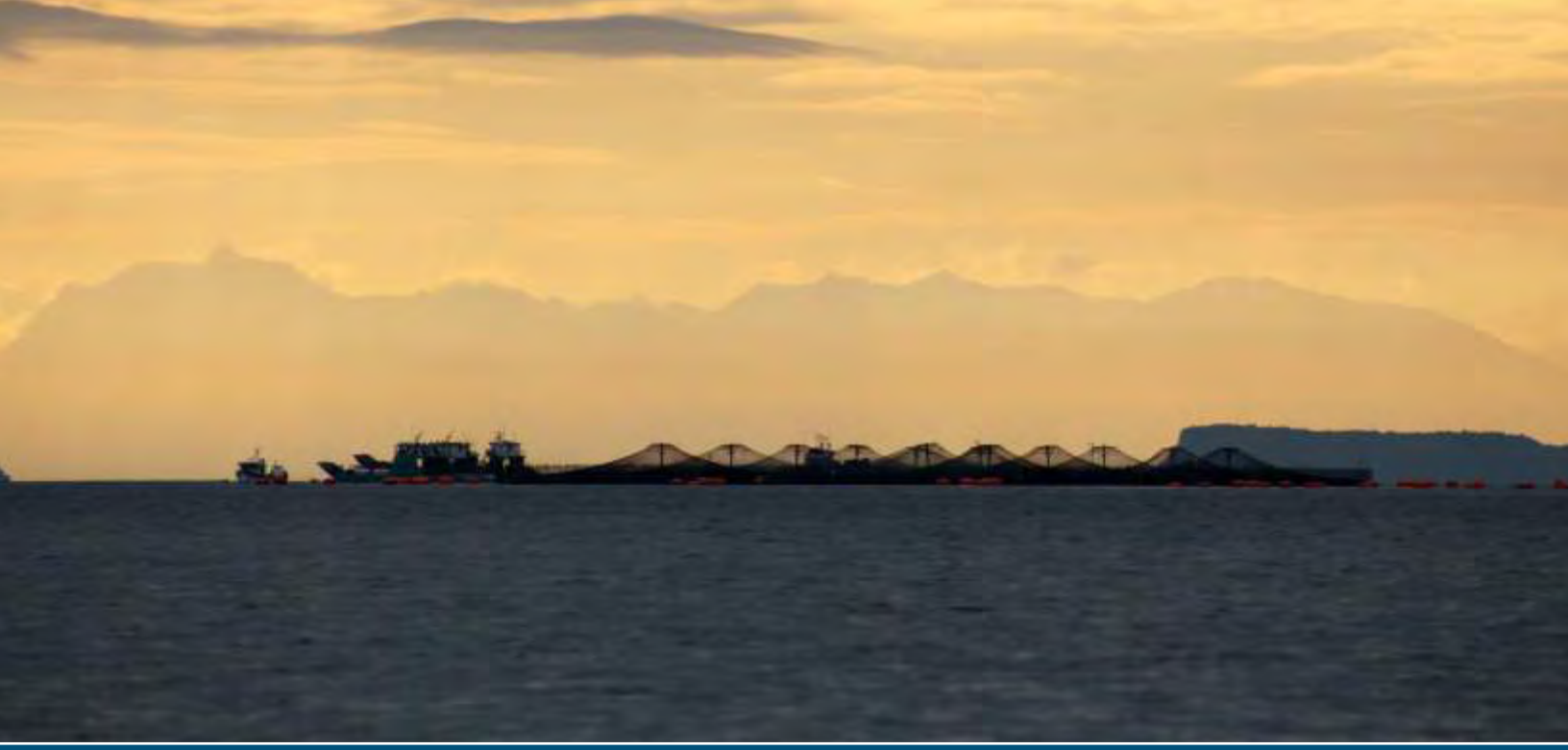


FIP N° 2014-48
"Evaluación y análisis de la biodiversidad marina y continental afectada por las actividades de acuicultura (1era Etapa)"

ecos
Estudios Ecológicos y Manejo Pesquero

INFORME FINAL

PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA

Nº 2014-48

"Evaluación y análisis de la biodiversidad marina y continental afectada por las actividades de acuicultura

(1era Etapa)"

PROPONENTE:

Valparaíso, Enero de 2017

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

INFORME FINAL

PROYECTO

FIP Nº 2014-48 "Evaluación y análisis de la biodiversidad marina y continental afectada por las actividades de acuicultura (1era Etapa)"

REQUIRENTE

Fondo de Investigación Pesquera
Presidente Consejo de Investigación Pesquera:
Raúl Súnico Galdames

UNIDAD EJECUTORA

ECOS Consultores Ltda.

JEFE PROYECTO

Felipe Thomas Álvarez
ECOS Consultores Ltda.
Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso, Chile
Tel.: 56-32-2213832
E-mail:fthomas@ecosmar.cl

•Valparaíso, Enero de 2017•

AUTORES

N°	Nombre	Categoría Profesional	Cargo
1	Felipe Thomas	Biólogo Marino, Magister en Gestión de Recursos Acuáticos	Jefe de proyecto
2	Miguel Espíndola	Biólogo Marino	Investigador principal
3	Alonso Vega	Biólogo Marino, Doctor en Ciencias del Mar (C)	Especialista en macroalgas
4	Luis Cabezas	Biologo Marino, Doctor en Ciencias (C)	Especialista en aves
5	Mathías Hüne	Biologo Marino, Magister en Ciencias	Especialista en peces
6	Sergio Avaria	Biologo Marino	Especialista en plancton
7	Pedro báez	Lic. Biología marina, Doctor en Ciencias	Especialista en bentos
8	Sergio Letelier	Lic. Biología y Ciencias, Doctor en Biología	Especialista en bentos
9	Maritza Sepúlveda	Biologo Marino, Doctora en Ciencias	Especialista en mamíferos marinos
10	Mauricio Valenzuela	Biólogo Marino	Recopilación bibliográfica y monitoreo piloto
11	David Cassis	Biólogo Marino, Doctor en oceanografía biológica	Recopilación bibliográfica
12	Andrea Rebolledo	Bióloga Marina	Recopilación Bibliográfica
13	Alejandra Fabres	Bióloga Marina	Recopilación Bibliográfica
14	María José Pérez	Bióloga Marina, Doctora en ciencias	Recopilación Bibliográfica
15	Gonzalo Olea	Licenciado Biología Marina	Recopilación Bibliográfica
16	Gonzalo Araya	Licenciado Biología Marina	Recopilación Bibliográfica
17	David Gutiérrez	Biólogo Marino	Recopilación Bibliográfica y monitoreo piloto
18	Víctor Gudiño	Biólogo Marino, Magister en Gestión Ambiental (C)	Plan de Monitoreo, protocolo de monitoreo y costos de implementación
19	José Saavedra	Biólogo Marino	Apoyo de terreno
20	Gabriel Rojas	Biólogo Marino, Magister Geografía	Encargado S.I.G.
21	Exequiel González	Economista Pesquero, Doctor en economía pesquera	Encargado de propuestas de mitigación, reparación y compensación
22	Heidi Herrera	Psicologa, Magister en psicología social	Facilitadora Talleres
23	César Fierro	Cientista político, Experiencia en administración de empresas y proyectos	Administrativo

Referencia del documento

Thomas F., Espíndola M., Valenzuela M., Vega A., Cabezas L., Hüne M., Avaria S., Báez P., Letelier S., Sepúlveda M., Cassis R., Rebolledo A., Fabres A., Pérez M.J., Olea G., Araya G., Gutiérrez D., Gudiño V., Saavedra J., Rojas G., González E. 2017. Evaluación y análisis de la biodiversidad marina y continental afectada por las actividades de acuicultura (1era Etapa). Proyecto FIP 2014-48. Informe Final. Centro de Investigación Ecos, 01/2017: 644 pp.

RESUMEN EJECUTIVO

El rápido crecimiento de la acuicultura en Chile durante las últimas décadas y la focalización de esta en el sur del país, ha requerido de un esfuerzo importante para la generación de regulaciones y requerimientos ambientales para el funcionamiento sostenible de esta actividad. A pesar de los esfuerzos, no ha sido posible tener pleno control de los efectos negativos de la actividad acuícola en la biodiversidad. En parte, porque la información existente respecto de estos efectos es escasa, incluso, si se consideran antecedentes sobre los efectos de la acuicultura sobre la biodiversidad a nivel internacional. En este sentido, resulta primordial evaluar y analizar los diversos grupos de flora y fauna acuática que actualmente están siendo afectados, o que podrían ser afectados por las actividades de acuicultura y su aún creciente desarrollo.

Objetivo específico 1: Realizar una recopilación de antecedentes de los diversos grupos de flora y fauna marina y continental que reporten efectos producto de las actividades de acuicultura, como también, de aquellos sectores considerados "sensibles" desde el punto de vista de la biodiversidad.

Se realizó una revisión de los efectos generados por actividades de acuicultura sobre diversos grupos de flora y fauna, tanto marina como continental, poniendo especial consideración en aquellos sectores considerados sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad.

Como estrategia organizacional para abordar esta tarea, se establecen áreas de trabajo por grupos de flora y fauna para la búsqueda y el análisis de la información, donde cada área cuenta con al menos un profesional especialista apoyado en algunos casos por profesionales para la sistematización y análisis de la información.

El equipo encargado de la recopilación de antecedentes, revisó la información disponible en bibliotecas nacionales y en distintas bases de datos web, accediendo a bibliotecas y catálogos virtuales de información como BEIC, ISI Web of Science, EBSCO, Scielo, Google Scholar, Library Of Congress, Scirus y redes científicas, entre otras.

A partir de cada revisión, se elaboró un documento *in extenso* para describir los efectos de la acuicultura continental y marina para cada grupo, considerando los siguientes:

a) Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen el plancton.
b) Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies de macroalgales.
c) Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen la comunidad bentónica.
d) Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies ícticas.
e) Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de aves.
f) Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de mamíferos marinos.

Finalmente a partir de la revisión realizada se elabora un listado de especies sobre las cuales se han reportado efectos, considerando actividades de salmonicultura continental y marina, mitilicultura y otros cultivos.

Como resultado de la extensa revisión bibliográfica, se ha evidenciado que el conocimiento de nuestra biodiversidad nativa y su alteración por efecto de la acuicultura, se está incrementando más lentamente que el desarrollo de la actividad, principalmente en las zonas australes del país. La bibliografía obtenida da cuenta de información generalmente aislada, tanto espacial como temporalmente, sin lograr diferenciar las especies características que conforman los ambientes intervenidos, tanto a nivel de comunidad como ecosistemas. Sin embargo, se han logrado identificar una serie de efectos provocados por la acuicultura, los cuales fueron clasificados en once tipologías.

Para reunir información que permitiera identificar áreas sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad y la interacción de estos con la acuicultura, se elaboró un Sistema de Información Geográfico (SIG) con información de los centros de cultivo, a la cual se superpusieron capas de información de la Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio del Medio Ambiente y de la distribución de especies de interés, pudiendo destacarse a partir de esta superposición, algunos patrones de interacción que permitieron abordar la realización de los próximos objetivos.

Una de las conclusiones que se desprendió de este análisis, es que en Chile la acuicultura ocupa 34.422 ha de mar, a través del otorgamiento de concesiones, de las cuales 26.670 ha se encuentran en la ecorregión Chiloense. Lo que evidencia una alta concentración territorial de la actividad.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Además, los antecedentes bibliográficos, revelaron que el ecosistema de la ecorregión Chiloense ha sido considerado como altamente frágil por su condición salobre, y ha sido reconocido además por una alta variedad de bienes y servicios ecosistémicos, que dan sustento a una importante actividad pesquera (la más diversificada del país), al desarrollo acuícola y al turismo, además de presentar gran relevancia para la conservación de la biodiversidad.

En base a la información, se aprecia una gran contradicción en el uso del territorio de la ecorregión Chiloense. Ya que a pesar del gran desarrollo acuícola y pesquero de esta y a su mencionada fragilidad ecológica, se evidencia un escaso nivel de protección mediante áreas marinas que cuenten con una figura legal. Como dato de ello, de 15,23 millones de ha destinadas a la protección a nivel nacional, menos del 0,13 % están en la ecorregión Chiloense.

La información sistematizada en el SIG, corresponde a una de las fuentes de información que permitió identificar aquellos sectores considerados sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad. Fue necesario incorporar información de las especies o grupos de especies afectados por la acuicultura (desarrollado en el objetivo específico 2) y considerar antecedentes de juicio experto provenientes de los talleres de trabajo, para lograr identificar sectores sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad.

Objetivo específico 2: Determinar grupos o especies de flora y fauna marina y continental que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura.

Entre los efectos que destacan, se encuentra la **modificación de la estructura comunitaria,** a través de la competencia por hábitat/alimento, pérdida de hábitat por modificación de características físico-químicas, mortalidad directa de depredadores tope, entre otras. Por otro lado, se han logrado establecer áreas sensibles, debido a la intensa y creciente actividad de la acuicultura, considerando el bajo nivel de circulación de aguas en las zonas donde esta actividad se desarrolla y la importancia de territorios prioritarios para la conservación de la biodiversidad.

En base a estudios nacionales y principalmente internacionales, producto de la escasez de conocimiento local, se ha logrado identificar una serie de especies y/o grupos de especies que actualmente están siendo afectadas o potencialmente podrían ser afectadas por la actividad de la acuicultura.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Al realizar el análisis de los efectos de la acuicultura sobre **organismos planctónicos**, la escasa información disponible se ha enfocado en estudiar la comunidad en general, la productividad de estas comunidades y la proporción que existe entre los principales grupos taxonómicos y funcionales que las conforman, sin identificar especies individuales. De esta información, los efectos que se han logrado evidenciar, solamente se han documentado en sistemas oligotróficos y de baja circulación de aguas, a diferencia de lo observado en ambientes con altos niveles de nutrientes de manera natural.

El mayor efecto tiene relación con la alteración de la comunidad fitoplanctónica, producto de la subvención de nutrientes a los sistemas acuáticos por parte de centros salmoneros, observándose principalmente una sucesión de especies de diatomeas a dinoflagelados y pequeños fitoflagelados, esto debido a que el exceso de fosfatos y nitratos por sobre el sílice, impedirían el desarrollo de los primeros.

Por otro lado, de los efectos relacionados a centros mitilicultores, también se ha constatado una sucesión de comunidades, pasando de microplancton a picoplancton, así como una disminución general de la biomasa fitoplanctónica.

Con respecto a los organismos zooplanctónicos, se ha observado una disminución en la abundancia y diversidad de rotíferos, copépodos y cladóceros, por exceso de antibióticos desde centros salmoneros, mientras que los principales efectos asociados a centros mitilicultores, han sido la disminución de la abundancia por depredación directa y/o generación de pseudoheces por parte de los mitílidos.

Debido a las falencias, con respecto a la calidad y cantidad, que existe en la información disponible, es imperativo que se conduzcan nuevos estudios tendientes a determinar los efectos reales de las actividades acuicultoras sobre las comunidades fitoplanctónicas en la zona sur de Chile.

En el caso de **las macroalgas**, no se ha logrado identificar de manera precisa especies individuales, sino más bien, se han considerado como un ensamble de algas afectadas por la acuicultura. Desde este punto de vista, se ha mencionado que si bien el incremento de nutrientes y materia orgánica genera una mayor disponibilidad de nutrientes, que favorece el crecimiento del ensamble de macroalgas, el incremento de material particulado y la sedimentación de este, altera el bentos (e.g. fondos anóxicos). Este disturbio sobre los fondos genera cambios en la estructura y organización de las comunidades bentónicas, favoreciendo el desarrollo de algunas especies, preferentemente algas verdes y cianófitas. Por otro lado, los residuos flotantes de infraestructura acuícola transportan propágulos y/o estados adultos de especies exóticas o nativas, ampliando el rango de distribución latitudinal de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

estas especies, como ha ocurrido con el pasto marino *Zostera chilensis* y la macroalga *Codium fragile*, esta última especie la cual ha modificado el paisaje en algunos lugares de la costa de Canadá debido a la exclusión competitiva de huiros nativos, caso que podría ser una luz de alerta para la ecorregión Chiloense en nuestro país.

Los efectos que se han observado sobre las especies que forman parte de las **comunidades bentónicas**, se han generado principalmente por los restos de pellets, como también las heces de los peces y parte de los antibióticos y metales pesados que impregnan estas artículas y terminan depositándose sobre el fondo acuático. Esto ha provocado cambios en la biodiversidad, desequilibrio en las relaciones tróficas de las especies debido a la pérdida del control por parte de los organismos consumidores y disrupción funcional en el ecosistema. En este sentido, para aguas continentales se ha observado una disminución de larvas de Chironomidae y representantes de Planariidae, mientras que para aguas estuarinas y/o marinas, se ha mencionado un posible efecto negativo sobre actinias, ofiuroídeos, especies de almejas, poliquetos de las familias Sabellidae y Terebellidae, así como en el erizo rojo *Loxechinus albus*. Los cultivos de mitílidos, como una importante fuente de biodepósito de materia orgánica, podrían generar focos de sedimentos anóxicos. Por otro lado, la acumulación de materia orgánica sin oxidar y, por lo tanto, disponible para reciclamiento biológico, podría atraer fauna detritófaga (poliquetos como *Capitella*, caracoles *Nassarius* y jaibas) y disminuyendo la abundancia de otras especies, como el poliqueto *Pherusa plumosa* y el bivalvo *Tellina agilis* en la macroinfauna del fondo.

De acuerdo a la información analizada, en los sectores estuarinos más perturbados por la acumulación de materia orgánica se ha podido observar la presencia de especies oportunistas como los poliquetos *Capitella capitata* y especies del género Polydora, que permitirían considerarlas como las menos afectadas por problemas de contaminación. En segundo término, los gasterópodos del género Nassarius presentan un buen desarrollo en sectores de fondos con sedimentos que presentan una mayor carga orgánica. Esto permitiría considerar a las especies de ambos grupos de invertebrados como especies indicadoras de este tipo de ambientes, que podrían ser reconocidas como "centinelas" para monitorear las condiciones donde el desequilibrio de la macroinfauna esté alcanzando niveles mayores.

Además de realizar una revisión de la literatura, se analizó la base de datos de las CPS e INFA, con el fin de caracterizar la condición ecológica de la macrofauna bentónica asociada a los cultivos de salmones y mitílidos ubicados en la zona del mar interior de Chiloé. Esto permitió desarrollar la aplicación del

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Índice de Calidad Bentónica (Benthic Quality Index- BQI; Rosenberg et al. 2004) a nivel de familia (Dimitriou et al. 2012), con lo que fue posible elaborar una tabla de grupos taxonómicos (a nivel de familia), con un valor de sensibilidad/tolerancia, asignado de manera objetiva, a la acción modificadora de la producción acuícola, para esta zona en particular.

La estimación del BQI siguió la modificación propuesta por Leonardsson *et al.* (2015; 2016). Mientras que el valor de sensibilidad ($S_{0,05}$) calculado para cada familia, se realizó según Dimitriou *et al.* (2012) y Leonardsson *et al*. (2016). Una vez obtenido el valor del índice para cada estación, se estimó el estado ecológico de cada una de estas, el cual fue representado mediante un SIG, que indica si la comunidad del punto muestreado se encuentra en una condición mala; pobre; moderada; buena o muy buena.

Como resultado, se tuvieron valores de sensibilidad ($S_{0,05}$) para 136 taxa, estos presentaron un rango de valores de entre 3 y 13, de los cuales los taxa más sensibles estuvieron compuestos por 7 grupos mayores, representados en un 50% por familias de anfípodos y poliquetos. En tanto, los taxa más tolerantes presentaron una menor diversidad relativa de grupos mayores, estando compuestos en un 70% por familias de poliquetos y bivalvos.

La evolución temporal del índice de Calidad Bentónica encontradas en las comunidades del mar interior de Chiloé, evidencia que la media estimada para el BQI, entre los años 2011-2013, se encuentra dentro del rango calificado como comunidad pobre, a excepción de lo que ocurre el año 2014, cuando la media alcanza el rango de los moderados. Es destacable además, que a lo largo de los años (2011 – 2014) la fracción de muestras clasificadas como buena calidad, es notablemente baja, no observándose una tendencia a una mejora en estos valores.

En función de los resultados obtenidos, se recomienda el uso del BQI-familia para evaluar los impactos derivados de las actividades de la acuicultura en Chile, así como de otros tipos de estresores que presentarían impactos negativos en los ecosistemas acuáticos (e.g. contaminación por hidrocarburos).

La aplicación de este índice se diferencia de aquellos que utilizan una única lista de valores de sensibilidad/tolerancia definida a partir de juicio experto para cualquier zona geográfica (e.g. AMBI, BENTIX, entre otros), lo cual ya ha sido considerado como inapropiado (Rosenberg et al. 2004; Labrune et al. 2006, Grémare et al. 2009), esto porque el nivel de tolerancia de una especie varía entre áreas geográficas en respuesta a los diversos gradientes ambientales (Rosenberg et al. 2004; Zettler et al. 2013; Schiele et al. 2016). Un índice empleando valores fijos puede no satisfacer a una región geográfica

con alta variabilidad ambiental (Schiele et al. 2016), como por ejemplo, la zona del Mar Interior de Chiloé.

A lo anterior, se agrega que la elaboración y aplicación de listas de sensibilidad/tolerancia, se ha cuestionado por diversos investigadores, principalmente en base a la utilización de juicio experto para asignar valores de sensibilidad/tolerancia, y el empleo de la misma para aplicar el índice en zonas geográficas con diversos gradientes ambientales.

En cuanto a los efectos sobre las comunidades ícticas, se han identificado **diversos peces afectados** por la acuicultura, como especies de puye (*Galaxias maculatus*), peladilla (*Aplochiton taeniatus*), pejerrey (*Odontesthes regia*), róbalo (*Eleginops maclovinus*) y representantes de la familia Nototheniidae, afectados principalmente por depredación y competencia de especies salmonídeas y transmisión de enfermedades y agentes químicos provenientes principalmente de la actividad de producción de salmones y truchas.

En el caso de las aves, destacan especies de cormoranes, gaviotas, pingüinos y aves características de humedales, afectados principalmente por mortalidades accidentales o deliberadas, y el aumento o disminución de presas preferidas que generan un desbalance en la integración habitual de los ensambles.

Una interacción característica entre las poblaciones de aves y la salmonicultura es provocada por la generación de extensas agregaciones de peces escapados y nativos en las cercanías de piscifactorías flotantes (i.e., balsas jaulas), las cuales actuarían como una fuente de alimento (e.g., pellets no consumidos, fecas e invertebrados incrustados en las infraestructuras sumergidas) y refugio para una importante biomasa y abundancia de especies ícticas, las que a su vez serían presas potenciales para aves buceadoras.

Con respecto al grupo de **mamíferos acuáticos**, destacan el lobo marino (*Otaria flavescens*), cetáceos menores como delfines (*Cephalorhynchus eutropia, Lagenorhynchus australis*) y la marsopa espinosa (*Phocoena spinipinnis*), y mustélidos del género Lontra, afectados principalmente por pérdida y alteración de hábitat generadas por superposición con concesiones acuícolas, disminución de presas nativas y mortalidad accidental o deliberada.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Objetivo específico 3: Analizar y evaluar la información recopilada en cuanto a los impactos, efectos directos e indirectos, que determinan una alteración de las diferentes especies que conforman la biota acuática.

En base al análisis de los efectos directos e indirectos que determinan una alteración de la biodiversidad producto de la salmonicultura, se observa la existencia de **efectos que son altamente influyentes** sobre el resto, como lo son la creación hábitat artificial, perturbación y/o deterioro de hábitats naturales, competencia y depredación por especies exóticas o no nativas, y un efecto moderadamente influyente, la mortalidad indirecta y/o deliberada de especies nativas. Estos efectos, sólo por el hecho de ser provocados, son capaces de generar un efecto directo en la biodiversidad y potenciar la intensidad de otros que a su vez generan también un efecto sobre la misma. En este sentido, por ser efectos altamente influyentes en el sistema, el control de estos factores debiese modificar en gran medida el impacto que provoca la salmonicultura en la biodiversidad y por tanto las políticas públicas tendientes a mitigar los impactos de la actividad deben enfocarse a controlar estos efectos.

Por otro lado, se identifican **efectos altamente dependientes**: la colonización de especies exóticas o no nativas y la modificación de la estructura comunitaria. La existencia de estos no influye o potencia la existencia de los demás, pero tienen la característica de recibir una gran influencia del resto de los efectos provocados por la salmonicultura. Es decir, estos efectos son provocados directamente por la salmonicultura y potenciados indirectamente por la existencia de otros. La característica descrita de estos los convierte en elementos claves para ser mensurados, ya que en cierta medida son el reflejo del funcionamiento del sistema.

Accesoriamente, se construye un mapa conceptual desde el punto de vista de un proceso de producción, para visualizar tanto los impactos positivos y negativos que genera la actividad acuícola. A partir de esto se identifican 4 impactos positivos: i.- Incremento del producto interno bruto; ii.- Seguridad alimentaria; iii.- Disminución de la pobreza y iv.- aumento del empleo. A su vez, el sistema genera 3 impactos negativos: i.- Disminución de espacios costeros para otros usos; ii.- Modificación de la estructura comunitaria y iii.- Disminución de recursos pesqueros. La existencia de todos estos efectos (positivos y negativos), que son creados por el sistema, muestra como en la medida en que se buscan e intensifican los impactos positivos, se generan los otros impactos no deseados.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Toda la información analizada y sistematizada en el desarrollo de los Objetivos 1,2 y 3, permitió la identificación de sectores sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad. Es por esto, que los resultados referentes a este punto son detallados en el punto 5.2.3, correspondiente a los resultados del Objetivo 3 del presente documento, en el acápite denominado "Identificación de áreas sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad".

De la sistematización y espacialización de la información recopilada, pudo observarse que la mayor cantidad de impactos sobre la biodiversidad han sido registrados en zonas estuarinas de canales y fiordos interiores ubicados tanto en la costa insular de Chiloé como en la costa continental.

Fiordos continentales como el de Comau, Reñihue, Piti Palena y Tic toc, han recibido especial atención de los investigadores, levantándose importantes iniciativas de conservación, mientras que en la costa de Chiloé, si bien se reconoce la importancia ecológica de sectores como los canales del grupo de las Desertores, y las islas y canales que se ubican frente a la bahía de Quellón, estos territorios no han sido protegidos y se encuentran altamente intervenidos por la acuicultura.

Objetivo específico 4: Proponer un Plan de Monitoreo y seguimiento de los grupos o especies considerados como sensibles, en virtud de los definido en los objetivos específicos 1, 2 y 3. Además definir un protocolo para el levantamiento de información, el cual deberá ser validado (componentes propuestos) en terreno. Finalmente, se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos antes señalados.

Con respecto a la selección de posibles especies indicadoras y su jerarquización, en base a criterios de sensibilidad, factibilidad y costo, se identificó a los organismos del bentos como los mejores indicadores de una modificación en la estructura comunitaria (peso = 0.2117), seguido por las algas con un valor de 0.1551. Con menores valores quedaron las especies propuestas para los grupos del plancton, aves y peces (0.1462, 0.1345 y 0.1252 respectivamente). Finalmente, las especies del grupo de mamíferos marinos se posicionan como un indicador menos potente respecto del resto, con un peso relativo de 0.0752.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

En cuanto a los sectores para implementar el monitoreo piloto, se seleccionaron dos sectores piloto que reúnen características distintas desde el punto de vista de la biodiversidad. En cuanto a la selección del centro a monitorear se establecieron los siguientes criterios de: 1. Biomasa del centro superior a la media (Existencias promedio 2011-2014); 2. Buffer de aislación >1km y la existencia de una CPS de inicio o ampliación con fecha igual o posterior al año 2005 (unificación metodológica).

De acuerdo a lo anterior se definió un sitio en el sector norte del Mar Interior de Chiloé, ubicado frente a Isla Imelev, comuna de Quinchao, al este de la ciudad de Castro, por ser un sector que potencialmente puede estar altamente impactado y ser altamente sensible a la actividad acuícola. El sector control de esta zona, fue ubicado en la costa de Isla Chaulinec, comuna de Quinchao, dada por la inexistencia de centrosde cultivos y similares condiciones paisajísticas y oceanográficas. El segundo sitio seleccionado para el monitoreo piloto, fue dispuesto en el sector sur del Mar Interior de Chiloé, frente a la Isla Chaullin, comuna de Quellón, mientras que el sector control fue posicionado frente a Isla Tranqui, comuna de Queilen.

Los resultados de ambos monitoreos piloto, indican que las matrices de bentos y aves proporcionan información interesante que permite la generación de herramientas para medir la respuesta de las componentes bióticas frente a las perturbaciones generadas por un centro de cultivo de salmones, mientras que el plancton no evidencia patrones claros en un gradiente de contaminación. Para el caso de los mamíferos marinos, si bien la información que pueda ser levantada en un tiempo y espacio acotado, como lo es el monitoreo planteado, no proporciona evidencias concluyentes sobre alguna perturbación, si puede ser una matriz interesante para la generación de información que permita construir una base de datos unificada que a posterior permita realizar análisis en escalas de área y tiempo mayor.

A partir de los análisis bibliográficos y los resultados delos monitoreos piloto realizados, se propone un protocolo preliminar de monitoreo que permita evaluar modificaciones de la estructura comunitaria en un gradiente de contaminación provocado por la producción de un centro acuícola y a partir de este determinar el área de influencia de un centro de cultivos tipo y el grado de impacto.

Objetivo específico 5: Proponer medidas de mitigación, reparación y/o compensación de los posibles impactos que produzca la acuicultura en la biodiversidad acuática del entorno donde se desarrolla. Además se deberá

valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos específicos 1,2 y3.

Se realizó un análisis de las **medidas mitigatorias** de la actividad que han sido aplicadas tanto en Chile como en el mundo, diferenciándolas en medidas de corto y largo plazo. Consecutivamente se realiza una clasificación cualitativa de estas en base a factibilidad, costo y efectividad y se plantea el protocolo de monitoreo propuesto como una herramienta útil para determinar si las medidas mitigatorias que se apliquen a futuro son efectivas o no.

Se propone una metodología para la **estimación de compensaciones** basada en un proceso de valoración contingente que permite estimar el valor de un bien ambiental y obtener una aproximación a los montos de compensación por los daños generados. La metodología propuesta se basa en el concepto de Valor Económico Total (VET) que permite determinar adecuadamente el conjunto de valores que las personas asocian al ecosistema y/o recursos bajo estudio. Bajo este marco conceptual se contrastaron los resultados del objetivo específico 3.3, identificando los impactos generados por la actividad bajo análisis y sus efectos directos e indirectos sobre la biota acuática, con los componentes de valor del VET. A partir de una encuesta diseñada para extraer la disponibilidad a pagar de las personas (DAP) por la recuperación de un bien ambiental, se estimó que el valor total de compensación a considerar correspondería, al menos, al valor de la mediana del DAP multiplicado por el total de individuos en la muestra, lo que daría aproximadamente 479.500 $/mes para los 137 encuestados y 8.750.000 $/mes para los habitantes económicamente activos de la comuna de Curaco de Vélez (2.500 personas).

En definitiva, el método de valoración contingente constituye una herramienta útil para valorizar los efectos de la acuicultura sobre la biodiversidad y construir a partir del DAP un modelo de compensaciones. No obstante, el desarrollo de dicho modelo no excluye la implementación de medidas de mitigación, reparación y compensación, sino más bien, juntas deben constituir una estrategia integrada que permita abordar la problemática ambiental de la acuicultura.

EXECUTIVE SUMMARY

The rapid growth of aquaculture in Chile in recent decades, and the centralization in the south of the country, it has required a major effort to generate environmental regulations and requirements for sustainable operation of this activity. Despite the efforts, it has not been possible to have full control of the negative effects of aquaculture on biodiversity. In part because the existing information on these effects is low, even if they are considered background on the effects of aquaculture on biodiversity at international level. In this sense, it is essential to evaluate and analyze the various groups of aquatic flora and fauna that are currently being affected or could be affected by aquaculture activities and its still growing development.

Objective 1: Collect background information of diverse groups of marine and continental flora and fauna affected by aquaculture activities, as well as information coming from "sensible" biodiversity sectors.

A review of aquaculture activities effects on diverse groups of marine and continental flora and fauna was realized, focusing on "sensible" biodiversity sectors.

To address this goal, a organizational strategy was built. Different working areas were established in order to seek information related to flora and fauna. In order to systematise and analyse the information, each area had a specialist supported by other professionals of the area.

The team responsible to collect information, reviewed the information available on national libraries and on different data bases. The team had access to virtual libraries and virtual catalogues as BEIC, ISI Web of Science, EBSCO, Scielo, Google Scholar, Library Of Congress, Scirus and scientific networks, etc.

After the review, an extensive document was elaborated in order to describe the effects of continental and marine aquaculture for each group of species, the following parameters were considered:

a) Effects of aquatic production on the biodiversity of plankton species.

b) Effects of aquatic production on the biodiversity of algae species.

c) Effects of aquatic production on the biodiversity of the benthonic community species.

d) Effects of aquatic production on the biodiversity of fish species.

e) Effects of aquatic production on the biodiversity of birds.

f) Effects of aquatic production on the biodiversity of marine mammals.

Finally, once the review ended, a list of affected species was elaborated. This list considered species affected by activities related to continental and marine salmon aquaculture, mussels aquaculture and others types of aquacultures.

As a result of the extended bibliographic review, it has been evidenced that the knowledge of our native biodiversity and it's alteration due to aquaculture effects, has slowly increased compared to the development of the aquaculture activity, mainly in the southern regions of Chile. The literature reviewed shows isolated information, spatial and temporarily, without differentiating the characteristic species that inhabit the intervened environments, as a community and as ecosystems. Nevertheless, several effects due to aquaculture were identified, which were classified on eleven typologies.

In order to gather information that would allow to identify sensible areas from the perspective of biodiversity and the interaction of these with aquaculture activities, a Geographic Information System (GIS) with information of farming centers was elaborated. This information was completed with layers of spatial data infrastructure information, from the Ministry of Environment and relevant species distribution, highlighting from this overlapping, some interaction patterns that permitted to address future objectives.

One of the conclusions of this analysis, is that in Chile, aquaculture occupies 34.422 ha of the sea, through the grant of concessions, from which 26.670 ha are located in the Chiloé eco region, which proves a high concentration of the activity in this territory.

Furthermore, the bibliographic background, showed that the eco region ecosystem of Chiloé has been considered highly fragile due it's saline conditions, and has been recognised by a high variety of goods and ecosystem services, which gives support to an important fishing activity (the most diversified of the country), to the aquaculture development and tourism, and a high relevance on the conservation of biodiversity.

Based on the information, a great contradiction is appreciated in the utilization of the territory of Chiloé's eco region. Even though there is a great development of the fishing industry in this region and its ecologically fragile,

there is only a limited protection of marine areas that count with a legal figure. From a total of 15,23 millions of ha designated to protection in the country, less than 0,13% are located in the eco region of Chiloé.

The systematized information with GIS, is related to one of the sources of information that permitted to identify the sectors considered sensible from a biodiversity point of view. It was necessary to incorporate information from the species or group of species affected by aquaculture (documented on objective 2) and to consider the information of expert's judgment gathered on workshops, in order to identify sensible sectors from the biodiversity point of view.

Objective 2: Establish groups of marine and continental flora and fauna species that could be affected by different aquaculture activities.

Within the impacts highlighted, the community structure was modified because of the competition for habitat/food, the loss of habitat because of physicochemical characteristic changes, the direct mortality of top predators, etc. In the other hand, sensible areas were established, due to the extended aquaculture activity, taking into account the low circulation of waters in the areas where these activities happen and the importance of priority territories for biodiversity conservation.

Based on national and international results, and due to a lack of local knowledge, several species or groups of affected species or that could possibly be affected by aquaculture activities have been identified.

Analyzing the effect of aquaculture on plankton organisms, the scarce information available has focused on studying the community in general, the productivity of these communities and the proportion within mainly taxonomical and functional groups. Individual species have not been identified. With this information, the effects that have been highlighted stem from oligotrophic systems with low circulation of waters, contrary to what has been observed on natural environments with high levels of nutrients.

The major effect observed is the alteration of the phytoplankton community due to the increase of nutrients from salmon's farms. A succession from diatoms species to dinoflagellates and small phytoflagellates was observed, because of major concentrations of phosphates and nitrates, while minor quantity of silica would be restraining diatoms development.

On the other hand, microplankton to picoplankton community's successions were also observed on mussel's culture. The general decrease of phytoplankton biomass was also observed.

Regarding zooplankton organisms, a decrease on the abundance and diversity of rotifers, copepods and cladocerans due to excess of antibiotics was observed. The main effects associated to mussels centres, has been the overall decrease of abundance related to direct predation and/or generation of faecal by mussels.

As a results of flaws of available information related to quality and quantity, it is necessary to add new studies in order to determine the real effects of aquacultures activities on phytoplankton communities on southern Chile.

Regarding algae, no individual species were identified, the algae were identified as a group of algae affected by aquaculture. From this point of view, it has been documented that an increase of nutrients and organic matter generates a greater availability of nutrients that encourages algae growth. Nevertheless this quantity of particulate matter and it's sedimentation, disturbs the benthos (ex. anoxic seabeds). The changes on seabeds generates changes on the structure and organization of benthic communities, providing the development of some species, preferably green algae and cyanophyte. On the other hand, the floating waste of aquatic infrastructure carry propagules and/or adults stages of exotic and native species amplifying the range of latitudinal distribution of these species, as it has happened with the eelgrass *Zostera chilensis* and the algae *Codium fragile*. This kelp has modified some landscapes in the Canadian coast due to the competitive exclusion of native kelps, a case that could be a light of alert for the Chilean eco region of Chiloé.

The effects observed on benthic communities species, have been mainly generated because of pellets residues, fish faeces and some antibiotics and heavy metals that permeate these particles ending up to concentrate on aquatic seabeds. This has generated effects on biodiversity resulting on imbalanced trophic relations of species because of loss of control from consumer organisms and functional disruption on ecosystems. On continental waters, a decrease of Chironomidae larvae and members of Planariidae has been observed. As for estuarine waters and/or marine waters a possible negative effect on actinia, ophiuroidea, clams species, polychaetes of the Sabellidae and Terebellidae family. Negative impacts have also been observed for the red sea urchin *Loxechinus albus*. Mussels farming, as an important source of biodeposit of organic matter, could generate concentrations of anoxic sediments. In the other hand, the accumulation of organic matter without oxidation, available for biologic recycle, could attract feeding detritus

fauna (polychaete as Capitella, winkle as Nassarius and crabs) and reduce the abundance of other species, as the polychaete Pherusa plumosa and the bivalve Tellina agilis in the seabeds macroinfauna.

In accordance with the information analyzed, in the most disturbed estuarine sectors by the accumulation of organic matter, it has been possible to observe the presence of opportunist species such as the polychaetes *Capitella capitata* and species from the gender Polydora that can be considered as the less affected species due to pollution problems. In second term, the gastropods of the gender Nassarius present a good development in sectors where sediments present a higher in organic charge. This could allow to considerate both groups of invertebrate species as indicators of this type of environment, and could be recognised as "sentinels" to monitor conditions where the imbalance of the macroinfauna is experimenting higher levels.

In addition to the literature revision, the data base of the CPS and INFA was analyzed, in order to characterize the ecologic conditions of the benthic macrofauna associated to the Mytilidae and salmons aquaculture located in the zone of Chiloé inland sea. This allowed to develop the application of the Benthic Quality Index (Benthic Quality Index- BQI; Rosenberg *et al*. 2004) at a family level (Dimitriou *et al*. 2012), which permitted to elaborate a taxonomic group table (at a family level), with a sensibility/tolerance value, assigned objectively, at the effects of modifications of the aquaculture production for this particular zone.

The BQI estimation followed the modification proposed by Leonardsson *et al.* (2015; 2016). In another hand, the sensitivity value ($S_{0,05}$) calculated for each family, following Dimitriou *et al.* (2012) and Leonardsson *et al*. (2016). Once the index value for each station was obtained, the ecological state was estimated for each one of these, which was represented by a GIS, which indicates if the community of the sampled point is in a bad, poor, moderate, good or very good condition.

As a result, values of sensibility ($S_{0,05}$) were obtained for 136 taxa, which presented a range of values between 3 and 13, and the more sensible taxa were composed by 7 major groups, represented by 50% of amphipods and polychaetes family. Meanwhile, the more tolerated taxa presented a less relative diversity of major groups, being composed by 70% by polychaetes and bivalves families.

The temporal evolution of the Benthic Quality Index found in the communities of the interior lake of Chiloé, shows that the media estimated for the BQI,

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

between 2011-2013, is within the range qualified as a poor community, with the exception of what happened the year 2014, when the average encountered the moderated range. It is also important to mention, that between the years (2011-2014) the fraction of samples qualified as good quality, is notably low, not showing a tendency to improve these values.

On the basis of the obtained results, it is recommended the use of BQI family in order to evaluate the impacts related to activities of aquaculture in Chile, as for other types of stressors that could present negative impacts on aquatic ecosystems (ex. pollution related to hydrocarbons).

The application of this index varies from those that use a unique list of sensibility/tolerance values defined from an expert judgement to any geographic zone (ex. AMBI, BENTIX, etc.) that has already been considerate inappropriate (Rosenberg *et al*. 2004; Labrune *et al*. 2006, Grémare *et al*. 2009), this is explained because species tolerance levels changes from different geographic areas in response to different environmental gradients (Rosenberg *et al*. 2004; Zettler *et al*. 2013; Schiele *et al*. 2016). An Index that does not employ fixed values could not satisfy a geographic region with a high environmental variability (Schiele *et al*. 2016), exemple, as is the Chiloé inland sea.

We can also add, that the elaboration and application of sensibility/tolerance lists, have been challenged by several researchers, mainly because of the use of a judgement expert to assign sensibility/tolerance values, and the utilization of this in order to apply the index in geographic zones with different environmental gradients.

Several fish affected by aquaculture were also identified. These species are common galaxias (*Galaxias maculates* and *Aplochiton taeniatus*), silverside (*Odontesthes regia*), rock cod (*Eleginops maclovinus*) and members of the Nototheniidae family. These fish are mainly affected by predation and competence of salmonids species, transmission of diseases and chemical agents related to productive activities of salmons and trout.

Regarding birdlife, species as cormorants, seagulls, penguins and wetland birds, are mainly affected by accidental or intentional mortalities and by the increase or decrease of preferred prey, which generate imbalance of the normal integration of assemblages.

A characteristic interaction between the populations of birds and salmon aquaculture is provoked by extended aggregation between escaped and native fish in the surroundings of the floating fish factories (floating cages), which would act as a source of food (ex. unconsumed pellets, faeces and

invertebrates embedded on immerse infrastructure) and as a shelter for an important biomass and abundance of fish species, which are potential prey for diving birds.

Concerning the group of aquatics mammals, sea lion (*Otaria flavescens*), small cetaceans such as dolphins (*Cephalorhynchus eutropia*, *Lagenorhynchus australis*) Burmeister's porpoise (*Phocoena spinipinnis*), and mustelids of the Lontra gender, are mainly affected by loss and disruption of generated habitats due to an overlap of aquatic concessions, loss of native prey and accidental or intentional mortality.

Objective 3: Analyze and assess the collected information related to impacts, direct and non-direct effects that determine an alteration on different aquatic biota species.

Based on the analysis made on direct and non-direct effects of aquaculture on biodiversity, some effects have a lot of influence on others, as the creation of artificial habitat, disruption and/or damage of natural habitats, competition and predation for exotic or non native species, and a moderate influent effect, the indirect and/or deliberate mortality on native species. These deliberated effects are able to generate a direct effect on biodiversity and to potentiate the intensity of other effects on biodiversity. In this regard, because they are effects highly influential on the systems, the control of these factors should modify the impact of salmon farming on biodiversity and thus public policies related to mitigating the activity impacts should focus on controlling these effects.

Furthermore, highly dependent effects have been identified: the colonization of exotic or non native species and the community structure modification. The existence of these do not influence or strengthen the existence of others, but can be affected by the effects related to salmon farming. That is to say, these effects are directly caused by salmon farming and strengthen indirectly by the existence of other effects. These characteristics indicate that these effects should be measured because they act as an image of how the system operates.

Additionally, a conceptual map of the production process is built, in order to visualize positive and negative effect of aquatic activity. From now on, 4 positive impacts are identified: i.- Increase of the Gross Domestic Product (GDP); ii.- Food security; iii.- Poverty reduction and iv.- Employment growth. At the same time, the system generates negative impacts: i.- Reduction of coastal areas for other purposes; ii.- Changes on the community structure and iii.- Decrease of fishery resources. The existence of all these effects (positives

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

and negatives), generated by the system, displays how undesired impacts are created while positive impacts are pursued.

All the information analyzed and systematized during the development of Objectives 1, 2 and 3, allowed the identification of sensitive sectors from a biodiversity point of view. Because of this, the results referring to this point are detailed in section 5.2.3, corresponding to the results of Objective 3 of this document, in the section entitled "Identification of biodiversity sensitive areas".

From the systematization and specialization of the collected information, it was observed that the greatest number of impacts on biodiversity have been recorded in estuarine zones of channels and inland fjords, both located on the inshore coast of Chiloé as on the continental shore.

Continental fjords such as Comau, Reñihue, Piti Palena and Tic toc, have received special attention from researchers, raising important conservation initiatives. Meanwhile on the coast of Chiloé, even if the ecological importance of sectors such as "Desertores" group canals, and the islands in front of the Bay of Quellón have been recognized, these territories have not had legal protection and are highly affected by aquaculture.

Objective 4: Propose a monitoring and follow-up plan of groups and species considered sensitive, beyond what was defined on specific objectives 1, 2 and 3. In addition, define a protocol to gather information, which has to be validated (components proposed) on the field work. Finally, the implementation cost has to be evaluated, in accordance to background information obtained on the objectives noted above.

Regarding the selection of possible indicator species and it's priorization, based on sensitivity, feasibility and cost criteria, the benthos organisms were the best indicators identified as those who can detect changes in community structures (weighing = 0.2117), followed by algae with a weighing of 0.1551. Inferior values were detected on species related to plankton, birds and fish groups (0.1462, 0.1345 y 0.1252 respectively). Finally, marine mammal's species are seen as less powerful indicators than the other species, with weighing of 0.0752.

Regarding sectors chosen to implement a pilot monitoring plan, two pilot sectors with different biodiversity characteristics were selected. Regarding the selection of a centre to monitor, the following criteria were identified: 1. Centre biomass is over average (average stock 2011-2014); 2. Buffer of an

area greater to 1 km and a CPS (Preliminary Characterization Sectors) starting after 2005 (unified methodology).

According to what was mentioned above, a site on the northern sector of Chiloé inland see was identified, situated in front of Imelev Island, Quinchao commune, east of Castro. It was chosen because it can be a highly impacted sector and can be highly sensitive to aquaculture activity. The control sector of this zone, was situated on the Coast of Chaulinec Island, Quinchao commune due to a lack of farming centres and similar landscapes and oceanographic conditions. The second selected monitoring pilot site was situated on the southern sector of the inland sea of Chiloé, in front of Chaullín, Quellón commune. In this case, the control sector was situated in front of Tranqui Island, Queilen commune.

The results of both monitoring, indicate that benthos and bird matrix provide interesting methods to measure the answer of biotic components to perturbations generated by salmon farms. On the other hand, no clear patterns are shown for plankton in a contamination gradient. In the case of marine mammals, even if the information is collected in a short space and time, as it was done in the proposed monitoring, it does not present clear perturbation data. Nevertheless, this matrix can be an interesting tool to generate information that permits to conclude a unified data base that allows to analyse areas and in a major time.

Bibliographic analysis and results related to monitoring permits to propose a preliminary monitoring protocol in order to evaluate community structure changes in a contamination gradient caused by the aquaculture centre production, and after this, determine the area of influence and the degree of impact of an aquaculture centre.

Objective 5: Propose mitigation measures, reparation and/or compensation of the possible impacts of aquaculture on the aquatic biodiversity and the environment. Furthermore, in accordance to objectives 1, 2 and 3, valorise the implementation cost.

An analyses of aquaculture mitigation measures, applied in Chile and worldwide, was applied differentiating short-term and long-term measure. Consecutively, a qualitative classification is done based on feasibility, cost and affectivity. Additionally, a monitoring protocol is proposed as a useful tool in order to determine if the mitigation measures applied in the future are effective or not.

Finally, this study proposes a method to estimate the compensations based on a valorisation process that allows to estimate the value of an environmental good and to obtain an approximation of the compensation values due to generated damages. The methodology proposed is based on the concept of Total Economic Value (TEV) that allows to determine adequately the total value that people associate the ecosystem and/or resources studied. Within this framework, results of objective 3.3 were compared with VET values, identifying the impacts generated by aquaculture and it's direct and non direct effect on aquatic biota. A survey was designed to know if people were available to pay to recover an environmental good. It was estimated that the total compensation value to consider corresponds to the average of DAP multiplied by the total of people considered as a sample. The value is approximately 479.500 $/month for the 137 respondents and 8.750.000 $/month for people that are economical active at the Curaco de Vélez commune (2.500 people).

Ultimately, the relevant integrated criteria assessment method constitutes a helpful tool to valorize the effects of aquaculture on biodiversity and contributes to create a compensation model, based on DAP. However, the development of such model does not exclude the implementation of mitigation, reparation and compensation measures, but should contribute on a way to work together on an integrated strategy that will permit to address the environmental problem of aquaculture.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla de Contenidos

RESUMEN EJECUTIVO ..... **V**

EXECUTIVE SUMMARY ..... **XVI**

1. ANTECEDENTES **1**

2. OBJETIVO GENERAL **3**

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS **3**

3.1. Realizar una recopilación de antecedentes de los diversos grupos de flora y fauna marina y continental que reporten efectos producto de las actividades de acuicultura, como también, de aquellos sectores considerados "sensibles" desde el punto de vista de la biodiversidad. 3

3.2. Determinar grupos o especies de flora y fauna marina y continental que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura. 3

3.3. Analizar y evaluar la información recopilada en cuanto a los impactos, efectos directos e indirectos, que determinan una alteración de las diferentes especies que conforman la biota acuática. 3

3.4. Proponer un Plan de Monitoreo y seguimiento de los grupos o especies considerados como sensibles, en virtud de los definido en los objetivos específicos 1, 2 y 3. Además definir un protocolo para el levantamiento de información, el cual deberá ser validado (componentes propuestos) en terreno. Finalmente, se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos antes señalados. 3

3.5. Proponer medidas de mitigación, reparación y/o compensación de los posibles impactos que produzca la acuicultura en la biodiversidad acuática del entorno donde se desarrolla. Además se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos específicos 1,2 y3. 3

4. METODOLOGÍA **4**

4.1. Objetivo específico 3.1. 4

Realizar una recopilación de antecedentes de los diversos grupos de flora y fauna marina y continental que reporten efectos producto de las actividades de acuicultura, como también, de aquellos sectores considerados "sensibles" desde el punto de vista de la biodiversidad. 4

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

4.2. Objetivo específico 3.2. 7
DETERMINAR GRUPOS O ESPECIES DE FLORA Y FAUNA MARINA Y CONTINENTAL QUE PUEDEN SER AFECTADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES DE ACUICULTURA..... 7

4.3. Objetivo específico 3.3. 12
ANALIZAR Y EVALUAR LA INFORMACIÓN RECOPILADA EN CUANTO A LOS IMPACTOS, EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS, QUE DETERMINAN UNA ALTERACIÓN DE LAS DIFERENTES ESPECIES QUE CONFORMAN LA BIOTA ACUÁTICA. 12

4.4. Objetivo específico 3.4. 15
PROPONER UN PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LOS GRUPOS O ESPECIES CONSIDERADOS COMO SENSIBLES, EN VIRTUD DE LOS DEFINIDO EN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1, 2 Y 3. ADEMÁS DEFINIR UN PROTOCOLO PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN, EL CUAL DEBERÁ SER VALIDADO (COMPONENTES PROPUESTOS) EN TERRENO. FINALMENTE, SE DEBERÁ VALORIZAR EL COSTO DE SU IMPLEMENTACIÓN, EN VIRTUD DE LOS ANTECEDENTES OBTENIDOS EN LOS OBJETIVOS ANTES SEÑALADOS.....15

4.5. Objetivo específico 3.5. 21
PROPONER MEDIDAS DE MITIGACIÓN, REPARACIÓN Y/O COMPENSACIÓN DE LOS POSIBLES IMPACTOS QUE PRODUZCA LA ACUICULTURA EN LA BIODIVERSIDAD ACUÁTICA DEL ENTORNO DONDE SE DESARROLLA. ADEMÁS SE DEBERÁ VALORIZAR EL COSTO DE SU IMPLEMENTACIÓN, EN VIRTUD DE LOS ANTECEDENTES OBTENIDOS EN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1, 2 Y 3. 21
4.5.1. Recopilación de medidas de mitigación, reparación y compensación utilizadas en la actualidad.....21
4.5.2. Elaboración de propuesta de medidas de mitigación, reparación y compensación.....21
4.5.3. Elaboración de propuesta de reparación y compensación.....22

5. RESULTADOS.....31

5.1. Objetivo específico 3.1. 31
REALIZAR UNA RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES DE LOS DIVERSOS GRUPOS DE FLORA Y FAUNA MARINA Y CONTINENTAL QUE REPORTEN EFECTOS PRODUCTO DE LAS ACTIVIDADES DE ACUICULTURA, COMO TAMBIÉN, DE AQUELLOS SECTORES CONSIDERADOS "SENSIBLES" DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA BIODIVERSIDAD.....31

5.1.1. Bibliografía sobre efectos reportados en grupos de la flora y fauna marina por acción de la actividad acuícola 31

5.1.1.1. Bibliografía sobre los efectos reportados en las especies que componen el plancton, por acción de la actividad acuícola..... 31
5.1.1.2. Bibliografía sobre los efectos reportados en las especies que integran el grupo de las macroalgas, por acción de la actividad acuícola. 34

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.1.1.3. Bibliografía sobre los efectos reportados en las especies que componen la comunidad bentónica, por acción de la actividad acuícola 37
5.1.1.4. Bibliografía sobre los efectos reportados en especies ícticas por acción de la actividad acuícola. 40
5.1.1.5. Bibliografía sobre los efectos reportados en especies de aves por acción de la actividad acuícola. 43
5.1.1.6. Bibliografía sobre los efectos reportados en especies mamíferos marinos por acción de la actividad acuícola. 46

5.1.2. Almacenamiento para la gestión y administración bibliográfica 49
5.1.3. Sistematización geográfica de la información disponible para la identificación de sectores sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad 51

5.2. Objetivo específico 3.2. 60
DETERMINAR GRUPOS O ESPECIES DE FLORA Y FAUNA MARINA Y CONTINENTAL QUE PUEDEN SER AFECTADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES DE ACUICULTURA. 60

5.2.1. Análisis de los efectos de la producción acuícola reportados para cada grupo de Flora y Fauna marina y continental 60

5.2.1.1. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen el plancton 60
5.2.1.2. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies macroalgales.....75
5.2.1.3. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen la comunidad bentónica 89
5.2.1.4. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies ícticas 100
5.2.1.5. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de aves 106
5.2.1.6. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de mamíferos marinos 122
5.2.1.7. Condición ecológica de las comunidades de macrofauna asociadas a la actividad acuícola. 139

5.2.2. Listado de especies y/o grupos de especies afectados por diferentes actividades de acuicultura.....144

5.2.2.1. Efectos de la actividad acuícola sobre la biodiversidad, reportados en la bibliografía.....144
5.2.2.2. Relación de especies y/o grupos de especies afectadas por tipo de cultivo 146

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.2.2.3. Listado de especies sobre las cuales se ha reportado efecto potencial o expreso por causa de la actividad acuícola 148

5.2.3. Identificación de áreas sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad 159

5.3. Objetivo específico 3.3. 171
ANALIZAR Y EVALUAR LA INFORMACIÓN RECOPILADA EN CUANTO A LOS IMPACTOS, EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS, QUE DETERMINAN UNA ALTERACIÓN DE LAS DIFERENTES ESPECIES QUE CONFORMAN LA BIOTA ACUÁTICA. 171

5.3.1. Influencia – dependencia de efectos en la biodiversidad provocados por acción de la salmonicultura marina. 171
5.3.2. Ordenamiento y clarificación de efectos e impactos directos a indirectos provocados por acción de la actividad acuícola. 178

5.4. Objetivo específico 3.4. 184
PROPONER UN PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LOS GRUPOS O ESPECIES CONSIDERADOS COMO SENSIBLES, EN VIRTUD DE LOS DEFINIDO EN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1, 2 Y 3. ADEMÁS DEFINIR UN PROTOCOLO PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN, EL CUAL DEBERÁ SER VALIDADO (COMPONENTES PROPUESTOS) EN TERRENO. FINALMENTE, SE DEBERÁ VALORIZAR EL COSTO DE SU IMPLEMENTACIÓN, EN VIRTUD DE LOS ANTECEDENTES OBTENIDOS EN LOS OBJETIVOS ANTES SEÑALADOS. 184

5.4.1. Selección y jerarquización de especies y/o grupos de especies para la realización de monitoreo piloto 184
5.4.2. Selección de sitios piloto y control para la aplicación de monitoreos 188
5.4.3. Aplicación y resultados de monitoreo piloto 196

5.4.3.1. Monitoreo piloto de comunidades planctónicas 197
5.4.3.2. Monitoreo piloto de comunidades bentónicas 245
5.4.3.3. Monitoreo piloto de comunidades de aves, mamíferos marinos y algas 347

5.4.4. Protocolo de monitoreo para evaluar la modificación de la estructura comunitaria por efecto de la actividad acuícola 431
5.4.5. Valorización de propuesta preliminar de monitoreo 454

5.5. Objetivo específico 3.5. 460
PROPONER MEDIDAS DE MITIGACIÓN, REPARACIÓN Y/O COMPENSACIÓN DE LOS POSIBLES IMPACTOS QUE PRODUZCA LA ACUICULTURA EN LA BIODIVERSIDAD ACUÁTICA DEL ENTORNO

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

DONDE SE DESARROLLA. ADEMÁS SE DEBERÁ VALORIZAR EL COSTO DE SU IMPLEMENTACIÓN, EN VIRTUD DE LOS ANTECEDENTES OBTENIDOS EN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1,2 Y 3. 460

5.5.1. Recopilación de medidas de mitigación, reparación y compensación utilizadas en la actualidad en Chile.....460
5.5.2. Elaboración de propuesta de medidas de mitigación, reparación y compensación.....465
5.5.3. Elaboración de propuesta de compensación 476
Levantamiento de información 476
5.5.4. Propuesta para el cálculo de compensación.....490

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....493

6.1. Objetivo Específico 3.1.....493
Realizar una recopilación de antecedentes de los diversos grupos de flora y fauna marina y continental que reporten efectos producto de las actividades de acuicultura, como también, de aquellos sectores considerados "sensibles" desde el punto de vista de la biodiversidad. 493

6.2. Objetivo Específico 3.2.....496
Determinar grupos o especies de flora y fauna marina y continental que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura. ..496
6.2.1. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen el plancton.....497
6.2.2. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies macroalgales.....499
6.2.3. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies que componen la comunidad bentónica 500
6.2.4. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies ícticas.....504
6.2.5. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de aves 505
6.2.6. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de mamíferos marinos 506
6.2.7. Identificación de áreas sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad.....507
6.3. Analizar y evaluar la información recopilada en cuanto a los impactos, efectos directos e indirectos, que determinan una alteración de las diferentes especies que conforman la biota acuática. 508
6.4. Proponer un Plan de Monitoreo y seguimiento de los grupos o especies considerados como sensibles, en virtud de los definido en los

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

objetivos específicos 1, 2 y 3. Además definir un protocolo para el levantamiento de información, el cual deberá ser validado (componentes propuestos) en terreno. Finalmente, se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos antes señalados.....512
6.5. Proponer medidas de mitigación, reparación y/o compensación de los posibles impactos que produzca la acuicultura en la biodiversidad acuática del entorno donde se desarrolla. Además se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos específicos 1,2 y3. 537

7. CONCLUSIONES.....545

8. REFERENCIAS.....570

9. GLOSARIO 644

10. ANEXOS 647

Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplo de cambios en el número de especies, abundancia y biomasa en función de un gradiente de perturbación. Fuente: Nilsson & Rosemberg (2000)..... 9

Figura 2. Estructura encuesta valoración 24

Figura 3. Procedimiento para el análisis de la información el cálculo de la DAP. Fuente: elaborado en base a Pearce, 2002. 27

Figura 4. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en el plancton. 32

Figura 5. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en el plancton. 33

Figura 6. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en el plancton. 34

Figura 7. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en el grupo que integran las macroalgas. 35

Figura 8. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que integran el grupo de las macroalgas. 36

Figura 9. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que integran el grupo de las macroalgas. 37

Figura 10. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que componen el bentos. 38

Figura 11. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que componen el bentos. 39

Figura 12. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que componen el bentos. 40

Figura 13. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en especies ícticas. 41

Figura 14. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en especies ícticas. 42

Figura 15. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies ícticas. 43

Figura 16. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que componen el grupo de las aves. 44

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Figura 17. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de aves. 45

Figura 18. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de aves. 46

Figura 19. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de mamíferos marinos. 47

Figura 20. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de mamíferos marinos. 48

Figura 21. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de mamíferos marinos. 49

Figura 22. Muestra la distribución de la superficie de áreas protegidas y de interés en el ecosistema terrestre, en miles de Há por región. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE-MMA. 53

Figura 23. Distribución espacial de la superficie destinada a conservación en el territorio continental de Chile y referencia a las ecorregiones descritas. Fuente: Elaboración propia a partir de información del IDE-MMA y Sullivan-Sealey& Bustamante (1999). 54

Figura 24. Muestra la distribución de la superficie de áreas protegidas en el ecosistema marino, en miles de ha por ecorregión. Se excluye del gráfico el parque marino Motu Motiro Hiva (15.132.882 ha.). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE-MMA. 55

Figura 25. Propuestas de AMCP a emplazarse en el sector de Golfo Corcovado, ecorregión Chiloense. 57

Figura 26. Distribución espacial de los grupos de especies autorizadas para su cultivo en el territorio marítimo y lacustre de Chile. Las barras representan el número de concesiones y la línea representa las hectáreas utilizadas. Elaboración propia a partir de datos descargados del portal institucional de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Información de Concesiones de Acuicultura). 58

Figura 27. Lobos marinos descansando en una balsa de un centro de cultivo de salmones de la X Región. Fotografía M. Sepúlveda. 124

Figura 28. Sobreposición espacial entre actividades de cultivo y pequeños cetáceos en el Archipiélago de Chiloé. Delfín chileno (rojos); delfín austral (amarillo); marsopa espinosa (verde). Salmoniculturas (cuadrados grises con cruces) y Miticulturas (cuadros grises con líneas). Figura extraída de Heinrich (2006). 130

Figura 29. Composición por taxa mayores para las familias más sensibles ($S_{0,05}$ 11 - 13) (figura A). Composición por taxa mayores para las familias más tolerantes ($S_{0,05}$ 3 - 4) (figura B). 140

Figura 30. Clasificación del Índice de Calidad Bentónica calculado para las estaciones correspondientes a los INFA realizados durante el año 2013 en el mar interior de Chiloé. La cartografía permite identificar aquellas concesiones donde priman estaciones consideradas con una calidad

bentónica mala y/o pobre, a la vez que se observan concesiones en las que se registran estaciones con mejores calidades. 142

Figura 31. Distribución de frecuencias del Índice de Calidad Bentónica para estaciones con profundidades de hasta 60 m. del mar interior de Chiloé. Los histogramas muestran la proporción entre las calidades encontradas durante los años 2011, 2012, 2013 y 2014, observándose una clara tendencia hacia la izquierda, con una predominancia de las calidades malas y pobres (rojos y naranjos), y en menor medida calidades moderadas y buenas (amarillas y verdes). 143

Figura 32. Construcción lineal para la clasificación de efectos reportados en la bibliografía respecto de la interacción entre la actividad acuícola y la biodiversidad 146

Figura 33. Número de especies documentadas por tipo de cultivo y tipo de efecto. 148

Figura 34. Gráfico del número de efectos reportados para cada especie, por efecto de la salmonicultura marina. 149

Figura 35. Especies reportadas como afectadas o potencialmente afectadas por algún efecto provocado por la actividad de salmonicultura marina. 152

Figura 36. Gráfico del número de efectos reportados para cada especie, por efecto de la salmonicultura continental. 153

Figura 37. Especies reportadas como afectadas o potencialmente afectadas por algún efecto provocado por la actividad de salmonicultura continental. 155

Figura 38. Gráfico del número de efectos reportados para cada especie, por efecto de la salmonicultura continental. 156

Figura 39. Especies reportadas como afectadas o potencialmente afectadas por algún efecto provocado por la actividad de salmonicultura continental. 158

Figura 40. Actividad de cartografía participativa para la identificación de zonas sensibles y sectores para la implementación del monitoreo piloto 159

Figura 41. Zonas identificadas en el área de estudio de la Ecorregión Chiloense. Fuente: Elaboración propia en base a los aportes de los participantes en el Taller con especialistas. 161

Figura 42. Restos de desechos flotantes observados en playas aledañas al sector de monitoreo piloto. 163

Figura 43. Interacciones entre la acuicultura y la biodiversidad de la cuenca norte del mar interior de Chiloé. Elaboración propia en base a los resultados de la cartografía participativa y la revisión bibliográfica. 165

Figura 44. Interacciones entre la acuicultura y la biodiversidad de la zona norte de fiordos y canales. Elaboración propia en base a los resultados de la cartografía participativa y la revisión bibliográfica 168

Figura 45. Interacciones entre la acuicultura y la biodiversidad de la zona al sur de Meninea. Elaboración propia en base a los resultados de la cartografía participativa y la revisión bibliográfica 170

Figura 46. Fotografía del trabajo participativo del proceso de construcción de la matriz de influencias directas. 172

Figura 47. Mapa de influencia – dependencia,construido a partir de la confrontación de los efectos provocados por la salmonicultura en la biodiversidad, de acuerdo a la identificación de estos en la revisión bibliográfica. 175

Figura 48. Red de influencia - dependencia de los efectos provocados por la salmonicultura en la biodiversidad, de acuerdo a la identificación de estos en la revisión bibliográfica. 177

Figura 49. Mapa conceptual del proceso de producción acuícola y sus impactos. Los números en las uniones permiten identificar la dirección causa - efecto. Elaboración propia a partir de datos de la recopilación y sistematización de información. 180

Figura 50. Procedimiento de jerarquización participativa. Entrega de peso relativo a los criterios del indicador. 186

Figura 51. Procedimiento de jerarquización participativa. Entrega de peso relativo a las especies y grupos de especies en razón de cada criterio. 186

Figura 52. Modelo esquemático de la circulación horizontal: a) nivel superficial (0- ~30 m); b) nivel intermedio (~30- ~150 m), c) nivel profundo (~150 m al fondo) (tomado de Silva et al., 1998 a). 190

Figura 53. Modelo esquemático de circulación general vertical para mar interior de Chiloé. (Adaptado de Silva et al., 1998). 191

Figura 54. Distribución de la materia orgánica total (%) en los sedimentos superficiales de los canales y fiordos australes de Chile. (tomada de Silva et al., 1998). 192

Figura 55. Ubicación de las zonas de monitoreo y control, zona al norte de las islas Desertores. 193

Figura 56. Ubicación de las zonas de monitoreo y control, zona al sur de las islas Desertores. 194

Figura 57. Área de estudio. Sectores de monitoreo Piloto y control (sector norte del Archipiélago de Chiloé) y Unidades de muestreo planctónico (Estaciones). 200

Figura 58. Área de estudio control (sector sur del Archipiélago de Chiloé) y Unidades de muestreo planctónico (Estaciones).Sectores de monitoreo Piloto Sur, control y de referencia. 203

Figura 59. Muestreo de microfitoplancton. Red de fitoplancton (izquierda) y botella Niskin (Derecha). 205

Figura 60. Concentración celular total, en superficie, de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Centro Piloto archipiélago Chiloé norte. 213

Figura 61. Concentración celular total, en superficie, de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Controlarchipiélago Chiloé norte. 214

Figura 62. Concentración celular total, en estrato profundo (15 m), de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Centro Piloto archipiélago Chiloé norte. 215

Figura 63. Concentración celular total, en estrato profundo (15 m), de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Control archipiélago Chiloé norte. 216

Figura 64. Registro gráfico de las especies más abundantes del área prospectada, donde: A: Muestra general, B: *Th. cf. aestivalis*, C: *S. turris*, D: *B. paxillifer*, E: *P. cf. australis*, F: *L. annulata*, G: *Th. nitzschioides*, H: *C. furca*, I: *P. boryanum*, J: *P. pellucidum,* K: *A. glacialis*, L: *Licmophora sp.*, M: *A. senarius*, N: *P. sulcata*, O: *O. longicruris*, P: *Ch. Convolutus*, Q: *Ch. didymus*, R: *Ch. curvisetus*, S: *Ch. lorenzianus*, T: *Ch. debilis*. 218

Figura 65. Dendrograma de Agregación respecto a las estaciones de monitoreo, en función al índice de Bray-Curtis y a la concentración celular por especie como atributo. Dónde: A: Estrato superficial, B: Estrato profundo. 222

Figura 66. N-MDS de las estaciones de monitoreo, en función al índice de Bray-Curtis y a la concentración celular por especie como atributo. Dónde: A: Estrato superficial, B: Estrato profundo. 224

Figura 67. Concentración celular total por Grupos taxonómico, en superficie, por unidad de muestreo. Centro Piloto. Sector sur archipiélago de Chiloé. 231

Figura 68. Concentración celular total, en superficie, de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Controlsur archipiélago de Chiloé. 232

Figura 69. Concentración celular total por grupos taxonómicos, en estrato profundo (15 m), por unidad de muestreo. Centro Piloto. Sector sur archipiélago de Chiloé. 233

Figura 70. Concentración celular total, en estrato profundo (15 m), de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Control, sur archipiélago de Chiloé. 234

Figura 71. Registro gráfico de las especies más abundantes del área prospectada, donde: A,B,C: Muestra general, D: *P. cf. australis*, E: *D. brightwellii*, F: *D. pumila*, G: *E. zodiacus f. recta*, H: *P. sulcata*, I: *Coscinodiscus spp*, J: *Th. cf. aestivalis*, K: *Th. anguste-lineata*, L: *Th rotula,* M: *Ch. curvisetus*, N: *Th. Nitzschioides*, O: *O. longicruris*, P: *C. furca*, Q: *Ch. radicans*, R: *S. turris*, S: *S. costatum*, T: *Ch. socialiss*. 236

Figura 72. Dendrograma de Agregación respecto a las estaciones de monitoreo, en función al índice de Bray-Curtis y a la concentración celular por especie como atributo. Dónde: A: Estrato superficial, B: Estrato profundo. 241

Figura 73. N-MDS de las estaciones de monitoreo, en función al índice de Bray-Curtis y a la concentración celular por especie como atributo. Dónde: A: Estrato superficial, B: Estrato profundo. 242

Figura 74. Ubicación de puntos de muestreo Centro Piloto Norte. 249

Figura 75. Ubicación de puntos de muestreo Centro Piloto Sur. 250

Figura 76. Distribución espacialde la concentración de oxígeno disuelto a un metro del fondo Centro Piloto Norte. 262

Figura 77. Distribución espacialdel porcentaje de Materia Orgánica Centro Piloto Norte. 264

Figura 78. Distribución espacialde los valores de Potencial Redox Centro Piloto Norte. 266

Figura 79. Distribución espacial de los valores de pH en los sedimentos Centro Piloto Norte. 268

Figura 80. Abundancia total de especies de fondos blandos por estación y réplica. Monitoreo Piloto Norte. 274

Figura 81. Taxa numéricamente dominantes durante el periodo de estudio. a) *Nucula pisum* (Bivalvo), b) *Tindariopsis sulculata* (Bivalvo), c) *Venus antiqua* (Bivalvo), d) *Nassarius gayii* y *Nassarius coppingeri* (Gasterópodos). 275

Figura 82. Taxa que aportan en mayor porcentaje a la biomasa húmeda durante el periodo de estudio. a) *Peltarion spinosulum* (Crustaceo), b) *Zygochlamys patagonica* (Bivalvo), c) *Arbacia dufresnii* (Equinodermo), d) *Venus antiqua* (Bivalvo), e) *Tindariopsis sulculata* (Bivalvo)..... 276

Figura 83. Abundancia Total de las especies registradas en la zona submareal observadas en monitoreo piloto. 277

Figura 84. Peso Húmedo de las especies registradas en la zona submareal observadas en monitoreo piloto norte. 278

Figura 85. Riqueza total de especies de fondos blandos por estación y réplica. Campaña Monitoreo Piloto Norte. Mejorar gráfica. 284

Figura 86. Uniformidad de especies de fondos blandos por estación y réplica correspondiente. Campaña Monitoreo Piloto Norte. 285

Figura 87. Dominancia de especies de fondos blandos por estación y réplica. Monitoreo Piloto Norte. 286

Figura 88. Análisis de ordenación no paramétrica (N-MDS) de las estaciones de muestreo. Factor Distancia al Centro Piloto 287

Figura 89. Taxa más importantes, en términos de frecuencia y porcentaje de contribución en la disimilitud observada entre las estaciones de muestreo. a) *Nucula pisum* b) *Venus antiqua* c) *Nassarius gayi* y *N. coppingeri* d) *Tindariopsis sulculata* y e) *Tawera gayi*. Fotografías (José Saavedra). 291

Figura 90. Valores del estadístico W ´para las estaciones monitoreadas campaña Piloto Norte 292

Figura 91. Distribución espacial de oxígeno disuelto centro piloto sur..... 297

Figura 92. Distribución espacial del porcentaje de materia orgánica. Centro piloto sur 299

Figura 93. Distribución espacial del potencial redox. Centro piloto sur..... 301

Figura 94. Distribución espacial del pH. Centro piloto sur 303

Figura 95. Abundancia total de especies de fondos blandos por estación y réplica. Monitoreo Piloto Sur..... 311

Figura 96. Taxa numéricamente dominantes durante el periodo de estudio. a) Orden Triplonchida (Nematoda), b) *Tindariopsis sulculata* (Bivalvo), c) *Aulacomya atra* (Bivalvo), d*) Cirriformia nasuta* (Annelida) y e) *Ophiactis sp* (Echinodermata)..... 312

Figura 97. Taxa que aportan en mayor porcentaje a la biomasa húmeda durante el periodo de estudio. a) *Aulacomya atra* (Mollusca), b) *Choromytilus chorus* (Mollusca), c) *Tripylaster philippii* (Echinodermata). 312

Figura 98. Abundancia Total de las principales especies registradas en la zona submareal observadas en monitoreo piloto Sur (se excluye del gráfico orden Triplonchida Abundancia Total: 4910 ind/0,1 m^2). 313

Figura 99. Peso Húmedo de las especies registradas en la zona submareal observadas en monitoreo piloto Sur (se excluye del gráfico *Aulacomya atra* Biomasa total: 1886,93 g/0,1 m^2. 314

Figura 100. Riqueza total de especies de fondos blandos por estación y réplica. Campaña Monitoreo Piloto Sur 320

Figura 101. Uniformidad de especies de fondos blandos por estación y réplica correspondiente. Campaña Monitoreo Piloto Sur. 321

Figura 102. Dominancia de especies de fondos blandos por estación y réplica. Monitoreo Piloto Sur 322

Figura 103. Análisis de ordenación no paramétrica (NMDS) de las estaciones de muestreo. Factor Distancia al Centro Piloto Sur. 323

Figura 104. Taxa más importantes, en términos de frecuencia y porcentaje de contribución en la disimilitud observada entre las estaciones de muestreo. a) *Cirriformia nasuta,* b) *Cirratulus cirratus,* c) *Eranno chilensis*,d) *Aglaophamus peruana*,e) *Tindariopsis sulculata* f) Nassarius gayi y *N. coppingeri,* g) *Tawera gayi* y g) *Pinnnixa valdiviensis*. Fotografías (José Saavedra: d,e,f,g,h; www.macrofauna.cl:a,b,c). 326

Figura 105. Valores del estadístico W ´para las estaciones monitoreadas campaña Piloto Sur 331

Figura 106. Análisis de ordenación no paramétrica (NMDS) de las estaciones de muestreo. Factor Sector Piloto. 337

Figura 107. Análisis comparativo de la Riqueza (S) de las distancias entre sectores de monitoreo piloto. 340

Figura 108. Análisis comparativo de la Abundancia (N) de las distancias entre sectores de monitoreo piloto. 340

Figura 109. Análisis comparativo de la Uniformidad (J) de las distancias entre sectores de monitoreo piloto. 341

Figura 110. Análisis comparativo de la Diversidad (H') de las distancias entre sectores de monitoreo piloto. 341

Figura 111. Área de estudio. El recuadro negro detalla área prospectada en el archipiélago de Chiloé. Sector norte. 349

Figura 112. Área de estudio. El recuadro negro detalla el área prospectada en el archipiélago de Chiloé. Sector sur. 352

Figura 113. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E2. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Pradera y Matorral. 363

Figura 114. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E4. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Pradera y Matorral. 363

Figura 115. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E5. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Matorral Costero y Zona Rural. 364

Figura 116. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E6. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Matorral Costero y Zona Rural. 364

Figura 117. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E1. Intermareal: Detalle de litoral rocoso. Supramareal: Detalle de Pradera y Matorral. 365

Figura 118. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E3. Intermareal: Detalle de litoral rocoso. Supramareal: Detalle de Matorral Costero. 365

Figura 119. Litoral Marino, visto desde la transecta marítima implementada. 367

Figura 120. Panorámica de algunos sitios circunscritos dentro del Área de monitoreo General. Donde A, B, C, D: Playa Arena o Piedras (PA); E, F, G, H: Litoral Rocoso (LR); I, J, K, L: Litoral Marino (LM); M, N, O P: Zona Rural (ZR); Q, R, S, T: Matorral costero (MC); U, V, W, X: Pradera (P). 368

Figura 121. Abundancia y Riqueza total, estimada para las unidades de monitoreo costeras y marítimas. En azul: Unidades asignadas al centro piloto. En Verde: unidades asignadas al sector control. 373

Figura 122. Avistamientos (individuos por especie), registrados en el área de estudio. Sumatoria de todas las unidades de muestreo. En azul: Registros asociados al centro piloto. En Verde: registros asociados al sector control. 377

Figura 123. Abundancia total de órdenes taxonómicos, por unidad de muestreo. 378

Figura 124. Abundancia total de la avifauna por unidad de monitoreo y especies oportunistas vinculadas a la actividad acuícola según bibliografía. 379

Figura 125. Registro fotográfico de las especies más abundantes del área prospectada, donde: A: Fardela negra, B: Gaviota cáhuil, C: Gaviota dominicana, D: Pingüino de Magallanes, E: Quetru no volador, F: Cormoran Antártico. 380

Figura 126. Abundancia y Riqueza de especies por unidad muestreal. 381

Figura 127. Valores medios de Riqueza específica (S) y Diversidad de Shannon (H).Donde: A: Jornada Matutina (AM) y B: Jornada de Media tarde (PM). 384

Figura 128. Dendograma de Agregación respecto a las estaciones de monitoreo terrestres y transecta marítima, en función al índice de Bray-Curtis y a la abundancia por especie como atributo. 388

Figura 129. N-MDS de las estaciones de monitoreo terrestres y transecta marítima (TM), en función al índice de Bray-Curtis y a la abundancia por especie como atributo. 388

Figura 130. Curva aleatorizada de acumulación de especies (puntos) y función de Clench ajustada (línea); por unidad de monitoreo. Donde A: Transecta Marítima Sector Piloto; B: Estación E1; C: Estación E2; D:

Estación E3; E: Estación E4; F: Estación E5; G: Estación E6; H: Estación EC1; I: Estación EC2; J: Estación EC3; K: Transecta Marítima sector control. 390

Figura 131. Registro gráfico de mamíferos marinos registrados en el área de estudio, Donde: A: Delfín Chileno; B: Delfín Austral; C-D: Lobo Común. 394

Figura 132. Abundancia de las especies de mamíferos marinos registradas en el área de estudio, según metodologías y tipo de objetivos descritos. 395

Figura 133. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E2. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas y litoral rocoso (roqueríos). Supramareal: Detalle de Pradera y Matorral. 396

Figura 134. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E2. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas y Litoral Rocoso (Bolones). Supramareal: Detalle de Matorral costero. 397

Figura 135. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E3. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Matorral Costero y Zona Rural. 397

Figura 136. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E4. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Matorral Costero y Zona Rural. 398

Figura 137. Borde costero del área general de monitoreo, sector control. Estaciones EC1, EC2 y EC3. Intermareal: Detalle de playa de arena y Litoral rocoso (Bolones). Supramareal: Detalle de Matorral costero. 398

Figura 138. Litoral Marino, visto desde la transecta marítima implementada. Sector Sur. 400

Figura 139. Panorámica de algunos sitios circunscritos dentro del Área de monitoreo general. Donde A, B, C, D: Playa Arena o Piedras (PA); E, F, G, H: Litoral Rocoso (LR); I, J, K, L: Litoral Marino (LM); M, N, O P: Zona Rural (ZR); Q, R, S, T: Matorral costero (MC); N, O: Pradera (P). 401

Figura 140. Abundancia y Riqueza total, estimada para las unidades de monitoreo costeras y marítimas. En azul: Unidades asignadas al centro piloto Sur. En Verde: unidades asignadas al sector control Sur. 405

Figura 141. Avistamientos (individuos por especie), registrados en el área de estudio. Sumatoria de todas las unidades de muestreo. En azul: Registros asociados al centro piloto Sur. En Verde: registros asociados al sector control Sur. 406

Figura 142. Abundancia total de órdenes taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Sur. 409

Figura 143. Abundancia total de la avifauna por unidad de monitoreo y especies oportunistas vinculadas a la actividad acuícola según bibliografía. Sector Sur. 410

Figura 144. Registro gráfico de las especies más abundantes del área prospectada. Sector Sur. Donde: A-B: Cormorán Antártico, C: Gaviota dominicana, D: Fardela negra, E: Gaviota cáhuil, F: Gaviotín sudamericano. 412

Figura 145. Abundancia y Riqueza de especies por unidad muestreal, durante las fases de día. Sector sur archipiélago de Chiloé. 414

Figura 146. Valores medios de Riqueza específica (S) y Diversidad de Shannon (H). Donde: A: Jornada Matutina (AM) y B: Jornada de Media tarde (PM). Sector Sur. 417

Figura 147. Dendograma de Agregación respecto a las estaciones de monitoreo terrestres y transecta marítima, en función al índice de Bray-Curtis y a la abundancia por especie como atributo. Sector sur archipiélago de Chiloé. 418

Figura 148. N-MDS de las estaciones de monitoreo terrestres y transecta marítima (TM), en función al índice de Bray-Curtis y a la abundancia por especie como atributo. Sector sur archipiélago de Chiloé. 419

Figura 149. Curva aleatorizada de acumulación de especies (puntos) y función de Clench ajustada (línea); por unidad de monitoreo. Donde A: Estación E1; B: Estación E2; C: Estación E3; D: Estación E4; E: Estación EC1; F: Estación EC2; G: Estación EC3; H: Transecta Marítima sector Piloto, I: Transecta Marítima sector control. 420

Figura 150. Registro gráfico de mamíferos marinos registrados en el área de estudio, Donde: A-B-C: Delfín Austral; D: Lobo Común. 423

Figura 151. Abundancia de las especies de mamíferos marinos registradas en el área de estudio, según metodologías y tipo de objetivos descritos. Sector 424

Figura 152. Análisis de ordenación no paramétrica (NMDS) de las estaciones de muestreo avifauna. Factor Sector Piloto. TM: Transecta marina; C: Control, E: Estación en tierra. 429

Figura 153. Análisis cluster composición avifauna entre sectores y puntos de monitores. N: Sector Norte; S: Sector Sur; C: Estaciones control, NC: Estaciones asociadas al centro de cultivo, Mar: Transecta marina, Tierra, Punto en tierra. 430

Figura 154. Zonificación esquemática del área de influencia. 438

Figura 155. Esquema de distribución de ejes y estaciones de muestreo para ambiente submareal blando. 438

Figura 156. Esquema de distribución de estaciones de muestreo para comunidades de aves y mamíferos marinos. 441

Figura 157. Zona de estudio para la determinación del DAP para la disminución de los efectos del cultivo de salmón 479

Figura 158. Número y proporción de encuestados dispuestos y nodispuestos a pagar (Fuente: elaborado a partir resultados encuesta). 480

Figura 159. Distribución en base a uso de los encuestados no dispuesto a pagar 481

Figura 160. Justificación para no pago y usos declarados por aquellos encuestados no dispuestos a pagar 482

Figura 161. Distribución de respuestas válidas y no-válidas o protesta de los encuestados dispuestos a pagar. 484

Figura 162. Encuestas válidas e inválidas-protesta de la muestra considerada 485

Figura 163. Formas de pago declaradas por los encuestados. 485

Figura 164. Función de densidad de la probabilidad del DAP ($/mes) por rango de ingreso medio. Fuente: elaborado en base datos de la encuesta. 487

Figura 165. Función de densidad de la probabilidad del DAP ($/mes) por rango de escolaridad. Fuente: elaborada en base a resultados encuesta. 488

Figura 166. Especificación de funciones de oferta para DAP ($/mes-encuestado) para el ingreso medio declarado por los encuestados. 490

Figura 167. DAP ($/mes-encuestado) por rango de ingresos medios declarados, estimadas a partir de la función de oferta. 491

Figura 168. Procedimiento metodológico general para la propuesta de compensaciones. 492

Figura 169. Histograma de referencias por década y por grupo. Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica por grupo taxonómico. 494

Figura 170. Referencias utilizadas para la revisión bibliográfica, organizadas por tema.Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica por grupo taxonómico.....495

Figura 171. De esta forma se verá en su correo electrónico el mensaje. 659

Figura 172. Muestra opción de descarga de todos los documentos. 660

Figura 173. Muestra los documentos organizados en seis carpetas separadas por grandes taxa (seleccionar la carpeta de interés). 661

Figura 174. Muestra documentos organizados en carpetas según el área de interés del usuario. 662

Figura 175. Muestra la carpeta con los documentos ordenados alfabéticamente por autor. 663

Figura 176. Muestra la opción de descarga del documento. 664

Figura 177. Muestra pasos para acceder a Mendeley a través de un buscador de web. 667

Figura 178. Muestra encasillados para lograr acceso a la cuenta de usuario. 668

Figura 179. Muestra cómo acceder a nuestros documentos.....669

Figura 180. Muestra como agregar documentos a Mendeley. 670

Figura 181. Muestra cómo agregar documentos a Mendeley. 671

Índice de Tablas

Tabla 1. Encargados de recopilar antecedentes que reporten efectos de las actividades de acuicultura en grupos de flora y fauna marina y continental. 4

Tabla 2. Metodologías de Monitoreo consideradas de acuerdo a normas y procedimientos establecidos. 19

Tabla 3. Preguntas sobre DAP que permiten determinar respuestas válidas o no-válidas/protesta. Fuente: extraída y traducida de Pearce (2002). 28

Tabla 4. Superficie total por tipo de Área de interés y los responsables de su control. Las superficies se estimaron en base a información vectorial obtenida a partir de la Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Medio Ambiente (IDE- MMA). 52

Tabla 5. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por acuicultura de peces.....83

Tabla 6. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por acuicultura de bivalvos. 84

Tabla 7. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por la acuicultura de gasterópodos. 85

Tabla 8. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por la acuicultura de erizos de mar. 87

Tabla 9. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por la acuicultura de erizos de mar. 88

Tabla 10. Efectos de la Salmonicultura de aguas continentales en organismos del bentos 94

Tabla 11. Efectos de la salmonicultura marina en especies que componen la comunidad bentónica. 97

Tabla 12. Listado de valores de sensibilidad ($S_{0,05}$), calculados en base a Leonardsson *et al.* (2015), para los Taxa más representativos presentes en el Mar Interior de Chiloé. 140

Tabla 13. Listado de efectos propuesto para clasificar las interacciones entre la producción acuícola y la biodiversidad. 145

Tabla 14. Matriz de especies sobre las cuales se encontraron reportes de algún efecto de la actividad salmonicultora. 150

Tabla 15. Matriz de especies sobre las cuales se encontraron reportes de algún efecto de la actividad de salmonicultura continental. 154

Tabla 16. Matriz de especies sobre las cuales se encontraron reportes de algún efecto de la actividad de miticultura marina. 157

Tabla 17. Especies y grupos de especies indicadoras, propuestas para cada grupo. 185

Tabla 18. Jerarquización de especies y grupos de especies indicadoras, según criterios de sensibilidad, factibilidad y costo.....187

Tabla 19. Coordenadas de las unidades de monitoreo establecidas. Sector norte del Archipiélago de Chiloé. 202

Tabla 20. Coordenadas de las unidades de monitoreo establecidas. Sector sur del Archipiélago de Chiloé. 204

Tabla 21. Escala de índices de Abundancia Relativa (I.A.R). 206

Tabla 22. Abundancia cualitativa del fitoplancton. Donde MA: Muy abundante: A: Abundante: E: Escasa y R: Rara. 210

Tabla 23. Abundancia celular (cél /L) por taxa, en el estrato superficial y profundo; Abundancia total y riqueza específica en cada unidad de monitoreo.Sector archipiélago Chiloé norte. 212

Tabla 24. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo a nivel superficial. 220

Tabla 25. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo a nivel profundo (15m). 221

Tabla 26. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre las distancias al centro piloto Norte. 225

Tabla 27. Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia y D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros de distancia del centro piloto. Fondo 226

Tabla 28. Abundancia cualitativa del fitoplancton. Donde MA: Muy abundante: A: Abundante: E: Escasa y R: Rara. 228

Tabla 29. Abundancia celular (cél /L) por taxa, en el estrato superficial y profundo; Abundancia total y riqueza específica en cada unidad de monitoreo. 230

Tabla 30. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo a nivel superficial. 238

Tabla 31. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo a nivel profundo (15m). 239

Tabla 32. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validar diferencias significativas entre las distancias al centro piloto Sur. 243

Tabla 33. Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia y D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros de distancia del centro piloto. Fondo. 244

Tabla 34. Estaciones de muestreo columna de agua y fondo marino, monitoreo centro piloto sector Norte. 247

Tabla 35. Estaciones de muestreo columna de agua y fondo marino, monitoreo centro piloto sector Sur. 248

Tabla 36. Análisis físico-químico Sedimentos 251

Tabla 37. Análisis físico-químico Columna de Agua 252

Tabla 38. Categorías Diversidad de Shannon-Wiener (H′) 253

Tabla 39. Categorías Uniformidad de Pielou (J´) 253

Tabla 40. Categorías Riqueza (S) 253

Tabla 41. Escala de clasificación de impactos. Modificada de Buroz (1990). 258

Tabla 42. Criterios de evaluación y ponderaciónasignada 259

Tabla 43. Jerarquización de impactos según valor de VIA 260

Tabla 44. Valores de Salinidad (PSU), Temperatura (°C) y Oxígeno disuelto (mg/l) a 1 metro del fondo, monitoreo centro piloto Sector Norte. 261

Tabla 45. Porcentaje de materia orgánica total de los sedimentos correspondientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Norte. 263

Tabla 46. Valores de Potencial Redox de los sedimentos correspondientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Norte. 265

Tabla 47. Valores de pH de los sedimentos correspondientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Norte. 267

Tabla 48. Valores del diámetro de la partícula del sedimento correspondiente a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Norte. 269

Tabla 49. Resumen de los resultados de índices de diversidad por estación y réplica correspondiente. Monitoreo Piloto Norte.Tamiz 0,5 mm, Log base 2. 270

Tabla 50. Clasificación índicesecológicos por estación y replica. Monitoreo Piloto Norte. Tamiz 0,5 mm. 272

Tabla 51. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Control, campaña monitoreo piloto Sector Norte. Tamiz 0,5 mm. 279

Tabla 52. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Control, campaña monitoreo piloto Sector Norte.Tamiz 0,5 mm. 280

Tabla 53. Densidad (ind/0,1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Este, campaña monitoreo piloto Sector Norte.Tamiz 0,5 mm. 281

Tabla 54. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Suroeste, campaña monitoreo piloto Sector Norte.Tamiz 0,5 mm. 282

Tabla 55. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Noroeste, campaña monitoreo piloto Sector Norte.Tamiz 0,5 mm. 283

Tabla 56. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre estaciones de muestreo a lo largo del periodo de estudio.....288

Tabla 57. Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia y D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros de distancia del centro piloto.....289

Tabla 58. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a las distancias D4 (>1000 metros) y distancia D1 (<50 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.....290

Tabla 59. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D4 (>1000 metros) y distancia D2 (<200 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.....290

Tabla 60. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D4 (>1000 metros) y distancia D3 (<600 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.....291

Tabla 61. Valores estadístico W para cada réplica, estaciones pertenecientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Centro Piloto Norte. 293

Tabla 62. Tabla resumen resultados obtenidos a partir de las curvas ABC, estaciones ejes Este, Suroeste y Noroeste, asociado a las distancias al centro de cultivo. Monitoreo piloto Norte. Verde: Comunidades No alteradas; Amarillo: Comunidades Moderadamente alteradas; Rojo: Comunidades Alteradas. 294

Tabla 63. Tabla resumen resultados obtenidos a partir de las curvas ABC, estaciones Referencia y Control, asociado a las distancias al centro de cultivo. Monitoreo piloto Norte. Verde: Comunidades No alteradas; Amarillo: Comunidades Moderadamente alteradas; Rojo: Comunidades Alteradas. 294

Tabla 64. Resultado del Bio-Env mediante el coeficiente de correlación de Spearman (pw) 295

Tabla 65. Resultado del Bio-Env mediante el coeficiente de correlación de Spearman (pw). Combinación de 7 variables fisicoquímicas del sedimento y columna de agua. El primer valor en negrita indica la máxima correlación.....295

Tabla 66. Valores de Salinidad (PSU), Temperatura (°C) y Oxígeno disuelto (mg/l) a 1 metro del fondo, monitoreo centro piloto Sector Sur. 296

Tabla 67. Porcentaje de materia orgánica total de los sedimentos correspondientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur.....298

Tabla 68. Valores de Potencial Redox de los sedimentos correspondientes a los ejes Sureste, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur. 300

Tabla 69. Valores de pH de los sedimentos correspondientes a los ejes Sureste, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur. 302

Tabla 70. Valores del diámetro de la partícula del sedimento correspondiente a los ejes Sureste, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur. 304

Tabla 71. Resumen de los resultados de índices de diversidad por estación y réplica correspondiente. Monitoreo Piloto Sur. Tamiz 0,5 mm. 305

Tabla 72. Clasificación índicesecológicos por estación y replica. Monitoreo Piloto Sur. Tamiz 0,5 mm. 308

Tabla 73. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones de Referencia, campaña monitoreo piloto Sector Sur. 315

Tabla 74. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Control, campaña monitoreo piloto Sector Sur. 316

Tabla 75. Densidad (ind/0.1 m2) y biomasa húmeda (g/0,1 m2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Noroeste, campaña monitoreo piloto Sector Sur. 317

Tabla 76. Densidad (ind/0.1 m2) y biomasa húmeda (g/0,1 m2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Suroeste, campaña monitoreo piloto Sector Sur. 318

Tabla 77. Densidad (ind/0.1 m2) y biomasa húmeda (g/0,1 m2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Sureste, campaña monitoreo piloto Sector Sur. 319

Tabla 78. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre estaciones de muestreo a lo largo del periodo de estudio. 324

Tabla 79. Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia, D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros y D5 >13000 de distancia del centro piloto. 325

Tabla 80. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D5 (>13000 metros) y distancia D1 (<50 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio. 326

Tabla 81. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D5 (>13000 metros) y distancia D2 (<200 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio. 327

Tabla 82. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D5 (>13000 metros) y distancia D3 (<600 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio. 328

Tabla 83. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D5 (>13000 metros) y distancia D4 (>1000 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio. 329

Tabla 84. Valores estadísticos W para cada réplica para las estaciones pertenecientes a los ejes Sureste, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur.....332

Tabla 85. Tabla resumen resultados obtenidos a partir de las curvas ABC, estaciones ejes Sureste, Suroeste y Noroeste, asociado a las distancias al centro de cultivo. Monitoreo piloto Norte. Verde: Comunidades No alteradas; Amarillo: Comunidades Moderadamente alteradas; Rojo: Comunidades Alteradas. 333

Tabla 86. Tabla resumen resultados obtenidos a partir de las curvas ABC, estaciones Referencia y Control, asociado a las distancias al centro de cultivo. Monitoreo piloto Sur. Verde: Comunidades No alteradas; Amarillo: Comunidades Moderadamente alteradas; Rojo: Comunidades Alteradas. 334

Tabla 87. Resultado del Bio-Env mediante el coeficiente de correlación de Spearman (pw). 335

Tabla 88. Resultado del Bio-Env mediante el coeficiente de correlación de Spearman (pw). Combinación de 7 variables fisicoquímicas del sedimento y columna de agua. El primer valor en negrita indica la máxima correlación.....336

Tabla 89. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre estaciones de muestreo a lo largo del periodo de estudio.....338

Tabla 90 Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia, D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros y D5 >13000 de distancia del centro piloto.....339

Tabla 91. Valoración de criterios para la determinación del Valor de Impacto Ambiental en el sector piloto norte (Centro Imelev). 343

Tabla 92. Determinación de VIA para el centro piloto norte (centro Imelev) 344

Tabla 93. Jerarquización de impactos.....344

Tabla 94. Valoración de criterios para la determinación del Valor de Impacto Ambiental en el sector piloto sur (Centro Chaullin). 345

Tabla 95. Determinación de VIA para el centro piloto sur (centro Chaullin).....346

Tabla 96. Estaciones de monitoreo establecidas.Sector norte del Archipiélago de Chiloé. 351

Tabla 97. Estaciones de monitoreo establecidas.Sector sur del Archipiélago de Chiloé. 353

Tabla 98. Listado de especies de aves registradas en el área total de estudio y con detalle del usos de biotopos por especie. Dónde: ZR: Zona Urbana; P: Pradera; PA: Playa de arena y Piedras; LR: Litoral rocoso; MC: Matorral costero; LM: Litoral Marino. 370

Tabla 99. Abundancia promedio, desviación estándar y riqueza específica en cada unidad de monitoreo. Donde X: Abundancia Media, S: Desviación Estándar. 374

Tabla 100. Abundancia Total (N) por unidad muestral y abundancia relativa de especies relevantes (%), entendidas estas últimas como especies que

manifestaron cambios visibles en abundancia en estaciones cercanas al centro acuícola. 380

Tabla 101. Abundancia y Riqueza de especies por unidad muestreal, durante las fases de día. 382

Tabla 102. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo. 385

Tabla 103. Abundancia (N) e Índices de Uniformidad de Pielou (J') y Dominancia de Simpson (D); Tomando en consideración la sumatoria de las especies que manifestaron cambios visibles en abundancia en estaciones cercanas al centro acuícola como un único ítems en el cálculo de cada indicador, para las diferentes unidades de muestreo. 386

Tabla 104. Coeficientes de determinación R2, constantes (a y b), derivada de esta función (d') y proporción de fauna registrada sobre la teórica; para las diferentes unidades de muestreo. 391

Tabla 105. Registro de especies y ejemplares de mamíferos marinos en el área de estudio, con detalle del uso de biotopo. Dónde: LM: Litoral Marino; B: Estructuras flotantes asociadas a un centro de cultivo de salmón (Boya). 394

Tabla 106. Listado de especies de aves registradas en el área total de estudio y con detalle del usos de biotopos por especie. Sector Sur. Dónde: ZR: Zona Urbana; P: Pradera; PA: Playa de arena y Piedras; LR: Litoral rocoso; MC: Matorral costero; LM: Litoral Marino. 403

Tabla 107. Abundancia promedio, desviación estándar y riqueza específica en cada unidad de monitoreo. Sector Sur. Donde X: Abundancia Media, S: Desviación Estándar. 407

Tabla 108. Abundancia Total (N) por unidad muestral y abundancia relativa de especies relevantes (%), entendidas estas últimas como especies que manifestaron cambios visibles en abundancia en estaciones cercanas al centro acuícola. 411

Tabla 109. Abundancia y Riqueza de especies por unidad muestreal, durante las fases de día. Sector sur archipiélago de Chiloé. 413

Tabla 110. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo. Sector Sur. 416

Tabla 111. Coeficientes de determinación R2, constantes (a y b), derivada de esta función (d') y proporción de fauna registrada sobre la teórica; para las diferentes unidades de muestreo. Sector sur archipiélago de Chiloé. 421

Tabla 112. Registro de especies y ejemplares de mamíferos marinos en el área de estudio, con detalle del uso de biotopo. LM: Litoral Marino sector sur del archipiélago de Chiloé. 422

Tabla 113. Listado de especies registradas y su estado de conservación (sectores monitoreados en la zona norte y sur del archipiélago de Chiloé). 425

Tabla 114. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre sectores de muestreo piloto. 430

Tabla 115. Límites de Aceptabilidad condición aeróbica (Res Ex. 3612/2009) 433

Tabla 116. Escala de clasificación de impactos. Modificada de Buroz (1990). 451

Tabla 117. Criterios de evaluación y ponderaciónasignada 452

Tabla 118. Jerarquización de impactos según valor de VIA 453

Tabla 119. Relaciones entre condición ambiental-ecológica y periodicidad de muestreo. 454

Tabla 120. Valorización del protocolo de monitoreo de las componentes de aves y mamíferos marinos 455

Tabla 121. Valorización del protocolo de monitoreo de las componentes del bentos. 456

Tabla 122 Análisis FODA aplicado al protocolo de monitoreo bentónico. 457

Tabla 123. Evaluación de propuesta de medidas de mitigación y compensación de los efectos de la acuicultura. Clave: A: Alto, M: Medio y B: Bajo. Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica. 476

Tabla 124 Tipos de usos declarados por los encuestados dispuestos a pagar. 480

Tabla 125. Justificación de no pago para encuestados no dispuestos a pagar. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las encuestas. 482

Tabla 126. Aspectos favorables de la salmonicultura de acuerdo a los encuestados. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las encuestas. 483

Tabla 127. Aspectos desfavorables de la salmonicultura declarados por los encuestados. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las encuestas. 483

Tabla 128. Profesiones u oficios de los encuestados sin relación con la salmonicultura. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las encuestas. 484

Tabla 129. Resultados de la estimación de la media y la mediana del DAP ($/mes) de la muestra. Fuente: Elaboración propia. 486

Tabla 130. Mediana de DAP ($/mes-encuestado) estimados por histograma y mediante estimador de Kaplan-Meier, por rango de ingreso medio declarado por el encuestado 488

Tabla 131. Tabla comparativa de otros pagos por servicios ambientales similares. 543

Índice de Anexos

ANEXO 1. Informe de Actividades de Terreno.....647
ANEXO 2. Personal Participante por Actividad.....649
ANEXO 3. Cumplimiento calendario de actividades.....653
ANEXO 4. Manual de usuario dropbox.....656
ANEXO 5. Manual de usuario Mendeley.....665
ANEXO6. Encuesta para extracción de valor.....672
ANEXO7. Listado de taxa con valores de sensibilidad.....683
ANEXO8. Presentaciones taller Difusión resultados finales(Anexo digital).....685
ANEXO 9. Listado de asistencia Taller de difusión resultados finales.....686

1. ANTECEDENTES

La acuicultura en Chile ha crecido enormemente durante las últimas décadas, registrándose para el año 1990 cosechas de 71.000 toneladas para el total de los centros de cultivo en el país, y llegando a sobrepasar el millón de toneladas el año 2012 (SERNAPESCA 2013). Esto ha significado que Chile fue, para el año 2012, el 8° mayor productor de recursos acuícolas a nivel mundial y el 1° a nivel continental (FAO 2014).

Actualmente Chile presenta cosechas de 19 especies desde centros de cultivo, sin embargo son sólo 5 las que concentran el 98,8% en cuanto a toneladas respecta, aportando las especies salmonídeas en un 73,9%, mitílidos en un 24,3% y el pelillo en un 1,2% con respecto al total. Del total de cosechas, el 96% de estas han sido derivadas desde centros de cultivo establecidos en las regiones de Los Lagos y Aysén (SERNAPESCA 2013).

La acuicultura chilena se ha desarrollado principalmente en 2 macrozonas: la macrozona norte, comprendiendo las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo, en donde los principales recursos, en cuanto a biomasa cosechada, son el pelillo (*Gracilaria chilensis*) y el ostión del norte (*Argopecten purpuratus*). Esta zona se caracteriza por la presencia de cultivos establecidos en zonas protegidas a vientos u oleaje, generalmente bahías. Por otro lado, la macrozona sur, que abarca las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, tiene como principales recursos a representantes de salmonídeos, mitílidos y el pelillo. En esta zona los cultivos se han instalado en sistemas de fiordos y bahías, áreas que finalmente han protegido las actividades de acuicultura de la influencia del océano, propiciando el desarrollo de las mismas (González *et al.* 2013).

El rápido crecimiento de la acuicultura en Chile, y la focalización de esta en el sur de Chile, principalmente la Región de Los Lagos, ha evidenciado la falta de regulación y requerimientos ambientales en la actividad, lo que en el año 2007 derivó en la crisis del virus ISA (Niklitschek *et al.* 2013).

Los numerosos efectos negativos sobre los ecosistemas intervenidos, se han generado a través de 3 procesos generales: la utilización de recursos, el proceso de transformación y desarrollo del producto final (Buschmann 2001, Figueroa & Calfucura 2008). Dentro de los numerosos efectos generados, está la extracción masiva de organismos usados como alimento en la acuicultura, principalmente peces para generar aceite y harina (Figueroa & Calfucura 2008). Por otro lado, está la contaminación de ambientes producto de

alimentos no consumidos y desechos generados por parte de los recursos cultivados, alterando tanto los sedimentos como la columna de agua (Soto & Norambuena 2004, Buschmann *et al.* 2006). A esto último también se suma el uso excesivo de antibióticos, cantidades las cuales han superado con creces el nivel empleado en otros países (Ríos 2004). También se ha reportado el escape de ejemplares de especies introducidas desde los centros de cultivo, pudiendo alterar la estructura de la comunidad, a través interacciones tróficas, generación de nichos ecológicos y competencia por hábitat con especies nativas, así como transmisión de patógenos (Sepúlveda & Oliva 2005, Sepúlveda *et al.* 2013, Vilata *et al.* 2010).

Si bien han sido registrados variados efectos, producto de la acuicultura, sobre algas y organismos invertebrados (Buschmann *et al.* 1996), en especies vertebradas sólo se han evidenciado interacciones sobre peces y lobos marinos (Arismendi *et al.* 2009, Sepúlveda & Oliva 2005, Sepúlveda *et al.* 2013, Vilata *et al.* 2010), sin embargo, existen antecedentes en otros países sobre efectos en aves (Carrs 1994, Rueggenberg & Booth 1989).

Considerando el aumento progresivo de centros de cultivo y el espacio utilizado por estos en las últimas décadas en Chile (González *et al.* 2013) y tal como lo han indicado diversos investigadores (Buschmann *et al.* 1996, Buschmann *et al.* 2006, Sepúlveda *et al.* 2013), existe la necesidad de estudiar el impacto de la acuicultura en todo el espectro de especies acuáticas, incluyendo aves y mamíferos marinos, así como de realizar futuras investigaciones que consideren un enfoque ecosistémico al evaluar el impacto de la acuicultura en Chile sobre la diversidad biológica.

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar y analizar los diversos grupos de flora y fauna acuática que potencialmente serían afectados, directa o indirectamente por las actividades de acuicultura.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.1. Realizar una recopilación de antecedentes de los diversos grupos de flora y fauna marina y continental que reporten efectos producto de las actividades de acuicultura, como también, de aquellos sectores considerados "sensibles" desde el punto de vista de la biodiversidad.

3.2. Determinar grupos o especies de flora y fauna marina y continental que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura.

3.3. Analizar y evaluar la información recopilada en cuanto a los impactos, efectos directos e indirectos, que determinan una alteración de las diferentes especies que conforman la biota acuática.

3.4. Proponer un Plan de Monitoreo y seguimiento de los grupos o especies considerados como sensibles, en virtud de los definido en los objetivos específicos 1, 2 y 3. Además definir un protocolo para el levantamiento de información, el cual deberá ser validado (componentes propuestos) en terreno. Finalmente, se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos antes señalados.

3.5. Proponer medidas de mitigación, reparación y/o compensación de los posibles impactos que produzca la acuicultura en la biodiversidad acuática del entorno donde se desarrolla. Además se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos específicos 1,2 y3.

4. METODOLOGÍA

4.1. Objetivo específico 3.1.

Realizar una recopilación de antecedentes de los diversos grupos de flora y fauna marina y continental que reporten efectos producto de las actividades de acuicultura, como también, de aquellos sectores considerados "sensibles" desde el punto de vista de la biodiversidad.

Para dar cumplimiento al objetivo, se realiza una recopilación de documentos que contengan antecedentes respecto de los efectos generados por actividades de acuicultura sobre diversos grupos de flora y fauna, tanto marina como continental, poniendo especial consideración en aquellos sectores considerados sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad y considerando también efectos de la acuicultura que eventualmente se podrían estar generando en especies protegidas, según la categoría existente en el Reglamento de Clasificación de Especies Silvestre (RCE) Noveno Proceso Finalizado (DS N° 13/2013).

Como estrategia organizacional para abordar esta tarea, se establecen áreas de trabajo por grupos de flora y fauna para la búsqueda y el análisis de la información, donde cada área cuenta con al menos un profesional especialista[1], apoyado en algunos casos por profesionales para la sistematización y análisis de la información (**Tabla 1**).

Tabla 1. Encargados de recopilar antecedentes que reporten efectos de las actividades de acuicultura en grupos de flora y fauna marina y continental.

Área	Especialista	Apoyo base de datos
Efecto de la acuicultura en especies y/o comunidades planctónicas	Sergio Avaria	David Cassis, Mauricio Valenzuela
Efecto de la acuicultura en especies y/o agrupaciones de macroalgas	Alonso Vega	David Gutiérrez

[1]Profesional especialista: Profesional con experiencia en el análisis de efectos de interacciones antrópicas con grupos taxonómicos específicos o amplio conocimiento de un grupo taxonómico específico.

Efectos de la acuicultura en especies y/o comunidades ícticas	Mathías Hüne	
Efectos de la acuicultura en especies y/o comunidades de aves	Luis Cabezas	
Efectos de la acuicultura en especies y/o comunidades de mamíferos marinos	Maritza Sepúlveda	María José Pérez
Efectos de la acuicultura en especies y/o comunidades bentónicas	Pedro Báez Sergio Letelier	Andrea Rebolledo Alejandra Fabres

Las fuentes de información que se utilizan para llevar a cabo la labor de recopilación, son las siguientes:

1.- Información existente en los diversos organismos públicos competentes, proyectos de investigación y proyectos privados que consideren el levantamiento de información ambiental:

- Estudios y declaraciones de Impacto Ambiental
- Caracterizaciones Preliminares de Sitio para la acuicultura (CPS)
- Información Ambiental de centros de acuicultura (INFA)
- Cruceros CIMAR- Fiordos
- Estudios técnicos realizados en el área, tanto por organismos públicos como privados
- Tesis de pre y post grado
- Proyectos de investigación (CONICYT, FIP, FNDR, FFPA, DIRECTEMAR,SHOA, entre otros)
- Registro de bancos naturales proveniente del Listado de Áreas de Extracción del Programa de Moluscos Bivalvos (PSMB)

2.- Información existente en revistas de corriente principal:

El equipo encargado de la recopilación de antecedentes, revisa la información disponible en bibliotecas nacionales y en distintas bases de datos web, accediendo a bibliotecas y catálogos virtuales de información como BEIC, ISI Web of Science, EBSCO, Scielo, Google Scholar, Library Of Congress, Scirus y redes científicas, entre otras.

Una vez identificada la información disponible, se procedea recopilar las referencias desde sus respectivas bases de datos mediante el uso de un gestor bibliográfico que permita almacenar y organizar con palabras claves, autores, títulos, años, entre otros aspectos, con el fin de homogeneizar las citas, importar, exportar, y generar de manera automática listas de documentos y bibliografías. Además, esta base de información es respaldada para poner a disposición a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, considerando documentos completos en el caso de artículos de acceso abierto

y la cita con su respectivo resumen en el caso de artículos sujetos a membresía.

Finalmente, con el fin de contar con datos respecto a la ubicación de los sitios más relevantes para la conservación de la biodiversidad, se considera la sistematización geográfica de toda la información que se encuentra disponible al respecto en la Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio del Medio Ambiente, que considera:

- Áreas que se encuentran reconocidas dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE)
- Áreas Protegidas de Propiedad Privada
- Áreas de Manejo y Extracción de Recursos Bentónicos
- Reservas y Parques Marinos
- Reservas de la Biosfera
- Santuarios de la Naturaleza
- Sitios Ramsar
- Sitios Prioritarios de las Estrategias de Biodiversidad

Además, se elabora una cartografía de las concesiones acuícolas otorgadas en el territorio nacional, identificando en cada una de ellas las especies cultivadas, a partir de información solicitada a la SUBPESCA.

La cartografía de centros de cultivo se superpone a las capas de información construidas para describir la distribución de especies y áreas de interés para la biodiversidad, pudiendo destacarse a partir de esta superposición, algunos patrones de interacción que permitan ser abordados en la realización de los próximos objetivos.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

4.2. Objetivo específico 3.2.

Determinar grupos o especies de flora y fauna marina y continental que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura.

Propuesta de especies sensibles y/o ecosistemas vulnerables

En base a la recopilación, sistematización y análisis de información, ejecutada para el objetivo 3.1., cada especialista (por grupo de flora y fauna) elabora un documento que contendrá un listado de las especies sensibles, áreas y ecosistemas vulnerables. En el caso de la flora y/o fauna sésil o de escaso movimiento se tienen en cuenta aspectos tales como área de distribución, ciclos de vida, tasas de crecimiento, de manera de poder identificar su hábitat o biotopo en el cual se desarrollan estas especies, poblaciones y/o comunidades. Dicho documento contiene al menos los siguientes aspectos:

- Antecedentes: Revisión bibliográfica de la literatura disponible en el contexto nacional e internacional en torno a los efectos de la acuicultura sobre la flora y fauna, con énfasis en las regiones dónde se desarrolla mayormente esta actividad productiva en nuestro país.

- Identificación de los efectos existentes y potenciales de la acuicultura: se describirán los efectos sobre el grupo en cuestión, diferenciando ambientes marinos, estuarinos y dulceacuícolas y si dichas actividades se desarrollan en el norte, centro o sur del país, separando por tipo de recurso cultivado.

- Síntesis y propuesta de especies sensibles y/o ecosistemas vulnerables: en base a los puntos anteriores se pretende contar con un listado preliminar de especies grupos o especies de flora y fauna marina y continental que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura.

- Referencias: listado que permitirá la identificación de las publicaciones de los documentos científicos y/o informes técnicos que acreditan lo señalado en el documento.

Taller con especialistas

Se realiza un taller con los especialistas que tiene por objetivo validar la propuesta de especies y/o ecosistemas que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura. Para esto, en base al documento preparado, cada especialista realiza una presentación, donde expone los hallazgos de la revisión al resto de los expertos con el fin de obtener retroalimentación de sus pares, de manera de darle un enfoque ecosistémico al análisis.

Para visualizar en un contexto geográfico las interacciones de acuicultura, se realiza una cartografía participativa con el objeto de identificar zonas de interacción, zonas claves y/o vulnerables, áreas geográficas de intereses especiales, entre otros. Además, en dicha cartografía se identifican rangos de hábitat, rutas de tránsito, zonas de descanso, alimentación, reproducción, migración, entre otros.Para estos efectos, se utiliza la carta base confeccionada en el objetivo 3.1 que contiene información de los centros de cultivos autorizados y de los sitios relevantes para la conservación de la biodiversidad.

Al taller se convocaron a todos los expertos de la presente propuesta y a representantes de instituciones interesadas (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Ministerio del Medio Ambiente y Servicio de Evaluación Ambiental).

Análisis de la información contenida en Caracterizaciones Preliminares de Sitio (CPS) e Informes Ambientales de la Acuicultura (INFA)

En base a la gran cantidad de información que se almacena a partir de las CPS e INFAs, se realizó una sistematización para caracterizar la condición ecológica de la macrofauna bentónica asociada a los cultivos de salmones y mitílidos ubicados en los barrios salmoneros donde se aplicó el monitoreo piloto. Esta tarea se llevó a cabo mediante la implementación del Índice de Calidad Bentónica (Benthic Quality Index- BQI) a nivel de familia (Dimitriou et al. 2012), que permite evaluar el estado ecológico de las muestras observadas en cada estación de muestreo.

El BQI, se basa en el paradigma propuesto por Pearson & Rosenberg (1976, 1978), que describe como los cambios de composición de la fauna se relacionan, tanto en el tiempo como en el espacio, con el incremento o decremento de la perturbación antrópica. El modelo propone la existencia de

cambios sucesivos en el número de especies, el número de individuos y la biomasa de estos, respecto de la perturbación en el eje x (**Figura 1**).

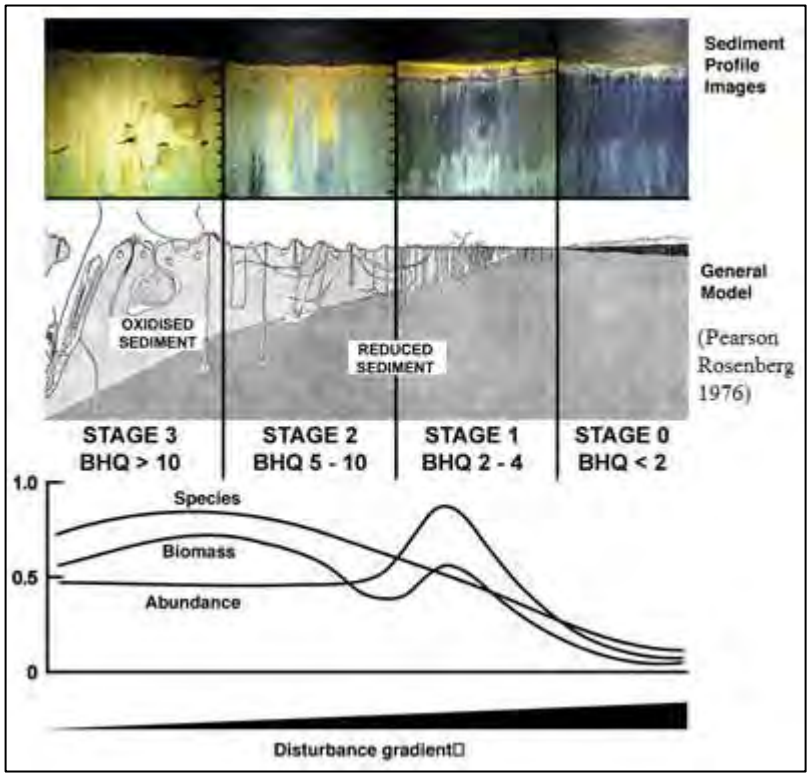


Figura 1. Ejemplo de cambios en el número de especies, abundancia y biomasa en función de un gradiente de perturbación. Fuente: Nilsson & Rosemberg (2000).

El paradigma de Pearson-Rosenberg, se ha transformado en una plataforma conceptual para el desarrollo de índices en distintos países de la Comunidad Europea, orientados a la evaluación de la condición ecológica de acuerdo a lo delineado por la EU Water Framework Directive. A partir de esta idea se ha desarrollado el BQI, que corresponde a una clasificación objetiva en razón de sensibilidad y tolerancia de diferentes especies de la macrofauna bentónica a perturbaciones antrópicas, principalmente originadas por la producción acuícola.

A partir de la base de datos CPS e INFA, fue posible elaborar una tabla de grupos taxonómicos (a nivel de familia) y un valor de tolerancia a la acción modificadora de la producción acuícola. En su construcción, se consideraronsolamente los centros de categoría 3, ya que estos en sí mismos seleccionan centros con producciones extensivas superiores a 1000 ton/año y

producciones intensivas sobre 50 ton /año en profundidades menores a 60 m y sustrato blando. Se debió aplicar un filtro por el tipo de draga utilizada, ya que a pesar de que la normativa indica el uso de una draga de 0,1 m^2, es posible observar en la base de datos el uso de otras área de mascado de draga.

Cabe hacer hincapié en que la tabla de valores de sensibilidad, se calculó para una resolución taxonómica de familia (**BQI-familia)**, que es calculado de la misma manera, pero con menor resolución taxonómica que es lo que ofrece la base de datos actuales de CPSs e INFAs. Dimitriou *et al.* (2012), ha aplicado exitosamente esta metodología a nivel taxonómico de familia, disminuyendo los tiempos y costos de análisis, siendo además validada la suficiencia taxonómica del indicador (Dimitriou *et al*. 2012).

La estimación del BQI siguió la modificación propuesta por Leonardsson *et al*. (2015; 2016) como se muestra a continuación:

$$BQI_{2015} = \sum_{i=1}^{S_{classified}} \left(\frac{N_t}{N_{classified}} * Sensitivity\,value_t \right) * log_{10}(S+1)$$

Donde:

- Sensitivity value $_t$ = valor de sensibilidad de taxón t ($S_{0,05}$)
- $N_{classified}$ = número total de individuos de taxa con valor de sensibilidad
- N_t = número de individuos de taxon t en la muestra
- $S_{classified}$ = número total de taxa con valor de sensibilidad
- i = número de taxa
- S = número total de taxa en muestra (riqueza de muestra)

Por otro lado, el valor de sensibilidad ($S_{0,05}$) calculado para cada familia, se realizó según Dimitriou *et al.* (2012) y Leonardsson *et al.* (2016). El procedimiento fue el siguiente:

- Hacer una tabla con el número de familias y el número de individuos de la familia t, en donde cada fila corresponde a una sola muestra en la que la familia t está presente.
- Ordenar la tabla en orden ascendente por el número de familias.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

- Para cada fila, se divide el número de individuos de la familia t con la suma de todos los números de individuos de la familia t y se multiplica por 100.

- Acumular estos valores calculados a partir de la parte superior a la parte inferior y localizar la muestra (fila) que mantiene el percentil 5, es decir, la primera ocasión (fila) en la que el valor calculado es igual o superior 5.

- El valor de sensibilidad es entonces el mismo que el número de familias que se encuentran en esa muestra (fila).

Como resultado se obtiene una tabla de sensibilidad de familias a la perturbación originada de la actividad acuícola. Una vez obtenido el valor del índice para cada estación, se realizauna distribución de frecuencias entre el número de estaciones y el valor de BQI del universo que consideró el análisis y se divide en 5 clases, cada una de las cuales indica un estado ecológico diferenciado de la macrofauna bentónica.

A partir de los resultados se sistematizó la información mediante el uso del Sistema de Información Geográfica de código abierto Quantum GIS 2.10 (QGIS DevelopmentTeam, 2014), a fin de construir una capa del estado ecológico de las comunidades macrobentónicas de la zona de interés, que en este caso fueron las áreas de manejo sanitario donde se implementaron los monitoreos piloto.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

4.3. Objetivo específico 3.3.

Analizar y evaluar la información recopilada en cuanto a los impactos, efectos directos e indirectos, que determinan una alteración de las diferentes especies que conforman la biota acuática.

Las actividades de acuicultura tienden a generar impactos a distintos niveles en el medio, por ejemplo, se podría entender como un efecto directo la utilización de especies del medio natural como alimentación e indirecto la perturbación de organismos producto del aporte de nutrientes y materia orgánica al ecosistema proveniente de los restos de alimento y las heces de las especies cultivadas, pero además, también pueden existir efectos potenciales que podría gatillarse bajo ciertas condiciones, de modo que las relaciones causales de los efectos de la acuicultura no siempre pueden ser tan claras en sistemas complejos como el ambiente, dado que la perturbación de un componente del medio puede desencadenar una serie de perturbaciones posteriores.

Entendiendo lo anterior, la listas de los efectos reportados por la actividad acuícola y que fueron previamente propuestas por cada uno de los especialistas para cada zona, ambiente y tipo de recurso cultivado, son sometidos a un análisis basado en un modelo conceptual de dinámica de sistemas, identificando la importancia de las variables, los tipos de relaciones causales entre ellas y los bucles de retroalimentación. El concepto de bucle es muy útil porque nos permite partir desde la estructura del sistema que analizamos y llegar hasta su comportamiento dinámico. Si un sistema oscila persistentemente, se halla en equilibrio o decae con rapidez, podemos identificar las razones estructurales y decidir cómo poder modificar los bucles causales que lo alteran y a su vez seleccionar variables que sean altamente influenciadas por el resto de variables, para utilizarlas en este caso, como variables que reciben el mayor impacto y sobre el cual es de interés encontrar especies indicadoras que permitan mensurarlo.

Dado que los insumos referentes a esta información provienen de resultados de diversos estudios disponibles en la literatura, muchos de los cuales tienen, así mismo, diversos objetivos y metodologías, se hace improbable realizar análisis o tratamientos de forma directa que puedan establecer métrica y objetivamente en qué medida son afectados los sistemas.

Para enfrentar esta complejidad, sin excluir información arbitrariamente, se plantea utilizar una herramienta que permite abordar el problema desde una perspectiva que considera tanto la data cualitativa como cuantitativa analizada

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

por los especialistas. La metodología que se aplica para lograr este cometido consiste en la realización de un trabajo participativo con los expertos, denominado Dinámica Causal (Chevalier& Buckles, 2007), donde se agrupan los efectos de acuerdo al tipo de cultivo, zona y ambiente. Posteriormente y de acuerdo a los conocimientos de los asistentes se establecela relación que existe entre pares de variables, es decir entre los efectos provocados por la actividad de acuicultura. Cada una de las relaciones se realiza considerando si la existencia de la variable A genera una influencia en la Variable B, la asignación de valor a esta relación podrá ser nula, baja, media o alta, para lo cual se asignó un valor de 0, 1, 2 y 3 respectivamente.

Con los resultados se construye una matriz de análisis estructural de impactos cruzados, donde se define a la estructura como una realidad que es estudiada como un sistema cuyos elementos guardan relaciones de interdependencia (Mojica, 1991).

El análisis se realiza con base en dos aspectos que son la **influencia** y la **dependencia** entre variables, las cuales son clasificadas y de la sumatoria se obtiene un indicador de análisis y la ubicación de la variable en el sistema, dando como resultado la visualización de variables que pueden ser más susceptibles a los efectos de la acuicultura o más independientes de estos efectos.

A partir de la matriz se efectúan análisis gráficos mediante el uso del Software MICMAC, que permite elaborar planos de influencia-dependencia, los cuales proporcionan el grado de relación que existe entre las variables, pudiendo identificar efectos claves, que por el hecho de existir,generan un fuerte impacto en el resto del sistema y por otro lado se podrían identificar efectos que si bien no producen un mayor impacto en el sistema, son altamente influenciados en forma directa por la acuicultura y/o en forma indirecta por los efectos desencadenantes que esta genera.

Posteriormente se realiza un análisis de los niveles de influencia que ejerce la actividad de acuicultura sobre la biodiversidad, para determinar cómo podrían afectar las variables que reciben los efectos directos de la acuicultura en el resto del sistema, utilizando un diagrama de causalidad que permite evidenciar estos grados de influencia.

Como derivación de estos análisis se obtendrán dos resultados concretos: 1.-Identificación de efectos que por existir generan una alta repercusión en el ambiente y 2.-Identificación de efectos que son potenciados por el efecto directo de la acuicultura y por la existencia de otros efectos producidos por esta. La identificación de estos últimos, es utilizado para centrar la búsqueda de especies donde esté documentado que recibe dicho efecto.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Complementariamente, se construye un mapa conceptual basándose en una dinámica de evaluación ex post (Walker, 2008), con el fin de visualizar esquemáticamente, como en la medida en que el proceso productivo genera los resultados o efectos esperados de la producción (divisas, alimento, trabajo e investigación, entre otros), pueden generarse también los resultados o efectos adversos que pueden terminar impactando negativamente a la biodiversidad.

A partir de la información de la revisión bibliográfica se construyó el diagrama considerando los siguientes conceptos:

Entrada: Corresponden a todas las materias primas, componentes y energía necesarias para desarrollar el producto.

Proceso: Es el conjunto de actividades orientadas a la transformación de los recursos o factores productivos (entradas) en bienes y/o servicios.

Producto: Son los elementos esperados por la ejecución del proceso, tanto en volumen como en calidad, pero también corresponden a los elementos no esperados que son generados durante esta fase.

Resultado: Es el alcance de los cambios previstos respecto de la situación original, estos son los elementos motivantes de la realización del proceso. A su vez, existen resultados no previstos que surgen en el proceso productivo.

Impacto: Son los beneficios netos que se buscan con la producción, estos son, por lo general, consistentes con la misión y los objetivos de los gestores del proyecto (producción acuícola). A su vez son también los perjuicios derivados de resultados no esperados.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

4.4. Objetivo específico 3.4.

Proponer un Plan de Monitoreo y seguimiento de los grupos o especies considerados como sensibles, en virtud de los definido en los objetivos específicos 1, 2 y 3. Además definir un protocolo para el levantamiento de información, el cual deberá ser validado (componentes propuestos) en terreno. Finalmente, se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos antes señalados.

Jerarquización de grupos o especies indicadoras

Para diseñar un plan de monitoreo es necesario definir indicadores ecológicos y/o especies sucedáneas (Isasi, 2011). Un indicador es un elemento, proceso o propiedad de un ecosistema a través del cual se puede estudiar y/o cuantificar, de manera precisa y sencilla, los elementos y el funcionamiento del mismo (Noss, 1990; Dale y Beyeler, 2001; Carignan y Villard, 2002; Balmford *et al.,*2005; Rodrigues y Brooks, 2007). Inicialmente los indicadores, principalmente plantas y animales, fueron utilizados para asociar organismos a zonas de vida particulares (Carignan y Villard, 2002). Posteriormente, el concepto fue cambiando, aplicándose más comúnmente como estimadores de los cambios ambientales y ecológicos (Dale y Beyeler, 2001; Niemi y McDonald, 2004). Por tanto, los indicadores ecológicos se convirtieron en herramientas para el estudio y monitorización de objetivos de conservación como la biodiversidad, la integridad ecológica, o la salud de un ecosistema, conceptos ampliamente debatidos, principalmente debido a la falta de precisión y claridad en sus definiciones (Simberloff, 1998; Carignan y Villard, 2002).

Las especies indicadoras son aquellas que por sus características (sensibilidad a perturbación o contaminantes, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser utilizadas como estimadoras de los atributos o estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente (Caro y O´Doherty, 1999; Fleishman *et al.,* 2001). De esto se desprende que el indicador ecológico y/o las especies sucedáneas deben poseer ciertas características específicas como por ejemplo una clara sensibilidad al efecto antrópico que se desea monitorear, factibilidad técnica de evaluación y bajo costo de análisis para asegurar un plan de monitoreo permanente del mismo, entre otros atributos.

En relación a lo anterior se realiza un taller participativo con el grupo de especialistas y los profesionales designados por la contraparte técnica. Esto

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

con el fin de jerarquizar especies o grupos de especies respecto de atributos específicos que se considere deban tener los indicadores del efecto de la actividad acuícola.

Para realizar esta tarea, se diseña una metodología de análisis multicriterio, la cual permite abordar procesos de toma de decisiones de forma grupal, donde además intervienen múltiples criterios de decisión.

La herramienta de trabajo utilizada será el denominado Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) (Saaty, 1994). El AHP es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos componentes o variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y finalmente los sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad. Este método está basado en el principio de que la experiencia y el conocimiento de los actores son tan importantes como los datos utilizados en el proceso.

En términos concretos el proceso consiste en definir en base a los antecedentes recopilados y a la experiencia de los asistentes, los criterios que se deben tener en consideración al momento de seleccionar un indicador. Por ejemplo: costo de monitorear, relación documentada de efectos de la acuicultura sobre él, fácil de monitorear, entre otros.Y a partir de estos criterios evaluar la totalidad de las especies para jerarquizarlas en función de estos.

Las etapas del método son las siguientes:

(1) Descomponer el problema de decisión en una jerarquía de elementos interrelacionados, identificando: a) Meta general (selección de indicadores de monitoreo), b) Criterios i = 1,2,…m (criterios para la selección de indicadores) y c) Alternativas posibles (listado especies)

Nota: Para cada uno de los "m" criterios se deben repetir las etapas 2 a 5.

(2) Desarrollar la matriz de comparación por pares (MCP) de alternativas para cada uno de los criterios, estableciendo el rating de importancia relativa entre ambas alternativas consideradas.
El rating se establece a partir de la escala siguiente:

1=igualmente preferida
3=moderadamente preferida
5=fuertemente preferida
7=muy fuertemente preferida
9=extremadamente preferida

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Pueden asignarse también los valores intermedios 2,4,6,8si se considera intermedio a los descritos. Un rating recíproco (ej 1/9, 1/7, 1/5) se aplica cuando la segunda alternativa es preferida a la primera. El valor 1 es siempre asignado a la comparación de una alternativa con sí misma.

(3) Desarrollar la matriz normalizada (MCN) dividiendo cada número de una columna de la matriz de comparación por pares por la suma total de la columna.
(4) Desarrollar el vector de prioridad para el criterio calculando el promedio de cada fila de la matriz normalizada. Este promedio por fila representa el vector de prioridad de la alternativa con respecto al criterio considerado.
(5) La consistencia de las opiniones utilizadas en la matriz de comparación por pares puede ser determinada a través del cociente de consistencia (RC). Un RC inferior a 0,1 es considerado aceptable. Para aquellos casos en que CR > 0,10, las opiniones y juicios deberán ser reconsiderados.
(6) Luego de que la secuencia 2-3-4-5 ha sido ejecutada para todos los criterios, los resultados obtenidos en 4, son resumidos en una matriz de prioridad (MP), listando las alternativas por fila y los criterios por columna.
(7) Desarrollar una matriz de comparación de criterios por pares de manera similar a lo que se hizo para las alternativas en 2-3-4.
(8) Desarrollar un vector de prioridad global multiplicando el vector de prioridad de los criterios (7) por la matriz de prioridad de las alternativas (6)

Una vez establecidas las especies indicadoras, cada especialista cuya especie haya sido seleccionada, diseña un plan de monitoreo y seguimiento de los grupos o especies considerados como sensibles y que además cumplan con ciertas características de indicador, de acuerdo al trabajo descrito previamente.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Desarrollo y ejecución de plan de monitoreo piloto

En virtud a lo definido en los objetivos específicos 1, 2 y3, se propone un Plan de Monitoreo y Seguimiento de los grupos o especies considerados sensibles en relación a las actividades de salmocuicultura, considerando el análisis realizado previamente.

Para la realización de los estudios en terreno, se seleccionan de acuerdo a los resultados de los talleres de especialistas, dos áreas marinas con distintos niveles de interacción y sus respectivos sectores control, estas áreas se sitúan próximas a áreas identificadas como sensibles y/o que registrenen el entorno especies sobre las cuales se han identificado cambios por efecto de la actividad acuícola. Para esto se determina su área de influencia y luego se seleccionan los elementos (especiesy/o grupos de especies) para levantar la información de terreno de acuerdo al protocolo de monitoreo propuesto. Debido a que gran parte de las actividades de acuicultura se concentran en la zona sur austral del país y a que la salmonicultura se presenta como la principal actividad acuicultora, en términos de biomasa e importancia socioeconómica, se recomienda aplicar el plan de monitoreo piloto en esta zona.El protocolo definido es estructurado en base a las especies o grupo de especies de estudio.

Uno de los objetivos de estos muestreos será determinar el área de influencia más probable del sector a monitorear, junto con la caracterización de un elemento (especie o grupo de especies) de interés (Marino y/o dulceacuícola) que potencialmente podría(n) ser impactados, todo esto nos permitirá determinar la extensión y alcance de los efectos de las actividades de acuicultura, un insumo importante para este punto será la información contenida en las CPS e INFA de centros de acuicultura en operación, las cuales nos permitirán cuantificar la superficie de agua y fondo posible de ser afectada por actividades de acuicultura (Objetivo 1. Revisión bibliográfica).

Este protocolo considerará todos aquellos elementos necesarios para la caracterización de las especies catalogadas como sensibles, entre ellos:

- Frecuencia mínima de monitoreo
- Estacionalidad
- Distancias mínimas requeridas para el levantamiento de información (indicando si se requiera definir transectas, estaciones, puntos de monitoreo)
- Horario de trabajo en terreno
- Toma de muestras (indicando protocolos de terreno y laboratorio para la obtención de resultados)
- Indicar Análisis estadísticos

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

La selección de especies y sitios para El Plan de Monitoreo y Seguimiento es elaborado por los especialistas en las jornadas de taller definidas en la carta Gantt (Objetivo 2 y 3), mientras que el Protocolo es diseñado posteriormente considerando lo indicado en la normativa nacional y métodos estándar internacionales de análisis (**Tabla 2**).

Tabla 2. Metodologías de Monitoreo consideradas de acuerdo a normas y procedimientos establecidos.

Grupo	Metodología
Plancton	Normas Técnicas Sernapesca PSMB (Actualmente Manual de Inocuidad)
Macrófitas	Standard Methods SM 10400/2011
Macroinvertebrados bentónicos	Res.Ex. 3612/2009.Subpesca. Que fija las metodologías para elaboración de CPS e INFA.
Peces	Standard Methods SM 10600/2011
Identificación de organismos acuáticos	Standard Methods SM 10900/2011
	Res.Ex. 3612/2009.Subpesca. Que fija las metodologías para elaboración de CPS e INFA.
Aves	Imberti 2005
Mamíferos marinos	Imberti 2005
Aguas	NCh 411/6 of 98. Muestreo aguas de río
	NCh 411/9 of 98. Muestreo agua de mar

En conjunto con la elaboración de los protocolos de muestreo, en los talleres de especialistas indicados en la carta Gantt, se analizan las potenciales áreas de influencia de la actividad acuícola (Metodología SIG), asociadas a:

- Solicitudes de concesión en trámite.
- Concesiones individuales
- Agrupaciones de concesiones o barrios

Esta información permitir una buena caracterización de las posibles áreas de impacto que podrían afectar a la biota acuática del entorno, según lo entregado como insumo del objetivo específico 1, valorizando su cercanía a:

- Áreas que se encuentran reconocidas dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE),
- Áreas Protegidas de Propiedad Privada
- Áreas de Manejo y Extracción de Recursos Bentónicos,
- Reservas y Parques Marinos
- Reservas de la Biosfera
- Santuarios de la Naturaleza
- Sitios Ramsar
- Sitios Prioritarios de las Estrategias de Biodiversidad

Como resultado de este objetivo también se logra establecer el equipamiento e instrumental necesario para la realización del levantamiento de información en terreno, junto con la información bibliográfica y expertiz mínima con la que deberán contar los profesionales que realizarán estos estudios.

Además se incorporará información de los centros que se encuentren en el área de estudio, indicando información sobre

- Especies de cultivo
- Número de jaulas o líneas
- Ubicación geográfica
- Producción de los centros

En resumen como resultados esperados de esta metodología se espera poder contar con un Plan de monitoreo y seguimiento de la biodiversidad acuática identificada como sensible y áreas sensibles producto de las diferentes actividades de acuicultura. Así como, con protocolos para el levantamiento de información en terreno.

4.5. Objetivo específico 3.5.

Proponer medidas de mitigación, reparación y/o compensación de los posibles impactos que produzca la acuicultura en la biodiversidad acuática del entorno donde se desarrolla. Además se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos específicos 1,2 y 3.

4.5.1. Recopilación de medidas de mitigación, reparación y compensación utilizadas en la actualidad.

De acuerdo al Reglamento del Sistema de Evaluación de ImpactoAmbiental, un Plan de Medidas de Mitigación, Reparación yCompensación es el que describirá y justificará las medidas quese adoptarán para eliminar, minimizar, reparar, restaurar ocompensar los efectos ambientales adversos del proyecto determinado. En base a la información de las medidas implementadas en la actualidad por los titulares de las concesiones de acuicultura comprometidas en las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) o Estudios de Impacto Ambiental (EIA) ingresadas al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) se identificarán y describirán estos mecanismos y analizarán si han sido pertinentes para las especies indicadas como sensibles.

4.5.2. Elaboración de propuesta de medidas de mitigación, reparación y compensación

En base a los antecedentes previos y a la revisión bibliográfica se propondrán diferentes medidas de mitigación, reparación y compensación para los impactos provocados por las actividades de acuicultura sobre la biodiversidad a fin de evitar o disminuir, restaurar los impactos negativos generados por la actividad acuícola. Para esto se evaluará y analizará cada mecanismo en cuanto a:

- Efectividad.
- Costo.
- Factibilidad de implementación.

4.5.3. Elaboración de propuesta de reparación y compensación

Para tener un primer acercamiento a los costos de reparación y compensación de los impactos de la acuicultura en la biodiversidad acuática se aplicó la metodología para la estimación del valor de un bien ambiental en base a valoración contingente, como una aproximación a la estimación de los montos de compensación por los daños generados.

Desde la perspectiva de la economía ambiental y de recursos naturales (Hartwik y Olewiler 1998, Pearce y Tuner 1990, Reveret *et al.* 1990, Tietemberg y Lewis 2009, entre otros) el valor o monto de las compensaciones debiese ser igual a la pérdida de valor o bienestar social producto de los impactos generados por una actividad económica, en este caso la salmonicultura en particular.

En este contexto, el concepto de Valor Económico Total (VET) permite determinar adecuadamente el conjunto de valores que las personas asocian al ecosistema y/o recursos bajo estudio. Así, se contrastaron los resultados del objetivo específico 3.3, identificando los impactos generados por la actividad bajo análisis y sus efectos directos e indirectos sobre la biota acuática (sección 5.3.2 de este documento), con los componentes de valor del VET.

Dado que los componentes del VET a considerar se refieren a aquellos relacionados a Valores de No-Uso y a Valores de Uso Indirecto producto del cumplimiento de servicios ambientales o ecosistémicos, el método de valoración más directo de aplicar corresponde al Método de Valoración Contingente (MVC). Al no existir mercados para los componentes de valor antes mencionados, el MVC corresponde a un método de valoración directa basado en técnicas de preferencias declaradas, en el cual las estimaciones se basan en la información proporcionada directamente por las personas (Dickson, 2008; Reveret *et al.*, 1990 y Riera, 1994; entre otros).

Azqueta (1994), indica que el MVC permite obtener información acerca de la disponibilidad a pagar de las personas para evitar la generación de un cambio negativo en algún suministro ambiental o acerca de la disponibilidad de las personas a aceptar compensación una vez ocurrido el cambio negativo en dicho suministro ambiental. El instrumento normal para el levantamiento de este tipo de información corresponde a las encuestas, donde el desafío estriba en la separación clara de los componentes de valor a ser valorados, así como de las respuestas estratégicas, producto de intereses personales de algunos de los entrevistados o respondientes. El propósito de la encuesta consiste en

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

crear una situación de mercado hipotético en la que el encuestado se enfrenta a: (i) la posibilidad de pagar o no una cantidad de dinero unitaria por mantener una cantidad determinada de un bien o servicio ambiental y/o recurso natural y (ii) la posibilidad de aceptar o no una cantidad de dinero unitaria por ceder o haber perdido una cantidad determinada del mismo bien o servicio ambiental y/o recurso natural.

Así, por tanto el objetivo del método es medir en términos pecuniarios, los cambios en el nivel de bienestar de las personas debido a un incremento o disminución, de la cantidad o calidad de un bien o servicio ambiental y/o un recurso.

Esta medida, en unidades monetarias, suele expresarse en términos de la cantidad máxima que una persona estaría dispuesta a pagar o a aceptar por un bien o servicio ambiental y/o recurso natural, conocidas como la "Disponibilidad a Pagar" (DAP) y "Disponibilidad a Aceptar" (DAA) (Azqueta, 1994; Baumol y Oates, 1988, FAO 2000 y Riera, 1994). Uno de los principales problemas con el uso de la "Disponibilidad a Aceptar" compensación como instrumento para determinar el valor que las personas asignan a un bien o servicio ambiental y/o un recurso natural es que esta medida tiende a sobrevalorar el resultado final buscado, ya que las personas tienden a maximizar sus respuestas si se trata de compensaciones a recibir (Azqueta, 1994 y, Baumol y Oates, 1989, entre otros). En el caso de la DAP, el efecto es a subvalorar ya que las personas tienden a minimizar sus pagos. En este trabajo, hemos preferido aproximarnos por debajo al valor a estimar, escogiendo por tanto la opción de la DAP. Si bien existen maneras de corregir estas desviaciones, estas requieren de mucha información, que no está disponible en el marco de este proyecto y por ende, se está dispuesto a obtener estimaciones que sean una subvaloración de los montos reales a compensar. En este sentido, es necesario recalcar que el objetivo final de este acápite es proponer un método que permita calcular un monto de compensación por los efectos de la acuicultura sobre la biodiversidad en un lugar determinado.

Estructura de valoración contingente

A continuación, la **Figura 2**, presenta un esquema en cual se indican los distintos pasos del proceso de valoración y se explica en que consiste cada una de ellas.

Figura 2. Estructura encuesta valoración

a) Investigación inicial

Los resultados de la investigación inicial (sección 5.3.2 de este documento) permitieron identificar impactos negativos de la salmonicultura sobre el ambiente.No obstante, frente a la imposibilidad de mensurar o proporcionar una aproximación confiable de la magnitud de estos impactos por insuficiencia de información, se optó por utilizar las estimaciones propuestas por Folk *et al.* 1998, respecto del concepto de huella ecológica asociada a la producción de salmones. Se propone esta alternativa porque el concepto relaciona la existencia de todos los impactos identificados, pero bajo una misma definición.

A partir de esta base teórica, se siguió con el procedimiento de acuerdo a las etapas descritas a continuación.

b) Elección del método de encuesta y técnica de valoración

El método elegido para el levantamiento de información fue la encuesta presencial o cara a cara, con una muestra de la población local de residentes del área de influencia de los efectos de la salmonicultura. La encuesta realizada apuntó a la medición de la máxima disponibilidad a pagar por el bien ambiental y los servicios en cuestión.

c) Elección de la población

La población escogida en el área de influencia fue aquella asociada al canal Dalcahue en la comuna de Curaco de Vélez, contemplando sólo a la población activa. La muestra considerada fue asociada específicamente a la comunidad de Curaco de Vélez y parte de la ciudad de Dalcahue, ambas aledañas al canal.

Con el propósito de contar con una muestra aleatoria simple representativa, pero que a la vez fuese económicamente viable para el proyecto, se calcularon tres tamaños posibles de muestra en base a intervalos de confianza del 99%, 95% y 90% respectivamente, para una población finita.

Los tamaños de muestra así determinados fueron de 195, 161 y 137 encuestados respectivamente. Decidiendo finalmente por un tamaño de muestra para un intervalo de confianza de 90%, con un total de 137 encuestados, permitiendo balancear representatividad con costo-efectividad en el levantamiento de datos.

La proyección de habitantes de la comuna de Curaco de Vélez para el 2015 fue de 4.167 personas[2], lo que implica un total aproximado de 833 hogares si se consideran 5 personas por hogar e implica que se muestreó aproximadamente el 16,4% del total de hogares.

d) Diseño del cuestionario

El diseño de la encuesta siguió lo propuesto por Pearce (2002) e implica que este instrumento se compone de cinco (5) etapas a considerar:

- Propósito, a manera explicativa del objetivo de la encuesta y del contexto que se da.
- Preguntas actitudinales, que permiten identificar la actitud de los encuestados frente al bien o servicio ambiental valorado.

[2] http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Curaco_de_Vélez

- Uso del bien, permite determinar la relación de uso entre el encuestado y el bien o servicio ambiental.
- Escenario, esta etapa permite describir en términos concretos la problemática en cuestión y establecer el nivel de impacto presente, el cambio que busca obtener y para el cual se busca determinar la DAP.

    - Vehículo de pago, se refiere a la forma hipotética de pago por el bien.
    - Preguntas para extraer el valor, se aplicó el método mixto para extraer este valor que en esencia nos permite extraer el máximo DAP para cada persona.
    - Preguntas de seguimiento, aplicadas a quienes no están dispuestos a pagar con el objeto de dilucidar el porqué de ello.

- Características socioeconómicas, que nos permiten comprobar si las respuestas y la DAP expresada corresponden a un comportamiento económicamente viable.

e) Prueba del cuestionario

Se probó el cuestionario, primero entre el equipo de encuestadores y después con la población objetivo durante una porción del primer día de encuestas la zona, con lo cual se hicieron ajustes finales entre investigadores y encuestadores.

f) Llevar a cabo la encuesta

Esta encuesta fue aplicada por 4 encuestadores durante 4 días en 112 horas efectivas y un tiempo de encuesta promedio de 35 minutos.

g) Análisis econométrico

El procedimiento para el procesamiento y análisis econométrico de la data, con el objeto de calcular el DAP, se realizó de acuerdo a Pearce (2002), lo que implica ocho pasos o etapas a seguir de acuerdo lo mostrado en **Figura 3**.

Figura 3. Procedimiento para el análisis de la información el cálculo de la DAP. Fuente: elaborado en base a Pearce, 2002.

• Resumen de la Data

Una vez recibidas las encuestas, estas se ordenaron, revisaron y la data fue digitalizada en una base de datos Excel. La revisión implicó la aclaración de algunos puntos en las anotaciones de los encuestadores e incluso se llegó a verificar la información con algunos de los encuestados telefónicamente.

• Identificación de los encuestados no-válidos o respuesta protesta

Siguiendo a Pearce (2002) se consideran encuestados no válidos o respuestas de protesta a aquellos que muestran una o más de las siguientes características en sus respuestas:

- Aquellos que se niegan a responder a las preguntas de valoración.
- Los que no proporcionan su verdadera disposición a pagar. pero responden con un valor cero.
- Los que no proporcionan su verdadera disposición a pagar, pero responden con un valor poco realista.

Para la identificación de lo anterior se utilizaron las preguntas o razones presentadas a continuación:

Tabla 3. Preguntas sobre DAP que permiten determinar respuestas válidas o no-válidas/protesta. Fuente: extraída y traducida de Pearce (2002).

Posible razones para no tener disponibilidad de pago	Validas	Protesta
La familia no puede permitirse el pago	☑	
El cambio es muy pequeño para ser importante	☑	
Pensamos que este problema no es prioritario	☑	
Podríamos estar satisfechos con la situación futura	☑	
No estoy/estamos muy interesados en esta problemática	☑	
No vivo cerca del lugar en cuestión	☑	
Hay muchos otros bienes públicos / servicios ambientales en las proximidades	☑	
El gasto debiese hacerse en todas las áreas no sólo ésta.		☒
Objeto pagar por el ambiente		☒
Todos debieran pagar por esto, no sólo la gente local		☒
El gobierno debiese pagar por esto		☒
Los privados debiesen pagar por esto		☒
Necesito más tiempo e información para responder esto		☒
Posibles razones para la disponibilidad a pagar		
Yo/nosotros pensamos que este problema es importante	☑	
Yo/nosotros quisiéramos evitar mayor deterioro del área	☑	
Yo/nosotros estamos interesados en esta área para propósitos recreacionales	☑	
Yo/nosotros quisiéramos usar el área en el futuro, a pesar de que ahora no lo usamos	☑	
Debiéramos proteger el ambiente del área en cuestión por las plantas y animales asociados	☑	
Debiéramos proteger el ambiente del área en cuestión para las generaciones futuras	☑	
Debiéramos proteger el ambiente del área en cuestión para el beneficio/bienestar de otras personas	☑	
Yo/nosotros obtenemos por donar para causas justas o buenas ("warm glow")		☒
Yo/nosotros no necesariamente tenemos que pagar un monto extra		☒
Mi/nuestra respuestas reflejan mi/nuestras visiones sobre la necesidad de preservar todas las áreas, no sólo ésta.		☒

• Elección de los Pesos Analíticos

En este trabajo se utilizó una muestra aleatoria simple para la definición de los pesos analíticos, de tal forma que cada miembro de la población tiene igual probabilidad de estar en la muestra, por lo cual se le asigna igual importancia en el análisis.

• Determinación de los límites admisibles de la DAP

Para asegurar que las respuestas obtenidas a partir de la encuesta de valoración contingente diseñada, sean consistentes con la teoría de la economía del bienestar, este formulario debe haber sido diseñado de tal manera que permita responder de forma positiva las siguientes preguntas (Pearce, 2002):

- En el escenario descrito en la encuesta, ¿se presenta o no al encuestado la prospección de un aumento o disminución del suministro del bien de no mercado o del bien o servicio ambiental?
- ¿Logra el cuestionario obtener o sonsacar con las preguntas de valoración, el valor de la DAP?

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

- ¿Logra el cuestionario determinar la frecuencia escogida de pago hipotético por parte del encuestado?
- ¿Tiene sentido para el encuestado el tener valores negativos de DAP?

Para ello la encuesta incorporó la identificación de rangos de ingresos del encuestado(a) de tal forma de identificar un límite al rango superior del DAP en base a el porcentaje que este máximo DAP representa del rango de ingresos declarados.

• Estimación de la media y mediana para el modelo econométrico

El objetivo del análisis de la encuesta de valoración contingente es obtener dos medidas estadísticas del DAP declarado, la media y la mediana. En donde la media de la DAP se refiere simplemente al promedio de las DAP obtenidas en la muestra, en cambio, la mediana es el valor de la DAP que divide la muestra en dos. Esto es, aquel valor para el cual hay un 50% de observaciones de la muestra por debajo del mismo y otro 50% de observaciones de la muestra por sobre el mismo.

Con la data obtenida para DAP se probaron tres modelos de distribución de probabilidades, primero dos modelos paramétricos, uno para una distribución de probabilidad beta y otro para una distribución de probabilidad normal y un tercero no-paramétrico. El tercer modelo no-paramétrico dio mejor ajuste en la media y mediana estimadas.

A partir de la distribución de probabilidades no-paramétrica, siguiendo a Pearce (2002) se aplicó el estimador de Kaplan-Meier para data continua como la levantada por la encuesta, para la determinación de la media y la mediana del DAP declarado por los encuestados. Para ello se utilizó el software estadístico SPSS versión 19.

• Calculo de los intervalos de confianza

La aplicación del software SPSS para el cálculo de la media y mediana del DAP, mediante el estimador de Kaplan-Meier entrega automáticamente la construcción de un intervalo de confianza al 95% de estos estimados, con lo cual permite detectar fácilmente que la media y mediana estimadas en base a la muestra son representativas de la población.

El enfoque adoptado en este caso es un enfoque numérico para el cálculo del intervalo de confianza a construir.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

• Prueba para la estructura de la DAP en los encuestados

En la segunda parte del análisis de los datos de la encuesta se estableció la validez de las respuestas de la DAP, identificando patrones distinguibles en base a un conjunto de atributos de los encuestados en la muestra. Las variables escogidas para representar estos atributos fueron:

- El ingreso medio del encuestado(a), expresado en rangos de valores, de tal de no ser intrusivo.
- Los años de escolaridad del encuestado(a)
- Los años de residencia del encuestado(a) en la zona de análisis
- La edad del encuestado(a)
- El género del encuestado(a)

Para cada una de estas variables se construyó una distribución de probabilidades de la DAP en base a un histograma de acuerdo a rangos posibles de cada variable. Una vez analizada la dependencia de la DAP en relación a cada variable, se determinó si esta es consistente o no con la teoría económica del bienestar. A partir de este análisis determinó que tanto el ingreso medio y los años de escolaridad muestran comportamientos consistentes, por lo cual con estas dos variables se procedió a la estimación de una función de oferta o de disponibilidad a pagar.

• Especificación de la función de oferta o disponibilidad a pagar

Para la estimación de la función de oferta es importante tener en cuenta que la relación entre la DAP de un encuestado(a) y la variable o atributo considerado puede ser positiva o negativa. Adicionalmente, la estimación de la función de oferta busca definir si existe relación estadísticamente significativa entre la variable atributo del encuestado(a) y la DAP entregada por el mismo.

Para lo anterior, se aplicó el modelo de función de oferta de manera específica y directa, considerando que el ingreso y otras variables son asumidos como influenciables en la medida de la DAP del encuestado.

i) Agregación de los resultados y notificación

Finalmente, se presentó la función de la DAP para un cambio en el nivel de provisión del bien o servicio ambiental estimado en base a los resultados de la encuesta.

Es esta función lo que se utiliza para la determinación de los posibles valores unitarios y totales de compensación, requeridos.

5. RESULTADOS

5.1. Objetivo específico 3.1.

Realizar una recopilación de antecedentes de los diversos grupos de flora y fauna marina y continental que reporten efectos producto de las actividades de acuicultura, como también, de aquellos sectores considerados "sensibles" desde el punto de vista de la biodiversidad

5.1.1. Bibliografía sobre efectos reportados en grupos de la flora y fauna marina por acción de la actividad acuícola

5.1.1.1. Bibliografía sobre los efectos reportados en las especies que componen el plancton, por acción de la actividad acuícola

Se analizaron 128 publicaciones para recabar información acerca de los efectos de la actividad acuícola en la biodiversidad de las especies que componen el plancton. De estas, 6 referencias corresponden a libros o capítulos de libros (5 %); 79 a revistas científicas (79 %) y 21 a otro tipo de publicaciones (16 %) (**Figura 4**).

Considerando la literatura consultada, la producción de escritos tiene un aumento progresivo que se inicia en el período de 1960-1970 y tiene su máximo en el decenio que va entre el 2001 y 2010. Dentro de las publicaciones consultadas, el 66 % corresponde a literatura internacional, mientras que el 34 % corresponden al estudio de casos nacionales (**Figura 5**).

Figura 4. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en el plancton.

De los tópicos analizados en la bibliografía, 52 estudios abordan la biodiversidad como tal, independiente de la actividad acuícola (41 %), 71 trabajos relacionan las especies del medio natural con alguna actividad acuícola (55 %), ya sea analizando los efectos que la biodiversidad genera en la actividad, o contrariamente, como la actividad acuícola genera efectos sobre la biodiversidad, y finalmente 5 artículos corresponden a otros estudios que se utilizan como apoyo a la revisión (**Figura 6**).

De los estudios de biodiversidad propiamente tal, el 48 % corresponden a estudios bio-oceanográficos, el 37 % a estudios ecológicos y el 15 % restante, aborda las amenazas que algunas especies que integran el plancton puedan generar en la sanidad humana (**Figura 6**).

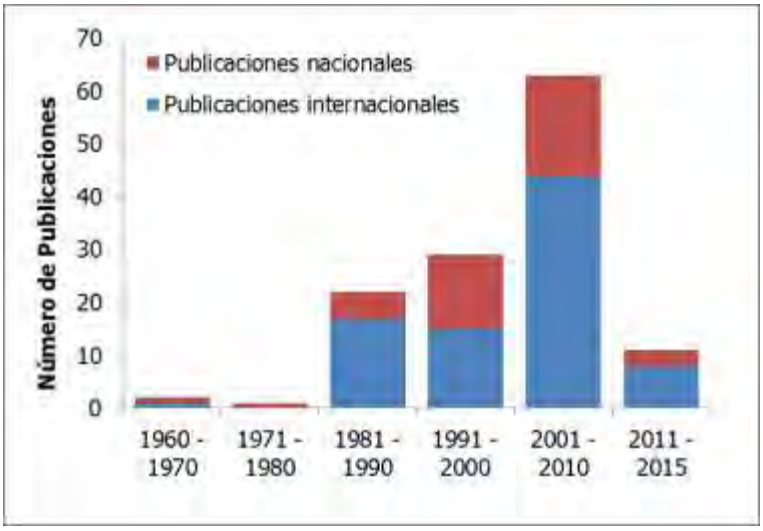


Figura 5. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en el plancton.

Respecto de las referencias que abordan la relación entre las especies del medio y la actividad acuícola, se encontró que el 34 % de estas se relacionaba a la mitilicultura, el 31 % a la salmonicultura, el 34 % a otros cultivos y un 1 % correspondió a estudios generales que abordaban la temática en términos genéricos (**Figura 6**).

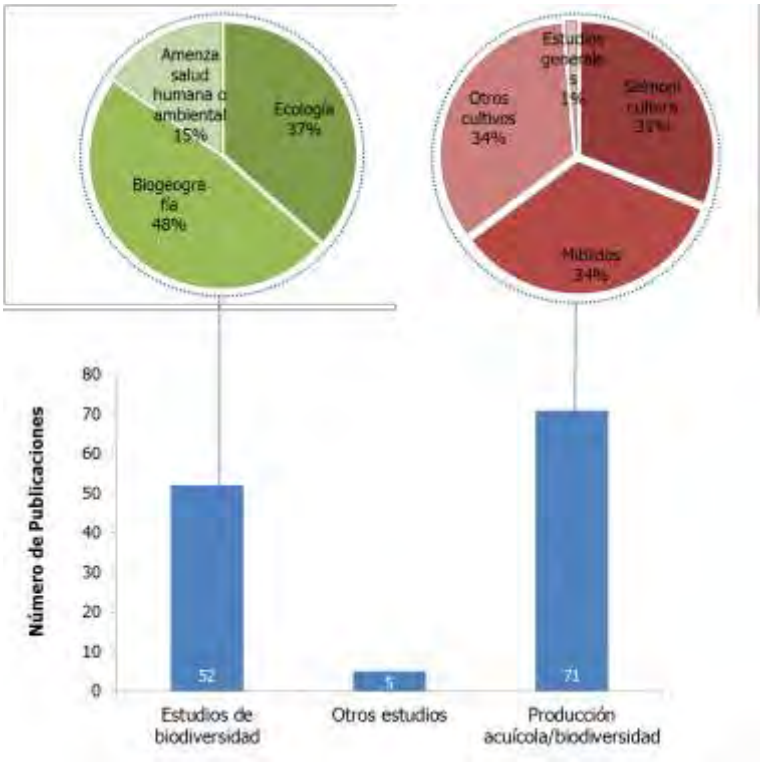


Figura 6. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en el plancton.

5.1.1.2. Bibliografía sobre los efectos reportados en las especies que integran el grupo de las macroalgas, por acción de la actividad acuícola.

Se analizaron 75 publicaciones para recabar información acerca de los efectos de la actividad acuícola en la biodiversidad de las especies que integran el grupo de las macroalgas. De estas, 7 referencias corresponden a libros o capítulos de libros (9 %); 64 a revistas científicas (79 %) y 4 a otro tipo de publicaciones como reportes, libros de congresos y tesis (16 %)(**Figura 7**).

Considerando la literatura consultada, la producción de escritos tiene un aumento progresivo que se inicia en el decenio 1980 – 1990 y tiene su máximo entre los años 2001 y 2010. Dentro de las publicaciones consultadas, el 48 % corresponde a literatura internacional, mientras que el 52 % corresponden al estudio de casos nacionales (**Figura 8**).

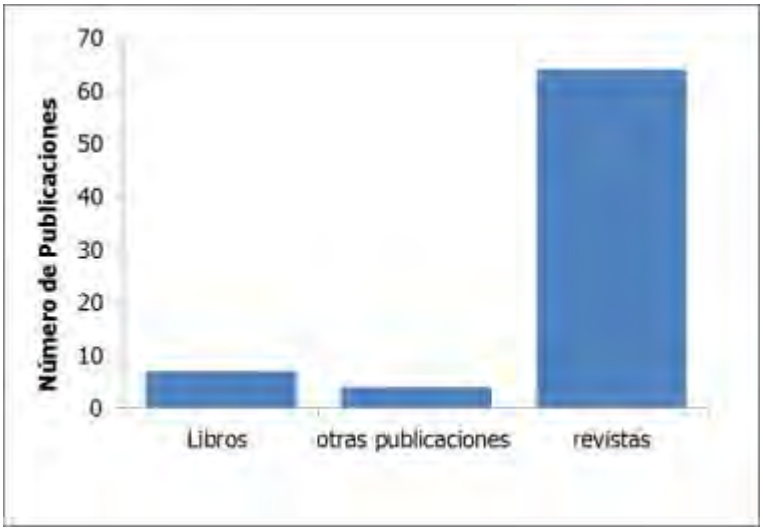


Figura 7. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en el grupo que integran las macroalgas.

De los tópicos analizados en la bibliografía, 36 estudios abordan la biodiversidad como tal, independiente de la actividad acuícola (48 %), 36 trabajos relacionan las especies del medio natural con alguna actividad acuícola (48 %), ya sea analizando los efectos que la biodiversidad genera en la actividad, o contrariamente, como la actividad acuícola genera efectos sobre la biodiversidad, y finalmente 3 artículos corresponden a otros estudios que se utilizan como apoyo a la revisión(**Figura 9**).

De los estudios de biodiversidad propiamente tal, el 43 % corresponden a estudios bio-oceanográficos, el 49 % a estudios ecológicos y el 8 % restante, aborda las amenazas que algunas especies que integran el grupo de las macroalgas puedan generar en el ambiente, como la colonización de especies exóticas (**Figura 9**).

Figura 8. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que integran el grupo de las macroalgas.

Respecto de las referencias que abordan la relación entre las especies del medio y la actividad acuícola, se encontró que el 17 % de estas se relacionaba a la salmonicultura, el 24 % a otros cultivos, dentro de lo que se agrupa a los estudios de cultivos integrados multitróficos, el 5 % corresponde a estudios generales que abordaban la temática en términos genéricos y finalmente, no se obtuvieron referencias que relacionaran el cultivo de mitílidos con especies del grupo de las macroalgas (**Figura 9**).

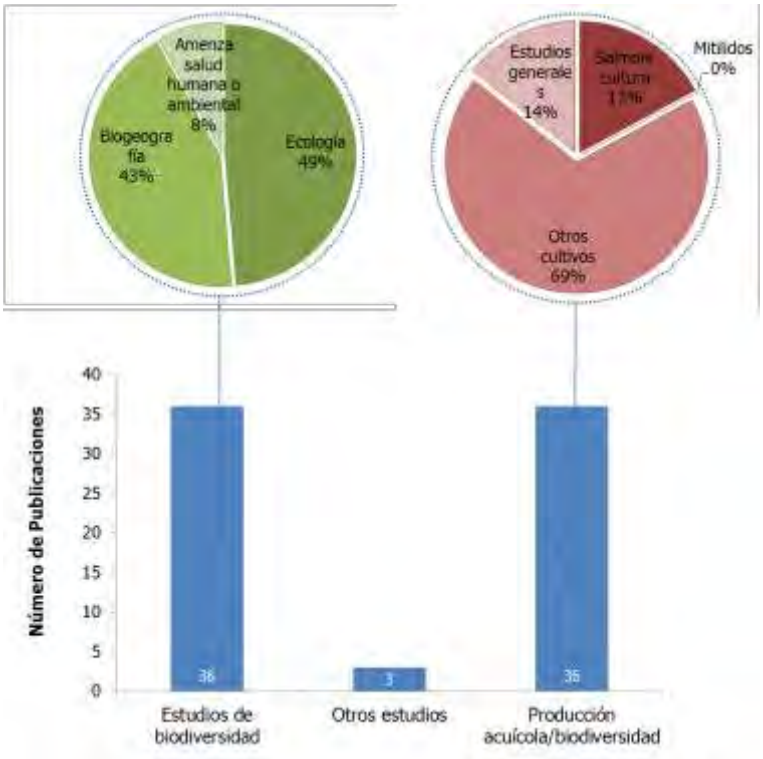


Figura 9. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que integran el grupo de las macroalgas.

5.1.1.3. Bibliografía sobre los efectos reportados en las especies que componen la comunidad bentónica, por acción de la actividad acuícola

Se analizaron 87 publicaciones para recabar información acerca de los efectos de la actividad acuícola en la biodiversidad de especies que componen el bentos. De estas, 14 referencias corresponden a libros o capítulos de libros (16 %); 54 a revistas científicas (62 %) y 19 otro tipo de publicaciones como reportes, libros de congresos y tesis (22 %) (**Figura 10**).

Considerando la literatura consultada, la producción de escritos tiene un aumento progresivo que se inicia entre los años 1960 y 1970, alcanzando un máximo de publicaciones entre los años 2001 y 2010. Dentro de las publicaciones consultadas, el 30 % corresponde a literatura internacional, mientras que el 70 % corresponden al estudio de casos nacionales (**Figura 10**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

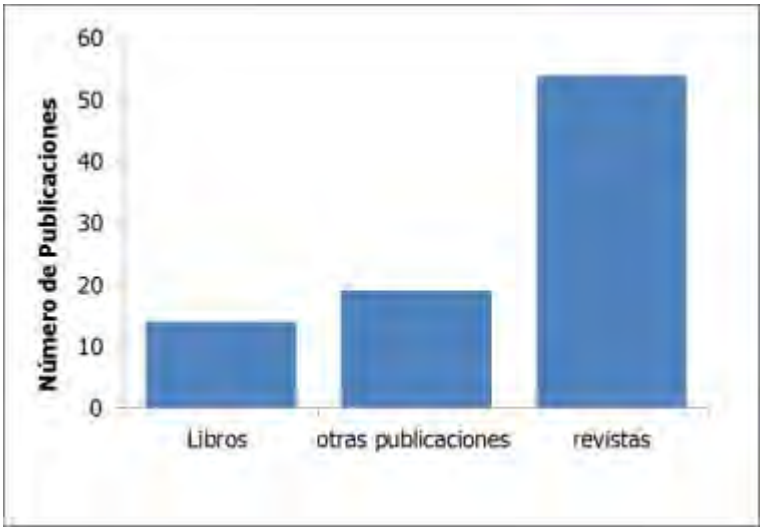


Figura 10. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que componen el bentos.

De los tópicos analizados en la bibliografía, 27 estudios abordan la biodiversidad como tal, independiente de la actividad acuícola (31 %), 44 trabajos relacionan las especies del medio natural con alguna actividad acuícola (50 %), ya sea analizando los efectos que la biodiversidad genera en la actividad, o contrariamente, como la actividad acuícola genera efectos sobre la biodiversidad, y finalmente 17 artículos corresponden a otros estudios que se utilizan como apoyo a la revisión (**Figura 11**).

De los estudios de biodiversidad propiamente tal, 9 corresponden a estudios biooceanográficos (33 %), 15 a estudios ecológicos (56 %) y los 3 restantes (11 %) abordan las amenazas que algunos agentes químicos pueden ejercer en las especies que componen el bentos (**Figura 12**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Figura 11. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que componen el bentos.

Respecto de las 44 referencias que abordan la relación entre las especies del medio y la actividad acuícola, se encontró que el 43 % de estas se relacionaba a la salmonicultura, el 11 % a mitilicultura, el 23 % a otros cultivos que incluyen moluscos, algas y estudios de cultivos integrados multitróficos y finalmente el 23 % restante corresponde a estudios generales que abordaban la temática en términos genéricos (**Figura 12**).

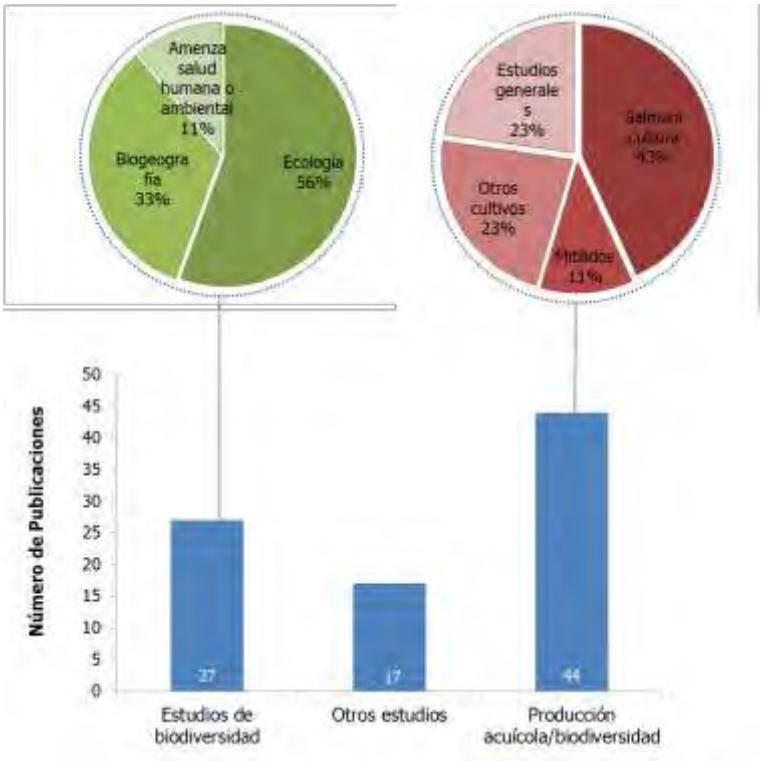


Figura 12. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que componen el bentos.

5.1.1.4. Bibliografía sobre los efectos reportados en especies ícticas por acción de la actividad acuícola.

Se analizaron 45 publicaciones para recabar información acerca de los efectos de la actividad acuícola en especies ícticas. De estas, 2 referencias corresponden a libros o capítulos de libros (4 %); 37 a revistas científicas (82 %) y 6 a otro tipo de publicaciones como reportes, libros de congresos y tesis (13 %) (**Figura 13**).

Considerando la literatura consultada, la producción de escritos tiene un aumento progresivo que se inicia entre los años 1980 y 1990, alcanzando un máximo de publicaciones entre los años 2001 y 2010. Dentro de las publicaciones consultadas, el 38 % corresponde a literatura internacional, mientras que el 62 % corresponden al estudio de casos nacionales (**Figura 14**).

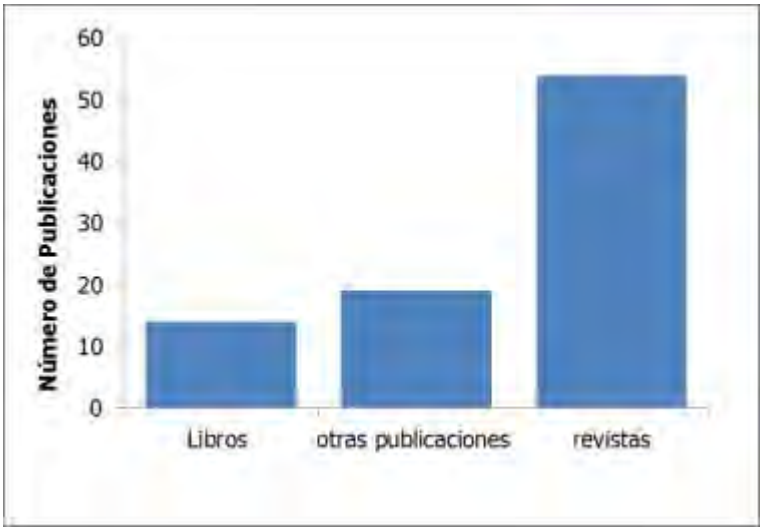


Figura 13. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en especies ícticas.

De los tópicos analizados en la bibliografía, 4 estudios abordan la biodiversidad como tal, independiente de la actividad acuícola (9 %), 38 trabajos relacionan las especies ícticas del medio natural con alguna actividad acuícola (84 %), ya sea analizando los efectos que la biodiversidad genera en la actividad, o contrariamente, como la actividad acuícola genera efectos sobre la biodiversidad, y finalmente 3 artículos corresponden a otros estudios que se utilizan como apoyo a la revisión (**Figura 15**).

De los estudios de biodiversidad propiamente tal, 1 corresponden a un estudio bio-oceanográfico (25 %) y3 a estudios ecológicos (75 %) (**Figura 15** y **Figura 12**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Figura 14. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en especies ícticas.

Respecto de las 38 referencias que abordan la relación entre las especies ícticas del medio y la actividad acuícola, se encontró que el 89 % de estas se relacionaba a la salmonicultura, el 3 % a mitiliculturay finalmente el 8 % restante corresponde a estudios generales que abordan la temática en términos genéricos (**Figura 15**).

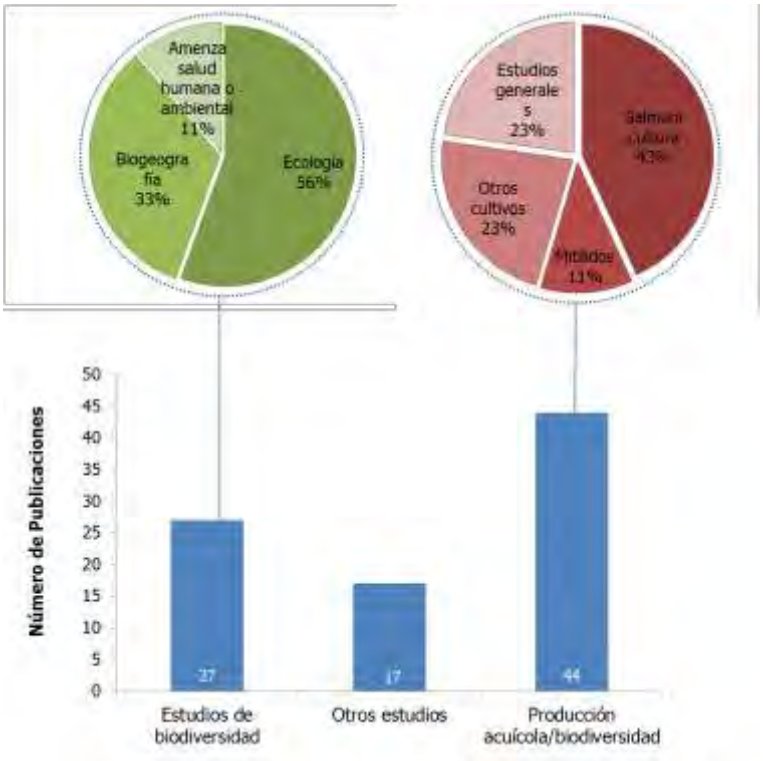


Figura 15. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies ícticas.

5.1.1.5. Bibliografía sobre los efectos reportados en especies de aves por acción de la actividad acuícola.

Se analizaron 113 publicaciones para recabar información acerca de los efectos de la actividad acuícola en la biodiversidad de especies de aves. De estas, 12 referencias corresponden a libros o capítulos de libros (11 %); 83 a revistas científicas (73 %) y 18a otro tipo de publicaciones como reportes, libros de congresos y tesis (16 %) (**Figura 16**).

Considerando la literatura consultada, la producción de escritos tiene un aumento progresivo que se inicia entre los años 1970 y 1980, alcanzando un máximo de publicaciones entre los años 2001 y 2010. Dentro de las publicaciones consultadas, el 72 % corresponde a literatura internacional, mientras que el 28 % corresponden al estudio de casos nacionales (**Figura 17**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

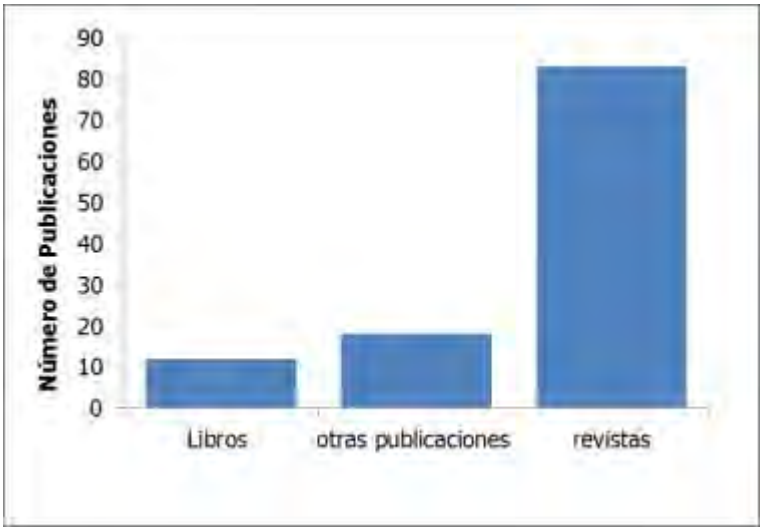


Figura 16. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en las especies que componen el grupo de las aves.

De los tópicos analizados en la bibliografía, 29 estudios abordan la biodiversidad como tal, independiente de la actividad acuícola (26 %), 76 trabajos relacionan las especies del medio natural con alguna actividad acuícola (67 %), ya sea analizando los efectos que la biodiversidad genera en la actividad, o contrariamente, como la actividad acuícola genera efectos sobre la biodiversidad, y finalmente 8 artículos corresponden a otros estudios que se utilizan como apoyo a la revisión (**Figura 18**).

De los estudios de biodiversidad propiamente tal, 6 corresponden a estudios biogeográficos (20 %), 16 a estudios ecológicos (53 %) y los 8 restantes (27 %) abordan las amenazas que se están generando o se pueden generar sobre especies aves sensibles o a las aves como dispersores de patógenos que pueden afectar a otros grupos de especies, dentro ellas incluida el ser humano (**Figura 18**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

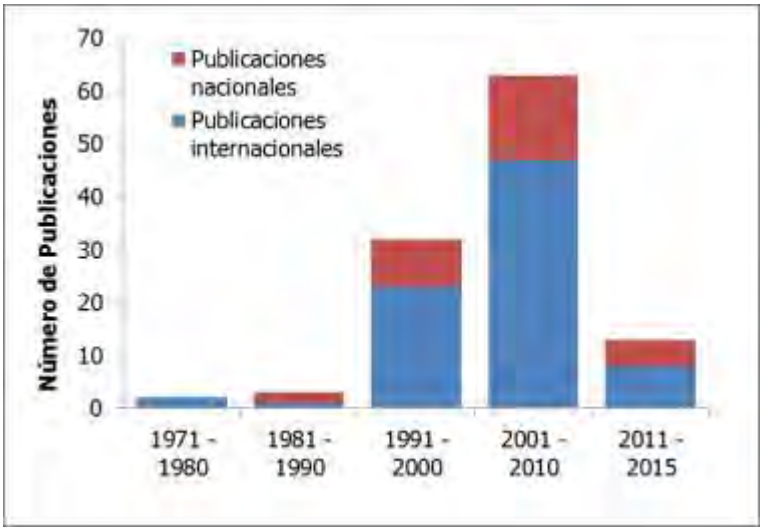


Figura 17. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de aves.

Respecto de las 76 referencias que abordan la relación entre las especies del medio y la actividad acuícola, se encontró que el 28 % de estas se relacionaba a la salmonicultura, el 24 % a mitilicultura, el 32 % a otros cultivos que incluyen moluscos, algas y estudios de cultivos integrados multitróficos y finalmente el 16 % restante corresponde a estudios generales que abordaban la temática en términos genéricos (**Figura 18**).

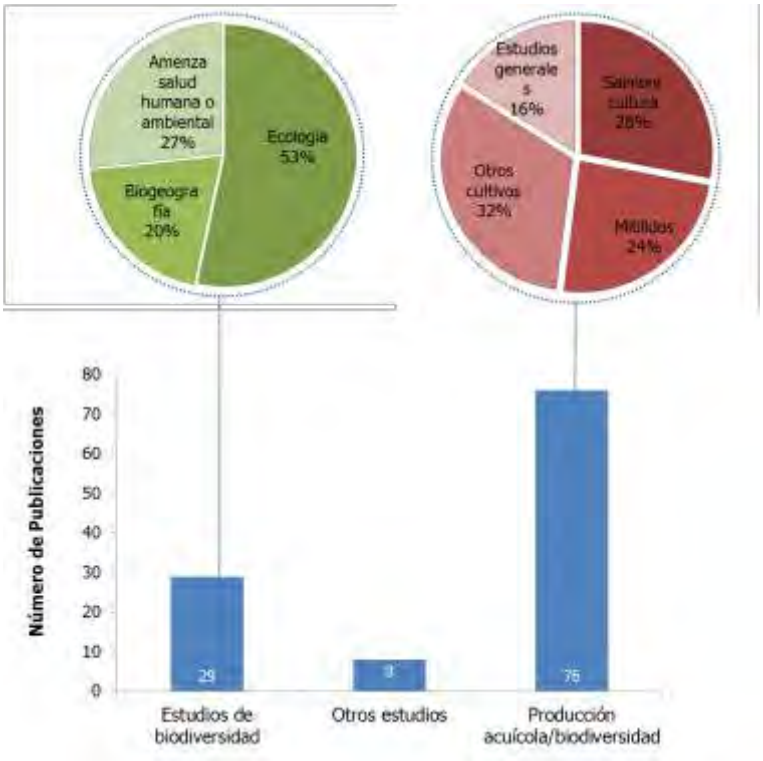


Figura 18. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de aves.

5.1.1.6. Bibliografía sobre los efectos reportados en especies mamíferos marinos por acción de la actividad acuícola.

Se analizaron 67 publicaciones para recabar información acerca de los efectos de la actividad acuícola en la biodiversidad de especies de mamíferos marinos. De estas, 4 referencias corresponden a libros o capítulos de libros (6 %); 47 a revistas científicas (70 %) y 16 a otro tipo de publicaciones como reportes, libros de congresos y tesis (24 %) (**Figura 19** y **Figura 16**).

Considerando la literatura consultada, la producción de escritos tiene un aumento progresivo que se inicia entre los años 1980 y 1990, alcanzando un máximo de publicaciones entre los años 2001 y 2010. Dentro de las publicaciones consultadas, el 46 % corresponde a literatura internacional, mientras que el 54 % corresponden al estudio de casos nacionales (**Figura 20**).

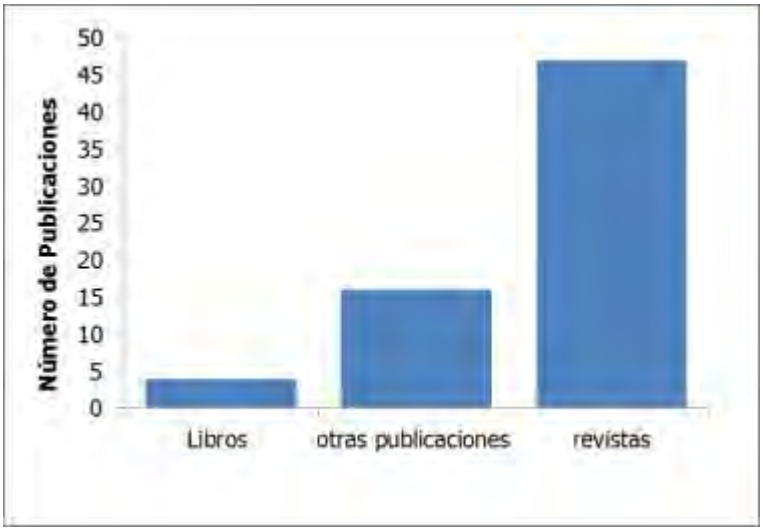


Figura 19. Distribución de referencias según tipo de publicación de la bibliografía referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de mamíferos marinos.

De los tópicos analizados en la bibliografía, 23 estudios abordan la biodiversidad como tal, independiente de la actividad acuícola (34 %), 28 trabajos relacionan las especies del medio natural con alguna actividad acuícola (42 %), ya sea analizando los efectos que la biodiversidad genera en la actividad, o contrariamente, como la actividad acuícola genera efectos sobre la biodiversidad, y finalmente 16 artículos corresponden a otros estudios que se utilizan como apoyo a la revisión (24 %) (**Figura 21**).

De los estudios de biodiversidad propiamente tal, 4 corresponden a estudios biogeográficos (17 %), 17 a estudios ecológicos (74 %) y los 2 restantes (9 %) abordan el estado de situación de especies amenizadas(**Figura 21**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

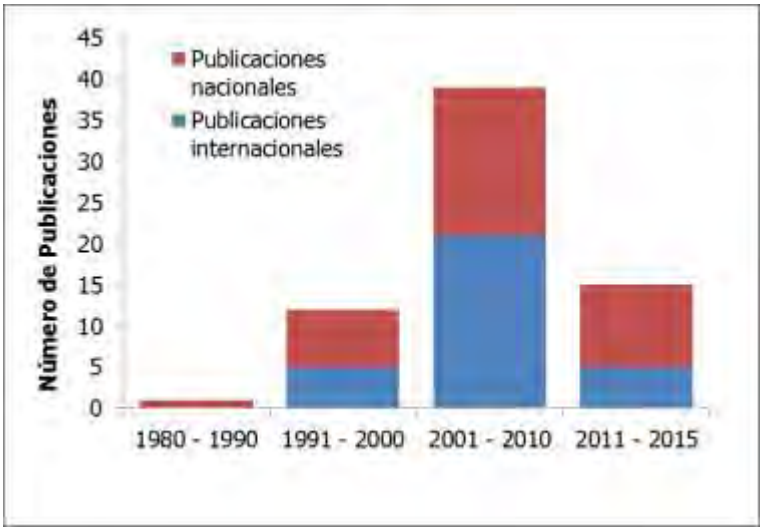


Figura 20. Distribución de referencias según año y origen (nacional e internacional), referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de mamíferos marinos.

Respecto de las 28 referencias que abordan la relación entre las especies del medio y la actividad acuícola, se encontró que el 75 % de estas se relacionaba a la salmonicultura, el 4 % a mitilicultura, el 2 % a otros cultivos que incluyen moluscos, algas y estudios de cultivos integrados multitróficos y finalmente el 4 % restante corresponde a estudios generales que abordaban la temática en términos genéricos (**Figura 21**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

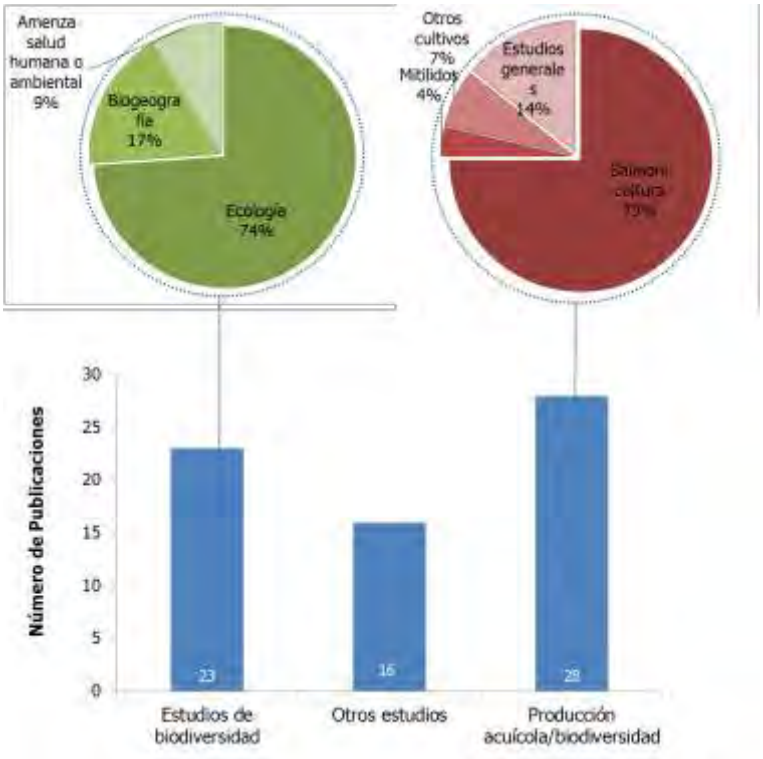


Figura 21. Distribución de referencias por tópicos, referida a los efectos de la actividad acuícola en especies de mamíferos marinos.

5.1.2. Almacenamiento para la gestión y administración bibliográfica

Los gestores bibliográficos son programas que recopilan referencias bibliográficas desde bases de datos, catálogos, o sitios web, almacenando y organizando la información con palabras claves, autores, títulos, años, entre otros. Además, sirven para homogeneizar las citas, importar, exportar, y generar de manera automática listas de documentos y bibliografías. Algunos de estos programas permiten insertar citas automáticamente en un procesador de datos, donde se puede elegir el estilo científico con el que se requiera que aparezcan las referencias. Entre los gestores de citas bibliográficos revisados durante el proyecto destacan: Reference Manager, EndNote, EndNote Web, Refbase, ProCite, Son of Citation Machine, Easybyb, Biblioscape, Bookends, Refworks, Zotero, Mendeley y Dropbox.

A continuación se describe el nombre y las características principales de los programas seleccionados para almacenar ordenadamente la información consultada:

Mendeley: es un administrador bibliográfico que almacena y gestiona referencias bibliográficas directamente desde archivos en formato "pdf". Además, es un buscador de documentos científicos y una red social en la que se puede compartir noticias, comentarios y publicaciones. Así, Mendeley funciona con dos herramientas sincronizadas: Mendeley en la web (nube virtual) y Mendeley Desktop (computador). Además, tiene "plugins" para insertar citas mientras se escribe (Cite and Write) y permite elaborar bibliografías y listas de referencias científicas en diversos estilos bibliográficos. Una de las limitaciones de este software de gestión bibliográfica es la capacidad de almacenamiento virtual de información en la web, por lo que requiere de otro software complementario para el almacenamiento de datos en la nube virtual. Por esta razón se seleccionó Dropbox.

Dropbox: es un servicio de almacenamiento de datos en la web y de administración a través de una multiplataforma. El servicio permite almacenar y sincronizar archivos en línea y entre computadores, compartiendo archivos y/o carpetas con otros usuarios. Existe una versión gratuita y otra de pago con distintas opciones de administración y capacidad de almacenamiento de datos. El servicio está disponible para Android, Windows Phone, Blackberry e IOS (Apple).

Dropbox es un software que enlaza distintas computadoras en una misma carpeta, constituyendo una manera fácil de respaldar y sincronizar archivos. Este servicio permite a los usuarios dejar cualquier archivo en una carpeta asignada, sincronizado en la web y en las demás computadoras establecidas. Entonces, los archivos contenidos en la carpeta de Dropbox pueden ser compartidos con otros usuarios de Dropbox accediendo a la web de Dropbox, o por medio del enlace de descarga directa desde la versión web o desde la ubicación original del archivo en uno de los computadores conectados. Los usuarios pueden grabar archivos manualmente a través de un navegador web (e.g. Google Chrome).

Dropbox es un servicio de almacenamiento que sincroniza y comparte archivos, que además, tiene soporte para historial de revisiones. Así, los archivos borrados de la carpeta de Dropbox pueden ser recuperados desde cualquiera de las computadoras sincronizadas. También existe la posibilidad de seguir el historial de un archivo de trabajo, editando y/o cargando archivos sin perder las versiones previas por un período de 30 días.

Cabe destacar que la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura puede acceder y/o administrar la base de datos bibliográfica tanto a través del gestor bibliográfico Mendeley así como a través del servicio de almacenamiento Dropbox, debido a que ambos software están sincronizados. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la adecuada administración de la bibliografía científica en Dropbox y en Mendeley, puede evitar inconsistencias y desincronización de la base de datos entre software. En los anexos 4 y 5, se adjuntan los manuales de uso de DropBox y de Mendely para administrador y usuarios.

Para evitar inconvenientes con los derechos de autor, los documentos almacenados corresponden a artículos completos en el caso de textos que están libres en la red y en el caso de los artículos sujetos a pago, se proporciona solamente el resumen.

5.1.3. Sistematización geográfica de la información disponible para la identificación de sectores sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad

Áreas con figuras o intenciones de protección.

Como una primera aproximación a identificar áreas sensibles desde el punto de vista de su biodiversidad, se consideraron las áreas que se encuentran protegidas por alguna figura legal, junto con aquellas que han sido relevadas como sitios prioritarios dentro de la Estrategia Nacional de Biodiversidad (CONAMA, 2003).

En la normativa chilena existen distintas figuras de protección que permiten establecer restricciones en el uso de determinados territorios, con el fin de evitar el deterioro ecológico, o el agotamiento de los recursos naturales presentes en estas áreas. La tuición de estas áreas protegidas está repartida entre distintas instituciones públicas y corporaciones privadas, por lo que actualmente se trabaja en la unificación de un Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Praus *et al.*, 2011).

En el intertanto, la responsabilidad del resguardo en las áreas protegidas, se reparte principalmente entre la Corporación Nacional Forestal, encargada de los Parques, Reservas y Monumentos Nacionales, del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas; y la Subsecretaría de Pesca, encargada de las Reservas y Parques Marinos. Junto a estas figuras, encontramos también los Santuarios de la Naturaleza, bajo la tuición del Consejo de Monumentos

Nacionales, y las Áreas Marinas Costeras Protegidas, que son responsabilidad del Ministerio de Medio Ambiente (**Tabla 4**).

Existen otras zonas que actualmente carecen de una figura de protección pero que han sido identificadas como Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad por la Estrategia Nacional de Biodiversidad. Estos espacios buscan ser reconocidos dentro del sistema de áreas protegidas por el Estado, o bien bajo una figura de reciente desarrollo como son las áreas protegidas privadas. Estos sitios serán abordados con mayor detalle en las siguientes secciones del trabajo.

Tabla 4. Superficie total por tipo de Área de interés y los responsables de su control. Las superficies se estimaron en base a información vectorial obtenida a partir de la Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Medio Ambiente (IDE- MMA).

Categoría	Superficie total (Há)	Responsable
Monumento Natural	36.673	CONAF
Parque Nacional	9.302.984	
Reserva Nacional	5.395.409	
Áreas Marinas Costeras Protegidas	73.535	Ministerio de Medio Ambiente
Reservas Marinas	7.855	SUBPESCA
Parque Marino	15.134.440	
Santuario de la Naturaleza	476.298	Monumentos Nacionales
Sitios Prioritarios	4.639.389	Ministerio de Medio Ambiente

Espacialmente, la mayor superficie destinada a conservación de ecosistemas terrestres se concentra en los parques y reservas de las regiones XI y XII, muchos de los cuales se han establecido en ecosistemas insulares de la zona de canales y fiordos (**Figura 22** y **Figura 23**).

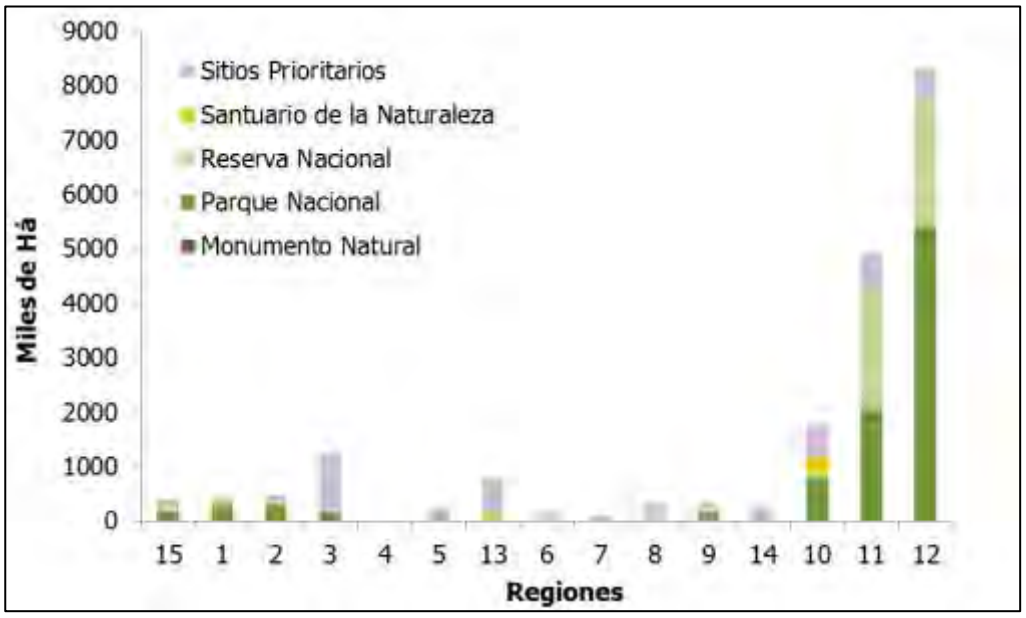


Figura 22. Muestra la distribución de la superficie de áreas protegidas y de interés en el ecosistema terrestre, en miles de Há por región. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE-MMA.

Respecto a la protección de áreas marinas, se han establecido 5 Reservas Marinas, 8 Áreas Marinas Costeras Protegidas, y dos parques marinos, entre los que el parque marino Motu Motiro Hiva, ubicado en torno a los islotes de Salas y Gómez, es el que aporta con una mayor superficie a las áreas decretadas, aportando por sí sólo con 15.132.882 Hás.

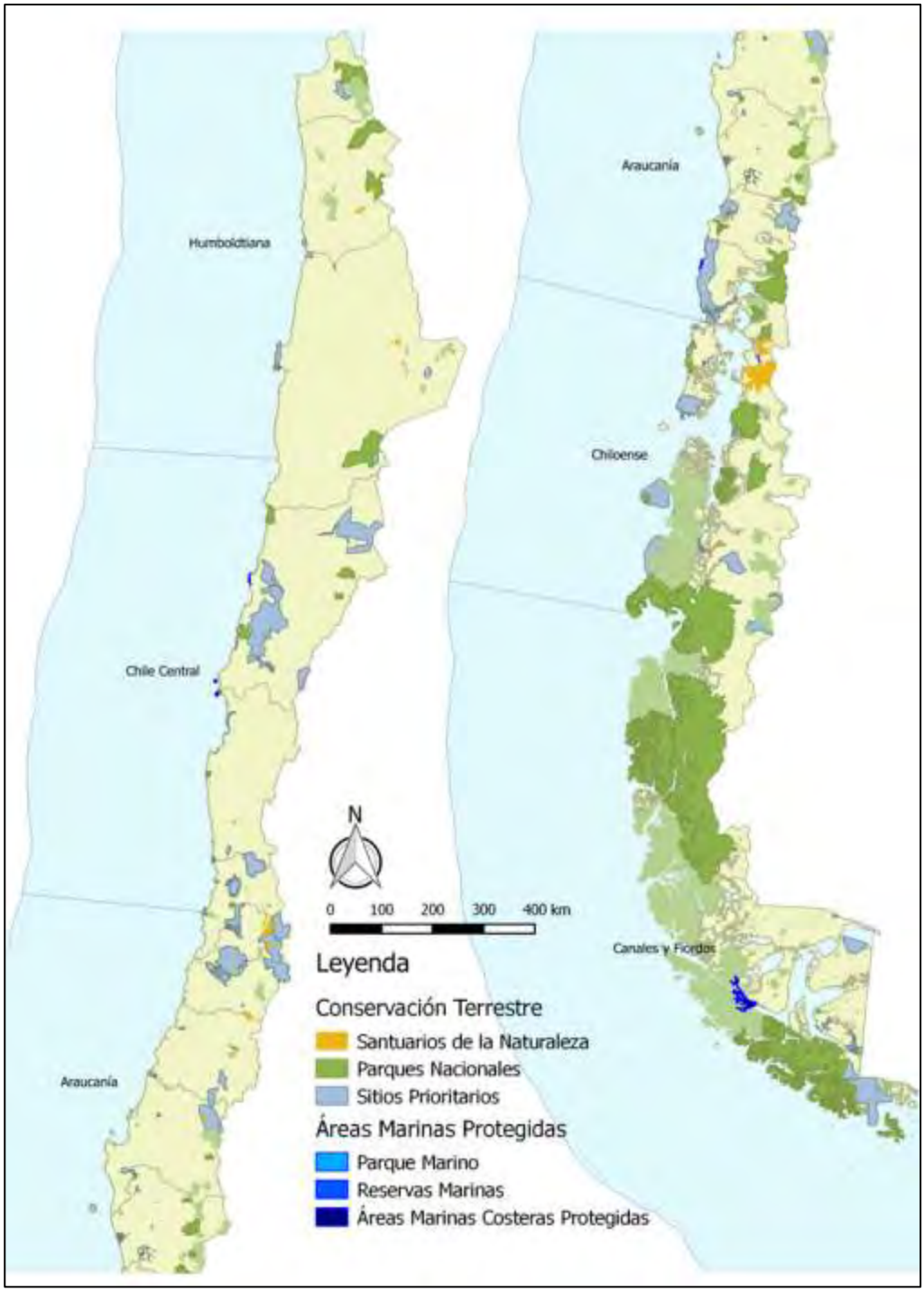


Figura 23. Distribución espacial de la superficie destinada a conservación en el territorio continental de Chile y referencia a las ecorregiones descritas. Fuente: Elaboración propia a partir de información del IDE-MMA y Sullivan-Sealey& Bustamante (1999).

Las figuras de conservación actualmente vigentes permiten alcanzar un total de 15.232.650 hectáreas de superficie marítima bajo protección. Se considera en este análisis la existencia de 10 santuarios de la naturaleza decretados en áreas marinas (**Figura 24**).

Actualmente el Archipiélago de Juan Fernández se encuentra a la espera de la ratificación de la Contraloría General de la República, para ser decretado como Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos, dentro de la cual se propone el establecimiento de cinco Parques Marinos. Con esta iniciativa se incorporarían 1.234.748 de hectáreas decretadas como áreas de protección en una ecorregión marina que hasta ahora no cuenta con ninguna figura de protección dentro del territorio nacional.

Por su parte la totalidad de las ecorregiones marinas asociadas a la costa este del Pacífico Sur (Sullivan-Sealey & Bustamante 1999), se encuentran representadas en el sistema de las áreas marinas protegidas existentes (**Figura 24**).

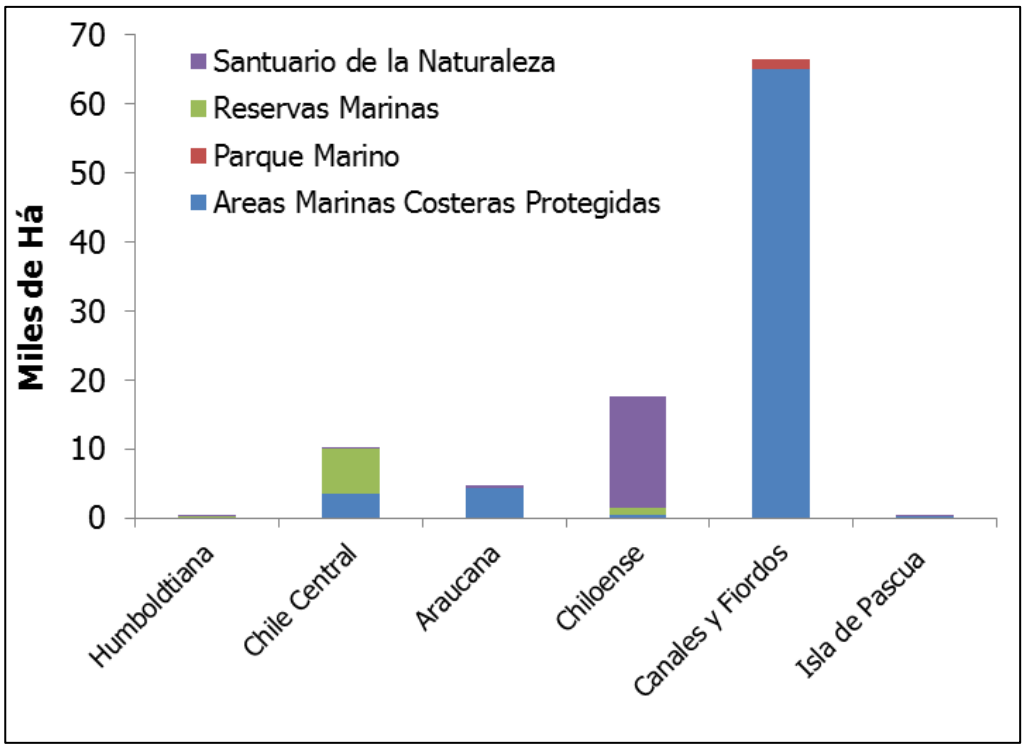


Figura 24. Muestra la distribución de la superficie de áreas protegidas en el ecosistema marino, en miles de ha por ecorregión. Se excluye del gráfico el parque marino Motu Motiro Hiva (15.132.882 ha.). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDE-MMA.

La Ecorregión Humboldtinana cuenta con una Reserva Marina en Bahía Moreno, al sur de la península de Mejillones además del santuario de la naturaleza de la Desembocadura del Río Lluta.

La Ecorregión marina de Chile Central cuenta con diversas figuras de protección, a través de las Reservas Marinas establecidas en los ecosistemas insulares de Chañaral de Aceituno y de las islas Choros y Damas. Junto con ello, la costa frente a la Isla Grande de Atacama es desde 2004 un Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos (AMCP-MU). Hacia el sur de la ecorregión encontramos los santuarios de la naturaleza del Islote Cachagua y la Roca Oceánica de Concón.

Dentro de la Ecorregión Araucana, encontramos dos Áreas Marinas protegidas, una en la Estación Costera de Las Cruces, en la comuna de Cartagena, y otra de múltiples usos en la costa de la comuna de San Juan de la Costa, denominada Lafken Mapu Lahual. Junto a estas figuras, existen 5 Santuarios de la naturaleza decretados en los ecosistemas marinos de la ecorregión.

La ecorregión Chiloense alberga un Área Protegida en el fiordo Comau, donde se ubica la estación científica de Huinay. Junto con ésta, en el archipiélago de Chiloé se encuentran dos Reservas Marinas, una centrada en la protección del Pingüino de Humboldt (Pullinque) y otra para proteger poblaciones de *Choromytilus chorus* del seno de Castro (Putemún). El santuario de la naturaleza del Estero Quitralco aporta la mayor cantidad de hectáreas en áreas protegidas de la ecorregión.

Actualmente se encuentran pendientes para su aprobación dos decretos de AMCP- MU en la ecorregión Chiloense, uno de ellos a emplazarse en el sector de Pitipalena- Añihue (Acuerdo N°3/2014 Consejo de Ministros Para la Sustentabilidad, Ministerio del Medio Ambiente) y el otro en Bahía Tic Toc-Golfo del Corcovado (Acuerdo N°4/2014 Consejo de Ministros Para la Sustentabilidad, Ministerio del Medio Ambiente). Dichas áreas sumaran un total de 123.000 nuevas Há de conservación marina y buscan proteger distintas especies de aves y mamíferos marinos, además de corales de agua fría, peces como el puye (*Galaxias maculatus*) y la sardina austral (*Sprattus fuegensis*), y algas como el pelillo (*Gracilaria chilensis*) y la luga roja (*Gigartina skottsbergii*) (**Figura 25**).

Por último, la Ecorregión de Canales y fiordos alberga al recientemente creado Parque Marino Francisco Coloane, que a su vez forma parte del AMCP-MU de Francisco Coloane.

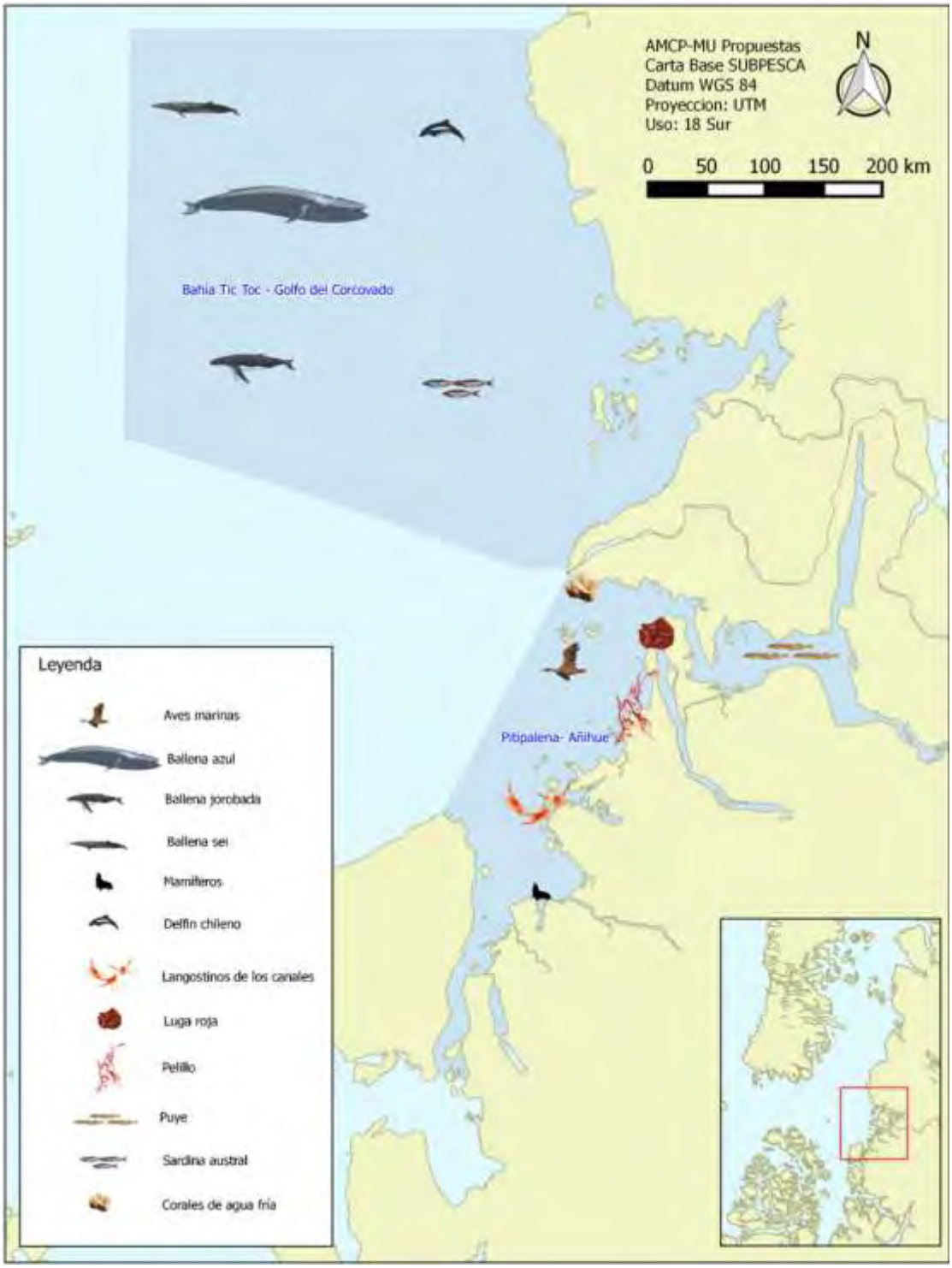


Figura 25. Propuestas de AMCP a emplazarse en el sector de Golfo Corcovado, ecorregión Chiloense.

Uso del borde costero por la actividad acuícola

Teniendo en cuenta esta primera aproximación, se revisó la superposición de cada ecorregión con las áreas donde se han otorgado autorizaciones para cultivos marinos, a fin de evaluar el grado de exposición de cada ecorregión frente a la actividad acuícola, e identificar zonas de mayor interacción de la actividad con Áreas Marinas Protegidas, y con otras zonas donde se registran procesos, ecosistemas y/o especies relevantes desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad marina.

Producto del análisis llevado a cabo, se contabilizó una superficie total de 34.422 ha de cultivos autorizados por la SUBPESCA, la mayor parte de las cuales se concentra en la ecorregión Chiloense (26.670 ha). Entre los recursos cultivados en esta zona, predominan los salmónidos y mitílidos, seguidos de otros grupos de bivalvos (**Figura 26**).

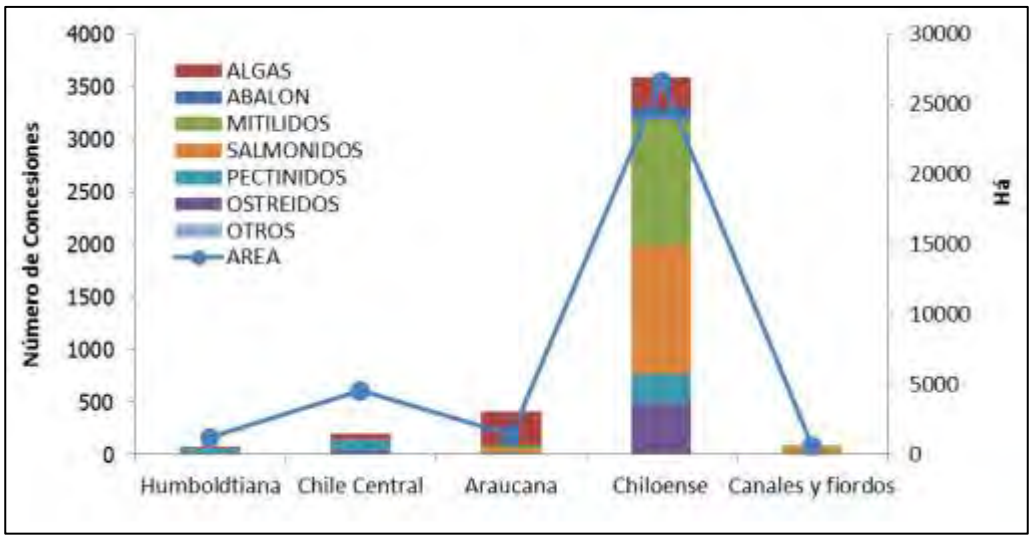


Figura 26. Distribución espacial de los grupos de especies autorizadas para su cultivo en el territorio marítimo y lacustre de Chile. Las barras representan el número de concesiones y la línea representa las hectáreas utilizadas. Elaboración propia a partir de datos descargados del portal institucional de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Información de Concesiones de Acuicultura).

Sistematización de la información

Toda la información descrita previamente, fue sistematizada en un Sistema de Información Geográfico, lo que constituyó la cartografía base para el trabajo de sistematización participativa de la información analizada por los expertos. Este trabajo se describe más adelante como parte del segundo objetivo.

5.2. Objetivo específico 3.2.

Determinar grupos o especies de flora y fauna marina y continental que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura.

5.2.1. Análisis de los efectos de la producción acuícola reportados para cada grupo de Flora y Fauna marina y continental

5.2.1.1. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen el plancton

Antecedentes generales

Mediante una exhaustiva revisión bibliográfica, en torno a los efectos de la acuicultura sobre el ensamble comunitario planctónico, contenido tanto en la columna de agua como en el sedimento vinculado a los sistemas de cultivo; el presente análisis aborda las perturbaciones generadas por la salmonicultura y mitilicultura en las fracciones zooplanctónicas, fitoplanctónicas y perifíticas. Así mismo incluye aquella información tendiente a las variables ambientales de mayor relevancia que modulan su estructura y biocenosis permitiendo con ello un análisis vinculante con los diferentes procesos asociados a la actividad acuícola.

El presente documento desarrolla en mayor medida la componente microalgal, debido a que la fracción zooplanctónica se relaciona de manera indirecta a la actividad acuícola, viéndose mayormente modulado en razón a la variación de la primera componente.

A nivel nacional, se han realizados numerosos estudios científicos sobre el fitoplancton en la macrozona austral de Chile, área donde se desarrolla la mayor parte de la actividad acuícola (Avaria, 1970; Avaria & Muñoz, 1996; Clement & Guzmán, 1989; Clement & Lembeye, 1993; Guzmán & Campodonico, 1972; Lembeye *et al.*, 1993; Muñoz *et al.*, 1992; Rivera, 1983; Rivera *et al.*, 1990; Romero, 1994; Toro, 1985; Vera *et al.*, 1996;Pizarro *et al.*, 2000; Pizarro *et al.*, 2005; Montecino *et al.*, 2006;Antezana & Hamamé 1999; Ramírez, 2006; Seguel *et al.*, 2005; Uribe, 1998;Paredes & Montecino, 2011; Torres *et al.*, 2011; entre otros), donde destacan los cruceros Cimar-Fiordo(Cruceros de Investigación Marina del Comité Oceanográfico Nacional de Chile), que desde sus inicios (1995) han obtenido gran cantidad de información sobre la distribución del fitoplancton y la influencia de variables

ambientales en la zona sur de Chile (Avaria *et al.*, 1997, 1999a, 1999b; 2003, 2004; 2006; Cassis *et al.*, 2002; Valenzuela & Avaria, 2009).

En la actualidad, se desarrollan numerosos esfuerzos de investigación y monitoreo de fitoplancton en aguas chilenas mayoritariamente enfocados a la detección de microalgas tóxicas y dañinas a la salmonicultura. Estos programas ofrecen la información recabada a la industria acuicultora y autoridades sanitarias y relacionadas con el manejo de recursos. Los mayores esfuerzos que se realizan en este ámbito incluyen los siguientes programas:

El Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB), conduce muestreos extensivos de fitoplancton en zonas de cultivo de moluscos, principalmente de mitílidos destinados a la exportación. Las muestras obtenidas son analizadas en forma cuantitativa y cualitativa. Asimismo realiza controles de biotoxinas acumulables por estos moluscos filtradores.

El Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), ha realizado extensos programas de monitoreo de fitoplancton como parte de sus esfuerzos para entender las floraciones algales nocivas tóxicas. Dichos programas han contado con el apoyo del Fondo de Investigación Pesquera, entidades gubernamentales y universidades (Uribe *et al.*, 1995; Ministerio de Salud, 2008; Salgado, 2012), incluyendo valiosa información cualitativa y cuantitativa, así como mariscos para determinación de biotoxinas (IFOP, 2006). También el Fondo de Investigación Pesquera ha financiado el análisis de datos históricos sobre estos eventos, con la finalidadde entender mejor el riesgo que estosrepresentan para la acuicultura(Pizarro, 2010).

También existen esfuerzos privados como el Programa Oceanográfico y Ambiental de Salmones (POAS), junto con el Programa de Monitoreo de Fitoplancton (PROMOFI, PMF) tendientes a proveer a la industria del salmón de información fitoplanctónica y oceanográfica aplicada a la gestión de empresas. Estos programas se centran en el estudio del fitoplancton y las floraciones algales nocivas,persiguiendo con ello disminuir los efectos negativos en los centros de cultivo de salmónidos.

El enfoque primario que se le ha dado al estudio del fitoplancton y floraciones algales nocivas, se ha centrado principalmente en determinar los efectos nocivos que puede tener una floración de ciertas especies en las actividades acuicultoras. En virtud de lo anterior, existe escaza información referida ala externalidad que significa la operación de centros acuícolas en las comunidades fitoplanctónicas,más aun cuando la poca información existente está en su mayoría limitada en el sentido geográfico y por condiciones ambientales. Esta información se ha centrado en los efectos de la introducción de nutrientes a los sistemas acuáticos, pero es casi inexistente en términos de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

los efectos que otros posibles contaminantes, como pesticidas y antibióticos, puedan tener.

Efectos de la salmonicultura sobre el Fitoplancton

El cultivo de especies salmonídeas en Chile representa una de las industrias más importantes a nivel nacional, con una producción cercana a las 786.000 toneladas ubica a Chile como el segundo productor a nivel mundial (Sernapesca, 2014). La actividad se desarrolla mediante cultivos intensivos en balsas jaula que requieren de alimentación exógena, razón por la cual se considera de gran relevancia los efectos que tiene la introducción de grandes cantidades de alimento en sistemas costeros.

Las actividades de cultivo de salmones a gran escala que se efectúan en las regiones X, XI y XII de Chile, han resultado controversiales por los posibles efectos sobre los ecosistemas marinos costeros que se les imputan. Existen dos visiones opuestas a considerar respecto a los problemas y alcances que genera dicha actividad sobre los ecosistemas marinos. Estas visiones son propuestas por diferentes grupos de interés que incluyen tanto a las empresas productoras de salmón a nivel mundial, como también a organizaciones no gubernamentales y activistas dedicados a la conservación del ambiente. La primera de estas visiones, propone que la salmonicultura solamente presenta efectos locales restringidos a las inmediaciones de los centros de cultivo, siendo no significativos y medibles más allá de las cercanías de las balsas jaula. Esta visión está apoyada por numerosas investigaciones, siendo relevantes los trabajos de Navarro (2008) y Price *et al.* (2015). La segunda visión, manifiesta que la contaminación provocada por las actividades de producción de salmones tiene graves efectos sobre los ecosistemas costeros, incluyendo el del fitoplancton, esta visión es común en grupos de opinión, sin embargo los efectos han sido evidentes únicamente en sistemas oligotróficos y de baja circulación de aguas (Price *et al.*, 2015). Para conciliar estas dos visiones se efectuó una exhaustiva revisión bibliográfica de publicaciones científicas sobre el tema.

El fitoplancton se compone de un gran número de especies en todo momento cuyas combinaciones varían a través del tiempo por influencia de las condiciones físicas, químicas y biológicas del ambiente. Estas variaciones se suceden en patrones anuales siguiendo las estaciones y los efectos que la climatología tiene sobre las variables oceanográficas (luz disponible, proporción de agua dulce, estratificación de la columna de agua, entre otras) (Boynton *et al.*, 1982).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Debido al gran número de especies que conforman el ensamble comunitario fitoplanctónico en todo momento, la información disponible en la literatura científica se centra en los efectos que pueden tener las actividades salmonicultoras sobre la comunidad en general, la productividad de estas comunidades y la proporción que existe entre los principales grupos taxonómicos y funcionales que las conforman. Debido a esta generalidad en el enfoque analítico, a la fecha, no es posible identificar especies individuales que sean afectadas por las actividades salmonicultoras, sino más bien permite la identificación de variables más genéricas tales como efectos sobre su productividad total, proporción entre grupos taxonómicos que lo integran, distribución del tamaño de las partículas que lo conforman, entre otros.

El efecto principal que podría tener relevancia sobre los ecosistemas planctónicos costeros en Chile es la contaminación por materia disuelta proveniente de las actividades productivas de esta industria. La principal fuente de materia disuelta asociada a las actividades acuícolas es la introducción de alimento para los peces mantenidos en cautiverio, los cuales luego de consumir este insumo lo digieren y metabolizan. De acuerdo a Buschmann & Fortt (2006) alrededor del 25% del alimento es recuperado al cosechar los peces, mientras que el 75% del nitrógeno, fósforo y carbono del alimento introducido en estos sistemas abiertos se pierde en forma de desechos disueltos y particulado. Como resultado de esta actividad los peces producen dos tipos de deshechos: orina con altos contenidos de compuestos nitrogenados y heces semisólidas con altos niveles de fosfatos. Los compuestos en la orina se mantienen en solución mientas que las heces son parcialmente disueltas en su recorrido hacia el fondo marino. Estas heces también pueden resultar en una fuente de nutrientes disueltos debido a la actividad remineralizadora de organismos bentónicos y las comunidades bacterianas los que, mediante procesos metabólicos, reintegran estos compuestos al agua marina.

Estas fuentes de nutrientes disueltos producen contaminación focal de las aguas lo que puede exacerbar el efecto sinérgico de la eutrofización de ambientes costeros provocado por otras actividades humanas como el uso de fertilizantes en la agricultura y el vertido de aguas servidas (Sará *et al.*, 2011). De acuerdo a Buschmann *et al.* (2009) alrededor del 60% de compuestos nitrogenados contenidos en el alimento dado a los salmones durante su fase de engorda es liberado al medio en forma soluble en el agua, asimismo cerca del 11% de compuestos fosforados también queda en formas solubles.

Uno de los efectos más visibles de los posibles cambios generados en el ambiente acuático por la introducción de grandes cantidades de nutrientes es

el aumento en la frecuencia, cobertura geográfica e intensidad de las floraciones algales nocivas (FAN), también llamadas "mareas rojas" (Anderson *et al.*, 2002; Masó & Garcés, 2006; Wang *et al.* 2008). Sin embargo existen pocos estudios en que se haga una relación directa entre la salmonicultura y las floraciones algales nocivas (Price *et al.*, 2015). Algunos experimentos indican un cambio significativo en las comunidades fitoplanctónicas al ser expuestas a efluentes de salmónidos, con un aumento en los pulsos de mayor abundancia de dinoflagelados (Vergara, 2001). En experimentos ex situ también se ha visto que los efluentes del salmón pueden causar una reducción significativa en las diatomeas, siendo reemplazadas por dinoflagelados (Buschmann *et al.*, 2006). Los resultados del monitoreo del fitoplancton en áreas con cultivos de peces en el mar de Japón indican que puede producirse cambios en las comunidades tendientes a una mayor proporción de pequeños fitoflagelados y diatomeas (Morozova & Orlova, 2005). Sin embargo otras investigaciones indican que las actividades acuícolas no tienen un efecto significativo sobre el aumento de estos fenómenos en áreas costeras que ya cuentan con altas concentraciones de nitratos (Anderson *et al.*, 2008). Las floraciones algales nocivas están sujetas a las mismas limitantes ambientales que el resto del fitoplancton, principalmente limitación de luz en ambientes con columnas de agua bien mezcladas, comunes alrededor de los centros de cultivo (Rensel *et al.*, 2010). Asimismo se ha visto que las excretas de peces salmónidos no estimulan el crecimiento de especies nocivas del fitoplancton (Arzul *et al.*, 2001). Sin embargo, una vez que estas excretas son metabolizadas pueden transformarse en formas químicas solubles de nitrógeno y fósforo que resultan fácilmente aceptadas por las microalgas, aumentando la disponibilidad de nutrientes en el ambiente acuático (Price *et al.*, 2015). Este aumento en los nutrientes puede llevar al incremento de la biomasa de organismos oportunistas y aquellos adaptados a la vida en ambientes contaminados. La alta concentración de nutrientes y la dominancia de organismos oportunistas puede producir una disminución de la biodiversidad de las comunidades fitoplanctónicas (Anderson *et al.*, 2002).

En las aguas costeras el nitrógeno es el nutriente que normalmente resulta limitante para la productividad primaria, el cual se encuentra normalmente en forma de nitratos. La salmonicultura en zonas oligotróficas y con baja circulación puede resultar en incrementos importantes en este nutriente, como fue el caso observado por Pridmore & Rutherford (2001) en Nueva Zelandia. En esa instancia la salmonicultura incrementó en un 30% las concentraciones de nitratos disueltos, lo que a su vez generó floraciones importantes del fitoflagelado *Heterosigma akashiwo*. De acuerdo al resumen de los efectos ambientales de la salmonicultura en ambientes marinos costeros chilenos

expuesto por Buschmann (2002) y Soto & Norambuena (2004), estas actividades no tienen efectos significativos sobre las concentraciones de nutrientes o la biodiversidad de las comunidades fitoplanctónicas, en forma similar a lo expuesto por Skejic *et al.* (2011) y Navarro (2008). Esto se acoge a modelos que indican que el impacto que tiene la adición de nutrientes por actividades acuicultoras no produce cambios cuando ya existan medios o altos niveles de nutrientes en forma natural, mientras que pueden ser muy importantes en áreas de bajos nutrientes y circulación de agua restringida (Hakanson *et al.*, 1988; Gowen & Bradbury, 1987; Pridmore & McBride, 1984; Nordvarg & Johansson, 2002; Strain & Hargrave, 2005).

Otra fuente de preocupación es la posible contaminación por metales pesados (cobre principalmente), hormonas, antibióticos y otras substancias tóxicas que pueden ser bioacumuladas por el fitoplancton o cambiar la sucesión normal de especies dentro del ecosistema fitoplanctónico. Existe una gran deficiencia en la información disponible sobre la escala de la contaminación por estas substancias o los efectos que puedan tener en el ecosistema planctónico. Sin embargo se dispone de estudios que indican que existen grupos que resultan más resistentes a altas concentraciones de cobre, con las diatomeas presentando la mayor resistencia; dinoflagelados y cocolitofóridos presentando resistencia intermedia; y cianobacterias siendo el grupo más afectado (Brand *et al.*, 1986; Beck *et al.*, 2002).

Trabajos de Rodríguez & Rivera (1995), mencionan un incremento de la abundancia de la microalga Chlorophyta *Tetraselmis sp.*, en respuesta a la adición de Cobre (Cu) en bioensayos, comportamiento que según el autor, puede estar relacionado con la utilización del Cobre como micronutriente. Observaciones similares fueron informadas por Reiriz *et al.* (1994) en cultivos de la diatomea *Phaeodactylum tricornutum* expuestos a diferentes concentraciones de este metal. Sin embargo, cuando las concentraciones son altas, dan origen a condiciones de contaminación del medio que provocan desbalances metabólicos en el fitoplancton (Rodríguez & Rivera, 1995). Estudios de Stauber *et al.* (2005), registran concentraciones de cobre disuelto y particulado en agua de mar, y las describe como tóxicas para el crecimiento y para la actividad enzimática microalgal. El mismo autor menciona la susceptibilidad de la diatomea *Nitzschia closterium* frente a diferentes concentraciones de este analito. Según Clijster & Van Assche (1985), la toxicidad de los efectos de metales pesados en el crecimiento del fitoplancton también es atribuida a la inhibición de múltiples sitios del transporte de electrones en el sistema fotosintético. Passow *et al.* (1961), Menciona que el Zn, Pb y Cu pueden también dañar la permeabilidad de la membrana plasmática, alterando el traspaso de electrones.

Existen indicios de que otros biocidas relacionados con sustancias anti-incrustantes también pueden tener un efecto sobre las comunidades. Como indica Devilla *et al.* (2005), estas substancias pueden reducir la productividad primaria y afectar la competitividad de especies individuales dentro de la comunidad fitoplanctónica en forma diferencial.

Por otro lado, existe una gran deficiencia en la información disponible respecto a los efectos de los antibióticos utilizados en la salmonicultura sobre las comunidades fitoplanctónicas. Sin embargo hay indicios que el antibiótico oxitetraciclina podría reducir el crecimiento de algunas diatomeas y aumentar el de algunos dinoflagelados, dependiendo de la concentración en el ambiente (Arzul *et al.*, 2001).

Efectos de la salmonicultura sobre el Perifiton

El perifiton es un conjunto complejo compuesto por comunidades bentónicas que incluyen hongos, microalgas, cianobacterias y bacterias heterotróficas embebidas en una matriz polisacárida. Esta microflora está presente en las superficies sumergidas de la mayoría de los ecosistemas acuáticos. Estas comunidades son utilizadas en ocasiones como indicadores de contaminación, y se puede medir los cambios que suceden en su diversidad debido a contaminantes químicos, aumento en la turbidez del agua y en la deposición de sólidos (Gowen & Bradbury, 1987; Karakassis *et al.*, 2004). Debido a estas características, las comunidades presentes en el perifiton son susceptibles a los efectos de las actividades de la acuicultura de salmónidos como el incremento de los sólidos orgánicos depositados y nutrientes disueltos.

A pesar de que existe gran cantidad de información sobre los posibles efectos que pueden tener las actividades salmonicultoras sobre el ambiente béntico en términos de cambios químicos y ecológicos para su macroflora y macrofauna, la información existente es muy escaza cuando se refiere a las fracciones microbianas y microalgales que forman el perifiton. La escasez en la información, dificulta la descripción de especies individuales que se encuentren en riesgo como consecuencia de la actividad productiva, razón por la cual los esfuerzos analíticos se centran en describir los posibles efectos de la salmonicultura a nivel de comunidad y de los principales grupos de organismos afectados.

De acuerdo a Buschmann *et al.* (2009) alrededor del 13% de compuestos nitrogenados contenidos en el alimento dado a los salmones durante su fase de engorda, sedimenta y contribuye a la eutrofización de los fondos bajo las balsas jaula. Asimismo cerca del 66% de compuestos fosforados también

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

sedimenta, contribuyendo al aumento de la biomasa de organismos adaptados a la vida en ambientes de alta concentración de nutrientes. Valores similares han sido descritos por otros investigadores como Wu (1995) y Handy & Paxton (1993). La sedimentación de grandes cantidades de alimento y fecas provenientes de granjas de cultivo de peces ha sido evidenciada mediante la captura de estos sólidos bajo las balsas jaula (Edwards, 1988). La cantidad de materia orgánica originada en los centros de cultivo y que es depositada en el bentos es significativamente mayor a la que se observa en ambientes sin actividades salmonicultoras. Asimismo, se observan mayores concentraciones de amonio y fosfatos en los sedimentos bajo los centros de cultivo (Buschmann, 2002). El incremento en la deposición de material orgánico es normalmente localizado, no extendiéndose más allá de 30 m desde el área concesionada.

Según Smaal (1991), el enriquecimiento del sedimento con materiales orgánicos estimula la actividad microbiana produciendo la desoxigenación del sustrato y de las aguas del fondo, debido a la reducción de las concentraciones de oxígeno en los intersticios. Este proceso genera un incremento del consumo de oxígeno, aumento en la reducción de sulfato, acentuando la denitrificación y una creciente liberación de nutrientes inorgánicos, tales como nitrato, nitrito, amonio, silicato y fosfato. Documentos de FAO (1995), mencionan que la regeneración de nutrientes potencialmente limitados puede aumentar la producción primaria.

Sin embargo solamente una baja proporción de estos deshechos es remineralizado, con valores descritos cercanos al 10% anual (Aure & Stigebrandt, 1990; Wu, 1995). De estos deshechos acumulados se espera una liberación significativa de compuestos fosfatados, pero el proceso de lixiviación se vuelve insignificante cuando estos depósitos llegan a los 7 cm de altura (Hansen *et al.*, 1990). La mineralización de los compuestos nitrogenados también se ve alterada cuando estos sedimentos se tornan anóxicos (Rublee, 1982; Huettel, 1990), de hecho trabajos de Kaspar *et al.*(1988) no detectan la ocurrencia de procesos de denitrificación bajo jaulas de salmón.

Las perturbaciones sobre el ecosistema bentónico causados por la gran cantidad de deposición de desechos orgánicos bajo las jaulas altera el perifiton a tal nivel que en algunos sectores este deja de existir como comunidades y solamente subsiste la componente bacteriana (Wu, 1995).

Al igual que en el caso del fitoplancton, el aumento en las concentraciones de nutrientes podría causar un aumento en la biomasa de especies oportunistas, una baja en la biodiversidad de las comunidades del perifiton, y

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

perturbaciones en las sucesiones de especies (Karakassis *et al.*, 2004) aunque existen muy pocos estudios que demuestren estos efectos. Un estudio sobre el perifiton asociado a boyas cercanas a un centro de cultivo de peces indicó que la mayor disponibilidad de nutrientes generó una baja en la diversidad de la comunidad y su reorientación hacia especies oportunistas (Mannino & Sara, 2008). En los sitios afectados se encontró una mayor proporción de algas rodófitas, mayores abundancias de diatomeas, y una menor diversidad comunitaria.

El perifiton también puede ser negativamente afectado por el aumento de concentración de compuestos basados en cobre y normalmente utilizados como agentes anti-incrustantes. A pesar de la baja atención que ha recibido este tipo de contaminación sobre las comunidades que forman el perifiton existen indicios de que los compuestos basados en cobre pueden causar una baja en la biodiversidad y favorecer a los organismos oportunistas más resistentes a elevadas concentraciones de este metal. Buschmann (2002) indica que existen 5 a 9 veces más cobre en los sedimentos bajo los centros de cultivo nacionales comparados con áreas no afectadas por actividades antrópicas.

Efectos de la salmonicultura sobre el Zooplancton

La información que se encuentra disponible sobre los posibles efectos que pueden tener las actividades de la industria salmonicultora en las comunidades que forman el zooplancton es escaza. Los salmones en cautiverio no tienen una interacción trófica directa con el zooplancton y los deshechos y alimento sobrante no forman parte de la dieta del mismo (zooplancton). Dado esto, los estudios científicos dedicados a los posibles efectos de la salmonicultura se encuentran enfocados a los problemas potenciales que pueden causar algunos compuestos químicos usados por esta industria. En especial se ha centrado la atención a los químicos con efectos bioactivos más marcados, como antibióticos y antiparasitarios.

Los antibióticos usados en el cultivo de peces son numerosos y pueden tener una variedad de efectos (Burridge *et al.*, 2010), entre los que se incluye cambios en las comunidades bacterianas marinas, tanto planctónicas como aquellas que residen en los sedimentos cercanos a los centros de cultivo. Otro efecto que se cita por el uso extensivo de antibióticos es la creación de bacterias resistentes a estos medicamentos. Sin embargo son pocos los efectos directos que se conocen sobre las comunidades zooplanctónicas. Hillis *et al.* (2007) describen reducciones en la abundancia de larvas de rotíferos y copépodos, así como una reducción en la biodiversidad de rotíferos y

cladóceros debido al uso del antibiótico Monesin. El mismo estudio toma en consideración la estrecha relación entre las comunidades zooplanctónicas y fitoplanctónicas, cuestionando el hecho que estos efectos comunitarios fueron causados como consecuencia de la reducción en la biomasa del fitoplancton, afectada a su vez por efecto de la adición del antibiótico.

Otros compuestos químicos usados por la salmonicultura que pueden causar preocupación son los dedicados al control de Caligus y otros "piojos de mar". Según estudios recientes, plaguicidas como Excis y Slice no tienen efectos en las comunidades zooplanctónicas (Willis *et al.*, 2005). Un reporte escocés que incluyó una mayor variedad de plaguicidas tampoco detectó efectosevidentes de estos compuestos sobre las comunidades zooplanctónicas (SAMS, 2005).

Efectos de la mitilicultura sobre el Fitoplancton

La mitilicultura en Chile se ha desarrollado en forma sostenida durante los últimos años, llegando a producir 265.000 toneladas en el año 2013 (Sernapesca, 2014). Su desarrollo a gran escala abre interrogantes importantes respecto a los efectos que puede tener sobre el ambiente marino, lugar en donde se desarrollan estas actividades.

A diferencia de los cultivos de peces, los que requieren la introducción de grandes cantidades de alimentos al sistema acuático, los cultivos de mitílidos se basan en el uso de las poblaciones naturales de fitoplancton presentes en el agua de mar. Por esto se las considera generalmente como actividades relativamente benignas y menos dañinas al ambiente que los cultivos de peces, especialmente los de salmónidos (Lloyd, 2003; Keely *et al.*, 2009).

Los mitílidos son filtradores muy efectivos y pueden procesar grandes volúmenes de agua al día, normalmente filtrando cerca de 2L de agua de mar por hora por gramo de tejido seco (Clausen & Riisgard, 1996). Algunas especies como *Perna canaliculus* (Greenshell mussel de Nueva Zelandia) pueden llegar a filtrar cerca de 9 litros de agua por hora (James *et al.*, 2001). El ritmo de filtración depende mayoritariamente de la densidad de la biomasa algal en el agua en que habitan, en forma independiente a la temperatura y condición fisiológica del organismo y palatabilidad de las partículas en suspensión (Jorgensen *et al.*, 1990; Lloyd, 2003; Kittner & Riisgard, 2005). Las partículas capturadas son conducidas hacia la boca e ingeridas, digeridas y los restos no digestibles son expulsados en forma de fecas. Las partículas capturadas que no son consideradas como alimento, así como las que poseen espinas o proyecciones que las hacen poco apetecibles son envueltas en mucus y expulsadas sin pasar por el tracto digestivo, formando pseudoheces.

Cuando existe una densidad muy alta de partículas alimentarias, superando el límite de la capacidad de alimentación de los mitílidos, estos eliminan una gran cantidad de microalgas útiles en forma de pseudoheces (Lloyd, 2003; Kittner & Riisgård, 2005). Las fecas y pseudoheces generadas se hunden hacia el fondo, donde son depositadas y degradadas bacterialmente o consumidas por organismos filtradores y depositívoros, siendo remineralizadas durante este proceso.

Durante su proceso de filtración y selección de partículas alimenticias los mitílidos son capaces de ejercer una filtración selectiva hacia partículas mayores a 3 µm (Shumway *et al.*, 1985). *Mytilus edulis* selecciona partículas preferentemente mayores a 7 µm, llegando a un máximo de eficiencia de retención de partículas cerca de los 30 µm, el tamaño típico de muchas diatomeas y dinoflagelados estuarinos (Strohmeier *et al.*, 2012). De acuerdo a los experimentos conducidos por Bougrier *et al.* (1997), *Mytilus edulis* prefiere ingerir fitoflagelados, pero su mayor eficiencia de filtración y retención se ha centrado hacia diatomeas. Mediante este proceso de selección los mitílidos concentran preferentemente diatomeas y dinoflagelados para su ingestión o deshecho como pseudoheces, mientras que pequeños fitoflagelados son dejados de lado. Este proceso de selección produce cambios importantes en las comunidades fitoplanctónicas al favorecer los organismos del picoplancton sobre los del microplancton. El aumento en la proporción de especies de menor tamaño puede producir cambios en las interacciones predador-presa y en las dinámicas de transporte de partículas al disminuir la velocidad de sedimentación y floculación de estos fitoplancteres (Cranford *et al.*, 2008).

Las actividades mitilicultoras extensivas pueden tener efectos importantes sobre las comunidades fitoplanctónicas locales ya que el alimento que consumen estos mariscos bivalvos se centra en el fitoplancton y las partículas de origen orgánico que se encuentran suspendidas en la columna de agua. Estos cultivos intensivos pueden tener un efecto importante sobre las comunidades de la microflora béntica por su producción de fecas y pseudoheces. También pueden tener efectos sobre el reciclaje de nutrientes al consumir fitoplancton y partículas orgánicas, y resolubilizando nitratos y fosfatos. Asimismo pueden ayudar a reducir excesos de estos nutrientes en la columna de agua al producir biodepósitos de pseudoheces, los que muchas veces ingresan al proceso de nitrificación-denitrificación, con algunos nitratos siendo liberados en forma de N2 gaseoso (Newell, 2004).

Los efectos más notorios de la mitilicultura intensiva en el fitoplancton son la reducción de biomasa total del fitoplancton y el aumento de la sedimentación de partículas suspendidas. La reducción de la biomasa fitoplanctónica todavía

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

no es bien comprendida y depende de la densidad de los cultivos, su extensión, biomasa total cultivada, y recambio de la biomasa fitoplanctónica por corrientes y mareas (Cranford *et al.*, 2008, Grant *et al.*, 2008). Estas variables son importantes en la determinación de la capacidad de carga de las áreas en que se encuentran estos cultivos. Según Cranford *et al.* (2008), el fitoplancton en zonas con baja densidad de granjas de mitílidos pierden entre 20 y 30% de la biomasa total fitoplanctónica, mientas que áreas bajo cultivos más intensos pueden perder entre 50 y 80% de la clorofila total. Lloyd (2003) indica que la reducción en la biomasa fitoplanctónica normalmente alcanza alrededor del 60% dentro de los confines de las granjas de mitílidos.

Según Gran & Cole (1997) esta reducción en la biomasa por efecto de las granjas de mitílidos sobre el fitoplancton se extienden aproximadamente a 80 m de los centros de cultivo, aunque esta distancia puede ser mayor especialmente si existen numerosos sistemas de tipo "long-line" en proximidad.

Otro problema que podría estar relacionado con granjas de mitílidos es el transporte e introducción de especies foráneas y algas nocivas debido al transporte y relocalización de mitílidos e implementos utilizados en su cultivo (Lloyd, 2003). Sin embargo este problema es probablemente menor bajo las condiciones industriales presentes en la acuicultura chilena.

Efectos de la mitilicultura sobre el Perifiton

Los cultivos intensivos de mitílidos pueden tener efectos significativos sobre las comunidades del perifiton que habitan bajo ellos. Estos efectos se deben al aumento en la deposición de partículas orgánicas provenientes de fecas y pseudoheces, así como por la reducción en la velocidad de circulación del agua, lo que aumenta las tasas de sedimentación (Lloyd, 2003). El aumento en la deposición de partículas orgánicas sobre el fondo también puede llevar a una reducción en el oxígeno disuelto en aguas cercanas al fondo y en los sedimentos mismos (Christensen *et al.*, 2003).

Dado el alto número de mitílidos cultivados en granjas de gran envergadura, la biodeposición puede alcanzar proporciones altas del fitoplancton en suspensión, lo que puede causar efectos sobre las comunidades bénticas bajo estos cultivos. Estos efectos varían según los estudios conducidos, desde nulos (Crawford *et al.*, 2003; Danovaro *et al.*, 2004), modificaciones pequeñas en las comunidades bentónicas (Baudinet *et al.*, 1990; Grant *et al.*, 1995), hasta severos por el enriquecimiento por materia orgánica de los fondos (Dahlback & Gunnarson, 1981; Stenton-Dozey *et al.*, 2001). Estos efectos son

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

evidentes sólo en las cercanías de las granjas, hasta un máximo de 50 a 80m desde ellas (Mattson & Linden, 1983; Chamberlain *et al.*, 2001; Hartstein & Rowden, 2004). Ha sido sugerido que los efectos ambientales de esta biodeposición son menores ya que las partículas que se depositan desde estos cultivos son de características similares al fitoplancton, el que flocula y se deposita naturalmente bajo condiciones normales y es consumido por las comunidades bentónicas (Hatcher *et al.*, 1994). Sin embargo esta biodeposición excesiva puede alterar las características físicas, químicas y biológicas de los fondos afectados en grado variable (Chamberlain *et al.*, 2001).

Según Chamberlain *et al.* (2001) y Hartstein & Stevens (2005), la severidad de los efectos de estos biodepósitos dependen de tres factores: 1) cantidad y calidad del material siendo depositado, 2) dispersión de los depósitos y 3) destino de los biodepósitos. Los factores 1 y 2 dependen de la densidad del cultivo y del fitoplancton presente, así como de la velocidad de las corrientes en el lugar y la profundidad del fondo. El factor 3 depende de la biota bentónica y su capacidad de reciclar el material depositado.

A pesar de que no existe información específica sobre los posibles efectos del aumento en la biodeposición se postula que en la mayoría de los casos su ocurrencia no tiene un efecto negativo sobre el perifiton presente en el área cercana a los cultivos de mitílidos. Sin embargo en casos extremos estos depósitos podrían generar un enriquecimiento por materia orgánica tendiente a una eutrofización del fondo y desencadenar un consumo excesivo de oxígeno, lo que podría llevar a condiciones anóxicas temporales.

Efectos de la mitilicultura sobre el Zooplancton

Existe evidencia que el cultivo intensivo de mitílidos puede tener efectos sobre las comunidades que forman el zooplancton. Los dos efectos más notorios son la predación directa de organismos del zooplancton por los mitílidos; y los cambios en la abundancia y composición de especies que los mitílidos causan en el fitoplancton; lo cual afecta al zooplancton por efectos tróficos directos.

Los mitílidos se pueden alimentar de los rangos inferiores en tamaño del zooplancton, primariamente microzooplancton, como dinoflagelados y ciliados heterotróficos. Asimismo pueden consumir zooplancteres de mayor tamaño pertenecientes al mesozooplancton, como copépodos, tintínidos y larvas de bivalvos (Davenport *et al.*, 2000, Lehane & Davenport, 2002). No solo pueden consumir una variedad de organismos del zooplancton, sino también los

pueden envolver en mucus y desechar como pseudoheces, lo que normalmente significa su muerte (McKindsey, 2011).

Los cambios que pueden causar los cultivos masivos de mitílidos en las comunidades fitoplanctónicas que hemos descrito previamente, pueden así mismo causar cambios poblacionales y comunitarios sobre el zooplancton mediante efectos tróficos. Esto sucede cuando los mitílidos reducen la abundancia total fitoplanctónica y cambian la composición de especies así como de tamaños de partículas presentes en el fitoplancton. Mencionada externalidad puede afectar a las comunidades zooplactónicas al reducir el alimento existente y seleccionando las especies más afines a los tamaños de partículas no preferidos por los mitílidos (McKindsey, 2011).

Efectos de otros cultivos. Cultivo de Macroalgas

Los cultivos extensivos de algas, como los practicados en Chile para *Gracilaria,* tienen un bajo impacto sobre las comunidades fitoplanctónicas y del perifiton, sin embargo se ha observado que pueden existir dos efectos potencialmente significativos: la competencia por los nutrientes disueltos en el agua, y ciertos efectos alelopáticos por compuestos químicos que liberan al agua.

Por su gran capacidad de absorción de nutrientes y metales pesados desde el agua, las macroalgas pueden competir con el fitoplancton y en algunas áreas con otras plantas marinas, lo que se ha comprobado en experimentos de microcosmos (Fong *et al.*, 1993) y en situaciones de campo (McGlathery, 2001). Este efecto es más marcado con cultivos intensivos de macroalgas en bahías con baja circulación del agua y poco recambio por mareas (Yang *et al.*, 2006). Trabajos de Havens *et al*. (2001) postulan que las interacciones entre macroalgas, microalgas y otras plantas acuáticas son complejas, incluyendo una sucesión que depende de las concentraciones de nutrientes y la irradiación solar.

La capacidad de remoción de nutrientes disueltos vinculada a la componente macroalgal, ha promovido la idea de que pueden ser usadas para reducir las concentraciones de nitratos y fosfatos en áreas contaminadas (Yang *et al.*, 2006) así como también metales pesados como cobre y cadmio (Zhou *et al.*, 1998). De esta forma se postula su utilización, como una solución productiva de prevención para la formación de floraciones algales nocivas. Este concepto también se utiliza como parte de sistemas integrados multitróficos (Troell *et al.*, 1999).

Los cultivos de algas también pueden afectar a ciertos componentes de las comunidades fitoplanctónicas por medio de sustancias que liberan al agua y

que pueden tener efectos alelopáticos (Addisie & Calderon-Medellin, 2012). Varios autores (Jin & Dong, 2003; Nan *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2007; Wang *et al*., 2009) han demostrado que algunas microalgas nocivas, como *Alexandrium* y *Heterosigma*, son inhibidas en su crecimiento por sustancias producidas por el alga verde *Ulva sp*. Otras algas también pueden tener un efecto combinado entre alelopatía y competencia por nutrientes que puede prevenir el crecimiento de poblaciones de microalgas nocivas en cultivo de acuerdo a Wang *et al*. (2007). Estudios de Mulderij *et al.* (2005), describen un comportamiento diferencial frente a los efectos alelopáticos de extractos de macroalgas, entre microalgas toxicas y no toxicas, existiendo una mayor sensibilidad de las primeras.

A pesar de lo promisorio de los efectos alguicidas contra microalgas nocivas de los extractos de algas comunes, es de notar que estos compuestos son rápidamente neutralizados en el ambiente, por lo que sólo tendrían una efectividad limitada sobre la formación y crecimiento de floraciones algales nocivas (Nan *et al*., 2008).

Las algas tienen un efecto similar en el perifiton al competir por los nutrientes con las microalgas que forman la base trófica de este sistema el que ha sido descrito en ambientes marinos y dulceacuícolas por Havens *et al.* (2001). Sin embargo los mismos autores notan que las macrolagas también sirven de sustrato para comunidades de perifiton, por lo que hay un balance dinámico entre los dos componentes de este ecosistema.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.2.1.2. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies macroalgales

Antecedentes generales

En general, son escasos los registros bibliográficos nacionales e internacionales que describan, evalúen o monitoreen los efectos de la acuicultura sobre la vegetación marina o viceversa. No obstante, algunos estudios consideran a las macroalgas como un componente importante del ensamble de bioincrustantes marinos (Biofouling) que habitan las infraestructuras acuícolas en el mar. Entre las macroalgas que conforman este ensamble es posible encontrar algunas especies exóticas que tienen un alto potencial invasor con impactos en el ecosistema que son desconocidos, particularmente en nuestro país. La basura flotante que produce la acuicultura es un factor de dispersión de biota vegetal pobremente estudiada, y una vía para la expansión geográfica de especies naturales y exóticas. Por otra parte, los impactos ecológicos de las especies exóticas introducidas para acuicultura tienden a ser ignorados, y sus potenciales efectos en el ecosistema conllevan problemas de bioseguridad y bioética pobremente discutidos.

Por otra parte, la acuicultura multitrófica integrada parece ser una solución factible para mitigar los impactos ambientales de esta actividad productiva, y es en estos sistemas acuícolas donde las macroalgas juegan un rol fundamental como depuradores biológicos.

- Las macroalgas como parte del ensamble de bioincrustantes marinos (Biofouling):

Los cultivos marinos requieren del diseño, implementación y despliegue de infraestructura apropiada para operar adecuadamente en el mar (e.g. balsas jaulas, muelles, pontones, mallas). Esta infraestructura acuícola es un hábitat para la biota marina al generar sustrato disponible para el asentamiento y colonización de diversas especies marinas denominadas "bioincrustantes" ("biofouling" en inglés, ver Fitridge *et al.* 2012). Así, un ensamble de bioincrustantes marinos es el conjunto de especies de invertebrados sésiles o hemisésiles y macroalgas que se adhieren o se desplazan sobre sustratos artificiales manufacturados por el hombre y posicionados en el mar (Manríquez *et al.* 2014). El ensamble de bioincrustantes marinos está compuesto principalmente por especies colonizadoras, o sea se caracterizan por tener altas tasas de reclutamiento y crecimiento (Fitridge *et al.* 2012). Entre los típicos organismos que conforman este particular ensamble destacan

varias especies de macroalgas y una variedad de invertebrados, tales como: esponjas, hidrozoos, briozoos, moluscos, cirripedios, ascidias y mitílidos (Richmond & Seed 1991, Fitridge *et al.* 2012). Algunos bioincrustantes son reconocidas especies bioingenieras (Jones *et al*. 1994), que pueden potencialmente incrementar la diversidad del ensamble desarrollado sobre las estructuras acuícolas. Durante la fase de dispersión, las esporas de macroalgas y larvas de invertebrados son transportadas por las corrientes marinas y/u olas, se adhieren y crecen sobre pilotes de muelles, boyas, cascos de embarcaciones y en los sistemas de cultivo (Richmond & Seed 1991, Yan & Yan 2003, Bulleri & Airioldi 2005, Fitridge *et al.* 2012).

Las macroalgas e invertebrados que utilizan la infraestructura marina como hábitats también son frecuentes en los alrededores (Manríquez *et al*. 2014). Sin embargo, los ensambles de bioincrustantes que se desarrollan sobre los sustratos artificiales tienden a ser diferentes a aquellos que crecen sobre sustratos naturales (Bulleri & Chapman 2010, Aguilera *et al*. 2014). En los sustratos artificiales suelen ser más comunes los mitílidos, ascidias y cirrípedos (e.g. boyas, Astudillo *et al.* 2009). Además, los ensambles de bioincrustantes varían según el tipo de hábitat artificial, entre estos hábitats y los hábitats naturales, probablemente debido a diferencias en el tiempo de uso y a la naturaleza, superficie, orientación y profundidad de la estructura (e.g. Glasby & Conell 1999, Cole *et al*. 2005, Cifuentes *et al.* 2007, Bulleri & Chapman 2010, Aguilera *et al.* 2014).

Los bioincrustantes son un problema acuícola que requiere inversión de tiempo y dinero para su control, asignados al mantenimiento de la infraestructura marítima, que una vez limpia queda nuevamente disponible para colonizar (Fitridge *et al.*2012). Esto facilita procesos de colonización, sucesión ecológica, e introducción de especies alóctonas (Jaksic & Marone 2007). Más aún, poco se sabe acerca del rol de las macroalgas en el desarrollo del ensamble, ni cómo varía la composición, distribución y abundancia de especies de acuerdo al tipo de sustrato artificial disponible. En consecuencia, en la planificación del uso de la infraestructura acuícola (i.e. construcción, emplazamiento, servicios y mantenimiento) se requieren estudios sobre los potenciales organismos bioincrustantes, en particular macroalgas. El disponer de esta información permitirá predecir potenciales interferencias de los bioincrustantes sobre la infraestructura acuícola y planificar posibles medidas remediales de mitigación o de control. Cabe destacar que estas medidas deben considerar un manejo adecuado de los residuos biológicos para evitar efectos indeseados sobre la biota local, tal como dispersión involuntaria de propágulos de macroalgas que potencialmente pueden modificar la flora marina local. Un conocimiento del potencial de las macroalgas, así como del

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

resto de las especies que componen el ensamble de bioincrustantes, que habitan sobre estructuras artificiales en el mar, previo a sus emplazamientos, requiere de información a largo plazo sobre las especies presentes: (a) en los substratos naturales del área de emplazamiento (i.e. inter y submareales); (b) en sustratos artificiales similares en naturaleza a los que serán usados; e (c) idealmente de las especies que se asientan en sustratos naturales y artificiales a diferentes niveles de profundidad (Manríquez *et al.*2014). Estos estudios son una línea base para monitorear la composición y biodiversidad del ensamble de bioincrustantes a través de un programa de vigilancia ambiental, poder desarrollar indicadores ecológicos adecuados (por ejemplo basado en especies indicadoras Vega *et al.* 2014), y establecer efectos ambientales producidos por la acuicultura.

En general, la infraestructura acuícola y los mecanismos de control de bioincrustantes utilizados en la acuicultura favorece la persistencia de estados sucecionales tempranos, caracterizados principalmente por algas verde-azules (Cianofitas) y algas verdes (Clorofitas) en desmedro de estados sucecionales más tardíos oclímax donde predominan las algas rojas (Rodofitas) y las algas pardas (Feofitas). Lo anterior ocurre porque las algas rojas y pardas tienen una mayor complejidad morfológica y estructural, mientras que las algas verde-azules y verdes tienen una mayor capacidad y potencial reproductivo (Bold & Wynne 1985).

En sistemas de cultivos de peces, varias macroalgas conforman el ensamble de bioincrustantes, entre las que destacan las algas verdes *Enteromorpha spp* y *Ulva spp*, algunas algas rojas (e.g. *Antithamnion sp*, *Ectocarpus spp, Gracilaria sp*) y algas pardas filamentosas (*Ectocarpus spp*), también son reportadas microalgas (e.g. diatomeas filamentosas) (Fritidge *et al*. 2012).

En sistemas de cultivo de moluscos varias macroalgas constituyen el ensamble de bioincrustantes, principalmente algas verde-azules (e.g. Cyanobacterias), algas verdes (e.g. *Cladophora sp, Codium fragile*) y algas pardas (e.g. *Undaria pinnatifida*) (Fritidge *et al*. 2012). En Chile, las macroalgas son representantes frecuentes del ensamble de bioincrustantes en los sistemas suspendidos de cultivo del ostión del norte durante todo el año (Uribe *et al.* 2001, Astudillo *et al.* 2009). En Tongoy, algunas algas verdes (e.g. *Enteromorpha spp, Cladophora spp*) son frecuentes durante todo el año, aunque predominan en verano sobre estratos superficiales de las linternas (Alcayaga 1990). Otras algas verdes como *Ulva spp* son frecuentes sólo en verano. En Bahía Inglesa, *Codium fragile*, una especie invasora, cubre completamente las linternas después de seis meses de puestas en el agua (Uribe *et al.* 2001). Las algas rojas *Polysiphonia spp* y *Porphyriopsis coccinea* están presenten durante todo

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

el año pero son menos abundantes que las algas verdes, predominando en otoño e invierno, respectivamente. Las algas rojas *Cryptonemia obovata* y *Stenograme interrupta* se fijan en los sistemas suspendidos a 15 m de profundidad, principalmente en primavera y verano (Moya 1998).

Una parte importante de la infraestructura acuícola mundial está suspendida o flota en la superficie del mar (e.g. balsas, redes, boyas). Así, el desprendimiento accidental de partes y accesorios que conforman la infraestructura de la salmonicultura y mitilicultura es un evento común (Thiel & Guttow 2005). Por ejemplo, la fracción más representativa de la basura flotando a la deriva en los canales y fiordos del sur de Chile proviene de la acuicultura (Hinojosa & Thiel 2009). Estos desechos son potenciales agentes de transporte pasivo de organismos bioincrustantes debido a su muy alta flotabilidad y longevidad (Thiel 2003, Thiel & Guttow 2005, Astudillo *et al.* 2009), y es uno de los mecanismo de dispersión más frecuentemente utilizados por macroalgas exóticas para invadir nuevos hábitats costeros (Bulleri & Airoldi 2005, Dumont *et al.,*2011). Por ejemplo, *Codium fragile*, un alga verde exótica frecuentemente asociada a la infraestructura acuícola boyante que frecuentemente se desprende (e.g. boyas, Uribe *et al.* 2001, Niell 2007), tiene un alto potencial invasor en las costas de Chile (Madariaga *et al.* 2014).

- Las macroalgas como especies invasoras en la acuicultura

Las invasiones biológicas producidas por especies exóticas son consideradas, junto con la destrucción del hábitat, una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad (Castilla *et al.* 2005). Entre los principales vectores de transporte pasivo de propágulos y estados adultos de macroalgas exóticas e invasoras destaca los desechos acuícolas flotando a la deriva y el tráfico naviero (Castilla & Neill 2009, Mendoza *et al.*2014). Además, entre los propósitos que han incentivado la introducción de especies exóticas en ambientes acuáticos destaca la acuicultura (Camus 2005). En este contexto, el manejo de especies invasoras es un tema actual de bioseguridad en la acuicultura (FAO 2010).

Las actividades acuícolas son considerados agentes promotores de invasiones (Mendoza *et al.* 2014). En Chile hay al menos un ejemplo en macroalgas, corresponde a *Codium fragile* (González & Santelices 2004), una especie de alga verde originaria de Japón y reconocida mundialmente como especie invasora (Provan *et al.* 2005, Neill *et al.* 2006). En Chile, *C. fragile* subespecie *tomentosoides* es una variedad clonada a nivel mundial que se reproduce asexualmente mediante partenogénesis (Villaseñor-Parada *et al.* 2013). Así, la

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

introducción de esta especie de alga verde está asociada a la importación de especies exóticas para cultivo, como la ostra japonesa o del pacífico *Crassostrea gigas* y del abalón verde o japonés *Haliotis discus hannai* (Niell 2007). Actualmente, *C. fragile* se distribuye en Chile desde Atacama hasta el Extremo Austral de manera discontinua (Neill *et al.* 2006), y es una de las pocas especies conocida de macroalga invasora que presenta un alto potencial de invasión, o sea de expansión del rango desde su punto de introducción (Madariaga *et al.* 2014). En Caldera, *C. fragile* ha sido reportada en ambientes inter y submareales (González & Santelices 2004, Provan *et al.* 2005, Neill *et al.* 2006, Villaseñor-Parada & Neill 2011), asociada a cultivos de pelillo *Gracilaria chilensis* y del ostión del norte *Argopecten purpuratus* (Uribe *et al.* 2001, Neill *et al.* 2006). Como en otros lugares (e.g., Bulleri & Airoldi 2005), *C. fragile* tiene un marcado ciclo anual de abundancia, con un dominio de la morfología de dosel boyante (talo erecto) entre invierno y verano alternado con un periodo caracterizado por la morfología de filamentos no diferenciados (estado "vaucherioide") en otoño; mientras que durante la transición otoño e invierno dominan talos erectos sin ramificaciones (Villaseñor-Parada *et al.* 2013).

Un ejemplo de dispersión de especies alóctonas a través de acuicultura es el pasto marino *Zostera chilensis* (conocida previamente como *Heterozostera tasmanica*). Este pasto marino único en Chile, se mantiene circunscrito a sitios muy particulares en dos muy singulares bahías en el norte de Chile: Puerto Aldea y Chascos (González & Edding 1990), donde se realizan actividades de acuicultura de pectínidos (Uribe *et al.* 2001). Recientemente se detectó una nueva pradera en Punta Choros (Gaymer *et al*. 2008) en las proximidades de un cultivo piloto de pectínidos en un área de manejo artesanal. Esta especie produce un impacto positivo en las comunidades marinas bentónicas del lugar al crear un hábitat de pastos marinos (Ortiz & Wolff 2002), y algo equivalente ha sido propuesto para *C. fragile* en Caldera (Villaseñor-Parada & Neill 2011). Sin embargo, en Nueva Escocia Canadá el efecto neto de la invasión de *C. fragile* fue una modificación del paisaje en algunos lugares de la costa porque desplazo competitivamente a los huiros nativos (*Laminaria spp*) (Scheibling & Gagnon 2006), fenómeno que actualmente está en expansión (Matheson *et al.* 2014).

Otras macroalgas han sido recientemente reportadas como especies invasoras en la costa chilena (hace menos de 20 a 25 años, Castilla *et al.* 2005), entre las que destacan las algas rojas: *Mastocarpus spp* (Ávila & Alveal 1987, Oróstica *et al.* 2012, Macaya *et al.* 2013), *Porphyra spp* (González & Santelices 2003), *Asparagopsis armata* (Ramírez *et al.* 2007), y *Grateloupia intestinalis* (Collantes & Muñoz-Puga 2009). Estas especies pueden extender su rango de

distribución en Chile como parte del ensamble de bioincrutantes asociados a basura acuícola flotante, al efectuar la limpieza de la infraestructura acuícola, o simplemente porque constituyen potenciales especies para la acuicultura (Niell 2007, Castilla & Neill 2009).

Una reciente revisión evalúo el impacto producido por las especie exóticas e invasoras de acuerdo a distintos categorías de clasificación biológica, ecológica, económica y social (Schaffelke & Hewitt 2007, Davidson *et al.* 2015). Los impactos ecológicos y evolutivos que estos autores identificaron son: competición directa e indirecta con la biota nativa (e.g. luz, sustrato), monopolización de espacio, cambios en la composición de la comunidad, efectos sobre niveles tróficos superiores (e.g. herbívoros, fauna asociada, toxicidad), cambio de hábitat (e.g. cambio estructura, acumulación de sedimentos), y cambios en los procesos ecosistémicos (e.g. alteración de la estructura trófica). Los efectos a nivel genéticos pueden ocurrir dentro de una especie (e.g. introgresión), o entre especies (e.g. hybridización). Mientras que a nivel económico y social destacan impactos directos relacionados con costos por pérdidas de bienes y servicios del ecosistemas, impactos en las comodidades ambientales, impactos en la salud humana; e indirectos relacionados con costos de manejo (gobernable/ingobernable), costo de investigación de las especies introducidas, costos de medidas de control y erradicación, y costos de educación/ campañas de extensión.

- Conservación de la bioseguridad en la acuicultura – cultivo y repoblamiento de macroalgas

El cultivo de especies marinas exóticas en ambientes naturales costeros, es una práctica extendida por todo el país (e.g. abalones *Haliotis spp*, Flores-Aguilar *et al.* 2007). Sin embargo, el impacto ecológico que produce el desarrollo acuícola nacional de especies exóticas aún no ha sido suficientemente evaluado, produciendo una situación denominada "paradoja de conservación" (Gajardo & Laikre 2003). Por ejemplo, los abalones criados en cultivo consumen diariamente un volumen de macroalgas que equivale hasta un 30% de su peso corporal (Camus 2005). Así, la demanda de alimento fresco es punto crítico del cultivo de abalones que puede afectar significativamente a las poblaciones naturales de macroalgas (Flores-Aguilar *et al.* 2007). Las especies de macroalgas más usadas como alimento fresco son: *Lessonia*, *Macrocystis*, *Gracilaria* y *Ulva*; todas disponen de tecnología de cultivo aunque los costos productivos dificultan su implementación (e.g. Buschmann *et al.* 2008, 2014, 2015).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Desde la perspectiva del cultivo de abalón, la disminución de la biomasa de las praderas naturales es un problema de suministro de alimento más que un potencial impacto ambiental, que puede ser remediado cultivando o repoblando macroalgas en el entorno de los centros de cultivo (Camus 2005, Buschmann *et al.* 2014). Pero, desde la perspectiva ecológica, la sobreexplotación de praderas naturales o la creación de praderas artificiales (e.g. cultivo o repoblamiento) implica cambios potenciales en el medio ambiente, en la estructura geográfica de las poblaciones naturales, así como en la composición, estructura y organización de la fauna asociada a las praderas (Ortiz & Stotz 2007, Schaffelke & Hewitt 2007, Davidson *et al.* 2015). Así, remover, repoblar o cultivar macroalgas puede afectar significativamente los procesos ecológicos naturales del lugar, debido a potenciales cambios en la composición de especies, interacciones entre especies y uso de hábitat de las especies residentes (Ortiz & Stotz 2007, Schaffelke & Hewitt 2007, Davidson *et al.* 2015). Además, los abalones escapados de los cultivos capaces de lograr poblaciones viables en el ambiente natural también constituyen un riesgo potencial para las macroalgas y las redes tróficas del lugar (Stotz *et al.* 2006).

En la acuicultura chilena es común trasladar organismos de especies con distribución restringida a través de todo el país con consecuencias ambientales desconocidas. El traslado puede ser a través de "siembra" dirigida o accidental de estados tempranos o adultos de especies exóticas, o de "cepas" (i.e., organismos genética y/o fenotípicamente homogeneizados por selección) en lugares "aptos" para la acuicultura donde puede o no haber poblaciones naturales de la misma especie (Camus 2005). Así, se desconoce el efecto de las poblaciones "nuevas" (introducidas o modificadas) de una especie sobre la estructura espacial de su flujo génico, la viabilidad de sus poblaciones originales, y las interacciones que se generaran con la biota local (Davidson *et al.* 2015). El repoblamiento también ocupa poblaciones alóctonas que producen un riesgo ecológico igualmente incierto. En este contexto, la información biogeográfica de las especies puede ser una herramienta útil para la conservación de ambientes marinos (Camus 2005).

El manejo de las especies exóticas utilizadas en acuicultura puede constituir un problema de bioseguridad nacional y regional (Hewiit & Cambell 2007), y es importante establecer la magnitud y alcance de su efecto sobre la biota nativa. Además, estas prácticas también plantean un problema bioético (entre otros, ver Olesen *et al.* 2011), y se debe establecer hasta que nivel o circunstancias son permisibles. Conocer la biología y ecología de la especie acuícola exótica seleccionada para cultivo parece ser la herramientas más

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

adecuada para predecir y controlar sus efectos potenciales (Camus 2005, Davidson *et al.* 2015).

El traslado y uso de especies exóticas y alóctonas es una actividad acuícola normal en Chile, muy compleja de regular, más aún si existen introducciones accidentales asociadas al transporte marítimo nacional e internacional o por distintas vías pasivas (Castilla *et al.* 2005, Thiel & Gutow 2005, Castilla & Niell 2009). Además, se desconoce el nivel de transformación antropogénica de la biota nacional (e.g. Fernández *et al.* 2000). Por ejemplo, hay varias especies de macroalgas consideradas exóticas, frecuentes de zonas portuarias, incluso algunas constituyen recursos explotados desde hace tiempo y potenciales especies aptas para la acuicultura (e.g. el alga roja *Mastocarpus spp*; Ávila & Alveal 1987, Oróstica *et al.* 2012, Macaya *et al.* 2013).

Efectos de la Acuicultura sobre las macroalgas: Salmonicultura y otros cultivos de peces

Seis impactos ambientales fueron identificados como factores que tienen un potencial impacto en el ensamble de macroalgas (**Tabla 5**). El ingreso de nutrientes y materia orgánica al ecosistema a través del alimento no digerido y del material fecal de los peces genera una mayor disponibilidad de nutrientes que favorece el crecimiento del ensamble de algas que habita los alrededores del cultivo (Buschmann *et al.* 2001). La disminución de la velocidad y dirección de las corrientes marinas por los sistemas de cultivo genera zonas de retención de propágulos de especies nativas y exóticas (Buschmann *et al.* 1996b). El cultivo de peces incrementa el material particulado y la sedimentación alterando el hábitat de la biota marina (Buschmann *et al.* 1996b). Así, el aumento en la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica en la columna de agua y el bentos (e.g. fondos anóxicos) produce cambios en la estructura y organización de las comunidades marinas (Buschmann *et al.* 2009). En la columna de agua aumentan las mareas rojas en torno al cultivo, principalmente dinoflagelados; mientras que en el bentos altera el hábitat favoreciendo el desarrollo de algunas especies, preferentemente algas verdes y algas verde-azules. La infraestructura acuícola produce residuos tales como flotadores, cuerdas de nylon y plásticos, entre otros que transportan propágulos y/o estados adultos de especies exóticas o nativas, ampliando el rango de distribución latitudinal de estas especies (Vidal *et al.* 2006, Thiel & Gutow 2005).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 5. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por acuicultura de peces

Impacto Ambiental	Efecto del cultivo de peces	Fuente	Potenciales impactos en el ensamble de macroalgas
Ingreso de nutrientes y materia orgánica al ecosistema	Materia orgánica compuesta por restos de alimento y materias fecales	Buschmann *et al.* 2001	Mayor disponibilidad de nutrientes aumenta tasa de crecimiento.
Disminución de la velocidad de las corrientes marinas	Los sistemas de cultivo modifican la velocidad y dirección de las corrientes	Buschmann *et al.* 1996	Genera zonas de retención de propágulos de especies nativas y exóticas.
Aumento de la sedimentación	Generación de material particulado	Buschmann *et al.* 1996	Alteración de hábitats
Cambios en la composición y estructura de la biota de la columna de agua.	Aumento en la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica en la columna de agua	Buschmann *et al.* 2009	Mareas rojas (Dinoflagelados en el entorno del cultivo)
			Cambios en la composición y estructura
Cambios en la composición y estructura de la biota bentónica	Aumento en la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica (*e.g.* fondos anóxicos)	Buschmann *et al.* 2009	Alteración de hábitats Limita la presencia de especies
Infraestructura y basura Acuícola	Generación de residuos provenientes de los sistemas de cultivo como flotadores, cuerdas de nylon y plásticos.	Vidal*et al.* 2006, Thiel & Gutow. 2005	Transporte de propágulos y estados adultos (incluye especies exóticas e invasoras)

Mitilicultura y otros cultivos de bivalvos

Siete impactos ambientales fueron identificados como factores que tienen un potencial impacto en el ensamble de macroalgas (**Tabla 6**). El ingreso de nutrientes y materia orgánica al ecosistema a través de la biodepositación de fecas y psudofecas en el bentos produce una alteración de hábitats (Jaramillo *et al.* 1992, López *et al.* 2008). La sedimentación por material particulado tiene el mismo impacto potencial (Crawford *et al.* 2003, López *et al.* 2008). La disminución de la velocidad y dirección de las corrientes marinas por los sistemas de cultivo de choritos genera zonas de retención de propágulos de especies nativas y exóticas (Crawford *et al.* 2003, Murillo *et al.* 2010). El

cultivo de choritos altera la productividad primaría en la columna de agua por consumo de microalgas y propágulos microscópicos de macroalgas (Crawford *et al.* 2003, Murillo *et al.* 2010, López *et al.* 2008). La acumulación de individuos desprendidos que se acumulan en el bentos altera el hábitat de fondos blandos al producir un sustrato secundario para el asentamiento y crecimiento de macroalgas (Conde &Domínguez 2004, Murillo *et al.* 2010). La introducción accidental de especies durante el transporte de individuos de cultivo, así como la infraestructura acuícola que produce residuos tales como flotadores, cuerdas de nylon y plásticos, son vectores de dispersión de propágulos microscópicos y/o estados adultos de especies exóticas o nativas, ampliando el rango de distribución latitudinal de estas especies (González & Santelices 2004, Vidal *et al.* 2006, Murillo *et al.* 2010).

Tabla 6. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por acuicultura de bivalvos.

Impacto Ambiental	Cultivo de Bivalvos	Fuente	Potenciales impactos en el ensamble de Macroalgas
Ingreso de nutrientes y materia orgánica al ecosistema	Biodepositación de fecas y pseudofecas en el fondo	Jaramillo *et al.* 1992, López *et al.* 2008	Alteración de hábitats
Aumento de la sedimentación	Generación de material particulado	Crawford *et al.* 2003, López *et al.* 2008	
Disminución de la velocidad de las corrientes marinas	Los sistemas de cultivo tienen efecto sobre la velocidad y dirección de las corrientes	Crawford *et al.* 2003, Murillo *et al.* 2010	Genera zonas de retención de propágulos de especies nativas y exóticas
Cambios en la composición y estructura de la biota de la columna de agua	Altera la productividad primaria	Crawford *et al.* 2003, Murillo *et al.*2010, López *et al.* 2008	Consumo microalgas y propágulos
			Favorece desarrollo de mareas rojas
Cambios en la composición y estructura de la biota bentónica	Acumulación en el fondo de individuos desprendidos	Conde &Domínguez 2004, Murillo *et al.*2010	Sustrato secundario que facilita el asentamiento y crecimiento

Introducción de especies al medio durante el transporte de especies de cultivo	Transporte accidental de propágulos microscópicos o vegetativos en las conchas	González & Santelices 2004	Transporte de propágulos y estados adultos de macroalgas (incluye especies exóticas e invasoras)
Basura Acuícola	Generación de residuos provenientes de los sistemas de cultivo como flotadores, cuerdas de nylon y plásticos	Vidal*et al.* 2004, Murillo *et al.* 2010	

Cultivos de gastrópodos (e.g. Abalones)

Siete impactos ambientales fueron identificados como factores que tienen un potencial impacto en el ensamble de macroalgas (**Tabla 7**). De estos, seis son similares a los descritos para la miticultura. En cambio, un impacto propio de esta actividad acuícola es el uso de macroalgas como alimento fresco que disminuye las praderas naturales por sobreexplotación, o modifica la estructura genética de las poblaciones por cultivo o repoblamiento (Buschmann *et al.* 2001, 2009, 2014; Camus 2005, Flores-Aguilar *et al.* 2007). También lo es la fuga accidental de organismos que modifica la estructura y organización de las comunidades (Stotz *et al.* 2006).

Tabla 7. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por la acuicultura de gasterópodos.

Impactos Ambientales	Cultivo de Gastrópodos	Fuente	Potenciales impactos en el ensamble de Macroalgas
Ingreso de nutrientes y materia orgánica al ecosistema	Biodepositación de fecas y pseudofecas en el fondo.	Jaramillo *et al.* 1992, Murillo *et al.* 2010	Alteración de hábitats
Aumento de la sedimentación	Generación de material particulado	Buschmann *et al.* 2001	
Disminución de la velocidad de las corrientes marinas	Los sistemas de cultivo tienen efecto sobre la velocidad y dirección de las corrientes	Vidal *et al.* 2006	Los sistemas funcionan como zonas de retención de propágulos

Cambios en la composición y estructura de la biota de la columna de agua	Ingreso de nutrientes al ecosistema	Buschmann *et al.* 2001	Favorece el desarrollo de mareas rojas
Cambios en la composición y estructura de la biota bentónica	Macroalgas como alimento fresco	Buschmann *et al.*2001, 2009; Camus 2005, Flores-Aguilar *et al.* 2007	Disminución de las praderas naturales de algas pardas
		Camus 2005, Buschmann *et al.*2014	Cultivo (*e.g.* hibridización) y repoblamiento (*e.g.* especie alóctona)
	Fuga accidental de organismos (especie alóctona)	Stotz *et al.* 2005	Funciones ecológicas (*e.g.* invertebrados herbívoros nativos)
Introducción de especies al medio por transporte de especies acuícolas	Transporte accidental de propágulosmicroscópicos o vegetativos en las conchas	Camus 2005	Transporte de propágulos y estados adultos de macroalgas (incluye sp. exóticas e invasoras)
Basura Acuícola	Generación de residuos provenientes de los sistemas de cultivo como flotadores, cuerdas de nylon y plásticos	Vidal*et al.* 2004; Murillo *et al.* 2006, 2010	

Cultivos de erizos de mar

Seis impactos ambientales fueron identificados como factores que tienen un potencial impacto en el ensamble de macroalgas (**Tabla 8**). Todos, son similares a los descritos para el cultivo de abalones. Sin embargo, el cultivo de erizos ha sido establecido principalmente para efectuar actividades de repoblamiento (Lovatelli *et al.* 2007).

Tabla 8. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por la acuicultura de erizos de mar.

Impactos Ambientales	Cultivo de erizos de mar	Fuente	Potenciales impactos en el ensamble de Macroalgas
Ingreso de nutrientes y materia orgánica al ecosistema	Fecas y restos no consumidos	Vidal *et al.* 2006, Murillo *et al.* 2006, 2010	Alteración de hábitats
Aumento de la sedimentación	Generación de material particulado	Vidal *et al.* 2006	
Disminución de la velocidad de las corrientes marinas	Los sistemas de cultivo tienen efecto sobre la velocidad y dirección de las corrientes	Vidal *et al.* 2006	Los sistemas funcionan como zonas de retención de propágulos
Cambios en la composición y estructura de la biota bentónica	Macroalgas como alimento fresco	Buschmann *et al.*2001, 2009; Camus 2005	Disminución de las praderas naturales de algas pardas
		Camus 2005, Buschmann *et al.*2014	Cultivo (*e.g.* hibridización) y repoblamiento (*e.g.* especie alóctona)
	Fuga accidentales	Vásquez & Donoso 2014	Funciones ecológicas (*e.g.* invertebrados herbívoros)
Introducción de especies al medio por transporte de especies acuícolas	Transporte accidental de propágulos microscópicos o vegetativos en las conchas	Camus 2005	Transporte de propágulos y estados adultos de macroalgas (incluye sp. exóticas e invasoras)
Basura acuícola	Generación de residuos provenientes de los sistemas de cultivo como flotadores, cuerdas de nylon y plásticos	Vidal*et al.* 2006; Murillo *et al.* 2006, 2010	

Cultivos de macroalgas

Cinco impactos ambientales fueron identificados como factores que tienen un potencial impacto en el ensamble de macroalgas (**Tabla 9**). Tres de estos fueron previamente descritos para cultivo de peces o invertebrados. Un impacto propio de esta actividad acuícola es el aumento de la sedimentación produciendo acumulación de material particulado en el bentos, modificando la composición granulométrica de los sedimentos y afectando la porosidad y

permeabilidad del sustrato modificando el hábitat (Westermeier *et al.* 1991, 1998). El cultivo de macroalgas también produce cambios en la estructura de la biota debido a la incorporación de flora y fauna epifita y cambios en la composición de la infauna modificando la estructura y organización de las comunidades locales (Buschamnn *et al.* 1995, 2014).

Tabla 9. Impacto ambiental, efecto del cultivo y potenciales impactos en el ensamble de macroalgas por la acuicultura de erizos de mar.

Impactos Ambientales	Cultivo de Macroalgas	Fuente	Potenciales impactos en el ensamble de Macroalgas
Ingreso de nutrientes y materia orgánica al ecosistema	Desprendimiento y descomposición de la biomasa de algas cultivadas	Murillo *et al.* 2010	Disponibilidad de nutrientes aumenta tasa de crecimiento macroalgas locales
Disminución de la velocidad de las corrientes marinas	Los sistemas de cultivo tienen efecto sobre la velocidad y dirección de las corrientes	Westermeier *et al.* 1991, 1998	Los sistemas funcionan como zonas de retención de propágulos
Aumento de la sedimentación	Aumento de material particulado	Westermeier *et al.* 1991, 1998	Alteración de hábitats
	Modifica la composición granulométrica de los sedimentos		
Cambios en la composición y estructura de la biota bentónica	Afecta la porosidad, permeabilidad y penetrabilidad del sustrato	Westermeier *et al.* 1991, 1998	
	Cambio en la estructura de la flora (epifitas)	Buschmann *et al.* 2014	Cambios en la composición y estructura
	Cambio en la estructura de la fauna	Buschmann *et al.* 1995	
Basura Acuícola	Generación de residuos provenientes de los sistemas de cultivo como flotadores, cuerdas de nylon y plásticos	Vidal*et al.* 2006, Murillo *et al.* 2006	Transporte de propágulos y estados adultos de macroalgas (incluye sp. exóticas e invasoras)

5.2.1.3. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen la comunidad bentónica

Antecedentes generales

A nivel mundial, debido especialmente a problemas de sobrepesca existentes en gran parte de las especies recurso, ha sido muy difícil aumentar la oferta de productos del mar por parte de las pesquerías. Por este motivo la acuicultura sigue siendo frecuentemente citada como la mejor alternativa de mercado para incrementar la oferta de estos productos, aun cuando para la alimentación de especies carnívoras se requiere contar con grandes aportes de otras especies obtenidas directamente a través de la pesca (Naylor *et al.*, 2000). Además, también algunos sistemas de cultivo reducen la producción de especies de captura, especialmente por las modificaciones de hábitat que es necesario realizar, como también por el impacto ecológico que generan dichas instalaciones.

La acuicultura es una actividad económica que en Chile ha tenido una larga trayectoria, comenzó hace aproximadamente 140 años con la introducción de especies de peces foráneas, y después de casi 80 años continuó con el cultivo de especies de invertebrados nativos, actividad que se ha ido intensificando y diversificando durante los últimos 30 años. No obstante, sobresale la salmonicultura (Basulto, 2003) como la industria importante, cuya actividad productiva ha llegado a representar alrededor del 6 % de las exportaciones totales de país con ventas por sobre los $2.000 millones de dólares anuales y que tendría como objetivo principal transformar a Chile en potencia alimentaria como primer productor mundial de salmón de cultivo (Abud Sittler *et al.*, 2009), además del cultivo de una veintena de otras especies entre algas, moluscos y peces destinadas al consumo humano (Resolución SUBPESCA N°2545, 2012). Este extraordinario desarrollo está basado principalmente en el cultivo de peces introducidos: Salmón del Atlántico (*Salmo salar*), Salmón plateado (*Oncorhynchus kisutch*), Salmón rey (*O. tschwystscha*) y Trucha arco-iris (*O. mykiss*), especies de las cuales la primera representa un poco más de la mitad de una producción que alcanza las 786.091 t (SERNAPESCA 2013) y se concentra básicamente en las Regiones X, XI y XII. En el 2001 Chile llegó a ocupar el primer lugar de la producción mundial de trucha arcoíris de cultivo, seguido de Dinamarca y Noruega. La mitilicultura ocupa el segundo lugar en orden de importancia nacional y está basada en el cultivo del chorito quilmahue (*Mytilus chilensis*), la cholga (*Aulacomya ater*), el choro zapato (*Choromytilus chorus*) y, posiblemente, *Mytilus galloprovincialis*, choro araucano (Tarifeño 2012). El cultivo de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

mitílidos se concentra, principalmente, en la X Región de Los Lagos. Entre las especies de cultivo restantes destacan las algas (pelillo) y las ostras y abalones entre los moluscos.

El progreso alcanzado por la acuicultura, que le ha permitido al país alcanzar altos niveles de producción no necesariamente ha reflejado un mejoramiento tecnológico que haya evitado o reducido los efectos que esta actividad tiene sobre el medio ambiente y las consecuencias en los ecosistemas donde estas actividades se realizan. La introducción de peces exóticos a los medios acuáticos libres de Chile han sido señaladas como altamente perjudiciales para el equilibrio ecológico (Arratia, 1978). Poco a poco se ha ido observado que, derivados de la acuicultura, se han ido produciendo impactos o perturbaciones que afectan tanto a la columna de agua como a los sedimentos y a las especies que integran las comunidades bentónicas que allí habitan (Buschmann 2001; Buschmann *et al.*, 2009).

Descripción de efectos de la acuicultura sobre las especies bentónicas

Una revisión bibliográfica detallada ha permitido observar que, desde que se manifestaron las primeras intenciones de introducir especies salmonídeas al país con fines de cultivo, existió diversidad de opiniones en relación a los efectos que la salmonicultura podría acarrear sobre las especies nativas y los ecosistemas que estas especies integran. En esta etapa la mayor preocupación estuvo centrada en la acción depredadora de los salmonídeos, especialmente las truchas, cuya alimentación en forma natural en los ambientes límnicos incluye huevos, larvas, formas juveniles y adultas de algunos insectos aéreos y otros organismos que por accidente caen al agua, crustáceos, moluscos, otros invertebrados acuáticos, peces y anfibios (Arratia, 1978). Sin embargo, muy poca atención se prestó a los efectos que el cultivo de salmones pudiera tener sobre las comunidades bentónicas marinas. No obstante, con el correr del tiempo se ha observado que las actividades de la salmonicultura han provocado impactos tanto en el medio ambiente límnico como en el marino costero.

Básicamente, los efectos que se han observado sobre las especies que forman parte de las comunidades bentónicas y que se relacionan con las etapas de cultivo que se llevan a cabo en aguas continentales, derivan de la saturación de las aguas. Debido a la menor capacidad de renovación que poseen las aguas interiores de ríos y lagos, comparadas con las aguas del mar, la principal fuente de contaminación proviene de los alimentos para los peces en cautiverio. Según Wu (1995), el impacto ambiental proveniente de la

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

acuicultura depende en gran medida de las especies, método de cultivo, densidad del stock, modo de alimentación, hidrografía del lugar y las prácticas de cría. Este autor ha estimado que aproximadamente cerca del 85% del fósforo, 80-88% del carbono y 52-95% del aporte de nitrógeno puede llegar a perderse en el ambiente a través de los restos de alimentos, excreción de los peces, producción de fecas y respiración. Con la cosecha de los peces se recupera un 25% del nitrógeno, fósforo y carbono que representan los pellets. El otro 75% se pierde y gravita finalmente hacia el fondo (Bushmann & Fortt 2006). Se agrega a esto, las fecas y otros productos de excreción.

De estos compuestos el fósforo se acumula especialmente en los sedimentos debajo de las balsas jaulas, por lo que se utiliza como indicador de contaminación. También sedimentan los compuestos nitrogenados. La acumulación de materia orgánica en los sedimentos ubicados debajo de las balsas jaulas se hace notoriamente más abundante que en aquellos lugares donde no se realiza esta actividad y termina por producir un aumento de la actividad microbiana aparejado con una disminución de la oxigenación con efectos negativos sobre la biodiversidad de los fondos.

La manipulación de los peces en los cultivos intensivos de altas densidades produce estrés, el que a su vez provoca la depresión del sistema inmunitario, lo que los vuelve más vulnerables a experimentar problemas de salud. Por este motivo, para rebajar la mortalidad en cautiverio y alcanzar satisfactorias tallas de cosecha, se ha hecho necesario tratarlos con diversos productos, especialmente antibióticos, en forma preventiva para evitar enfermedades. En Chile se usan mucho más antibióticos que en Noruega u otros países europeos y no se visualiza todavía el desarrollo de vacunas que pudieran permitir la disminución del alto uso de antibióticos para contrarrestar los efectos negativos de éstos hacia el medio ambiente. Los antibióticos que se agregan de esta forma al agua y a los sedimentos, modifican la flora bacteriana y, en consecuencia, afectan a la conservación de la biodiversidad, al producir alteraciones en los ecosistemas naturales. Al dar origen a cepas de bacterias del fondo resistentes a los antibióticos pueden resultar en el desarrollo de enfermedades que afecten tanto a las especies nativas como a los seres humanos y ante las cuales no se tiene tratamiento efectivo. Los antibióticos como la oxytetracyclina que son usados por la salmonicultura del salmón del Atlántico se encuentran presentes en los estuarios de Chile y podrían afectar la salud humana, especialmente de aquellos trabajadores involucrados en los procesos de cultivo y procesamiento de peces (Miranda y Zemelman 2002). Este es un problema ambiental que requiere más estudios y que podría afectar directamente a la imagen país de Chile.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

El aumento de la materia orgánica procedente de la incorporación de nutrientes derivados de la salmonicultura al medio acuático origina cambios en la biodiversidad, desequilibrio en las relaciones tróficas de las especies debido a la pérdida del control por parte de los organismos consumidores, aumento de la intensidad y frecuencia de las floraciones algales y disrupción funcional en el ecosistema, a la vez que conduce lentamente a la eutroficación. Al comienzo de este fenómeno se produce un aumento explosivo de algas en la superficie del sistema acuático que impide que la luz incida en las zonas más profundas del sistema. Esto, consecuentemente, provoca una disminución de la fotosíntesis y una consiguiente disminución del oxígeno disuelto en el agua. Contribuye a esta disminución de oxígeno disuelto el aumento en la respiración aeróbica en el fondo del sistema acuático, ocasionado por a la descomposición de materia orgánica generada por bacterias y hongos. De esta forma, ríos y lagos pueden llegar a formar un ambiente microóxico o anóxico, lo que conlleva a una profunda alteración de la flora y fauna nativa.

El lavado clandestino de redes en ríos y en plantas sin tratamiento de riles también ha contribuido al deterioro del medio ambiente (Montero, 2004). Así por ejemplo, se ha indicado que ciertos sectores del lago Llanquihue estarían perdiendo su calidad de oligotróficos debido al aumento de los niveles de fósforo que ha provocado en las aguas y en los sedimentos el enriquecimiento alcanzado por esta vía (www.terram.cl). Particularmente altas son las concentraciones de estos compuestos en las aguas intersticiales, donde se supone que las condiciones superan aquéllas de hiper-eutrofía. Esto implicaría que los niveles de fosfato con efectos deletéreos crónicos pudieran continuar altos por un tiempo no bien precisado aún, aunque se cerraran centros de cultivo. La diversidad de la macroinfauna ha disminuido debido a la salmonicultura de aguas continentales, especialmente en lo que se refiere a pequeños crustáceos, alcanzando un máximo en el lago Huillinco en Chiloé donde la fauna bentónica ha llegado a ser prácticamente inexistente.

A los aspectos señalados es necesario agregar el asilvestramiento de salmonídeos y los eventos de escape que ocurren en ríos y lagos del sur de Chile (Orellana, 2010). A fines del siglo XIX y comienzos del siglo pasado hubo varios particulares que promovieron la introducción de salmonídeos exóticos, en especial de truchas, las que fueron introducidas en la zona central y después sembradas en lagos y ríos en las regiones del sur (Soto *et al.*, 2006). Resultado de estas siembras las truchas hoy se reproducen naturalmente bajo la forma de poblaciones asilvestradas y representan los peces más abundantes. Se ha observado que la dieta de las truchas y salmón del Atlántico recolectados en ríos al lago y ríos al mar se alimentan básicamente de larvas de dípteros, efemerópteros y crustáceos, a la vez que gran cantidad

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

de restos de pellets. En contraste las truchas arcoíris escapadas de centros de engorda en el mar se alimentan de especies de peces nativos como el puye chico y juveniles de róbalos. El escape de salmones desde los lugares de cautiverio ha alcanzado en Chile magnitudes 15 veces superiores a las de Noruega, llegando a escapes de 1,7 millones de salmonídeos desde centros de cultivo en el mar (Sepúlveda, 2009), lo que podría afectar negativamente a los peces nativos e invertebrados acuáticos de importancia comercial (Soto *et al.*, 2001). Sin duda que el efecto de la invasión provocada, en parte, por el asilvestramiento de estas especies exóticas y por los escapes ocurridos desde las instalaciones de salmonicultura, tanto en las aguas continentales como en el mar están alterando las comunidades de especies nativas (Pascual, 2007).

A los efectos directos provocados en la macroinfauna por la salmonicultura, es necesario agregar los efectos indirectos como son el aumento significativo de aves omnívoras, carroñeras y buceadoras en los lugares próximos a las áreas de cultivo. La abundancia de estas aves podría estar implicando un aumento en la presión de los depredadores, factor que estaría gravitando complementariamente sobre la fauna del fondo en estas áreas.

Desde un punto de vista comparativo, entre los factores que afectan a la fauna bentónica de aguas dulces, se ha señalado que el cobre ha aumentado notoriamente en los sedimentos en aquellos sitios utilizados por esta actividad, siendo este efecto mayor en los lagos continentales que en aquéllos ubicados en la isla de Chiloé. La biodiversidad de la macroinfauna bentónica ha presentado disminuciones, con efectos más dramáticos en los lagos insulares de Chiloé, a la vez que la presencia de aves omnívoras, buceadoras y carroñeras ha aumentado notoriamente en sitios con actividades de acuicultura. Del mismo modo, en los sistemas marinos costeros se han registrado aumentos en el depósito de materia orgánica bajo los sistemas de cultivo. El amonio intersticial ha aumentado en el sector de Chiloé con respecto al Seno de Reloncaví, aunque en este último el aumento de fosfatos ha sido mayor, asociado a sistemas de cultivo. También se ha evidenciado un incremento del cobre en los sedimentos de sectores usados para salmonicultura. En lo referente a la macroinfauna bentónica, aunque no se han observado cambios significativos en la biodiversidad, si se han registrado cambios en la composición relativa de las especies (**Tabla 10**). Se han asociado mortalidades de lobos marinos a la presencia de cultivo de salmones y la presencia de aves omnívoras, buceadoras y carroñeras también ha aumentado notablemente en sitios donde se desarrollan cultivos de salmones (Buschmann, 2002).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Resumiendo, en primer término las instalaciones de salmonicultura de aguas continentales están afectando a las comunidades bentónicas principalmente por los restos de pellets, como también las heces de los peces y parte de los antibióticos y metales pesados que impregnan estas partículas. Estas caen al fondo y pasan a integrar parte de los sedimentos, afectando a la microflora y microfauna local y, secuencialmente, a los restantes integrantes del ecosistema a través del desequilibrio producido entre las distintas especies de invertebrados que integran las tramas tróficas establecidas entre las especies nativas. Los antibióticos utilizados por la industria salmonera sin duda están alterando la flora bacteriana bentónica y representan una amenaza potencial constante por los cambios que pueden originar en la sucesión normal de especies. Los efluentes de las instalaciones representan otro impacto permanente para las especies nativas del fondo de ríos y lagos, debido al acarreo de compuestos derivados de desechos industriales y potenciales enfermedades, a la vez que alteran la comunidad bentónica, debido a las modificaciones estructurales y funcionales que introducen entre las especies que las integran (Ramos-Ordenes, 2008). Por último, los escapes frecuentes de salmonídeos desde las balsas-jaulas están produciendo declinaciones notorias entre las especies de fondo, en la forma de sustracción de depredadores y consumidores nativos.

Tabla 10. Efectos de la Salmonicultura de aguas continentales en organismos del bentos

Phyllum o Grupo	Especie	Instalación	Presa de salmonídeos Escapados	Agentes químicos (potencial)	Transmisión de enfermedades (potencial)
Platelmintos					
Planariidae	*Dugesia* sp.	+	+	+	+
Anélidos					
Glossiphoniidae	*Glossiphonia* sp.	+	+	+	+
Naididae	*Dero digitata*	+	+	+	+
Naididae	*Nais pardalis*	+	+	+	+
Piscicolidae	*Piscicola*	+	+	+	+
Tubificidae	*Tubifex*	+	+	+	+
Artrópodos					
Chironomidae		+	+	+	+
Moluscos					
Bivalvo sp		+	+	+	+
Hidrobiidae	*Littoridina cummingi*	+	+	+	+
Neoleptonidae	*Neolepton* sp	+	+	+	+
Sphaeriidae	*Pisidium* sp	+	+	+	+

Efectos de salmonicultura: Las especies nativas marinas bajo el efecto de las actividades derivadas de esta actividad.

La mayor proporción del nitrógeno que es liberado al medio ambiente acuático procedente de la excreción de los salmones en cautiverio permanece disuelto en la columna de agua dando origen a un mayor crecimiento de microalgas (Troell *et al.*, 1997). La abundancia de fitoplancton tóxico ha sido correlacionada en el extranjero con la existencia de sistemas de cultivo (Sellner *et al.*, 2003), situación que también en Chile ha sido confirmada (Buschmann *et al.*, 2006). Se han registrado quistes de dinoflagelados nocivos en sedimentos costeros del mar interior de Chiloé (Salgado *et al.*, 2011).

El aumento de la materia orgánica en los sedimentos marinos, ocasionado por los restos de alimento y heces que precipitan al fondo ha llevado, al igual que en los fondos de aguas continentales, a condiciones de reducción del contenido de oxígeno y procesos de eutroficación. Esto ha hecho necesario clasificar las zonas salmonicultoras en aeróbicas y anaeróbicas, según el estado en que se encuentran los fondos marinos (Vega, 2013). La recuperación de los fondos anaeróbicos es aún un tema de discusión que requiere nuevas investigaciones en el país.

Al igual que en las instalaciones en agua dulce las balsas-jaula de sectores costeros representan una fuente de emisión permanente de restos de pellets procedentes de la alimentación de los salmones. Los aportes de materia orgánica representados por estos restos, junto con las heces y restos de excretas y antibióticos precipitan al fondo incorporándose a los sedimentos. Las bacterias de las comunidades bentónicas llegan por este medio a hacerse cada vez más resistentes a los antibióticos, existiendo el riesgo potencial de desarrollar enfermedades aún no muy conocidas, que puedan afectar tanto a otras especies de las comunidades de fondo como a los seres humanos. La abundancia de protistas que se ha observado en los sedimentos marinos bajo las balsas-jaula, ha llevado a suponer que algunos de éstos podrían actuar como hospedadores de bacterias intracelulares patógenas. Se ha observado que la capacidad de sobrevivencia de bacterias o virus aumenta en meses o años estando en el sedimento. También se han detectado ambientes microbianos y presencia de patógenos en redes en el biofouling de jaulas de salmones (Godoy, 2011). Este biofouling, definido como un ensamblaje de flora y fauna formado por crecimiento sucesivo de micro y macro-organismos, algas e invertebrados, es uno de los problemas permanentes que debe enfrentar la industria salmonera (**Tabla 11**). En una primera fase lo integran bacterias, diatomeas, protozoos, algas, hidroides, moluscos, cirripedios y esponjas.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Estos organismos en las redes disminuyen el espacio libre de las mallas, reduciendo el oxígeno, por la disminución del flujo del agua, actúan como reservorio de patógenos, aumentan la resistencia al arrastre y el peso de las balsas-jaulas. Especies detectadas en el lodo de fouling son balánidos (*Balanus improvisus*), y el mejillón (*Mytilus galloprovincialis*).

Para contrarrestar el efecto del biofouling se ha empleado durante mucho tiempo pinturas antifouling o anti-incrustantes que están constituidas por una matriz o aglutinante compuesto que va liberando las partículas biocidas del componente activo, generalmente compuestos como oxido cuproso, junto a algún base solvente orgánico volátil y compuestos auxiliares. Entre estos últimos se ha encontrado Plomo, Estaño, Zinc, Cromo, Calcio, Cloro, Azufre, Fosforo, Silicio, Magnesio y Cobre en las pinturas utilizadas en Chile (Silva, 2011).

El verde de malaquita es otro compuesto químico con componentes tóxicos como el cobre, que ha sido usado para combatir parásitos como los llamados "piojos de mar", copépodos parásitos del género Caligus, compuesto que, pese a estar prohibido, ha sido registrado en ocasiones con posterioridad a la entrada en vigencia de la normativa. No obstante, se han ensayado otros compuestos químicos con buenos resultados en el control de *Caligus rogercresseyi*, parásito de *Salmo salar* de la X Región, con resultados aparentemente más inocuos hacia el medio ambiente (Bravo *et al.*, 2012, Telfer *et al.*, 2006).

También desde las instalaciones de los centros de engorda ubicados en los sectores marinos costeros han ocurrido y siguen ocurriendo escapes de un elevado número de ejemplares de salmones con resultados nefastos para las especies bentónicas y que representan una amenaza permanente para los ecosistemas nativos. Esto, debido a la probabilidad de que se establezcan en el ambiente natural poblaciones naturalizadas autosuficientes (Sepúlveda *et al.*, 2013).

Por los antecedentes señalados, los factores más gravitantes al momento de determinar los efectos que produce la fase marina de la salmonicultura sobre las especies bentónicas están constituidos en primer lugar por las instalaciones mismas. Las deficiencias técnicas que se observan producen la caída hacia el fondo de materia orgánica que afecta a las comunidades del fondo. También estas deficiencias ocasionan el escape de organismos, los cuales ejercen actividades de depredación sobre las especies de peces nativos y, consecuentemente sobre los macroinvertebrados. Ambos procesos, el aumento de materia orgánica y el escape de salmones, representan amenazas potenciales para la fauna del fondo por la influencia de compuestos químicos

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

diversos como también por el desarrollo de enfermedades producto del desequilibrio que producen en el ecosistema.

Tabla 11. Efectos de la salmonicultura marina en especies que componen la comunidad bentónica.

Phyllum o grupo	Especie	Instalación	Presa de salmonídeos escapados	Agentes químicos potencial	Transmisión de enferm. Potencial	Compe-tencia	Anti-fouling
Cnidarios							
Actinia		+	+	+	+		
Anélidos							
Capitellidae	*Capitella capitata*	+	+	+	+	+	
Cirratulidae	*Tharyx longisetosa*	+	+	+	+		
Cirratulidae	*Cirratulus cirratus*	+	+	+	+		
Dorvilleidae		+	+	+	+		
Glyceridae	*Glycera* sp.	+	+	+	+		
Lumbrinereidae	*Lumbrineris* sp.	+	+	+	+		
Maldanidae		+	+	+	+		
Nephtydae	*Nephtys* sp.	+	+	+	+		
Orbiniidae	*Scoloplos* sp.	+	+	+	+		
Paraonidae		+	+	+	+		
Phyllodocidae	*Eteone* sp.	+	+	+	+		
Phyllodocidae	*Phyllodoce*	+	+	+	+		
Polynoidae	*Harmathoe* sp.	+	+	+	+		
Sabellidae	*Megaloma monoculata*	+	+	+	+		
Spionidae	*Prionospio chilensis*	+	+	+	+		
Spionidae	*Spiophanes bombyx*	+	+	+	+		
Spionidae	*Polydora* sp	+	+	+	+		
Spionidae	*Prionospio orensanzi*	+	+	+	+		
Terebellidae		+	+	+	+		
Artrópodos							
Cumaceo		+	+	+	+		
Alpheidae	*Betaeus truncatus*	+	+	+	+		
Phoxocephalidae	*Paraphoxus* sp.	+	+	+	+		
Pinnotheridae	*Pinnixa chiloensis*	+	+	+	+		
Anfípodo		+	+	+	+		
Corophiidae	*Ahora typica*	+	+	+	+		
Moluscos							
Nassaridae	*Nassarius gayi*	+	+	+	+	+	+

Nassaridae	*Nassarius dentifer*	+	+	+	+	+	+
Nuculanidae	*Nuculana cuneata*	+	+	+	+		+
Nuculidae	*Linucula pisum*	+	+	+	+		+
Tellinidae	*Macoma inornata*	+	+	+	+		+
Veneridae	*Venus antiqua*	+	+	+	+		
Equinodermos							
Asteriidae	Ofiuroídeo indet.	+	+	+	+		
Echinidae	*Loxechinus albus*	+	+	+	+		

Gremios de especies bentónicas sublitorales bajo el efecto de las alteraciones producidas por la salmonicultura

La composición y estructura de las comunidades bentónicas marinas puede ser estudiada desde los dos puntos de vista siguientes: a) a través del análisis amplio que considera la diversidad de especies, base de las tramas tróficas a través de las cuales se transmiten los flujos de energía (Yodzis, 1993) y, b) por medio del análisis centrado en los efectos de unas especies sobre otras, o de los factores que favorecen la presencia de algunas especies y la ausencia de otras (Paine, 1966). Tradicionalmente, los estudios del medio ambiente bentónico se han focalizado en el primer criterio, es decir, en el análisis de los grupos taxonómicos que integran las comunidades desde la perspectiva de grupos funcionales. No obstante, se ha considerado que los grupos funcionales también consisten en gremios constituidos por especies que explotan los mismos recursos, o sea que estos gremios casi siempre se constituyen en función de las relaciones tróficas (Terborghi & Robinson, 1986). Bajo la denominación de gremio se reconoce un grupo de especies que explotan una misma clase de recursos de una forma similar, sin importar la relación taxonómica que existe entre éstas (Root, 1967). Los organismos bentónicos que hoy en día integran las comunidades que se encuentran en sectores ubicados bajo las instalaciones de salmonicultura, son el resultado de una comunidad originalmente prístina que se encuentra bajo el efecto de las alteraciones gestadas en la superficie. Principalmente, estas comunidades reciben efluentes, partículas y microorganismos que gravitan desde las instalaciones. Al mismo tiempo reflejan las interacciones que se han ido produciendo entre los organismos mismos de los distintos grupos taxonómicos que las han ido integrando. La forma en que las especies bentónicas obtienen su alimento refleja las adaptaciones de éstas al medio ambiente (Simberloffm

& Dayan, 1991). Las diferencias existentes entre éstas se ven reflejadas en el modo de alimentación que han desarrollado y permiten observar la forma en que la energía es transferida desde la superficie al medio ambiente bentónico, pudiendo ser agrupadas en dos tipos de acuerdo al siguiente criterio: 1) lo que comen los organismos, condición que permite clasificarlos en herbívoros, carnívoros y detritívoros y, 2) la forma en que ingieren el alimento, según lo cual es posible distinguir suspensívoros, filtradores, depositívoros (comedores de fango), carroñeros y predadores (Lavaleye *et al.*, 2007) (www.aqualex.org). Basado en este criterio las especies y o grupos taxonómicos que han sido registrados de aquellos sectores donde existen instalaciones de salmonicultura, tanto en aguas continentales (**Tabla 10**) como marinas (**Tabla 11**), permiten observar que los gremios o grupos funcionales representados en ambos casos, reflejan las condiciones que presenta el medio ambiente bentónico en un gradiente que se extiende desde ambientes relativamente poco alterados, o semi prístinos, hasta aquéllos que exhiben señales de eutroficación, típicas de un medio ambiente anaeróbico. El estado en que se encuentran estas comunidades se puede detectar a través de la existencia de: a) gremios que actualmente agrupan a las especies presentes en distintas proporciones; b) grupos taxonómicos muy escasamente representados; c) grupos taxonómicos dominantes, altamente competitivos, con altas frecuencias que monopolizan el medio ambiente y, d) parásitos.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.2.1.4. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies ícticas

Antecedentes generales

La acuicultura es considerada una alternativa para aumentar la oferta de productos marinos debido a la sobreexplotación y disminución de las principales pesquerías en el mundo (Goldburg y Naylor 2005). Sin embargo, la intensificación del cultivo de especies introducidas genera una serie de amenazas sobre la biodiversidad tanto marina como continental. En Chile, el efecto negativo sobre los peces nativos se ha asociado principalmente a la salmonicultura que afectaría a la ictiofauna nativa por las siguientes causas: (1) El escape de salmones desde los centros de cultivo hacia el medio natural (Buschmann *et al.* 2006; Sepúlveda *et al.* 2013); (2) El traspaso de antibióticos para salmones desde los centros de cultivo hacia el ambiente (Niklitschek *et al.* 2013); y (3) La diseminación de patógenos y enfermedades (Buschmann *et al.* 2009). Estas causas han afectado tanto a los peces nativos marinos como dulceacuícolas. Los trabajos asociados a la ictiofauna marina se han centrado en la depredación de los peces nativos por parte de los salmonídeos escapados desde centros de cultivos en el sur de Chile (Soto *et al.* 1997; Soto *et al.* 2001; Fernández *et al.* 2010; Niklitschek *et al.* 2011, Niklitschek *et al.* 2013), así como a la presencia de infecciones (Sepúlveda *et al.* 2004; Buschmann *et al.* 2006; Buschmann *et al.* 2009) y antibióticos en los peces nativos (Fortt *et al.* 2007; Fortt & Buschmann 2007; Niklitschek *et al.* 2013). En cambio, los estudios relacionados a los peces dulceacuícolas se han centrado principalmente en la competencia y el impacto sobre la fauna nativa de peces de ríos y lagos del sur de Chile (Soto *et al.* 2006; Arismendi *et al.* 2009; Penaluna *et al.* 2009; Young *et al.* 2010; Arismendi *et al.* 2012; Correa *et al.* 2012; Correa & Hendry 2012). Se destaca también los trabajos realizados en lagos de la patagonia Argentina donde los salmonídeos han sido introducidos ocasionando similares impactos que en los lagos chilenos (Macchi *et al.* 1999; Macchi *et al.* 2007; Pascual *et al.* 2007; Lattuca *et al.* 2008; Pascual *et al.* 2009; Vigliano *et al.* 2009; Juncos *et al.* 2013; Juncos *et al.* 2014).

La miticultura es la segunda actividad acuícola con mayor producción en Chile, concentrándose principalmente en la región de los Lagos. Esta actividad se centra en el cultivo del bivalvo *Mytilus chilesis*. Si bien el cultivo de mitílidos es una de las principales actividades acuícolas en la región de los Lagos, son escasos las publicaciones científicas que aborden el efecto de este cultivo intensivo sobre el ecosistema marino en el sur de Chile (Cursach *et al.* 2011).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Efectos de la salmonicultura

- Los peces nativos marinos como presa de salmonídeos de vida libre

En relación a la depredación de la ictiofauna nativa, Soto *et al.* (1997) registró un alto consumo de peces pelágicos que forman cardúmenes, como por ejemplo el pejerrey (*Odontesthes regia*) y juveniles de mote (*Normanichthys crockery*), por parte del salmón del Atlántico (*Salmo salar*) en las localidades de Puerto Cisnes y Puerto Chacabuco (región de Aysén). En estas localidades, *S. salar* presentó un consumo promedio por estomago de 25 y 40 individuos de *O. regia* y *N. crockery*, respectivamente. Además, se registró el consumo de lampreas juveniles (*Geotria australis*) por parte de *S. salar*, evidenciando hábitos bentófagos (Soto *et al.* 1997). Soto *et al.* (2001) amplía el número de presas en salmones escapados, registrando el consumo de otros peces pelágicos por parte del salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) en la zona de Puerto Cisne (región de Aysén), correspondientes a la anchoveta (*Engraulis ringens*), la sardina (*Sardinops sagax*), el mote, el pejerrey y juveniles de huaica (*Macruronus magellanicus*). Asimismo, reportaron la competencia por el alimento entre los salmones escapados (trucha arcoíris, salmón cojo, salmón salar) y especies pelágicas como el jurel (*Trachurus murphy*), la merluza (*Merluccius gayi*) y la hauica en el mar interior de Chiloé y las localidades de Puerto Cisnes y Puerto Chacabuco (Soto *et al.* 2001). Por otra parte, Niklitschek *et al.* (2011b) determinó que el salmón chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) se alimenta principalmente de peces de la familia Nototheniidae durante el verano en el fiordo Aysén, con un índice de importancia relativa en la dieta (IIR) del 74,36%. Sin embargo, no entrega mayor detalle de las especies comprendidas dentro de la familia Nototheniidae que son consumidas por *O. tshawytscha*. En contraste, durante el invierno *O. tshawytscha* se alimenta principalmente de peces nativos no identificados de la clase Actinopterygii (IIR = 79,23%) seguido de la sardina austral (*Sprattus fuegensis*) (IIR = 18,5%). Además, Niklitschek *et al.* (2011b) registró un alto consumo de peces de la familia Nototheniidae (IIR = 79,41%) seguido por la clase Actinopterygii (IIR = 15,44%), por parte de la trucha café (*Salmo trutta*) durante el verano en el fiordo Aysén, mientras que en invierno se alimenta principalmente de peces de la clase Actinopterygii (IIR = 64,27%). Por otra parte, Niklitschek *et al.* (2011b) determinó que la dieta del salmón coho estuvo compuesta principalmente por peces de la familia Nototheniidae (IIR = 45,53%) durante el verano y la clase Actinopterygii junto con *S. fueguensis* durante el invierno con un IIR de 48,12% y 31,45%, respectivamente. En contraste, la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) se alimenta

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

principalmente de crustáceos e insectos en el fiordo Aysén (Niklitschek *et al.* 2011b). Cabe destacar que el consumo anual promedio estimado para los salmones escapados en el fiordo Aysén se eleva por sobre las 10.000 ton, superando el desembarque artesanal de peces en toda la región de Aysén (7.252 ton en 2009), siendo *S. fueguensis*, *O. regia* y crustáceos plantónicos las principales presas de los salmonídeos (Niklitschek *et al.* 2011c). Estos resultados son congruentes con los registrados en la costa patagónica Argentina, mediante isotopos estables, donde salmonídeos anádromos como el *salmón chinook*, la trucha café y arcoíris se alimentarían de *S. fuegensis* (Ciancio *et al.* 2008; Ciancio *et al.* 2010). El pejerrey (*O. regia*) también formaría parte de la dieta de la trucha café en la costa Argentina durante su etapa juvenil, mientras que en su etapa adulta consumiría tanto *S. fuegensis* como *O. regia* (Ciancio *et al.* 2010). Cabe destacar el alto consumo de anfípodos por parte de las truchas, generando una posible competencia por el alimento con la merluza (*Merluccius hubbsi*) en la costa patagónica Argentina (Ciancio *et al.* 2010). Por otra parte, Fernández *et al.* (2010) entrega nuevos antecedentes relacionados a las potenciales presas que conformarían la dieta del salmón chinook en el canal Beagle (extremo sur de américa). Estas corresponderían al robalo (*Eleginops maclovinus*), los peces del suborden nototenioidei (*Patagonotothen tessellata*, *P. cornucola*, *P. sima*, *Paranotothenia magellanica*, *Harpagifer bispinis*), la morenita (*Austrolychus depressiceps*) y *S. fuegensis* (Fernández *et al.* 2010).

En el hemisferio norte, no se han detectado diferencias en la composición de las presas entre salmones nativos y escapados desde pisciculturas en la costa noreste del Atlántico (Jacobsen & Hansen 2001). Según estos autores, la dieta de *Salmo salar* estaría compuesta principalmente por peces mesopelágicos (Myctophidae y Paralepidae), junto con el arenque (*Clupea harengus*) y un pez gadiforme (*Micromesistius poutassou*). En la etapa juvenil, *Salmo salar* se alimentaria del arenque (*C. harengus*), peces de la familia Scorpaenidae y el pez gadiforme (*M. poutassou*) en la costa noreste del Atlántico (Haugland *et al.* 2006). Por otra parte, en la costa noreste del Pacifico el salmón coho y chinook se alimentarían principalmente de la anchoveta del norte (*Engraulis mordax*) y peces de roca del genero Sebastes (Brodeur *et al.* 2007).

- Los peces nativos dulceacuícolas como presa de salmonídeos de vida libre

Los peces nativos tanto en lagos como en ríos del sur de Chile han sufrido una fuerte depredación por parte de los salmonídeos introducidos. Por ejemplo, se a registrado una fuerte declinación de peces nativos en lagos que presentan centros de cultivo de salmones en etapa smolt, como por ejemplo los lagos

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Puyehue, Ranco y Rupanco, donde los peces fueron el principal ítem presa compuesto por Galaxias, Aplochiton y Atherinidae (Arismendi *et al.* 2009). En cambio el lago Todos Los Santos que no presenta centros de cultivo de salmones, exhibió un mayor consumo de insectos por parte de los salmones (Arismendi *et al.* 2009). Según Soto *et al.* (2006), en lagos donde los salmones son cultivados, ellos representan más del 80% de la biomasa total de peces, mientras que en los lagos donde no se encontraron salmones o truchas, por ejemplo el lago Yulton-Meullin en la región de Aysén, se registraron grandes poblaciones del puye grande (*Galaxias platei*) y la peladilla (*Aplochiton zebra*). Por otro lado, Correa *et al.* (2012) utilizó isotopos estables para determinar la depredación de la trucha café y arcoíris sobre el puye grande (*G. platei*) en lagos de la región de Aysen, registrando un decrecimiento en el nivel trófico de *G. platei*, limitando su tasa de crecimiento, potencial reproductivo de los adultos y reduciendo la productividad de la población. Esta fuerte asociación negativa no solo afectaría a *G. platei* en los lagos de Aysén, sino que también a especies de peces nativas susceptibles a la predación como el puye (*Galaxias maculatus*) y el género Aplochiton que presenta una sobreposición de nicho con los salmones (Correa & Hendry 2012). Al igual que en Chile, en los lagos de la Patagonia Argentina la principal presa de los salmonídeos es *G. maculatus* (Macchi *et al.* 1999; Macchi *et al.* 2007; Vigliano *et al.* 2009). Por ejemplo, se ha descrito que los salmonídeos (*O. mykiss*, *S.trutta* y *S. fontinalis*) son más eficientes en el consumo de *G. maculatus* que su depredador nativo (*Percichthys trucha*) (Macchi *et al.* 2007). Una posible explicación estaría relacionada al consumo de *G. maculatus* por parte de los salmonídeos en su hábitat pelágico, antiguo refugio de *G. maculatus* para evitar la depredación por parte de *P. trucha* (Macchi *et al.* 2007). Asimismo, Vigliano *et al.* (2009) reportó que la dieta de la trucha arcoíris en lagos de la Patagonia Argentina estuvo compuesta principalmente por larvas pelágicas de *G. maculatus* y de los adultos de *G. maculatus* que habitan en el bentos. Además, estimó que la trucha arcoíris consume el 23% estimado de la producción anual de larvas de *G. maculatus* (Vigliano *et al.* 2009). Estudios recientes han confirmado el impacto de la predación de los distintos estadios de desarrollo de *G. maculatus* por parte de *O mykiss*, *S. trutta* y *S. fontinalis*, en especial de las etapas larvales en lagos de Argentina (Juncos *et al.* 2013; Juncos *et al.* 2014). En este sentido, Juncos *et al.* (2014) menciona que *G. maculatus* es la especie "clave" por su pre-adaptación a la predación, limitando la interacción negativa entre salmonídeos y peces nativos. Según Juncos *et al.* (2014), las poblaciones del puye grande (*G. platei*) no sufrirían un efecto negativo por la depredación y competencia con los salmonídeos, debido a la utilización del hábitat béntico de profundidad

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

donde encontraría refugio. En cambio, el pejerrey patagónico (*Odontesthes hatcheri*) podría verse afectada por la predación de los salmonídeos y/o la competición por las presas pelágica (zooplancton y larvas de *G. maculatus*). Esta interacción negativa podría haber causado una reducción de las poblaciones de *O. hatcheri* en lagos de la patagónia Argentina (Juncos *et al.* 2014). Los estudios realizados en ríos y arroyos del sur de Chile confirman el impacto de los salmonídeos sobre los peces nativos, siendo las truchas arcoíris y café los principales componentes de la fauna de peces (Soto *et al.* 2006). Una de las causas estaría relacionada a la sobreposición de nicho entre las especies nativas y los salmonídeos (Penaluna *et al.* 2009; Young *et al.* 2010). Por ejemplo Penaluna *et al.* (2009), advierte un mayor riesgo de competición del puye rojo (*Brachygalaxias bullocki*), el puye (*G. maculatus*) y el bagre (*Trichomycterus areolatus*) con la trucha arcoíris y café, debido a una sobreposición de nicho. Esta competencia ocasionaría cambios en la dieta de los peces nativos (Townsend 2003; Simon & Townsend 2003), así como una mayor predación (Arismendi *et al.* 2012). Según Arismendi *et al.* (2012), existiría una mayor piscivoría de la trucha café que de la arcoíris por los peces de las familia Galaxidae (*G. maculatus*, *G. platei* y *B. bullocki*). El mayor impacto de la trucha café sobre los peces nativos también ha sido documentada sobre el género Aplochiton en arroyos de Chiloé, donde se ha estudiado el efecto sobre las poblaciones de *Aplochiton sp.*, evidenciando una mayor capacidad de coexistencia con la trucha arcoíris que con la trucha café (Young *et al.* 2010).

- El traspaso de antibióticos y la diseminación de enfermedades desde los centros de cultivo hacia los peces nativos

Las potenciales interacciones entre los peces nativos y el uso de agentes antibacterianos y antiparásitos en la acuicultura han sido reportados por Fortt *et al.* (2007) y Fortt & Buschmann (2007), donde se determinó la presencia de residuos de Oxitetraciclina y Quinolonas en el tejido de robalos (*Eleginops maclovinus*) y cabrillas (*Sebastes capensis*). Estos peces costeros habitan en la cercanía a los centros de cultivo del salmón del Atlántico y trucha arcoíris, donde estarían alimentándose del pellet y desechos que contendría altas concentraciones antimicrobianas. Sin embargo, estos trabajos adolecen de una falta de rigurosidad taxonómica en la identificación de las especies de peces nativos afectados por estos residuos. Esto queda de manifiesto al incorporar a *Scorpaena hystrio* como el nombre científico del róbalo y a *Eleginops maclovinus* como el nombre común de la cabrilla. Además, al revisar las imágenes que se incluyen en ambos trabajos, los autores incorporan una

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

fotografía del blanquillo (*Prolatilus jugularis*) que en el artículo mencionan como "cabrilla". En relación a estos antecedentes y en especial a las fotografía incluidas en los artículos, se esperaría una presencia de agentes antibacterianos y antiparásitos en el robalo (*E. maclovinus*) y el blanquillo (*P. jugularis*). En este contexto, es importante de mantener una rigurosa revisión se los trabajos que se mencionan en revisiones para que estos errores no se sostengan en el tiempo como es el caso de la revisión realizada por Niklitschek *et al.* (2013), donde se citan el trabajo de Fortt *et al.* (2007), incluyendo el error en la identificación de los peces nativos afectados por agentes antibacterianos y antiparásitos. Cabe destacar que la presencia de pellet se ha detectado en otros peces marinos nativos del sur de Chile como el nototénido *Patagonotothen longipes* y *Patagonotothen tessellata*, afectando en especial a los peces que presentan una mayor plasticidad en su dieta (Murillo & Oyarzun 2002; Hüne & Vega 2015). El potencial efecto de la ingesta de agentes antimicrobianos sin absorber, podría afectar la resistencia a enfermedades de los peces nativos amenazando su diversidad. Por último, las amenazas asociadas a la introducción de nuevos patógenos al medio ambiente también podría afectar la biodiversidad de peces nativos. En este sentido, estudios realizados en el hemisferio norte han determinado que las enfermedades ocasionadas por el "piojo de mar" (*Caligus sp.*) en salmones y peces nativos están en directa relación con las altas concentraciones de cultivos de salmones (Naylor *et al.*2005). En Chile, se ha reportado la presencia de la infección por el "piojo de mar" (*Caligus rogercresseyi*) en poblaciones de peces nativos como el róbalo (*E. maclovinus*) y el pejerrey (*O. regia*) (Sepúlveda *et al.* 2004; Buschmann *et al.* 2009).

Efectos de la mitilicultura

- Potenciales efectos de la miticultura sobre los peces nativos

La presencia aves que se alimentan de peces nativos en centros de cultivos de mitílidos ha sido documentada por Cursach *et al.* (2011). Sin embargo, no existen publicaciones científicas que se centren en el efecto ecológico del cultivo intensivo de mitílidos sobre los peces nativos del sur de Chile. Medina-Vogel (1989) menciona en su documento de Tesis, la presencia del pejegallo (*Callorhinchus callorhynchus*), el pejerrey (*O. regia*) y el róbalo (*E. maclovinus*) en centros de miticultura de Yaldad, Chiloé, donde estas especie se alimentaría de los mitílidos en cultivo.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.2.1.5. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de aves

Antecedentes generales

Las aves marinas, en sus relaciones tróficas, son mayoritariamente consumidoras secundarias o terciarias (Ainley 1980), siendo consideradas como depredadores tope en la red trófica marina junto al hombre, pinnípedos, cetáceos y grandes peces carnívoros (Ainley 1980, Boyd *et al.* 2006). En general, la alimentación en aves marinas consiste principalmente en tres tipos de presas: peces pequeños, crustáceos y moluscos (Montevecchi & Myers 1996, Hunt 2001, Shealer 2002). Por su parte, las aves acuáticas continentales, cuya mayor diversidad se encuentra en ambientes continentales como humedales, lagunas someras, esteros, desembocaduras y ríos poco caudalosos, son en su mayoría vegetarianas, insectívoras y/o piscívoras (Rottmann 1995).

En este sentido, la presencia de estructuras ideadas para el mantenimiento de altas densidades de organismos en cautiverio, atrae a diferentes tipos de depredadores tope (Buschmann 2001), entre estos a las aves marinas y, en menor grado, algunas aves de ambientes dulceacuícolas, las que ven a los centros de cultivo como una fuente potencial de alimentos.

La producción mundial de alimentos derivados de la acuicultura ha crecido durante las últimas 4 décadas a una tasa promedio anual de 8,6% (FAO 2014). Con estos parámetros de expansión y crecimiento, la acuicultura intensiva y la conservación de las aves están evidentemente en conflicto (Montevecchi 2002). Si bien, cada cultivo acuícola tiene características inherentes a cada lugar del mundo en la que se desarrolla, existe el consenso general de que los sistemas de cultivos marinos tienden a tener más problemas con depredadores que aquellos de sistemas dulceacuícolas (Beveridge 1996, Quick *et al.* 2004).

En Chile, los cultivos marinos con mayores niveles intensivos de producción corresponden a la salmonicultura con 788.000 toneladas cosechadas durante 2013 (75% del total aportado por todo el sector de producción acuícola) y con 858 centros de cultivo operativos dirigidos a la producción de salmónidos. El cultivo de mitílidos lo secunda con el 23,4% de la cosecha total de la acuicultura y 894 centros mitilicultores (Sernapesca 2014). Los centros de cultivo de salmónidos y mitílidos se concentran principalmente al sur de los 40°S (Sernapesca 2013, 2014), zona de Chile que alberga cerca del 95% de la extensión de borde costero efectivo del país (Camus 2001). Esta región contiene uno de los sistemas de fiordos más importantes del mundo con

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

aguas estuarinas, frías y prístinas (Acha *et al.* 2004), condiciones ideales para el desarrollo de la salmonicultura (Laird 2001). Para las aves marinas, por su parte, Schlatter (1984) distinguió a los "archipiélagos del sur" como una de las tres principales subdivisiones en la costa chilena, la que presentaría importantes poblaciones reproductivas de especies de origen subantártico.

Interacción negativa entre piscicultura (con énfasis en salmonicultura) y aves marinas y continentales.

La interacción entre las poblaciones de aves marinas, tanto residentes como visitantes en Chile, con los centros de cultivo de salmónidos (principal actividad piscicultora del país) en el extremo sur-austral es aún de escaso conocimiento, tanto en la naturaleza de las interacciones como en su magnitud. Gran parte de las referencias provienen de la experiencia en otros países. Es así como muchas de las interacciones registradas en Europa y Norteamérica han sido evaluadas respecto a los perjuicios provocados por las aves a la acuicultura. Estos podrían involucrar pérdidas por mortalidad, heridas y estrés causados a los organismos cultivados, daños a las estructuras y equipamiento de cultivo resultando en pérdidas por fugas de los mismos organismos criados y posible dispersión de enfermedades, todo lo cual puede provocar impactos negativos significativos en los sistemas de cultivos y finalmente en la productividad de una empresa (Buschmann 2001, Beveridge 2001, Wires *et al.* 2003). Ejemplos de pérdidas en los cultivos por depredación y ataques se ha observado con especies de cormoranes (i.e., *Phalacrocorax carbo*, *Phalacrocorax aristotelis*) y garzas (e.g., *Ardea cinerea*) sobre cultivos de peces en países como Escocia, España y Francia (Carss 1993a, 1993b, 1994, Olmos *et al.* 2000, Lekuona 2002). Similares problemáticas se han registrado en Canadá y Estados Unidos con el cormorán de doble cresta *Phalacrocorax auritus* (Glahn & Stickley 1995, Glahn *et al.* 2000, Price & Nickum 1995). Antecedentes formales de pérdidas por ataque de aves marinas en centros de piscicultura en Chile son escasos, destacando lo informado por Valenzuela (1999), quién señala como la séptima causa de mortalidad (en orden de importancia) en centros de engorda de Salmón Coho, *Oncorhynchus kisutch.* Los ataques de predadores representados por aves marinas, a las que identifico como "cormorán". Valenzuela (1999), añade que las aves atacaban a los peces por el fondo y por fuera de las jaulas, produciéndole heridas que luego provocaban la muerte de los peces, pero que usualmente estas preferían atacar a los peces cuando eran pequeños (100 a 200 g.). En muchos casos la depredación por parte de las aves tiende a ser de tamaño selectivo (Montevecchi 2000), capturando tallas pequeñas o sin

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

interés comercial (Wires *et al.* 2003), y en circunstancias que propician las captura de muchos peces, desde estanques o corrales de espera (e.g., piscinas de agua dulce), que generalmente tienden a ser pequeños alevines (Glahn & Stickley 1995, Werner & Dorr 2006). Ante esta problemática, se han implementado diversos dispositivos disuasivos que impiden o dificultan los ataques de las aves a los centros de cultivo. Entre estas se cuentan diversas redes anti-depredador (ver Quick *et al.* 2004) y métodos más controversiales que involucran ahuyentar y/o matar a las aves mediante envenenamiento o disparos (Carss 1994, Quick *et al.* 2004). Esto último puede ocurrir de forma deliberada e ilícita como también amparado legalmente a través de licencias otorgadas por la autoridad competente para el control de depredadores (Carss 1994, Blackwell *et al.* 2000, Quick *et al.* 2004). En este sentido, las interacciones pueden evaluarse de forma inversa a la planteada inicialmente en esta sección, es decir respecto al impacto negativo de la piscicultura hacia las aves marinas. Montevecchi (2000) hace referencia al aumento que ha experimentado el número de matanzas permitidas de aves acuáticas en los emplazamientos de piscifactorías en el sureste de Estados Unidos. Otros investigadores han demostrado que matar a depredadores, como los cormoranes, es poco efectivo ya que elimina a individuos de estas especies que se caracterizan por migrar y que pueden fácil y rápidamente ser reemplazados por otros individuos recién llegados (Keller *et al.* 1998, Beveridge 2001). Por otra parte, Belant *et al.* (2000) y Blackwell *et al*. (2000) en estudios sobre los efectos del control letal regulado y autorizado sobre aves piscívoras en centros de cultivos del sureste y noreste de USA, han concluido que el número de aves reportadas muertas, en relación con tendencias demográficas, no afectarían negativamente el estado de las poblaciones de estas especies (i.e., *P. auritus*, *A. herodias*, *A. alba* y *Larus argentatus*, entre otras). Otros de los efectos negativos descritos en la literatura, hacen referencia a las mortalidades accidentales de las aves como consecuencia de la asfixia al quedar atrapados en los sistemas propios del cultivo o en las redes anti-depredadores submarinas (Carss 1993b, 1994). Con lo que respecta a Chile, no existen registros formales en la literatura sobre eventos que involucren estos efectos negativos (i.e., control letal y/o mortalidad accidental) de la salmonicultura hacia las poblaciones de aves marinas piscívoras, específicamente en el extremo sur del país. Sin embargo, Claude *et al.* (2000) en su análisis de la salmonicultura en Chile, advierte que los sistemas de protección (i.e., redes anti-depredador) en balsas jaula causan una gran mortalidad en aves y mamíferos marinos. Asimismo, recomiendan prohibir el uso de redes u otros elementos que causen mortalidad en estos grupos de animales marinos, así como también prohibir el uso de armas de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

fuego y de cualquier elemento que cause mortalidad dirigida o accidental de la vida silvestre.

En relación a daños a las infraestructuras de balsas jaulas y piscifactorías de salmónidos en el sur de Chile, con las consecuentes pérdidas y escapes de peces, al parecer está más asociado a ataques de lobos marinos (Sepúlveda 1998, Oliva *et al.* 2005, Vilata *et al.* 2010) que a la acción de especies puntuales de aves marinas. Carss (1993a, 1993b) en un área del oeste de Escocia, caracterizada por la presencia de balsas jaulas, observo que las pérdidas causadas por la depredación de los cormoranes *P. aristotelis* y *P. carbo* al stock de salmónidos cultivados fueron mínimas y en ningún caso provocó daños a las redes contenedoras de los peces, sugiriendo no catalogar a estas especies como importantes depredadores para este tipo de cultivos.

La introducción de patógenos y parásitos es otro de los impactos negativos de la acuicultura sobre la biodiversidad de una región (Beardmore *et al.* 1997). Ejemplo de esto es la transmisión de enfermedades infecciosas desde la salmonicultura a peces silvestres y viceversa (McVicar 1997, Krkosek *et al.* 2005, 2006). En lo que respecta al traspaso de enfermedades entre salmónidos y aves piscívoras en el sur de Chile, destacan los casos detectados de transmisión de parásitos cestodos, como el *Diphyllobothrium dendriticum*, en especies de gaviotas del género *Larus*, tanto desde salmónidos introducidos en lagos como de peces provenientes de cultivos en el sur de Chile (Torres *et al.* 1991, Cabello 2007). Si bien estos casos hacen referencia a peces infectados en ambientes dulceacuícolas, existen otras especies de helmintos que parasitan peces marinos como lo es el *D. pacificum*, el cual ya ha sido detectado en la región de Aysén en ejemplares introducidos de Salmón Coho, *O. kisutch*, durante la etapa de retorno desde el mar (Torres *et al.* 1995). Al menos 3 especies de *Diphyllobothrium* han sido detectadas en salmónidos en el sur de Chile (Torres *et al.*1991, 1995) incluyendo especies asociadas a zoonosis en humanos. Al respecto, Cabello 2007, concluye que la acuicultura del salmón en Chile está expandiendo el rango geográfico de la difilobotriasis en animales y humanos en el país y en el mundo. En este ámbito, existe la necesidad de mayor investigación sobre la prevalencia y ciclos de estos y otros parásitos en ambientes marino-costeros y en los cuales estén involucrados salmónidos, peces nativos (también fuente potencial de infección) y aves marinas como hospedadores y/o potenciales diseminadores. La escasa información existente actualmente sobre difilobotriasis y parasitosis en aves piscívoras hace alusión solo a estudios en ecosistemas dulceacuícolas del sur del país (Torres *et al.* 1991, 1992).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Otro impacto negativo escasamente estudiado, es el efecto de la exclusión competitiva inducida por la aparición de especies invasoras (i.e., salmónidos escapados o introducidos) en los ambientes estuarinos de la Patagonia, las que estarían compitiendo por nichos ocupados comúnmente por especies nativas. Ciancio *et al.* (2008) mediante la técnica de isótopos estables, estudiaron la ecología trófica de diferentes especies de salmónidos introducidos en la plataforma patagónica Argentina. Estos autores determinaron que la dieta del salmón chinook *O. tshawytscha* y de la trucha *Salmo trutta* se superponían ampliamente con la del pingüino de Magallanes *Spheniscus magellanicus*, mientras que la trucha arco iris *O. mykiss* ocuparía una posición trófica similar a la del pingüino de penacho amarillo *Eudyptes chrysocome*. Estudios similares en la Patagonia chilena ayudarían a determinar y discutir los potenciales efectos que las especies de salmónidos introducidos y/o escapados estarían ejerciendo sobre la trama trófica de este ecosistema.

Interacción positiva entre piscicultura (con énfasis en salmonicultura) y aves marinas y continentales

Existe el consenso que muchos de los impactos de la acuicultura hacia el medioambiente y la biodiversidad son usualmente más negativos que positivos (Beveridge *et al.* 1994, Beardmore *et al.* 1997, Diana 2009). No obstante, entre aves marinas y acuicultura se han observado ciertas interacciones que han resultado, aparentemente, en beneficios para algunas especies de aves y en efectos neutrales para la acuicultura. Un beneficio directo deriva de las extensas agregaciones de peces escapados y nativos en las cercanías de piscifactorías flotantes (i.e., balsas jaulas), las cuales actuarían como una fuente de alimento (e.g., pellets no consumidos, fecas e invertebrados incrustados en las infraestructuras sumergidas) y refugio para una importante biomasa y abundancia de especies ícticas (Carss 1990, Dempster *et al.* 2002, 2004), las que a su vez serían presas potenciales para aves buceadoras (Carss 1990, 1993a). Por su parte, la concentración de peces nativos en las cercanías de balsas jaulas sería particularmente mayor en cultivos desarrollados en ambientes marinos (Carss 1990), cuyos ensambles de ictiofauna presentarían, según la evidencia disponible, cierto grado de residencia temporal en las cercanías de las balsas jaulas (Carss 1990, Bjordal & Skar 1992, Dempster *et al.* 2002, 2004). Esto último podría incidir en una mayor frecuencia de ocurrencia y abundancia de potenciales depredadores, como lo son las aves marinas piscívoras, en las cercanías de piscifactorías flotantes. Adicionalmente, estas estructuras atraerían también a aves marinas de hábitos carroñeros debido a la presencia de peces enfermos, desechos y mortalidad

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

asociada al cultivo intensivo de peces (Suazo pers. comm.). Particularmente en el sur de Chile y en relación al cultivo de salmónidos, Buschmann *et al*. (2006) observó que la abundancia de aves marinas buceadoras omnívoras y carroñeras aumentó de dos a cinco veces en aquellas áreas con presencia de balsas jaulas en relación a áreas de control sin ellas. Por su parte, Imberti (2005) durante su navegación a través de los canales australes (entre los 41°30'S y los 51°44'S) señala que especies como la gaviota dominicana *Larus dominicanus*, ave depredadora con hábitos carroñeros, y el yeco *P. brasilianus*, ave piscívora buceadora, fueron extremadamente abundantes en zonas con gran presencia de granjas salmoneras (e.g., Chiloé). Suazo *et al*. (*in press*) entre los años 2005 a 2009 para la zona del fiordo Aysén (45°S; 73°W) evaluó la respuesta en composición y abundancia de los ensambles estivales de aves marinas asociadas al cultivo intensivo de salmónidos y el efecto del terremoto-tsunami ocurrido esta área en abril 2007. Estos investigadores notaron un predominio de la gaviota dominicana durante todo el periodo de estudio, mientras que registraron un aumento significativo en la abundancia el cormorán imperial *P. atriceps* post terremoto. La presencia de la gaviota dominicana se explicaría tanto por la presencia de los centros de engorda de salmones (antes del terremoto) como por la proximidad de un puerto e importantes asentamientos humanos (antes y después del terremoto). El aumento del cormorán imperial, no obstante, habría respondido probablemente a la mayor disponibilidad de presas derivadas del escape masivo de salmones por la destrucción del 75% de los centros de cultivo del área, causado por el Tsunami. El salmón atlántico *S. salar* es la especie mayormente cultivada por las pisciculturas en Chile y con un número importante de escapes reportados (Soto *et al.* 2001). Individuos escapados de esta especie, aparentemente, se desplazarían o permanecerían cerca de lugares con presencia de balsas jaulas, presentando una mayor fidelidad a estos sitios en comparación a otros salmónidos (Soto *et al*. 2001, Whoriskey *et al.* 2006). Este rasgo, unido al poco desarrollo de comportamientos para eludir a depredadores naturales que ha sido documentado para peces de piscifactorías (Berejekian 1995, Johnsson *et al.* 2001), podría haber propiciado un mayor suministro y disponibilidad en el tiempo de peces como alimento dentro del fiordo Aysén, especialmente de salmón atlántico, para especies buceadoras como el cormorán imperial. No obstante los antecedentes descritos, la naturaleza y magnitud de estos impactos, aparentemente positivos, sobre la abundancia de algunas especies de aves marinas en el sur de Chile, permanecen aún subvalorados, siendo necesario seguimientos a diferentes escalas de tiempo y espacio unido a un contraste empírico necesario que evidencie la real importancia tanto de salmónidos escapados

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

como de peces nativos en la dieta de estas y otras aves marinas presentes en el área. En relación a este punto, llama la atención el pobre conocimiento de los aspectos tróficos y bioenergéticos de la gran mayoría de las aves marinas presentes en los sistemas estuarinos del sur de Chile, especialmente si se compara con lo desarrollado por los investigadores argentinos en territorio patagónico (e.g., Quintana *et al.* 2002, Millones *et al.* 2005, Frere *et al.* 2005, Sapoznikow & Quintana 2006, Ciancio *et al.*2008). Conocer la ecología trófica de la avifauna marina es de vital importancia para entender procesos de mayor complejidad que involucran a estos depredadores tope, como la competencia por el nicho ecológico entre especies nativas versus introducidas, grados de vulnerabilidad o éxito de predadores especialistas versus generalistas frente a cambios en la disponibilidad y distribución de las presas naturales o subsidios tróficos de origen antrópico, procesos de control "top-down", cambios en las cadenas alimentarias y los ecosistemas marinos, entre otros.

Por último mencionar la necesidad de una visión más sistémica a la hora de evaluar los impactos, a simple vista beneficiosos para algunas especies de aves como consecuencia del desarrollo de la salmonicultura en Chile, pero que podrían ir en desmedro de otras poblaciones de aves marinas e incluso podría acarrear consecuencias negativas para la misma actividad salmonicultora. Imberti (2005) advierte en el caso de la gaviota dominicana que su probable incremento poblacional en ciertas zonas dentro los canales australes, la cual podría haberse dado por el subsidio de alimento generado desde la industria salmoacuícola, estarían actuando desfavorablemente sobre otras especies de aves que son generalmente depredadas por esta gaviota. Asimismo, la presencia de grandes concentraciones de peces nativos en las aguas próximas a las balsas jaulas, que atrae a depredadores como aves marinas buceadoras, podría derivar también en una mayor incidencia de ataques de estas aves sobre los stocks de peces cultivados (Carss 1990).

Interacción negativa entre mitilicultura y aves marinas y continentales

Los efectos del cultivo de bivalvos en el medio ambiente (entre ellos los mitílidos), a menudo se consideran menos importantes en comparación a aquellos generados por los cultivos de peces. Sin embargo, los bivalvos debido a sus características naturales son considerados especie clave en el ecosistema y por lo tanto tienen la capacidad de afectar el medio ambiente circundante en ambos sentidos, tanto negativa como positivamente (Gallardi 2014). Específicamente, sobre los efectos negativos de la mitilicultura en

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

especies de aves marinas y de agua dulce, en general, la información es muy puntual y limitada a nivel global. Por otra parte, aunque igualmente acotada, existe evidencia más concreta de los efectos negativos de las aves hacia los centros mitilicultores. En Canadá y Escocia, especies de anátidas buceadoras como *Somateria mollissima* y *Bucephela clangula*, han provocado pérdidas importantes por depredación sobre cultivos de *Mytilus* (Dunthorn 1971, Galbraith 1992, Ross *et al.* 2001, Morse & Rice 2010). Clergeau (1997) señala que en ciertas provincias canadienses las inversiones para limitar los impactos de las anátidas han llegado a los 4 millones de dólares. En Chile, la principal especie de molusco en cultivo es *Mytilus chilensis*, cuyos centros acuícolas se concentran mayoritariamente en la Región de Los Lagos (Cursach *et al.* 2011, Sernapesca 2014). Justamente, desde esta región hasta el extremo sur del país, se distribuye el quetru no volador *Tachyeres pteneres*, anátido que vive exclusivamente en ambientes marinos (Schlatter & Simeone 1999) y cuya acción depredadora sobre mitílidos cultivados ha sido estimada cercana al 0,18% de la producción total para un centro mitilicultor en Chiloé (Medina-Vogel 1989, Cursach *et al.* 2011), antecedente que no representaría un problema grave para el sector mitilicultor. Lo anterior se ve reforzado por las preferencias dietarías de este anátido en su ambiente natural, donde predominan crustáceos de la familia Cancridae y moluscos gastrópodos de la familia Patellidae (Tobar *et al.* 2011). No obstante, si bien las tendencias poblacionales del quetru no volador son estables (IUCN 2015), se recomienda monitorear con regularidad las abundancias de patos marinos en zonas con mitilicultura para determinar si se mantienen estables o crecientes las tendencias poblacionales en el tiempo (Ross & Furness 2000, Cursach *et al.* 2011). Lo anterior es relevante debido a las reducidas densidades poblacionales de esta especie en Chile (Ministerio de Agricultura 2015). Este tipo de recomendaciones también deberían aplicarse a otras especies de anátidas y aves acuáticas que frecuentan ambientes ecotonales río-mar en el sur de Chile (i.e., ambientes estuarinos), como el caso del quetru volador *T. patachonicus*, la que es categorizada como inadecuadamente conocida por Victoriano *et al.* (2006) y cuyo alimento consistiría de pequeños crustáceos, moluscos e invertebrados (Rottmann 1995, Couve & Vidal 2003, Cursach *et al.* 2011). Aunque no hay mucha información, el quetru volador, como otras especies de aves marinas y acuáticas continentales, también frecuentaría sitios propicios para la mitilicultura (ver Cursach *et al.* 2011).

Otro probable efecto negativo de las aves hacia la industria mitilicultora, es la transmisión de parásitos y agentes patógenos. Cursach *et al.* (2011) señalan que el yeco *P. brasilianus*, seguido de la gaviota dominicana *L. dominicanus* y el cormorán imperial *P. atriceps* fueron numéricamente dominantes en el

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

ensamble de aves asociado a un centro mitilicultor en el sur de Chile (i.e., Chiloé). Torres *et al*. (1991) informa de la presencia de parásitos helmintos en el tracto digestivo de tres especies de aves piscívoras muestreadas en Chiloé, entre las que destacan el yeco y la gaviota dominicana. Para *L. dominicanus*, también se ha reportado que puede actuar como portadora de varios agentes patógenos, entre los que destacan las enterobacterias del genero Salmonella y Escherichia, entre otras (Frere *et al*. 2000, Albarnaz *et al.* 2007, Rodríguez *et al.*2012, La Sala *et al.* 2013). La mayor permanencia en el tiempo de aves marinas o playeras en los sitios de cultivo, generalmente posadas en las estructuras flotantes (i.e., perchas) que están unidas a las cuelgas de mitílidos, ya sea para descanso, acicalamiento, nidificación o refugio nocturno (Branco *et al.* 2001, Andres *et al.* 2007, Roycroft *et al.* 2004, Cursach *et al*. 2011), también resultaría en mayores aportes fecales por parte de estas aves a la columna de agua circundante, lo que sugiere un potencial riesgo para la salud humana si se consumen mitílidos crudos debido a los patógenos asociados a las deyecciones de aves como la gaviota dominicana (Branco *et al.* 2001). De acuerdo a Albarnaz *et al.* (2007), los resultados obtenidos del análisis PCR de muestras de heces de gaviota dominicana y de muestras de ostras japonesas *Crassostrea gigas*, obtenidas desde un sitio de recolección de mariscos en isla de Santa Catarina, sur de Brasil, indicaron que existe fuerte evidencia que las gaviotas dominicanas pueden contribuir con la contaminación por Salmonella en ostras recolectadas desde este lugar. Los antecedentes descritos muestran la necesidad de investigar este tipo de interacciones, establecer con certeza los potenciales riesgos para la salud pública y revisar las estrategias actuales de manejo sanitario en los procesos de cultivo en centros de mitílicultura y de moluscos bivalvos en general, especialmente en aquellos centros que tengan presencia permanente e importante de avifauna en sus inmediaciones.

En general, los efectos adversos de la mitilicultura sobre la avifauna han comenzado a ser estudiados recientemente (Butler 2003, Lloyd 2003, Caldow *et al.* 2003, Roycroft *et al.* 2004, 2007, Kirk *et al.* 2007, Fisher & Boren 2012). El cultivo de bivalvos, en general, puede afectar a las aves marinas por: i) alteración en sus fuentes de alimentación, ii) cambios introducidos al hábitat y iii) perturbación causada por las actividades propias de los centros de cultivo (e.g., ruido) (Forrest *et al.* 2009, Gallardi 2014). En relación a cambios en las fuentes de alimento, Lloyd (2003) argumenta que cambios en los niveles tróficos inferiores en la columna de agua (e.g., disminución del fitoplancton por la acción filtradora de los mitílidos en cultivo) y en el bentos marino subyacente a los centros de cultivo (e.g., enriquecimiento orgánico del bentos y consecuentes cambios en el ensamble de especies bentónicas), afectaría la

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

abundancia de presas para depredadores, entre estos las aves marinas. En otras palabras, se podría esperar que el desvío de producción primaria de los ecosistemas costeros hacia centros mitilicultores que ocupan extensas áreas (i.e., cultivos extensivos), reduzca la disponibilidad de presas para depredadores tope (Lloyd 2003, Gibbs 2004). Sin embargo, emergen múltiples dificultades cuando se intenta predecir como los cambios en niveles tróficos inferiores afectan a los niveles más altos (Grant 1996, Gibbs 2004). Además, la evidencia existente hasta el momento, apuntaría en dirección opuesta ya que la abundancia de algunas especies de aves, principalmente piscívoras, omnívoras y depredadoras de invertebrados, estaría favorecida por la presencia de centros mitilicultores (Caldow *et al.* 2003, Roycroft *et al.* 2004, Cursach *et al.*2011). Esto se debería en gran medida a la fauna de invertebrados, tanto sésiles como vágiles (principalmente "fouling"), y de peces que estarían asociados a estos cultivos (Souza-Conceição *et al.* 2003, Morrisey *et al.* 2006, de Sá *et al.* 2007), los que representarían potenciales presas para estas especies de aves (Roycroft *et al.* 2004, Morrisey *et al.* 2006, Keeley *et al.* 2009, Cursach *et al.* 2011). Si bien, el aumento en la abundancia y diversidad de algunas especies presa asociadas a la mitilicultura puede resultar en un aumento del suministro y disponibilidad de alimentos para algunas aves marinas, también podría provocar la disminución en la abundancia de otros organismos que son presas preferidas de otras especies de aves y en consecuencia ocurrir una disminución del suministro de alimentos para estas últimas (Lloyd 2003).

Estos posibles efectos en la ecología trófica de la avifauna presente en estos ambientes, también tendrán, en mayor o menor magnitud, una relación con los cambios introducidos a los hábitats marinos costeros, donde la introducción de estructuras artificiales que ocupan grandes extensiones marinas pueden afectar la hidrografía local, ofrecer nuevos sustratos para epibiontes, aumentar la demanda local de oxígeno por las altas densidades de organismos cultivados, disminución del fitoplancton y aumento del aporte de materia orgánica al fondo marino del entorno inmediato (Kaiser *et al.* 1998, Butler 2003), lo que sin duda tendrán consecuencias para las comunidades locales de aves, y otros grupos de animales en general (Roycroft *et al.* 2004). En base a estos antecedentes sobre posibles alteraciones en las fuentes de alimentación y cambios introducidos a los hábitats en las regiones al sur de los 40ºS en Chile, es recomendable recopilar más antecedentes al respecto, realizando estudios que aborden caso a caso de acuerdo a las especies, ambientes y sitios de mitilicultura involucrados, ya que es arriesgado extraer conclusiones generales.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Finalmente, en relación a las perturbaciones vinculadas a las actividades de mitilicultura, Butler (2003) en su revisión de impactos probables de los cultivos marinos del mitílido *Perna canaliculus* en poblaciones neozelandesas del cormorán carunculado *Leucocarbo carunculatus*, señala que el disturbio por presencia de botes y ruido (i.e., ruido del motor de los botes, aumento de la actividad humana por recolección-cosecha y ruido causado por otras maquinarias) pueden afectar a esta especie de cormorán. Es conocida la sensibilidad de *L. carunculatus* a la perturbación humana (Fisher & Boren 2012). Butler (2003) indica como antecedente inicial que el cormorán carunculado es especialmente vulnerable a las perturbaciones por botes que se acercan demasiado a las colonias durante la nidificación. Sin embargo, nuevos antecedentes sugieren que el paso de botes tiene menos impacto en el cormorán carunculado que en otras especies y que es poco probable que tuviese un impacto significativo en sus actividades de alimentación, descanso y reproducción (Butler 2003, Lloyd 2003). Contrariamente, en el suroeste de Irlanda, algunas especies de aves acuáticas como el colimbo chico *Gavia stellata*, posiblemente evitarían las zonas con cultivos de mitílidos. Esta especie, probablemente, sería sensible a la presencia humana durante la cosecha de los bivalvos lo que alteraría las conductas de alimentación de esta ave (Roycroft *et al.* 2004). Otro antecedente es el dado por Eybert *et al.* (2003), quienes en un estudio de la comunidad de aves playeras para la bahía de Mont-Saint-Michel, Francia, relacionaron la disminución de cuatro especies (*Haematopus ostralegus*, *Calidris alpina*, *C. canutus* y *Limosa lapponica*) a la reducción de sus presas preferidas y al aumento de las perturbaciones humanas derivadas de los cultivos intermareales de mitílidos y ostras. En el sur de Chile, no existen estudios que contrasten directamente los efectos de las perturbaciones físicas de la actividad mitilicultora sobre la avifauna marina y de aguas continentales. Cursach *et al.* (2010) señala a las diversas actividades de acuicultura realizadas en el Seno de Reloncaví como uno de los factores que han provocado la destrucción gradual de los ambientes de humedales marinos de esa zona, lo que unido a otros factores antrópicos han afectado de manera importante la avifauna local. En este sentido, es importante destacar otros sistemas de humedales marinos-costeros presentes en la Región de Los Lagos, como lo son varios estuarios, planicies intermareales y bahías de Chiloé. Estos sitios son de gran relevancia para muchas especies de aves playeras migratorias, especialmente para el zarapito (*Numenius phaeopus*) y el zarapito de pico recto (*Limosa haemastica*), cuyas ocurrencias en grandes números corresponderían a las principales poblaciones no reproductoras para las costas del Océano Pacífico (Andres *et al.* 2009, Delgado *et al.* 2010). Las principales amenazas identificadas en estos sistemas

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

de humedales chilotes serían aquellas generadas por la industria del salmón y la mitilicultura, particularmente las perturbaciones relacionados con el transporte terrestre y marítimo (Delgado *et al.* 2010). No obstante, el vacío de información es claramente un impedimento para realizar diagnósticos más certeros, por lo que se recomienda incluir las perturbaciones (i.e., disturbios) originadas por la mitilicultura, y por la acuicultura en general, en futuras líneas de investigación para identificar posibles efectos adversos en la biología y ecología de las aves marinas y de aguas continentales que son visitantes o residentes en las regiones australes de Chile, principalmente en la Región de Los Lagos.

Interacción positiva entre mitilicultura y aves marinas y continentales

Entre los posibles efectos benéficos de la mitilicultura hacia la avifauna, se incluyen el aumento en la abundancia de presas o éxito de forrajeo y la creación de nuevos sitios de descanso (Lloyd 2003, Keeley *et al.* 2009). Respecto de la mayor oferta de presas, los organismos depredados habitualmente por las aves poseen una fuerte asociación con las actividades de mitilicultura, principalmente juveniles de peces e invertebrados sésiles (i.e., fouling) que viven alrededor o adheridos, respectivamente, a las estructuras propias de estos cultivos (Roycroft *et al.* 2004, Morrisey *et al.* 2006, Cursach *et al.* 2011). Según Cursach *et al.* (2011), el alto porcentaje de aves piscívoras presentes en un centro mitilicutor de Putemún (Chiloé, Región de los Lagos), sugiere que estas aves se alimentan de los peces que depredan sobre los mitílidos cultivados, generando así un potencial beneficio (i.e., servicio ecosistémico) para la industria mitilicultora al controlar dichas poblaciones de peces. No obstante, los mismos autores señalan que tal conjetura debe ser validada mediante trabajos de campo dirigidos al estudio de la dieta de las aves asociadas a estos cultivos. Un antecedente en este sentido, es la importante depredación ejercida por anátidos marinos sobre epibiontes que se asientan en las estructuras artificiales-flotantes de centros de ostricultura, localizados en Columbia Británica, Canadá (Kirk *et al.* 2007). La distribución de estas especies de patos marinos estaría positivamente correlacionado con la presencia de acuicultivos de moluscos bivalvos (Kirk *et al.* 2007).

Las aves marinas y de aguas continentales también pueden beneficiarse de la introducción al medio acuático de las estructuras artificiales asociadas a los cultivos acuícolas. La creación de nuevos hábitat para las aves (e.g., boyas, pontones, balsas, muelles, entre otros) es una de las consecuencias directas de la modificación del hábitat natural a través de la introducción de este tipo

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

de estructuras artificiales, que a su vez es uno de los principales efectos de la acuicultura de bivalvos sobre el medio ambiente (Gallardi 2014). Las aves marinas pueden utilizar las estructuras de cultivo como sitios de percha y acecho (i.e., para detectar peces) o para evadir depredadores terrestres y evitar la perturbación humana en costas intervenidas (Branco *et al.* 2001, Keeley *et al.* 2009). Roycroft *et al.* (2004), señalan que las boyas usadas para mantener suspendidos a los mitílidos cultivados probablemente para cinco especies de aves playeras y tres especies de garzas se registró una mayor abundancia en áreas con presencia de cultivos longline de ostras versus las áreas aledañas de control sin presencia de cultivos (Connolly & Colwell 2005), posiblemente en respuesta a mayores densidades de presas como invertebrados asociados a los cultivos (Dumbauld *et al.* 2009). No obstante, para otras especies como el chorlo ártico (*Pluvialis squatarola*) y la garza azulada (*Ardea herodias*) la abundancia fue mayor en las zonas de control (Connolly & Colwell 2005). En otros estudios de cultivos de ostras sobre estructuras tipo caballete en Irlanda, Hilgerloh *et al.* (2001) encontraron que las estructuras de los cultivos no afectaron el comportamiento de alimentación de las aves. Por otra parte, si se detectaron diferencias para algunas especies de pilpilenes, zarapitos y gaviotas las que ocurrieron en números significativamente menores en la zona de cultivo con caballete, mientras que para *Tringa totanus* y especies del género Calidris las diferencias no fueron significativas (Hilgerloh *et al.* 2001). En el caso del cultivo de ostras no nativas (e.g., ostra del Pacífico *Crassostrea gigas*) que son introducidas en áreas de sedimentos blandos, se ha observado un aumento en la abundancia de aves, así como las asociaciones positivas que se han detectado entre las densidades de patos marinos y las operaciones de acuicultura de estos bivalvos (Escapa *et al.* 2004, McKindsey *et al.* 2007, Žydelis *et al.* 2009, Gallardi 2014). Sin embargo, otros autores como Eybert *et al.* (2003), demostraron que una de las causas que provocaron la disminución de cuatro especies de aves playeras en la bahía de Mont-Saint-Michel, Francia, fue el aumento de las perturbaciones humanas causadas por las actividades de mitiliculturas y ostriculturas. En general y sobre la base de la literatura y casos estudiados en otros países, los efectos en las aves marinas por parte de la ostricultura pueden originarse debido a la alteración en las fuentes de alimentos, desplazamientos del hábitat de forrajeo, y como resultado de perturbaciones asociadas a las actividades propias de los centros de cultivo (Forrest *et al.* 2009). No obstante, el impacto de la ostricultura sobre la avifauna marina y de playas, puede ser positivo o negativo, incluso resultar en efectos neutros, dependiendo de las especies involucradas. Por lo tanto, la determinación de tales impactos es una situación específica y es recomendable evaluarlos caso

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

a caso. En Chile, los sistemas de cultivo de ostras incluyen etapas de obtención de semillas en estanques (incubación y cultivo de larvas) para posteriormente ser transferidos a cultivos suspendidos en el mar o ambientes estuarinos (Möller *et al*. 2001, Uriarte 2008). Probablemente, la etapa de engorda en cultivo suspendido en el medioambiente marino es la que debe ser monitoreada para evaluar posibles efectos en aves marinas y aves playeras migratorias.

Efectos de otros cultivos

Otras producciones acuícolas desarrolladas entre la Región de los Lagos y la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, incluye algunas especies de macroalgas (i.e., pelillo (*Gracilaria chilensis*), luga negra (*Sarcothalia crispata*) y luga roja (*Gigartina skottsbergii*) y otros moluscos no mitílidos (i.e., Abalón rojo (*Haliotis rufescens*), ostra chilena (*Ostrea chilensis*) y ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*)) (Sernapesca 2013). Estos cultivos presentan, en general, niveles más bajos de producción en comparación a los cultivos de salmónidos y mitílidos, los cuales lideran la producción acuícola nacional respecto del total de toneladas cosechadas (Uriarte 2008, Sernapesca 2014). Al igual que para la mitilicultura y salmonicultura nacional, los registros formales y publicados de potenciales efectos generados por cultivos de algas, abalón rojo y/o centros de ostricultura sobre aves marinas y acuáticas continentales en las regiones del extremo sur de Chile son escasos y, en algunos casos, prácticamente desconocidos.

Algunos antecedentes generales sobre potenciales efectos hacia la avifauna son los señalados por Delgado *et al*. (2010), quienes en sitios de importancia para aves playeras migratorias en la Isla Grande de Chiloé (e.g., localidades de Caulín y Putemún), identificaron a los cultivos de algas y ostras, además de la salmonicultura y mililicultura, entre las actividades con un mayor impacto ambiental negativo. El cultivo de pelillo, una de las algas más utilizada y sembrada en las zonas costeras de Chiloé, puede afectar (i.e., perturbación) a las aves migratorias que usan la zona como lugar de paso y alimentación cuando el cultivo extensivo de esta alga llega a niveles excesivos (Álvarez& Navarro 2010).

Respecto de la ostricultura y sus efectos sobre aves playeras, marinas y acuáticas, los mayores antecedentes provienen desde la experiencia en otros países. En zonas de Europa y Norteamérica las ostras son cultivadas (al menos en su etapa de engorda) directamente en el sustrato (principalmente sobre fondos blandos intermareales), o son cultivadas en bolsas de malla u otros dispositivos que permanecen suspendidas sobre el sustrato a través de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

algún tipo de estructura (e.g., caballetes, bastidores, cuerdas tipo longline, jaulas de alambre, bolsas de PVC, etc.) (Kaiser *et al.* 1998, Hilgerloh *et al*. 2001, Connolly & Colwell 2005, Forrest *et al*. 2009, Comeau *et al*. 2009). Según Forrest *et al.* (2009), las consecuencias para las aves y otros animales de nivel trófico superior que surjan como resultado de los efectos de la ostricultura en zonas intermareales sobre el suministro de alimentos (naturaleza, cantidad y disponibilidad), dependerá de las preferencias dietarías y la capacidad de adaptación de cada especie a los cambios inducidos por los cultivos. Dumbauld *et al.* (2009) por su parte, señalan que la evidencia de los efectos de la acuicultura de bivalvos sobre las aves, sugiere la existencia de diferencias especie-específicas asociadas a la conducta de las propias especies. Es así como en Humboldt Bay, California, para cinco especies de aves playeras y tres especies de garzas se registró una mayor abundancia en áreas con presencia de cultivos longline de ostras versus las áreas aledañas de control sin presencia de cultivos (Connolly & Colwell 2005), posiblemente en respuesta a mayores densidades de presas como invertebrados asociados a los cultivos (Dumbauld *et al*. 2009). No obstante, para otras especies como el chorlo ártico (*Pluvialis squatarola*) y la garza azulada (*Ardea herodias*) la abundancia fue mayor en las zonas de control (Connolly & Colwell 2005). En otros estudios de cultivos de ostras sobre estructuras tipo caballete en Irlanda, Hilgerloh *et al.* (2001) encontraron que las estructuras de los cultivos no afectaron el comportamiento de alimentación de las aves. Por otra parte, si se detectaron diferencias para algunas especies de pilpilenes, zarapitos y gaviotas las que ocurrieron en números significativamente menores en la zona de cultivo con caballete, mientras que para *Tringa totanus* y especies del género Calidris las diferencias no fueron significativas (Hilgerloh *et al*. 2001). En el caso del cultivo de ostras no nativas (e.g., ostra del Pacífico *Crassostrea gigas*) que son introducidas en áreas de sedimentos blandos, se ha observado un aumento en la abundancia de aves, así como las asociaciones positivas que se han detectado entre las densidades de patos marinos y las operaciones de acuicultura de estos bivalvos (Escapa *et al.* 2004, McKindsey *et al.* 2007, Žydelis *et al.* 2009, Gallardi 2014). Sin embargo, otros autores como Eybert *et al.* (2003), demostraron que una de las causas que provocaron la disminución de cuatro especies de aves playeras en la bahía de Mont-Saint-Michel, Francia, fue el aumento de las perturbaciones humanas causadas por las actividades de mitiliculturas y ostriculturas. En general y sobre la base de la literatura y casos estudiados en otros países, los efectos en las aves marinas por parte de la ostricultura pueden originarse debido a la alteración en las fuentes de alimentos, desplazamientos del hábitat de forrajeo, y como resultado de perturbaciones asociadas a las actividades propias de los centros de cultivo

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

(Forrest *et al.* 2009). No obstante, el impacto de la ostricultura sobre la avifauna marina y de playas, puede ser positivo o negativo, incluso resultar en efectos neutros, dependiendo de las especies involucradas. Por lo tanto, la determinación de tales impactos es una situación específica y es recomendable evaluarlos caso a caso. En Chile, los sistemas de cultivo de ostras incluyen etapas de obtención de semillas en estanques (incubación y cultivo de larvas) para posteriormente ser transferidos a cultivos suspendidos en el mar o ambientes estuarinos (Möller *et al.* 2001, Uriarte 2008). Probablemente, la etapa de engorda en cultivo suspendido en el medioambiente marino es la que debe ser monitoreada para evaluar posibles efectos en aves marinas y aves playeras migratorias.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.2.1.6. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de mamíferos marinos

Antecedentes generales

A escala mundial, existen dos actividades acuícolas en que se han evidenciado conflictos con distintas especies de mamíferos marinos: (1) el cultivo extensivo de moluscos, dentro del que destaca la mitilicultura, y (2) el cultivo intensivo de peces (Würsig & Gailey 2002). El primero se realiza en aguas costeras, y no requiere de balsas-jaulas o de alimentación suplementaria. Aunque en general no representa un atractivo para los mamíferos marinos, indirectamente puede afectarlos debido a la sobrecarga de nutrientes (especialmente nitrógeno), y por la interferencia sobre el espacio ocupado por los mamíferos marinos para sus distintas actividades.

El cultivo de peces, por otro lado, con una alta densidad de peces cultivados en áreas pequeñas, como son las balsas-jaulas, inevitablemente constituye una atracción para mamíferos costeros oportunistas, aves e incluso peces que normalmente se alimentan de presas similares en la naturaleza (Pemberton & Shaughnessy 1993, Schusterman *et al.* 2003, Quick *et al.* 2004, Lindemann *et al.* 2006). De estos depredadores, los pinípedos (focas, lobos marinos y morsa) son los que ocasionan los mayores problemas para la industria, debido a su conducta plástica de alimentación (Kemper *et al.* 2003), y además porque los animales han aprendido una situación ventajosa donde los peces se encuentran en alta densidad y vulnerables, ocasionando graves perjuicios económicos a la industria (Nelson *et al*. 2006).

En Chile, son pocos los estudios que han evaluado los potenciales efectos de las actividades de acuicultura sobre mamíferos marinos. De las distintas especies de mamíferos marinos que se encuentran en la zona sur del país, se cuenta con mayores antecedentes del lobo marino común debido a la fuerte interacción que presenta con la salmonicultura marina (Oporto & Brieva 1990, Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata *et al.* 2010). La alta concentración de centros de cultivo de engorda de salmones en la X y XI Regiones, en conjunto con la alta abundancia de lobos marinos (Oliva *et al.* 2012), y la capacidad de los lobos marinos de explotar situaciones en donde los salmones se encuentran en alta concentración y de fácil acceso, se han combinado para ocasionar una importante y directa interacción entre esta especie y la salmonicultura (Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata *et al.* 2010). Estos estudios han evaluado el efecto del lobo marino sobre la industria (pérdida de salmones, daños a las redes). Sin embargo, los efectos de la presencia de la salmonicultura sobre la

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

conducta, demografía y ecología de esta especie han sido escasamente abordados.

Por otra parte, la presencia de cetáceos costeros en las regiones descritas, que presentan un ámbito de hogar restringido y desarrollan actividades de crianza y alimentación en áreas protegidas, superponen su "uso de hábitat" con las actividades de acuicultura desarrolladas en la zona sur del país (Oporto *et al*. 1991, Ribeiro *et al.* 2007, Heinrich 2006).

A continuación se describen los potenciales efectos de las actividades acuícolas sobre los mamíferos marinos en Chile. Debido a la falta de antecedentes para la gran mayoría de las especies de nuestro país, gran parte de este análisis aplica evidencias internacionales sobre la realidad chilena.

Efectos de la salmonicultura marina

Lobos marinos

En Chile, se ha documentado el efecto de los lobos marinos comunes sobre la salmonicultura marina (Oliva *et al*. 2003, Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata *et al.*2010). No obstante, aunque mucho menos estudiado, la industria también ejerce efectos directos e indirectos sobre esta especie; directos por sus propias actividades e indirectos a través de un impacto ambiental (Buschmann *et al.* 2009, Sepúlveda *et al.* 2013). Aunque para el caso del lobo fino austral (*Arctocephalus australis*), que también se encuentra en la zona sur de Chile, no se ha registrado interacción directa con la salmonicultura (a diferencia de otros lugares del mundo donde sí se reportan interacciones con especies de este mismo género, e.g. Kemper *et al.* 2003), se espera que alguno de los efectos que a continuación se describen también impacten (positiva o negativamente) a esta especie.

- Pérdida y/o modificación del hábitat

De manera indirecta, la salmonicultura produce un efecto negativo sobre los lobos marinos a través de la perturbación de su hábitat. Evidencias tanto a nivel nacional como internacional indican que la distribución de estos animales cambia en respuesta a la presencia de centros de cultivo (Würsig & Gailey 2002, Kemper *et al.*2003). Esto se debe a que los animales que habitan en las cercanías de un centro de cultivo pueden verse fuertemente perturbados si se construyen estructuras sobre sus colonias, tales como muelles o casas.

No obstante, es importante señalar que la presencia de un centro de cultivo puede presentar un impacto indirecto positivo, al menos para algunos

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

animales, quienes utilizan las estructuras de los centros de cultivo como zona de descanso (**Figura 27**).

Figura 27. Lobos marinos descansando en una balsa de un centro de cultivo de salmones de la X Región. Fotografía M. Sepúlveda.

Para el caso del lobo fino austral no se cuenta con antecedentes sobre posibles efectos por perturbación del hábitat. No obstante, dado que esta especie tiende a distribuirse en zonas expuestas (a diferencia del lobo marino común que se encuentra tanto en zonas expuestas como protegidas), es de esperar que el efecto de la degradación de hábitat sobre esta especie sea menor que sobre el lobo marino común.

- Disponibilidad de alimento:

Existe amplia evidencia científica de los efectos de la salmonicultura sobre las tramas tróficas marinas del sur de Chile (Sepúlveda *et al.* 2013, Arismendi *et al*. 2014). Para el caso de lobos marinos, se evidencian efectos tanto positivos como negativos.

Por un lado, se ha descrito un efecto positivo de la presencia de la salmonicultura en los lobos marinos, ya que la alta abundancia y concentración de salmones en espacios reducidos aumenta la disponibilidad de alimento para estos mamíferos. Estudios realizados en la X Región han evidenciado una importante depredación de lobos marinos sobre los salmones que se encuentran en las balsas-jaulas (Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata *et al.* 2010). De hecho, el salmón se habría constituido en un importante

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

componente de la dieta del lobo marino común en años recientes (Muñoz *et al.* 2013, Sepúlveda *et al.* En revisión).

Otro de los efectos positivos de la presencia de la salmonicultura es que el número de peces silvestres en los alrededores de las balsas-jaulas también incrementa en respuesta a la mayor productividad. Tal como ha sido registrado en cetáceos en otras partes del mundo (Díaz López *et al.* 2008), se espera que los lobos marinos disminuyan el tiempo de búsqueda de alimento con la presencia de centros de cultivo, ya que pueden acceder a los peces que se encuentran en los alrededores de las balsas-jaulas.

Lo anteriormente expuesto puede estar relacionado con la formación de nuevas colonias en la zona sur de Chile, particularmente en la X región. Es así que en los últimos censos se han registrado colonias en zonas muy cercanas a centros de cultivo (Oliva *et al.* 2012), constituidas principalmente por machos adultos y sub-adultos, que son las clases de edad que interactúan más frecuentemente con la salmonicultura (Pemberton & Shaughnessy 1993, Kemper *et al.* 2003, Sepúlveda & Oliva 2005). La aparición de nuevas colonias cerca de centros de cultivo representaría una conducta oportunista para acceder a una fuente de alimento a un bajo costo energético.

Se predicen por otro lado efectos negativos sobre los lobos marinos por la presencia de la salmonicultura marina. El método de cultivo de estas especies crea condiciones favorables para el escape de estas especies exóticas al ambiente, resultando en diversos y severos impactos, tanto en ecosistemas marinos como dulceacuícolas (Sepúlveda *et al.* 2013). Uno de los principales riesgos del escape de salmones es su impacto negativo sobre la comunidad de peces, expresado como una relación negativa entre la abundancia de fauna nativa y presencia de centros de cultivo (Soto *et al.* 2001, 2006). Esta relación negativa se debe tanto a la depredación de salmones sobre fauna nativa, como a la competencia debido al uso de recursos tróficos similares (Ciancio *et al.*2008, Buschmann *et al.*2009, Sepúlveda *et al.* 2013,Niklitschek*et al*. 2013).

La disminución o desplazamiento de peces nativos desde su ambiente natural puede afectar la capacidad de carga de los ecosistemas marinos alterando la estructura de las tramas tróficas y cambiando la productividad (Díaz López et al. 2008). Estas modificaciones complejas de los ecosistemas marinos pueden en último caso influenciar la composición de la dieta, la conducta y la condición corporal de los lobos marinos, alterando tanto la ecología como la demografía de esas especies. Desafortunadamente, no existe evidencia en Chile que muestre los impactos en el corto y mediano plazo de estos efectos sobre los lobos marinos.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

- Presencia de embarcaciones y generación de sonidos

Los sonidos generados por la presencia de personas, el mayor flujo de embarcaciones, e incluso el uso de sistemas de sonido que son aún utilizados en algunos centros de cultivo, pueden afectar negativa y significativamente a los lobos marinos. Esto debido a que estos animales son altamente sensibles al sonido, mostrando signos manifiestos de respuesta ante la perturbación, abandonando rápidamente la colonia (Wilson 2011). En el lobo marino común en particular, un estudio reciente en la zona centro-sur de Chile encontró que esta especie es altamente susceptible a la emisión de sonidos de elevada intensidad y repentinos, haciendo abandono de las colonias (Pedreros *et al*. en preparación).

En cuanto a la presencia de embarcaciones y tránsito de personas, evidencias en otras especies de pinnípedos muestran que los animales son perturbados a distancias menores a los 200 m (Calambokidis *et al*. 1991, Johnson & Acevedo 2007). Para el lobo marino común el estudio de Pavez *et al.* (2015) muestra claro signos de perturbación a distancias cercanas a los 30 m.

- Estructuras y desechos

Las redes que conforman las balsas-jaulas generan un importante efecto negativo sobre los lobos marinos. Esto se explica porque al tratar de acceder a los salmones, algunos animales (especialmente los juveniles) se enredan en las redes, muriendo por asfixia. Aunque no se ha documentado la importancia de este efecto sobre la demografía de los lobos marinos, estudios preliminares indican que esta mortalidad puede llegar a ser muy relevante en algunos sectores (Vilata 2008).

Los desechos arrojados a la tierra o al mar también pueden impactar negativa y significativamente a los lobos marinos. Esto debido a que la salmonicultura emplea diferentes materiales y equipos, los cuales eventualmente generan residuos que caen al mar y que ocasionan perturbaciones al entorno, a la columna de agua, y un exceso de sedimentos. Además el uso de maquinarias con motor de combustión interna, podría generar residuos oleosos al medio marino que podrían afectar la salud y comportamiento de los individuos.

Desafortunadamente no existen evidencias en Chile sobre el efecto de los agentes químicos, físicos y biológicos sobre la salud de las poblaciones de lobos marinos. No obstante a nivel internacional se cree que estos agentes juegan un papel significativo en los procesos patológicos y se han observado relaciones causales entre los niveles de contaminantes, la alteración de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

procesos fisiológicos y el desarrollo de neoplasias en mamíferos marinos (Dierauf & Gulland 2001).

- Transmisión de enfermedades

Existe una importante evidencia internacional de la transmisión de enfermedades desde los salmones a los peces nativos (Thorstad *et al*. 2008, Jensen *et al.* 2010). Estudios recientes realizados en sistemas marino-costeros del sur de Chile, demuestran que peces silvestres, incluyendo róbalo (*Eleginops maclovinus*) y blanquillo (*Prolatilus jugularis*) (revisar aclaración de este estudio en sección 5.2.1.4), ingieren alimento artificial (pellets) en el área adyacente a los centros de cultivos, el que puede contener dosis de antibacterianos o antiparasitarios, que han ocasionado la presencia de este tipo de compuestos (e.g. tetracicilina y quinolona) en la carne de algunos de estos peces (Fortt *et al.*2007). Además, se ha informado que los salmónidos escapados pueden actuar como reservorio de patógenos, los que al relacionarse con la flora y fauna local, podrían provocar efectos hasta ahora desconocidos (Niklitschek*et al.* 2013). Para el caso particular de los lobos marinos, aunque no se ha documentado la presencia de organismos patógenos, observaciones en terreno muestran a lobos marinos comunes con diversas enfermedades de la piel (Sepúlveda, M. Obs, pers) que potencialmente podrían estar asociados a la salmonicultura.

Un estudio reciente sobre el potencial impacto del virus ISA en fecas de lobos marinos no encuentra presencia de virus ISA (González *et al*. 2011). Esto sin embargo de acuerdo a los autores no se explica necesariamente por la falta de contacto de este virus con los lobos marinos, sino que porque la acidez del sistema digestivo neutralizaría el efecto del virus, impidiendo una infección.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

- Mortalidad

Finalmente, otro de los efectos de la salmonicultura es la mortalidad accidental o directa, de lobos marinos. Tal como se explicó anteriormente, existe una mortalidad aparentemente importante de lobos marinos comunes por enmalles en redes loberas. Oporto *et al.*(1991) también reporta mortalidad ocasional de lobo fino austral en redes loberas.

Sin embargo, también se ha reportado mortalidad directa de animales para prevenir el acercamiento a las balsas-jaulas (Claude *et al.* 2000, Kemper *et al.* 2003). Aunque no existe una cuantificación de los lobos marinos que habrían sido eliminados, Claude *et al.*(2000) sugiere que podrían superar los 6.000 ejemplares.

Hoy en día, aunque la muerte de lobos marinos está prohibida por ley, continuos reportes de personas sugieren que esta actividad aún se mantiene en algunos centros de cultivo, particularmente en aquellos que se ubican en lugares aislados sin posibilidad de fiscalización, como es el caso de los centros de la XI Región.

Cetáceos

Durante el desarrollo de las actividades de salmonicultura, la constante presencia de alimentación suplementaria en conjunto con la presencia de peces en cultivo, potencia la interacción entre delfines y el hombre por la obtención del recurso (Kemper *et al.* 2003).

El uso intensivo de los ambientes costeros y poco profundos por actividades acuícolas, afectan indudablemente el ambiente local (Claude *et al*. Oporto 2000, Soto *et al.* 2001, Miranda & Zemelman 2002) y las especies de cetáceos presentes. Dentro las especies de cetáceos afectadas y potencialmente afectadas dada su distribución y comportamiento destacan principalmente el delfín chileno, *Cephalorhynchus eutropia* (Claude *et al.* 2000, Heinrich *et al.* 2006), delfín austral, *Lagenorhynchus australis* (Heinrich *et al.* 2006, Ribeiro *et al.* 2007), marsopa espinosa, *Phocoena spinnipini* (Aguayo-Lobo *et al.* 1998a), delfín nariz de botella, *Tursiops truncatus* (Jefferson *et al.* 2008, Olavarría *et al.* 2010). Adicionalmente y con una probabilidad de interacción bastante menor cabe mencionar principalmente por distribución, la ballena azul, *Balaenoptera musculus* (Hucke-Gaete *et al.* 2004); y por registro de interacción en el área, la ballena Minke, *Balaenoptera acutorostrata* (Claude *et al.* 2000).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Los principales efectos de la salmonicultura sobre los cetáceos se describen a continuación.

- Enmalles

Este es el efecto más frecuentemente registrado entre delfines y actividades relacionadas con el cultivo de peces. Ocurre principalmente de manera accidental en las redes anti-depredadoras de las balsas jaulas, mientras los delfines se alimentan de peces nativos (Kemper & Gibbs 2001). El tamaño de malla y el grado de cierre de la red anti-depredadora son factores importantes a considerar para evitar el problema (Würsig & Gailey 2002) lo que ha quedado demostrado en los frecuentes enmalles ocurridos en Australia. En esta zona se reportaron múltiples enmalles de delfines nariz de botella y delfín común *Delphinus delphis* en actividades de cultivo donde las mallas antidepredadoras presentaban un amplio tamaño de apertura (>15 cm) y no contaban con un cierre inferior completo de red. Los análisis de los ejemplares enmallados revelaron que la mayoría de las hembras enmalladas correspondieron a hembras preñadas o en período de lactancia, lo que concuerda con el tipo de ambiente calmo y de baja profundidad donde se desarrollan las actividades de acuicultura (Wursig & Gailey 2002).

Especies como delfín común, delfines nariz de botella y delfines australes, han sido reportados como animales blanco para este tipo de impacto en Chile, siendo esta última especie, reportada en enmalles no cuantificados para salmoneras ubicadas en las proximidades a Chiloé (Oporto & Gavilan 1990 *Fide* Kemper *et al.* 2003).

- Mortalidad directa

Estas prácticas corresponden a matanza directa de mamíferos marinos durante actividades de acuicultura. En Chile, tuvieron su más fuerte expresión en la década de los ochenta y mediados de los noventa. Para la zona del sur de Chile se registró un número no determinado de delfines chilenos, delfines australes y ocasionalmente ballena minke (Claude *et al.* 2000).

- Uso de Hábitat

La distribución del delfín chileno, delfín austral y marsopa espinosa se superponen con áreas donde se desarrollan las actividades de salmonicultura en el sector de Chiloé (Chiloé central y sur; **Figura 28**).

En Chile, Ribeiro *et al.* (2007) en base a un estudio de seguimiento de uso de hábitat del delfín chileno en Bahía Yaldad, Chiloé, en las proximidades de un

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

centro de cultivo de salmones, reportó que la presencia de los centros de cultivo pareciera no alterar los patrones de movimientos de esta especie en el área. Los animales no se registraron ni atraídos ni evasivos en relación al centro. La indiferencia de los animales en relación al centro podría explicarse ya sea porque los peces nativos (potenciales presas del delfín chileno) no se vieran atraídos por el alimento de los salmones o, en el caso de ser atraídos, pueden no formar parte de la dieta del delfín chileno. Adicionalmente, estos autores mencionan que el centro de cultivo se encuentra ubicado fuera del hábitat preferido por la especie en ese sector. Por ello estos resultados pueden no necesariamente ser aplicables para centros de cultivo ubicados en sectores que sí sean parte del hábitat preferido para la especie.

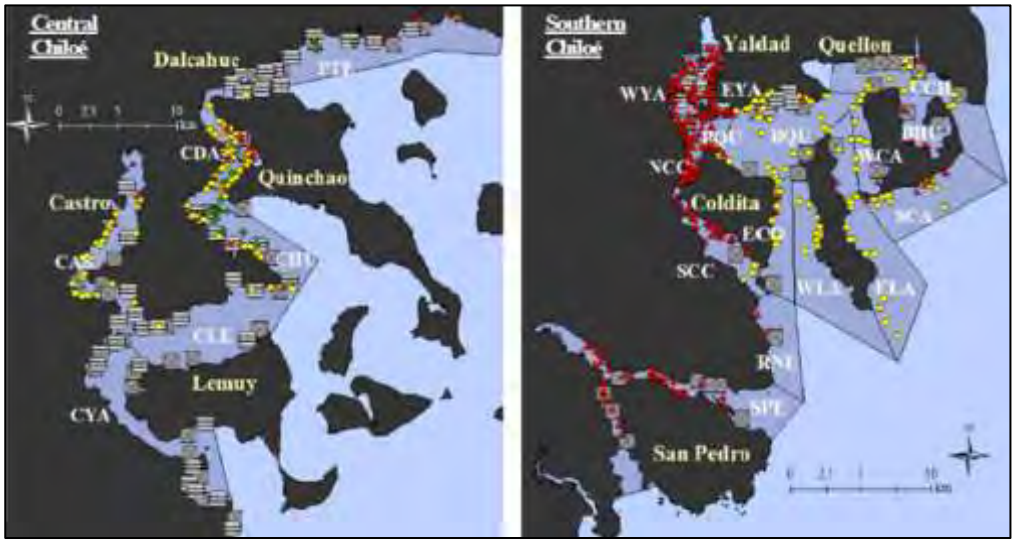


Figura 28. Sobreposición espacial entre actividades de cultivo y pequeños cetáceos en el Archipiélago de Chiloé. Delfín chileno (rojos); delfín austral (amarillo); marsopa espinosa (verde). Salmoniculturas (cuadrados grises con cruces) y Miticulturas (cuadros grises con líneas). Figura extraída de Heinrich (2006).

- Presencia de embarcaciones y generación de sonido

El aumento de tráfico de embarcaciones debido a las actividades de acuicultura incrementaría los niveles de ruido alterando el comportamiento de los cetáceos, particularmente cuando el hábitat y los centro de cultivos se encuentran en áreas reducidas (Markowitz *et al.* 2004).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

El delfín chileno tiene un comportamiento de evasión a las embarcaciones (Crovetto & Medina 1992, Ribeiro *et al.* 2005). Aunque el tráfico de embarcaciones no esté relacionado directamente con la presencia de cetáceos, éste si altera su conducta pudiendo verse afectadas actividades básicas de la especie como alimentación y reproducción. Esta relación presencia embarcación/alteración conducta e delfines, ha sido ampliamente estudiado por las actividades de "whale watching" (Hastie *et al.* 2003, Lemon *et al.* 2005, Lusseau 2005).

- Desechos

Durante el desarrollo de actividades de salmonicultura se introducen gran cantidad de contaminantes al ambiente como químicos "antifouling", antibióticos y productos sólidos como plásticos y residuos industriales en general (Haya *et al.* 2001). Lo anterior junto con afectar potencialmente a los delfines mediante infecciones a la piel o contaminación biológica, afecta directamente por asfixia o ingesta de desechos.

- Escapes de salmones

Tal como fue señalado para el caso de los lobos marinos, los escapes de salmones desde las balsas jaulas constituye una amenaza para la fauna íctica nativa (Soto *et al.* 2001), potenciales presas de los delfines que se distribuyen en el área. En este sentido se prevé un impacto negativo el escape de salmones sobre los cetáceos menores.

- Disponibilidad de alimento

Algunas especies de delfines presentan una notoria plasticidad conductual en relación a la variación en disponibilidad de alimento, producto de actividades de cultivo. Uno de los pocos estudios realizado a largo plazo (5 años) da cuenta que los delfines nariz de botella mostraron una gran flexibilidad en sus estrategias de alimentación, especialmente cuando recurrían a fuentes de alimento antropogénicas (interacción con acuicultura). Los delfines maximizarían su tiempo en actividades de alimentación ya sea de peces nativos o de peces de cultivo e incrementarían la cantidad y calidad de alimento consumido ajustándose a las actividades específicas del centro de cultivo, es decir, cuando obtienen más alimento y de manera más fácil. Así, se ha registrado también un aprendizaje y acostumbramiento por parte de los delfines que visitan el centro de cultivo de manera reiterativa "farmers" (Díaz

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

López *et al.* 2012), por el beneficio energético que obtienen. Estrategias de alimentación individuales han sido también reportadas para *T. truncatus*, las cuales responden a una trasmisión de información a nivel intra-generacional y también, de generación a generación. La presencia de hembras en el área de cultivo indicaría la presencia de alimento de alta calidad, sin embargo, la presencia de machos, explicaría tanto la alta calidad del recurso en el área como la presencia de hembras (Connor *et al.*2000).

En el área de estudio si bien no se ha detallado una variación conductual por parte de los delfines presentes en relación a la disponibilidad de alimento, no quiere decir que no ocurra. Es necesario desarrollar nuevos y prolongados estudios que registre información integral de uso de hábitat, dieta, estructura poblacional, etc. que permita explorar más acerca de las ventajas y amenazas que la zona le proporciona a estas especies.

Mustélidos

La única especie de mamífero marino perteneciente a la familia Mustelidae es el chungungo o nutria de mar (*Lontra felina*). En la zona sur esta especie se distribuye a lo largo del litoral marino rocoso llegando la zona del Cabo de Hornos (Sielfeld & Castilla 1999). Por otro lado, en esta zona también es posible encontrar al huillín o nutria de río (*Lontra provocax*), que es de hábitos tanto continentales como marinos (Sielfeld & Castilla 1999, Medina-Vogel & González-Lagos 2008). Si bien el huillín no es considerado un mamífero marino, será incluido brevemente en esta revisión debido a que potencialmente también puede verse afectado por las actividades acuícolas. A continuación se describen algunos efectos potenciales de la salmonicultura marina sobre estas especies. El análisis se basa en antecedentes generales, ya que no se han realizado estudios del impacto de esta actividad sobre estas dos especies.

- Destrucción de hábitat

Probablemente, la destrucción del hábitat asociado a la salmonicultura sea uno de los principales impactos negativos sobre las nutrias, pudiendo en algunos casos resultar en la destrucción completa de sus hábitats (Delgado-Rodríguez *et al*. 2006). Al igual que lo señalado para los lobos marinos, la construcción de casas u otras estructuras puede resultar en la destrucción de las madrigueras de estos animales, y/o en el bloqueo de sus sitios de paso hacia el mar.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

- Flujo de personas

Aunque no está estrictamente asociado a la salmonicultura, la mayor presencia humana en el borde costero también puede ocasionar impactos negativos indirectos sobre las nutrias, incluyendo una amenaza por la presencia de mascotas (perros) (Delgado-Rodríguez *et al*. 2006).

- Disponibilidad de alimento

Se ha documentado largamente que la contaminación orgánica producto de las fecas y alimento no consumido por los salmones impacta severamente el entorno de las balsas-jaulas, y especialmente las comunidades bentónicas (Soto *et al.* 2001, Buschmann *et al.* 2009). Debido a que el chungungo en la zona sur se alimenta preferentemente de crustáceos (Sielfeld & Castilla 1999), la disminución de estos recursos bentónicos debido a la salmonicultura marina puede ocasionar un mayor gasto energético de las nutrias por un mayor desplazamiento en la búsqueda de alimento, y eventualmente en un abandono de su lugar de origen.

Efectos de la salmonicultura continental

Lobos marinos

Los lobos marinos son especies de hábitos marinos. En este sentido no se visualiza un impacto de la salmonicultura continental sobre estas especies.

La única evidencia preliminar con que se cuenta es un posible impacto indirecto positivo de la presencia de salmónidos en cursos de agua dulce. Relatos de personas de la X y XI Regiones indican la presencia de lobos marinos comunes persiguiendo a estos salmones en los cauces de los ríos. No obstante, se desconoce si esto sería una conducta ocasional o frecuente, y si involucra a un componente importante de la población de lobos marinos o sólo a unos pocos individuos.

Cetáceos

Al igual que los lobos marinos, las distintas especies de cetáceos que se encuentran en el sur de Chile son de hábitos exclusivamente marinos. En ese sentido, no se visualiza un impacto de la salmonicultura continental sobre este grupo.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Mustélidos

Para el caso de los mustélidos, la única especie de mustélido que se encuentra en cursos de agua dulce es el huillín. Debido a que estas especie es de hábitos tanto continentales como marinos (Medina-Vogel & González-Lagos 2008), presenta una fuerte interacción ecológica con actividades productivas desarrolladas sobre estos cuerpos de agua, como es el caso de la salmonicultura continental (Sielfeld & Castilla 1999, Saavedra *et al.* 2011). En particular en los lagos de la zona sur de Chile, la presencia de centros de cultivo de salmones afecta tanto directa como indirectamente a los huillines. Los principales efectos de la salmonicultura continental sobre esta especie se describen a continuación.

- Destrucción de hábitat

Uno de los principales impactos de la salmonicultura sobre esta especie es el uso y destrucción de hábitat. Esto debido a que los huillines utilizan como hábitats zonas fluviales y litorales lacustres de baja profundidad, las que a su vez son áreas preferentemente destinadas a las actividades de la salmonicultura (Vila *et al.* 1999, León-Muñoz *et al.* 2007). De acuerdo a lo mencionado por Cassini & Sepúlveda (2006), la degradación de hábitat por perturbación antrópica puede ser responsable de la distribución restringida del huillín en aguas continentales, la falta de colonización de nuevos sitios y en consecuencia la distribución restringida del huillín en este tipo de ecosistemas. Cabe señalar que estos efectos no se deberían únicamente a la salmonicultura, sino que a otras actividades, como la construcción y la agricultura.

- Disponibilidad de alimento

Otro de los efectos negativos que se derivan de la salmonicultura continental, aunque también de la marina, es la disminución ostensible que ha tenido la biodiversidad íctica producto de la introducción de salmones en cuerpos de agua dulce derivados de los escapes. Esta disminución de la abundancia y diversidad de peces nativos se explica por competencia de espacio y alimento, y por depredación directa (Silva & Saavedra 2008). Un ejemplo de ello es lo que ocurre en el archipiélago de Tierra del Fuego, en la XII región, donde se ha comprobado que la presencia de salmones ha disminuido la disponibilidad de alimento para especies de agua dulce, como es el caso del huillín

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

(Saavedra *et al*. 2011). Aunque se carece de antecedentes de las respuestas por parte del huillín a la introducción de salmónidos en cuerpos de agua dulce (Sielfeld & Castilla 1999), el nicho trófico restringido de esta especie a sólo unos pocos ítems alimentarios la hacen particularmente vulnerable a la reducción en la disponibilidad de sus presas (Franco *et al*. 2013).

Efectos de la mitilicultura

Para el caso de los mamíferos marinos en Chile, no existe evidencia documentada sobre potenciales impactos de la mitilicultura. Sin embargo, de manera general podemos señalar los siguientes impactos potenciales sobre este grupo.

Lobos marinos

- Disponibilidad de alimento

A nivel internacional, no se ha descrito una relación entre la mitilicultura como fuente de alimento y los lobos marinos, debido a que no formarían parte de la dieta de estos depredadores (Kemper *et al.* 2003). Sin embargo, en la X región se han encontrado restos de choritos en fecas de lobos marinos comunes (Sepúlveda *et al.* En revisión, D. Oliva, com. pers.). Esto sugiere que los choritos forman parte de la dieta del lobo marino común en la X región, quien habría sido capaz de aprovechar la disponibilidad de esta nueva fuente de alimento. No obstante, se requieren mayores estudios para corroborar esta hipótesis.

- Competencia por espacio

A nivel internacional se ha documentado que la mitilicultura interfiere sobre el espacio ocupado por lobos marinos (Würsig & Gailey 2002), quienes evitarían el tránsito por las zonas de cultivo. Esto probablemente se deba al uso de numerosas líneas y boyas que impiden el desplazamiento de animales e interfieren sobre la conducta de alimentación. De este modo el hábitat para los lobos marinos se ve restringido por esta actividad (Würsig & Gailey 2002). A nuestro conocimiento en Chile no se ha analizado el posible impacto de la mitilicultura sobre el hábitat de lobos marinos.

- Presencia de embarcaciones y generación de sonidos

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tal como fue señalado anteriormente, los sonidos generados por la presencia de personas y el mayor flujo de embarcaciones pueden impactar negativa y significativamente a los lobos marinos.

Cetáceos

Las actividades así como las instalaciones asociadas a la miticultura afectan directamente a las especies de cetáceos presentes en el área, desplazándolas de ambientes potencialmente importante para su ciclo de vida (Kemper *et al.* 2003, Markowitz *et al.* 2004, Mann 2005), modificando el ambiente y alterando la trama trófica (Mirto *et al.* 2000).

En el sur de Chile, grandes instalaciones de miticultura se encuentran en zona utilizadas recurrentemente por delfines costeros, como es el caso de los delfines chilenos (Ribeiro *et al.* 2007). Lo anterior genera la alerta desde un punto de vista de conservación, siendo primordial la identificación y mitigación de problemáticas existentes en la zona, ubicada en una de las unidades poblacionales identificadas para el delfín chileno a lo largo de su distribución (Pérez-Alvarez *et al.* 2015).

Los principales efectos de la miticultura sobre la presencia y permanencia de cetáceos en el área de estudio son los siguientes:

- Uso de hábitat

Los cultivos de moluscos se desarrollan en amplias zonas, superponiéndose por ende con áreas de alimentación, descanso y reproducción de especies de delfines que presentan algún grado de fidelidad de área. Esto ha sido reportado, por ejemplo, en Nueva Zelanda, donde especies como el delfín oscuro *Lagenorhynchus obscurus*, el delfín de Hector *Cephalorhynchus hectori* y el delfín nariz de botella han perdido sus áreas de alimentación por la instalación de áreas de cultivo de mitílidos(Kemper *et al.* 2003).

Por otro lado, registros conductuales de estas mismas especies dan cuenta de una evasión del área ocupada por líneas y boyas de las instalaciones de acuicultura, puesto que, entre otras cosas, interrumpe los desplazamientos de las presas y la alimentación de los delfines. (Wursig & Gailey 2002).

En Chile, en las proximidades de la Isla Chiloé se ha observado grupos de delfines chilenos (*C. eutropia*) y de delfines australes (*L. australis*) alimentándose en áreas completamente cubiertas por líneas de miticultura. Sus rutas de desplazamiento han sido descritas a lo largo de las proximidades de las instalaciones, pero no en su interior. Por lo tanto, es posible que las

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

líneas de choritos estén excluyendo gran parte del área de alimentación de estos delfines.

De acuerdo a lo anterior, los efectos de la mitilicultura serían distintos a lo mencionado para el caso de la salmonicultura. De acuerdo a Ribeiro *et al.* (2007), las actividades de miticultura interferirían directamente en el uso de hábitat y patrones de movimiento del delfín chileno, desplazando a los animales de áreas que ellos utilizarían de manera activa. Así, la ausencia de delfín chileno en las áreas de miticultura en Yaldad, sugiere que los animales estarían siendo excluidos de ese lugar o limitados por disponibilidad de espacio.

- Contaminantes, residuos e instalaciones de acuicultura

Componentes estructurales como flotadores, líneas relacionadas con la actividades de miticultura, ya sea flotando en superficie, extendido en la columna de agua o bien flotando a la deriva como residuo industrial impide el desplazamiento de los delfines alterando conductas de alimentación o sociabilización, interrumpiendo contactos visuales o acústicos (Heinrich 2006).

- Ruido-Tráfico embarcaciones

Tal como fue señalado para el caso de la salmonicultura marina, el aumento del tráfico de embarcaciones producto de la presencia de centros de mitilicultura produciría un impacto negativo sobre los cetáceos, ya que alteraría su comportamiento (Markowitz *et al*. 2004). Adicionalmente, el tráfico constante de embarcaciones, así como de personal necesario para la mantención del sistema flotante, monitoreo y cosecha del cultivo, se piensa que produce un efecto negativo en la presencia de delfines. Sin embargo, no se cuenta con estudios de largo plazo para validar esta presunción (Würsig & Gailey 2002).

- Disponibilidad de alimento

Se ha sugerido que podría existir un impacto positivo de la presencia de cultivos de moluscos debido al aumento en la disponibilidad de alimento. Las plataformas flotantes donde se cultivan estos moluscos podrían tener consigo fauna asociada y potencialmente presas para los delfines. El incremento de nutrientes, por su parte, puede ser beneficioso para la cadena alimentaria siempre que no esté en cantidad excesiva. Sin embargo faltan investigaciones que avalen lo anteriormente expuesto (Kemper *et al*. 2003).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Mustélidos

Las nutrias son las únicas especies de mamíferos marinos que se alimentan de moluscos (Sielfeld & Castilla 1999, Würsig & Gailey 2002). Al igual que para los demás mamíferos marinos, se desconoce si se ven beneficiadas o perjudicadas por la existencia de la mitilicultura en Chile. Por un lado, es posible suponer que el chungungo podría verse beneficiado dado que parte de su dieta se compone por moluscos (Sielfeld & Castilla 1999). No obstante, el uso de hábitat, en conjunto con el mayor tráfico de embarcaciones y circulación de personas podría impactar severamente a esta especie de hábitos costeros, y que es altamente sensible a la presencia humana.

Efectos de otros cultivos

Se desconoce el potencial efecto de otros cultivos sobre los mamíferos marinos. De modo general, no se prevé un impacto sustancial del cultivo de algas u otros moluscos sobre estas especies.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.2.1.7. Condición ecológica de las comunidades de macrofauna asociadas a la actividad acuícola.

Accesoriamente a la recopilación de información proveniente de la literatura, se realizó un análisis de la información contenida en Caracterizaciones Preliminares de Sitio (CPS) e Informes Ambientales de la Acuicultura (INFA)

En base a la gran cantidad de información que se almacena a partir de las CPS e INFAs, se realizó una sistematización para caracterizar la condición ecológica de la macrofauna bentónica asociada a los cultivos de salmones y mitílidos ubicados en los barrios salmoneros donde se aplicó el monitoreo piloto. Esta tarea se llevó a cabo mediante la implementación del Índice de Calidad Bentónica (Benthic Quality Index - BQI) a nivel de familia (Dimitriou et al. 2012), que permite evaluar el estado ecológico de las muestras observadas en cada estación de muestreo.

En base a la metodología empleada, se obtuvieron valores de sensibilidad ($S_{0,05}$) para 136 taxa, de los cuales 133 fueron categorizados como familias y los tres restantes compuestos por los filos Nematoda y Nemertea y la clase Ostracoda. Los valores de sensibilidad presentaron un rango entre 3 y 13 (**Tabla 12**), de los cuales los taxa más sensibles (i.e. taxa con $S_{0,05}$ entre 11 y 13) estuvieron compuestos por 7 grupos mayores (ver figura a continuación – figura A), representados en un 50% por familias de anfípodos y poliquetos, mientras que con 1 representante estuvieron presentes las clases Ostracoda, Gastropoda, Pycnogonida, Holothuroidea y el filo Nemertea. Por otra parte, los taxa más tolerantes (i.e. taxa con $S_{0,05}$ entre 3 y 4) presentaron una menor diversidad relativa de grupos mayores (ver figura a continuación – figura A), estando compuestos en un 70% por familias de poliquetos y bivalvos, mientras que con una familia estuvieron representados los taxa Cirripedia, Gastropoda y Amphipoda (**Figura 29**, **Anexo 7**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 12. Listado de valores de sensibilidad ($S_{0,05}$), calculados en base a Leonardsson *et al.* (2015), para los Taxa más representativos presentes en el Mar Interior de Chiloé.

Taxon	$S_{0,05}$	*Taxon*	$S_{0,05}$	*Taxon*	$S_{0,05}$
Capitellidae	3	Tellinidae	6	Tanaididae	10
Mytilidae	3	Spionidae	7	Magelonidae	10
Nassariidae	4	Nuculidae	7	Lumbrineridae	11
Nephtyidae	4	Paraonidae	8	Caecidae	11
Phoxocephalidae	5	Psammobiidae	8	Lysianassidae	12
Dorvilleidae	5	Amphinomidae	9	Lineidae	13
Cirratulidae	6	Amphiporidae	9	Chiridotidae	13

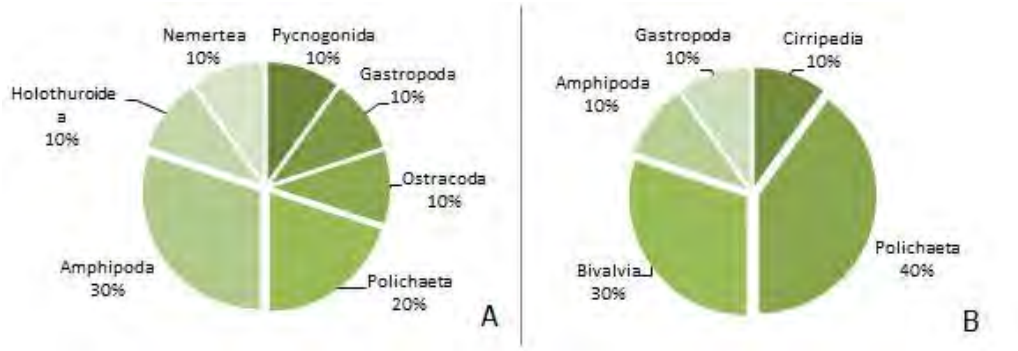


Figura 29. Composición por taxa mayores para las familias más sensibles ($S_{0,05}$ 11 - 13) (figura A). Composición por taxa mayores para las familias más tolerantes ($S_{0,05}$ 3 - 4) (figura B).

Como parte de este trabajo, empleando los valores de sensibilidad para las familias registradas en el Mar Interior de Chiloé, fue posible evaluar la calidad de los ambientes bentónicos asociados a concesiones de salmonicultura, entre los años 2011-2014.

La **Figura 30**, muestra un ejemplo de mapeo de la distribución geográfica para los resultados de calidad bentónica obtenidos a partir de las estaciones evaluadas en los INFAs realizados durante el año 2013, en centros de categoría 3 que cultivan especies de salmónidos en el mar interior de Chiloé.

En el mapa es posible apreciar una mayor concentración de estaciones con menor calidad bentónica hacia el interior de los esteros de la costa este de Chiloé, lo que contrasta con estaciones ubicadas al noreste del golfo de Ancud, que muestran una predominancia de las calidades moderadas.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

En cuanto a la evolución temporal del índice de Calidad Bentónica encontradas en el bentos del mar interior de Chiloé, se aprecia que la media estimada para el BQI se encuentra dentro del rango calificado como pobre, a excepción de lo que ocurre el año 2014, cuando la media alcanza el rango de los moderados (**Figura 31**).

Esta situación se refleja en la mayor proporción de muestras que caen en los rangos "malo" y "pobre" durante los años 2011 y 2012, los que aumentan de manera importante en 2013, para dar paso a una mayor proporción de muestras con calidades moderadas en 2014, a la vez que se aprecia una mayor tendencia a alcanzar una distribución más equilibrada.

Es destacable que a lo largo de los años la fracción de muestras clasificadas como de buena calidad es notablemente bajo, no observándose una tendencia a una mejora en estos valores.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

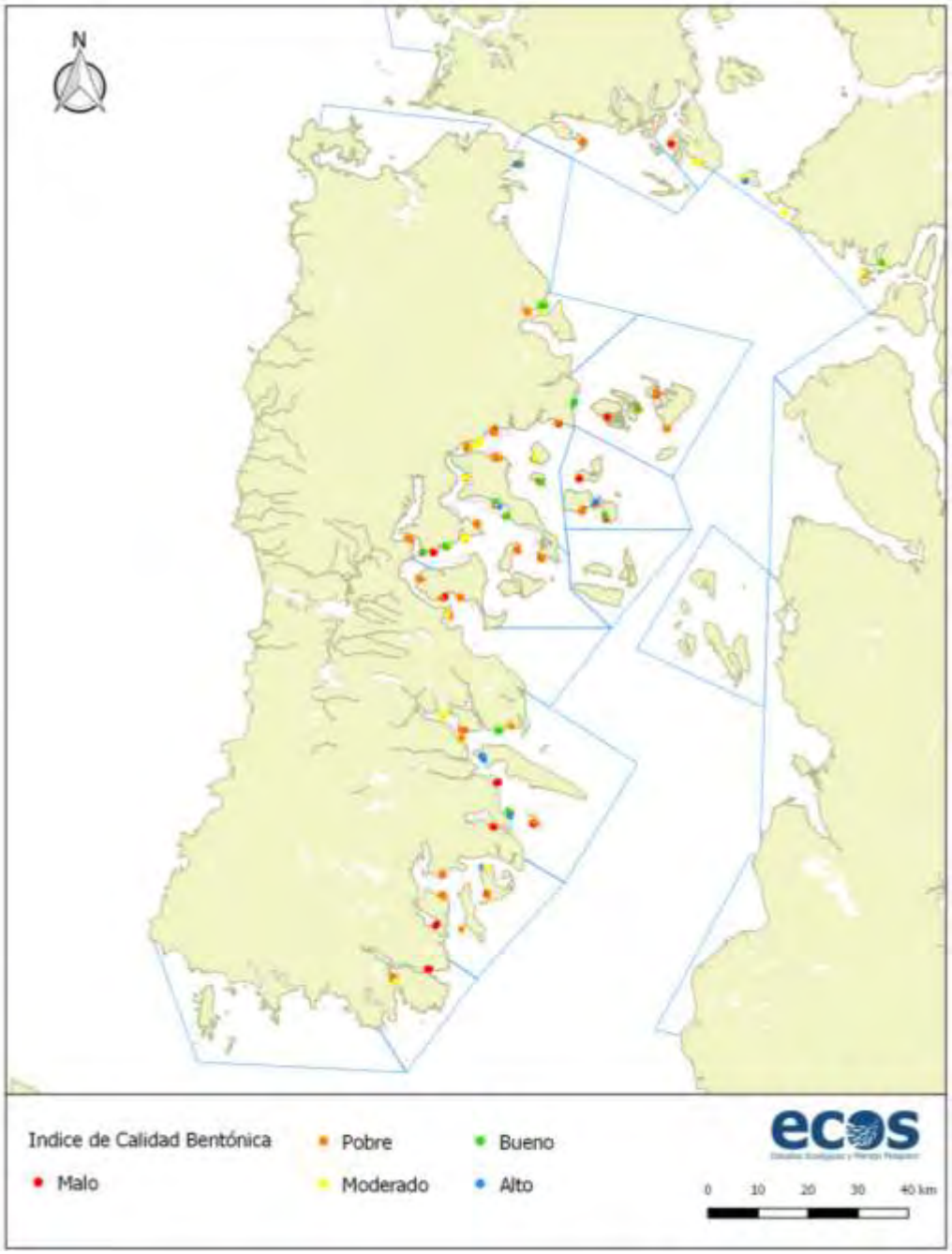


Figura 30. Clasificación del Índice de Calidad Bentónica calculado para las estaciones correspondientes a los INFA realizados durante el año 2013 en el mar interior de Chiloé. La cartografía permite identificar aquellas concesiones donde priman estaciones consideradas con una calidad bentónica mala y/o pobre, a la vez que se observan concesiones en las que se registran estaciones con mejores calidades.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

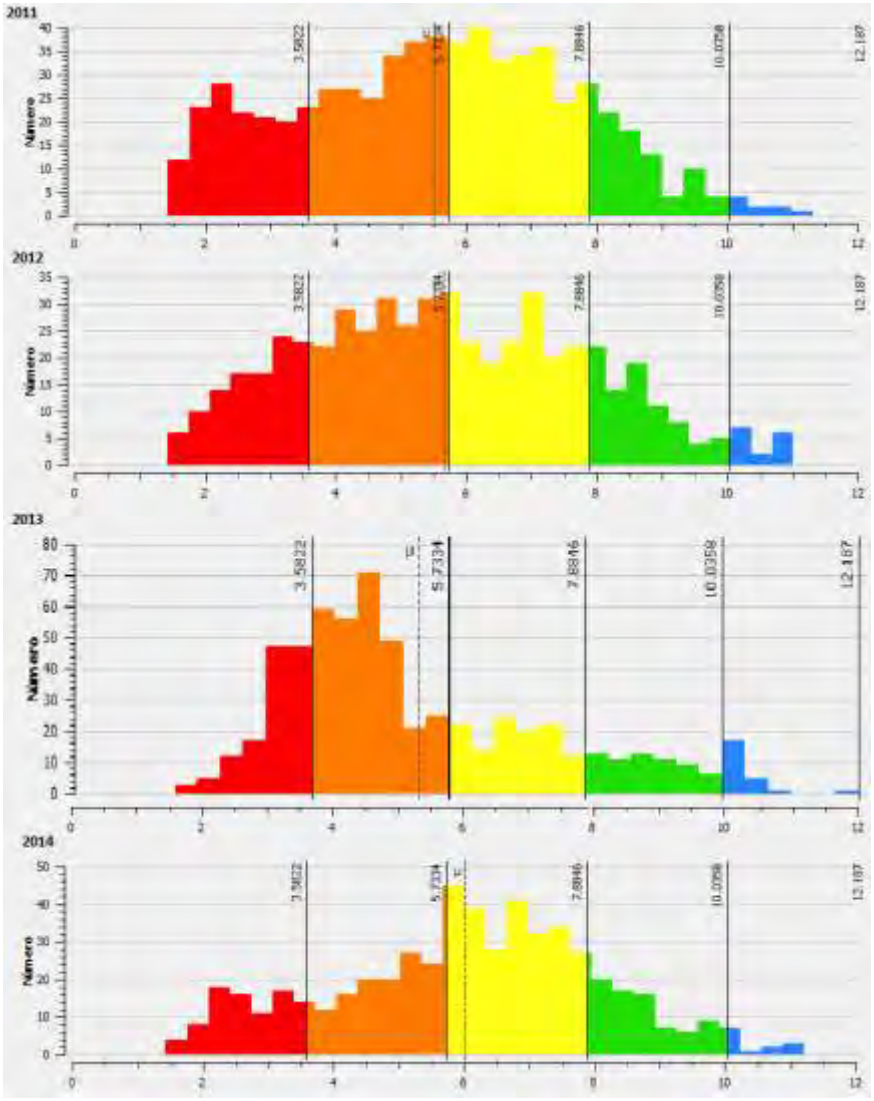


Figura 31. Distribución de frecuencias del Índice de Calidad Bentónica para estaciones con profundidades de hasta 60 m. del mar interior de Chiloé. Los histogramas muestran la proporción entre las calidades encontradas durante los años 2011, 2012, 2013 y 2014, observándose una clara tendencia hacia la izquierda, con una predominancia de las calidades malas y pobres (rojos y naranjos), y en menor medida calidades moderadas y buenas (amarillas y verdes).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.2.2. Listado de especies y/o grupos de especies afectados por diferentes actividades de acuicultura

5.2.2.1. Efectos de la actividad acuícola sobre la biodiversidad, reportados en la bibliografía

Debido a la complejidad para abordar la multiplicidad de efectos que han sido reportados en la bibliografía, en cuanto a la interacción entre producción acuícola y biodiversidad, se proporcionó una clasificación previa de los efectos a los encargados de efectuar la recopilación y análisis de esta información.

La clasificación previa considera cuatro efectos, entendiendo por efecto a cualquier acción transformadora (o cambio) ocasionada directa o indirectamente por las actividades acuícolas en la biodiversidad, sea perjudicial o beneficiosa. En caso de no poder clasificar el efecto descrito en la bibliografía con la pauta proporcionada, el revisor procedía a describir un nuevo efecto.

La clasificación preliminar considera las siguientes acciones transformadoras:

a. Efectos por aumento de actividad humana, generación de ruidos, atracción de depredadores, perturbación del espacio o de rutas de tránsito de especies nativas o migratorias.
b. Efecto por el abandono de diversos tipos de plástico y estructuras metálicas, alimento no digerido y excreciones.
c. Efectos por la emisión de fungicidas, antibióticos y compuestos antiparasitarios
d. Efectos por escape y posterior asilvestramiento de especies exóticas, transmisión de enfermedades a fauna nativa.

Posteriormente, en un proceso de sistematización participativa con los revisores expertos, se propusieron once tipologías de efectos, con el fin de afinar el análisis (**Tabla 13**)

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 13. Listado de efectos propuesto para clasificar las interacciones entre la producción acuícola y la biodiversidad.

N°	Efecto	Descripción
1	**Creación de Hábitat Artificial**	Presencia de sustratos exógenos que constituyen un nicho para la colonización de organismos y mantención de presas potenciales para otras especies.
2	**Dispersión de organismos en basura flotante**	Desplazamiento de organismos incrustantes a partir de la colonización de sustratos artificiales correspondientes a material en desuso.
3	**Modificación de la estructura comunitaria**	Alteración del equilibrio en el sistema por cambios en la composición, estructura y organización de la comunidad.
4	**Colonización de especies exótica e invasoras**	Desarrollo de especies ajenas a la estructura comunitaria local.
5	**Invasión de espacios naturales por actividad humana**	Alteración y reducción de hábitat, por tráfico de embarcaciones, generación de ruidos y utilización de espacios.
6	**Daño a organismos por presencia de desecho**	Trauma fisiológico o físico, provocado por la presencia de desechos de materiales y estructuras en desuso que pueden provocar heridas, asfixias o intoxicaciones.
7	**Escape de especies de cultivo al medio natural**	Asilvestramiento de especies exóticas provenientes de sistemas de cultivo, que provocan una disminución de especies nativas por competencia y depredación con un aumento de especies exóticas.
8	**Dispersión de agentes contaminantes al medio natural**	Incorporación de agentes químicos, patógenos y metales pesados a la trama trófica.
9	**Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos**	Deterioro de la columna de agua y el fondo marino, por la incorporación de sedimentos con altas concentraciones de materia orgánica.
10	**Eliminación accidental o deliberada de depredadores**	Mortalidad de especies por instalación de sistemas anti-depredadores o matanza legal o ilegal de depredadores de especies en cultivo.
11	**Disminución de organismos naturales utilizados como alimento por especies de cultivo**	Utilización de cualquier organismo del medio natural como materia prima para la alimentación de especies de cultivo.

Así, el proceso de clasificación de efectos sigue una construcción lineal, que se inicia con una clasificación preliminar, que si bien permitía clasificar todo el espectro de efectos reportados en la bibliografía, respecto de la interferencia entre actividad acuícola y la biodiversidad, enmascaraba una gran cantidad de

información relevante. Debido a ello, una vez realizadas las recopilaciones y análisis de los efectos se propone una nueva clasificación, construida en forma participativa con los revisores expertos en base a la información existente, la cual fue posteriormente validada en el trabajo de los talleres por los profesionales de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (**Figura 32**).

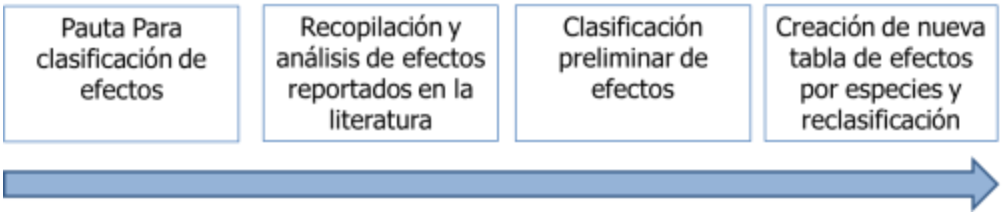


Figura 32. Construcción lineal para la clasificación de efectos reportados en la bibliografía respecto de la interacción entre la actividad acuícola y la biodiversidad

5.2.2.2. Relación de especies y/o grupos de especies afectadas por tipo de cultivo

A partir de la revisión bibliográfica, se indica una gran cantidad de especies sobre las cuales se ha reportado que existe o potencialmente podría existir algún efecto provocado por la actividad de acuicultura. Debido a la calidad y cantidad de la información existente, se agrupa la información de la siguiente forma:

a) Efectos provocados por la salmonicultura marina
b) Efectos provocados por la salmonicultura continental
c) Efectos provocados por la mitilicultura
d) Efectos provocados por otros cultivos

En la **Figura 33**, se indican el número de especies afectadas por tipo de cultivo y tipo de efecto. Cabe mencionar que no se incorporan los efectos identificados para otros cultivos por efectos gráficos, considerando que existe escasa información de otros sistemas de cultivo en razón de los efectos que estos podrían tener en la biodiversidad.

Para el caso de la salmonicultura marina, el efecto que ha reportado una acción modificadora en un mayor número de especies y/o grupos de especies, es el escape de especies de cultivo al medio natural, observándoseun total de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

53 especies y/o grupos de especies de variados taxas que experimentan una interferencia directa o indirecta con este efecto (**Figura 33**).

Otros efectos que son altamente reportadosen la literatura afectanto especies y/o grupos de especies marinas, son la disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos y la modificación de la estructura comunitaria. Reportándose 35 y 27 especies y/o grupos de especies respectivamente, que se ven afectadas para la existencia de estos efectos (**Figura 33**).

En cuanto a la mitilicultura, el efecto mayormente reportado como modificador de la condición normal de las especies (sin sistema de producción acuícola), es la creación de hábitat artificial. Este es el efecto que más ha sido descrito en la literatura y puede afectar a una amplia variedad de taxa. En la revisión realizada, se identifican 71 especies y/o grupos de especies que manifiestan una interacción con este efecto.

Otros efectos que reportan una acción modificadora en una gran cantidad de especies o grupo son la modificación de la estructura comunitaria y la dispersión de organismos en basura flotante, con un número de especies o grupos de especies de 65 y 64 respectivamente (**Figura 33**).

En el caso de la salmonicultura continental, solamente se encontró el reporte de 4 efectos en el proceso de revisión, estos son: la disminución de la calidad del hábitat por incorporación de desechos orgánicos que afecta a 13 especies y/o grupos de especies; el escape de especies de cultivo al medio natural que podría modificar la situación natural de 13 especies y/o grupos de especies; la dispersión de agentes contaminantes al medio natural (13 especies y/o grupos de especies) y finalmente la modificación de la estructura comunitaria, donde se reporta que 10 especies y/o grupos de especies son o pueden verse afectados (**Figura 33**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

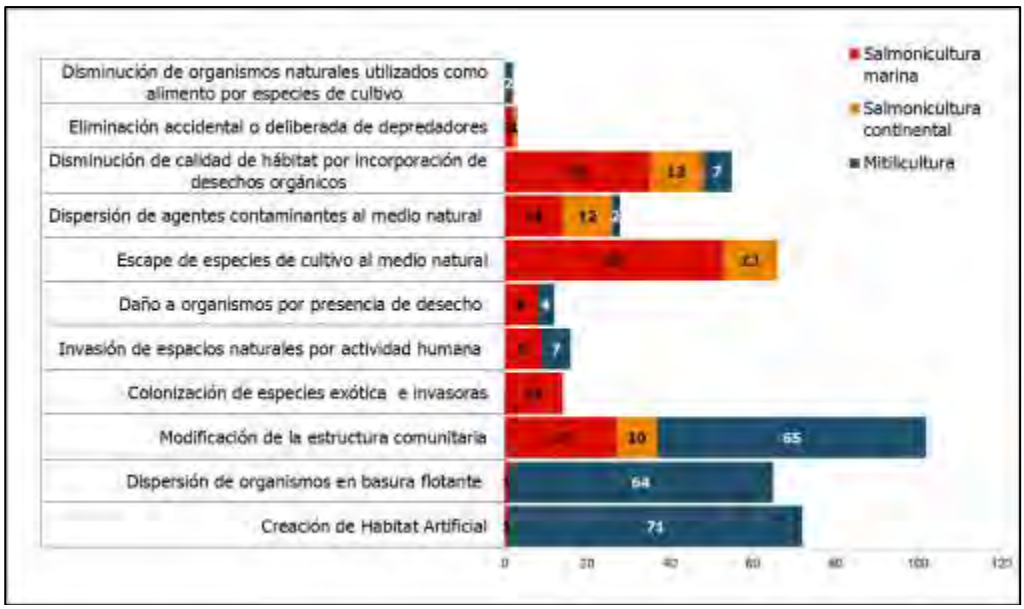


Figura 33. Número de especies documentadas por tipo de cultivo y tipo de efecto.

5.2.2.3. Listado de especies sobre las cuales se ha reportado efecto potencial o expreso por causa de la actividad acuícola

Especies afectadas o potencialmente afectadas por actividades de salmonicultura marina

A partir de la revisión bibliográfica, se encontró que 64 especies y/o grupos de especies de distintos taxa, han sido reportados como afectados potencialmente podrían verse afectadas por al menos un efecto provocado por la actividad de cultivo de salmones en ambientes marinos o estuarinos (**Figura 34** y **Tabla 14**). En este sentido cabe mencionar que cuando se indica a especies que "potencialmente" podrían verse afectadas, se hace referencia a que el conocimiento ecológico de esta, da lugar a una presunción de que esté produciéndose una modificación a causa de la actividad, no obstante no existe la información expresa de que ello esté sucediendo.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

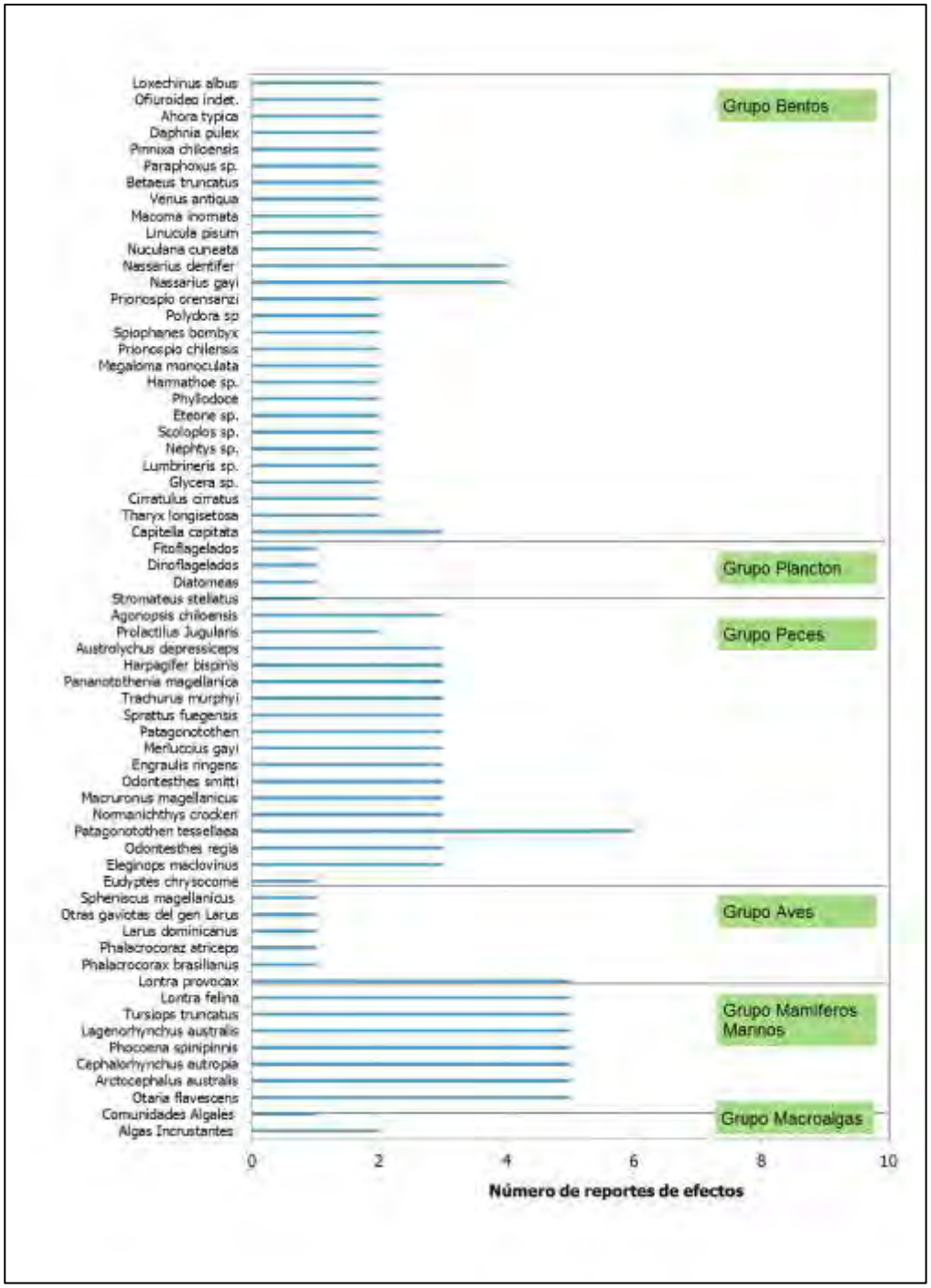


Figura 34. Gráfico del número de efectos reportados para cada especie, por efecto de la salmonicultura marina.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 14. Matriz de especies sobre las cuales se encontraron reportes de algún efecto de la actividad salmonicultora.

Grupo	Especies	Creación de Hábitat Artificial	Dispersión de organismos en basura flotante	Modificación de la estructura comunitaria	Colonización de especies exótica e invasoras	Invasión de espacios naturales por actividad humana	Daño a organismos por presencia de desechos	Escape de especies de cultivo al medio natural	Dispersión de agentes contaminantes al medio natural	Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos	Eliminación deliverada de depredadores	Total
Algas	**Algas Incrustantes**	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2
	Comunidades Algales	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Mamíferos	**Otaria flavescens**	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	5
	Arctocephalus australis	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	5
	Cephalorhynchus eutropia	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	5
	Phocoena spinipinnis	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	5
	Lagenorhynchus australis	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	5
	Tursiops truncatus	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	5
	Lontra felina	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	5
	Lontra provocax	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	5
Aves	**Phalacrocorax brasilianus**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Phalacrocoraz atriceps	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Larus dominicanus	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	Otras gaviotas del gen *Larus*	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	Spheniscus magellanicus	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Peces	**Eudyptes chrysocome**	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	Eleginops maclovinus	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	3
	Odontesthes regia	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Patagonotothen tessellaea	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	6
	Normanichthys crockeri	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Macruronus magellanicus	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Odontesthes smitti	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Engraulis ringens	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Merluccius gayi	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Patagonotothen	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Sprattus fuegensis	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Trachurus murphyi	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Pananotothenia magellanica	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Harpagifer bispinis	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Austrolychus depressiceps	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Prolactilus Jugularis	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
	Agonopsis chiloensis	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
	Stromateus stellatus	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Continuación **Tabla 14.** Matriz de especies sobre las cuales se encontraron reportes de algún efecto de la actividad salmonicultora.

Grupo	Especies	Creación de Hábitat Artificial	Dispersión de organismos en basura flotante	Modificación de la estructura comunitaria	Colonización de especies exótica e invasoras	Invasión de espacios naturales por actividad humana	Daño a organismos por presencia de desechos	Escape de especies de cultivo al medio natural	Dispersión de agentes contaminantes al medio natural	Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos	Eliminación deliverada de depredadores	Total
Plancton	**Diatomeas**	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Fitoflagelados	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Bentos	**Capitella capitata**	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	3
	Tharyx longisetosa	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Cirratulus cirratus	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Glycera sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Lumbrineris sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Nephtys sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Scoloplos sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Eteone sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Phyllodoce	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Harmathoe sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Megaloma monoculata	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Prionospio chilensis	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Spiophanes bombyx	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Polydora sp	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Prionospio orensanzi	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Nassarius gayi	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	4
	Nassarius dentifer	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	4
	Nuculana cuneata	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Linucula pisum	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Macoma inornata	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Venus antiqua	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Betaeus truncatus	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Paraphoxus sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Pinnixa chiloensis	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Daphnia pulex	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Ahora typica	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Ofiuroídeo indet.	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Loxechinus albus	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
	Total	**1**	**1**	**27**	**14**	**9**	**8**	**53**	**14**	**35**	**2**	
Total por grupo	**ALGAS**	1	1	3	2	0	0	0	0	0	0	
	MAMÍFEROS	0	0	8	0	8	8	8	6	2	0	
	AVES	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	
	PECES	0	0	15	14	1	0	16	4	2	0	
	PLANCTON	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
	BENTOS	0	0	3	0	0	0	28	2	28	0	

En términos del número de especies y/o grupos de especies afectadas, se encontró que el grupo del bentos es el que reporta una mayor cantidad de especies afectadas por la actividad acuícola, con 28 especies (44 % de las especies totales reportadas), seguido del grupo de los peces con 18 especies (28 %). El resto de los grupos poseen comparativamente una cantidad bastante menor de especies reportadas por la interacción de algún efecto de la salmonicultura, la revisión y análisis de la interacción entre salmonicultura y mamíferos marinos, evidencia 8 especies posiblemente afectadas (12 %), el grupo de las aves 5 especies (8 %) y el plancton y las algas, 2 grupos de especies cada uno (3 %). Cabe mencionar que en los casos de las algas y el plancton, los efectos reportados corresponden a agrupaciones de especies y a la respuesta de sucesiones entre estas agrupaciones y no a especies en particular como lo es en el resto de los grupos (**Tabla 14** y **Figura 35**).

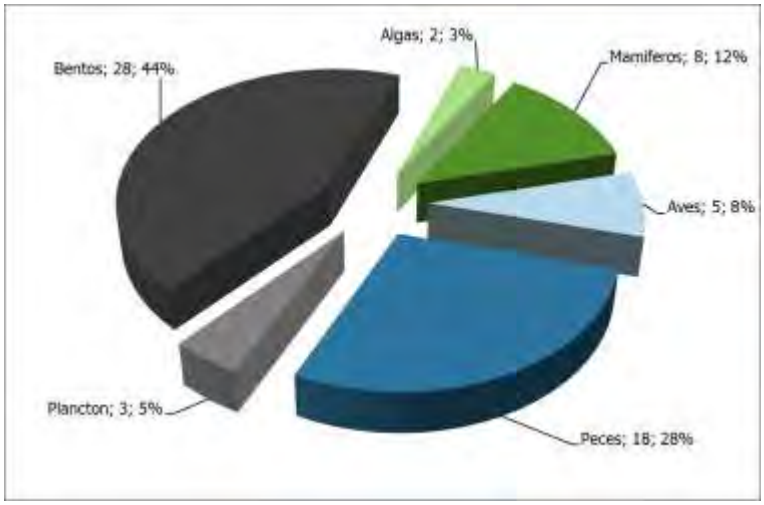


Figura 35. Especies reportadas como afectadas o potencialmente afectadas por algún efecto provocado por la actividad de salmonicultura marina.

Especies afectadas o potencialmente afectadas por actividades de salmonicultura continental

A partir de la revisión bibliográfica, se encontró que 29 especies y/o grupos de especies de distintos taxa han sido reportados como afectados o que potencialmente podrían verse afectadas por al menos un efecto provocado por la actividad de cultivo de salmones en ambientes continentales (**Figura 36** y **Tabla 15**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

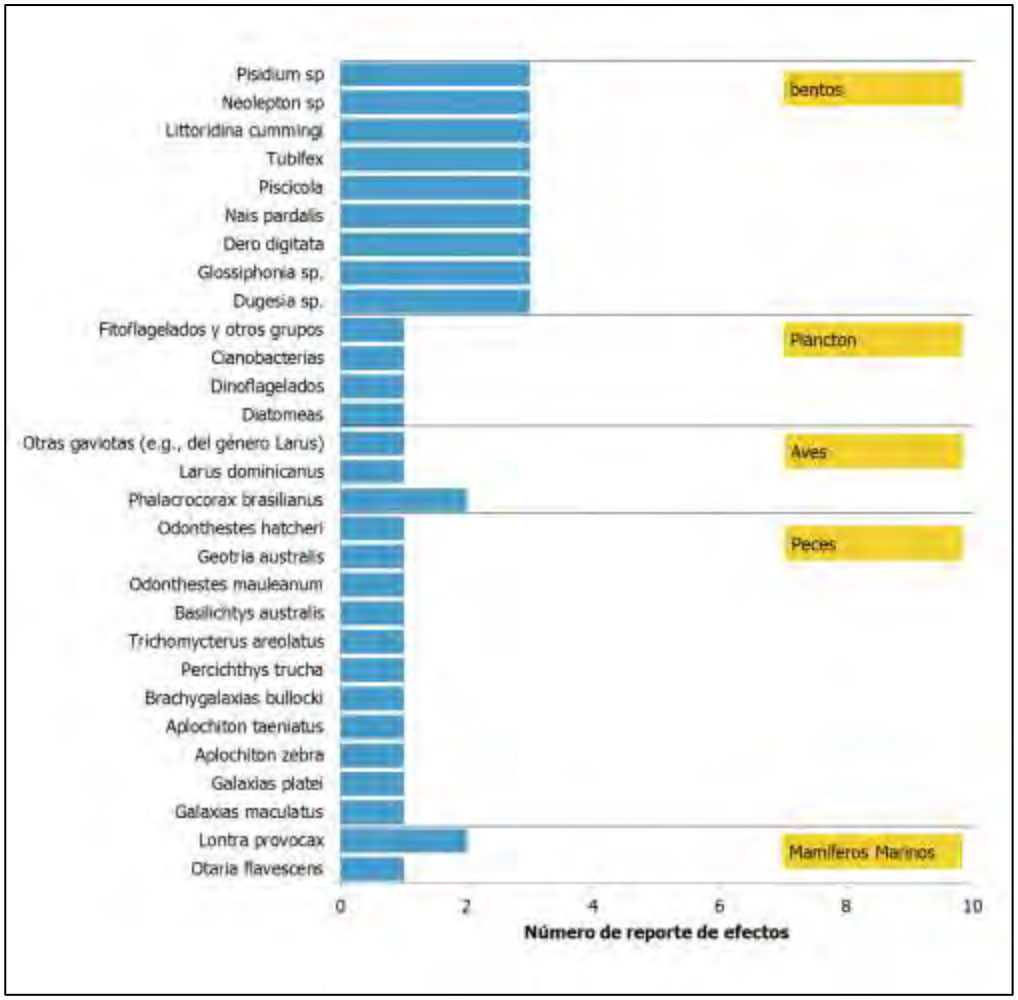


Figura 36. Gráfico del número de efectos reportados para cada especie, por efecto de la salmonicultura continental.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 15. Matriz de especies sobre las cuales se encontraron reportes de algún efecto de la actividad de salmonicultura continental.

Grupo	Especies	Modificación de la estructura comunitaria	Escape de especies de cultivo al medio natural	Dispersión de agentes contaminantes al medio natural	Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos	Eliminación accidental o deliberada de depredadores	Total
Mamíferos Marinos	**Otaria flavescens**	0	1	0	0	0	**1**
	Lontra provocax	1	1	0	0	0	**2**
Peces	**Galaxias maculatus**	0	1	0	0	0	**1**
	Galaxias platei	0	1	0	0	0	**1**
	Aplochiton zebra	0	1	0	0	0	**1**
	Aplochiton taeniatus	0	1	0	0	0	**1**
	Brachygalaxias bullocki	0	1	0	0	0	**1**
	Percichthys trucha	0	1	0	0	0	**1**
	Trichomycterus areolatus	0	1	0	0	0	**1**
	Basilichtys australis	0	1	0	0	0	**1**
	Odonthestes mauleanum	0	1	0	0	0	**1**
	Geotria australis	0	1	0	0	0	**1**
	Odonthestes hatcheri	0	1	0	0	0	**1**
Aves	**Phalacrocorax brasilianus**	0	0	1	0	1	**2**
	Larus dominicanus	0	0	1	0	0	**1**
	Otras gaviotas (e.g., del género	0	0	1	0	0	**1**
Plancton	**Diatomeas**	0	0	0	1	0	**1**
	Dinoflagelados	0	0	0	1	0	**1**
	Cianobacterias	0	0	0	1	0	**1**
	Fitoflagelados y otros grupos	0	0	0	1	0	**1**
Bentos	**Dugesia** sp.	1	0	1	1	0	**3**
	Glossiphonia sp.	1	0	1	1	0	**3**
	Dero digitata	1	0	1	1	0	**3**
	Nais pardalis	1	0	1	1	0	**3**
	Piscicola	1	0	1	1	0	**3**
	Tubifex	1	0	1	1	0	**3**
	Littoridina cummingi	1	0	1	1	0	**3**
	Neolepton sp	1	0	1	1	0	**3**
	Pisidium sp	1	0	1	1	0	**3**
	Total	10	13	12	13	1	

En términos del número de especies y/o grupos de especies afectadas, se encontró que el grupo de los peces es el que reporta una mayor cantidad de especies afectadas por la actividad acuícola, con 11 especies (38 % de las especies totales reportadas), seguido del grupo del bentos con 9 especies (31 %). El resto de los grupos poseen comparativamente una cantidad bastante menor de especies reportadas por la interacción de algún efecto de la salmonicultura continental, la revisión y análisis de la interacción entre salmonicultura y plancton, evidencia 4 asociaciones de especies posiblemente afectadas (14 %), el grupo de las aves 3 especies (10 %) y el grupo de los mamíferos marinos 2 especies (7 %). No se encontró en la literatura influencia entre la actividad de salmonicultura continental y especies o grupos de especies del macroalgas (**Tabla 15** y **Figura 37**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

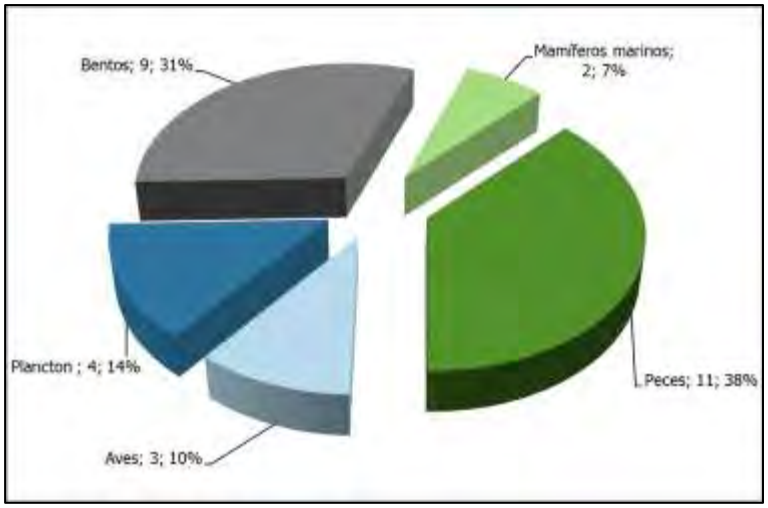


Figura 37. Especies reportadas como afectadas o potencialmente afectadas por algún efecto provocado por la actividad de salmonicultura continental.

Especies afectadas o potencialmente afectadas por actividades de mitilicultura marina

A partir de la revisión bibliográfica, se encontró que 81 especies y/o grupos de especies de distintos taxa han sido reportados como afectados o que potencialmente podrían verse afectadas por al menos un efecto provocado por la actividad de mitilicultura en ambientes marinos (**Figura 38** y **Tabla 16**).

En la **Figura 39**, se puede apreciar que del número total de especies y/o grupos de especies reportadas como afectadas, el grupo del bentos es el que reporta casi el 80 % del total, con 64 especies. El resto de los grupos poseen comparativamente una cantidad bastante menor de especies reportadas por la interacción de algún efecto de la mitilicultura, la revisión y análisis de la interacción entre mitilicultura y mamíferos marinos, evidencia 6 especies posiblemente afectadas (7 %), el grupo de las aves 5 especies (6 %) y el plancton y los peces, 3 especies y/o grupos de especies cada uno (4 %). Cabe mencionar que en el caso del plancton, los efectos reportados corresponden a asociaciones de especies y a la respuesta de sucesiones entre estas y no a especies en particular como lo es en el resto de los grupos (**Tabla 16**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

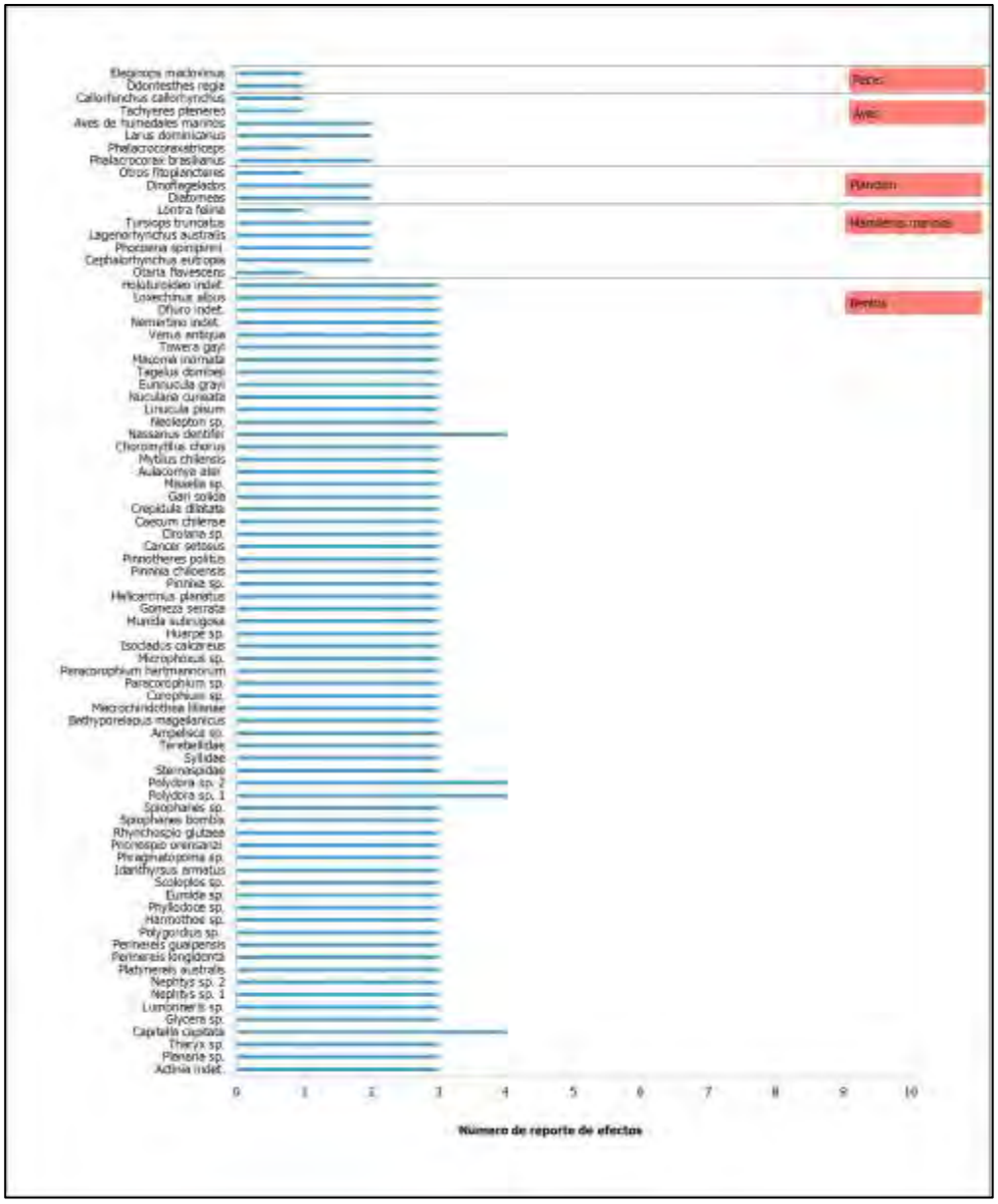


Figura 38. Gráfico del número de efectos reportados para cada especie, por efecto de la salmonicultura continental.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 16. Matriz de especies sobre las cuales se encontraron reportes de algún efecto de la actividad de miticultura marina.

Gruppo	Especies	Creación de Hábitat Artificial	Dispersión de organismos en basura flotante	Modificación de la estructura comunitaria	Invasión de espacios naturales por actividad humana	Daño a organismos por presencia de desechos	Dispersión de agentes contaminantes al medio natural	Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos	Disminución de organismos naturales utilizados como alimento por especies de cultivo	Total
Bentos	Actinia indet.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Planaria sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Tharyx sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Capitella capitata	1	1	1	0	0	0	1	0	**4**
	Glycera sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Lumbrineris sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Nephtys sp. 1	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Nephtys sp. 2	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Platynereis australis	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Perinereis longidonta	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Perinereis gualpensis	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Polygordius sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Harmothoe sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Phyllodoce sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Eumida sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Scoloplos sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Idanthyrsus armatus	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Phragmatopoma sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Prionospio orensanzi	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Rhynchospio glutaea	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Spiophanes bombix	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Spiophanes sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Polydora sp. 1	1	1	1	0	0	0	1	0	**4**
	Polydora sp. 2	1	1	1	0	0	0	1	0	**4**
	Sternaspidae	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Syllidae	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Terebellidae	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Ampelisca sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Bathyporeiapus magellanicus	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Macrochiridothea lilianae	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Corophium sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Paracorophium sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Paracorophium hartmannorum	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Microphoxus sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Isocladus calcareus	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Huarpe sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Munida subrugosa	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Gomeza serrata	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Halicarcinus planatus	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Pinnixa sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Pinnixa chiloensis	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Pinnotheres politus	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Cancer setosus	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Cirolana sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Caecum chilense	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Crepidula dilatata	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Gari solida	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Missella sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Aulacomya ater	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Mytilus chilensis	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Choromytilus chorus	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Nassarius dentifer	1	1	1	0	0	0	1	0	**4**
	Neolepton sp.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Linucula pisum	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Nuculana cuneata	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Eunnucula grayi	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Tagelus dombeii	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Macoma inornata	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Tawera gayi	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Venus antiqua	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Nemertino indet.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Ofiuro indet.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Loxechinus albus	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**
	Holoturoideo indet.	1	1	1	0	0	0	0	0	**3**

Continuación **Tabla 16.** Matriz de especies sobre las cuales se encontraron reportes de algún efecto de la actividad de miticultura marina.

Gruppo	Especies	Creación de Hábitat Artificial	Dispersión de organismos en basura flotante	Modificación de la estructura comunitaria	Invasión de espacios naturales por actividad humana	Daño a organismos por presencia de desechos	Dispersión de agentes contaminantes al medio natural	Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos	Disminución de organismos naturales utilizados como alimento por especies de cultivo	Total
Mamíferos Marinos	Otaria flavescens	0	0	0	1	0	0	0	0	**1**
	Cephalorhynchus eutropia	0	0	0	1	1	0	0	0	**2**
	Phocoena spinipinni	0	0	0	1	1	0	0	0	**2**
	Lagenorhynchus australis	0	0	0	1	1	0	0	0	**2**
	Tursiops truncatus	0	0	0	1	1	0	0	0	**2**
	Lontra felina	0	0	0	1	0	0	0	0	**1**
Plancton	Diatomeas	0	0	0	0	0	0	1	1	**2**
	Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0	1	1	**2**
	Otros fitoplancteres	0	0	0	0	0	0	1	0	**1**
Aves	Phalacrocorax brasilianus	1	0	0	0	0	1	0	0	**2**
	Phalacrocoraxatriceps	1	0	0	0	0	0	0	0	**1**
	Larus dominicanus	1	0	0	0	0	1	0	0	**2**
	Aves de humedales marinos	0	0	1	1	0	0	0	0	**2**
	Tachyeres pteneres	1	0	0	0	0	0	0	0	**1**
Peces	Callorhinchus callorhynchus	1	0	0	0	0	0	0	0	**1**
	Odontesthes regia	1	0	0	0	0	0	0	0	**1**
	Eleginops maclovinus	1	0	0	0	0	0	0	0	**1**
	Total	**71**	**64**	**65**	**7**	**4**	**2**	**7**	**2**	
Total por grupo	**BENTOS**	64	64	64	0	0	0	4	0	
	MAMÍFEROS	0	0	0	6	4	0	0	0	
	PLANCTON	0	0	0	0	0	0	3	2	
	AVES	4	0	1	1	0	2	0	0	
	PECES	3	0	0	0	0	0	0	0	

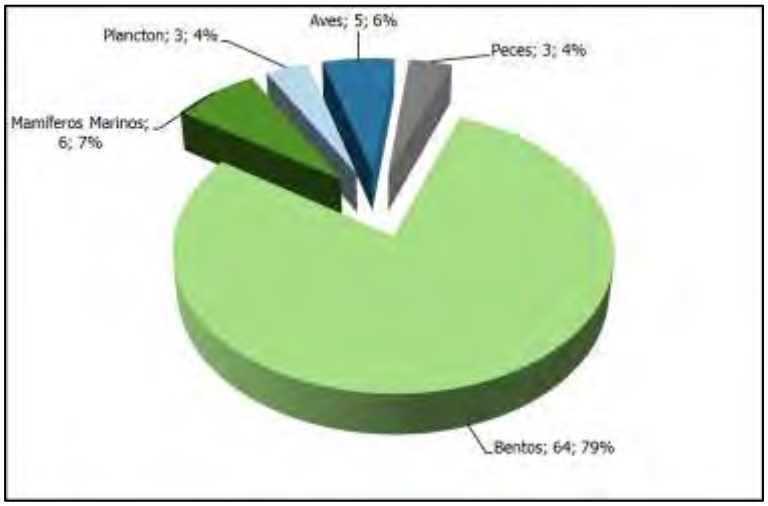


Figura 39. Especies reportadas como afectadas o potencialmente afectadas por algún efecto provocado por la actividad de salmonicultura continental.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.2.3. Identificación de áreas sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad

Se trabajó sobre una cartografía de usos del territorio a nivel nacional, donde se describe la distribución espacial de los centros de cultivo, las Áreas Apropiadas para la Acuicultura, las Áreas de Manejo de Recursos Bentónicos y los sitios relevantes para la conservación de la biodiversidad.

El trabajo desarrollado consistió en la construcción de una cartografía participativa con los profesionales que efectuaron las revisiones bibliográficas respecto a los efectos de la acuicultura sobre los distintos grupos que componen la biodiversidad marina.

El objetivo del trabajo fue identificar: i) zonas que tengan distintos niveles de sensibilidad a la actividad de acuicultura, ii) sectores altamente impactados y iii) sectores no impactados de similares características ecológicas que puedan ser utilizados como puntos de control (**Figura 40**).

Figura 40. Actividad de cartografía participativa para la identificación de zonas sensibles y sectores para la implementación del monitoreo piloto

En base a las revisiones de los expertos y al resultado obtenido a partir del análisis de la cartografía de usos del borde costero, el trabajo de las cartografías participativas se concentró en la macrozona austral del país, específicamente en la que es definida como Ecorregión Chiloense (Sullivan-Sealey & Bustamante 1999). Dicha ecorregión marina presenta una mayor utilización del espacio marino y continental por parte de la industria acuícola,

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

en relación con el resto del país, además de albergar espacios marinos que han sido propuestos como AMCP-MU y otros que son altamente usados por la pesca artesanal para la extracción de recursos bentónicos.

En base a los antecedentes bibliográficos disponibles, se identificaron en la zona, sectores altamente sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad y de los procesos oceanográficos que allí ocurren.

Desde una visión general, esta zona se caracteriza por presentar un amplio rango de mareas (> 8 m), además de estar altamente influenciada por aportes de agua dulce, provenientes de deshielos, descargas de ríos y altas precipitaciones (Silva *et al*. 1998). Lo anterior ha significado que esta compleja zona sea reconocida como un gran sistema estuarino (Silva *et al*. 1998). En este sentido, cabe mencionar que a pesar que el título del proyecto "Evaluación y análisis de la biodiversidad **marina** y **continental** afectadas por las actividades de acuicultura", se seleccionó este sector **estuarino** ya que el enfoque del trabajo está orientado al consecución del objetivo general que es "Evaluar y analizar los diversos grupos de flora y fauna **acuática** que potencialmente serían afectados, directa o indirectamente por las actividades de acuicultura", y es en esta zona **estuarina**, donde mayores antecedentes existen de dichos efectos.

Por otro lado, en esta zona se han registrado grandes niveles de productividad primaria, incluso mayores que los detectados en áreas más al norte en la Corriente de Humboltd (Hucke-Gaete 2004). Este sistema altamente productivo, alberga una compleja red trófica, permitiendo la existencia de zonas de crianza, reproducción, alimentación y tránsito de diversos organismos.

De esta manera, este ecosistema además de ser considerado como altamente frágil por su condición salobre, ha sido reconocido por una alta variedad de bienes y servicios ecosistémicos, que dan sustento a una importante actividad pesquera, al desarrollo acuícola y del turismo, además de presentar, en general, gran relevancia para la conservación de la biodiversidad (Miethke & Gálvez 2009).

De acuerdo a lo trabajado en conjunto con el equipo de expertos, se reconoce la existencia de tres grandes zonas al interior de la ecorregión Chiloense, las cuales tienen una sensibilidad distinta a los efectos de la acuicultura, estableciéndose un gradiente Norte- Sur en el potencial de acumulación de nutrientes, lo que ha sido observadoen ensambles de macroinfauna marina (Com. Pers. Pedro Báez, Taller de expertos. **Figura 41**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

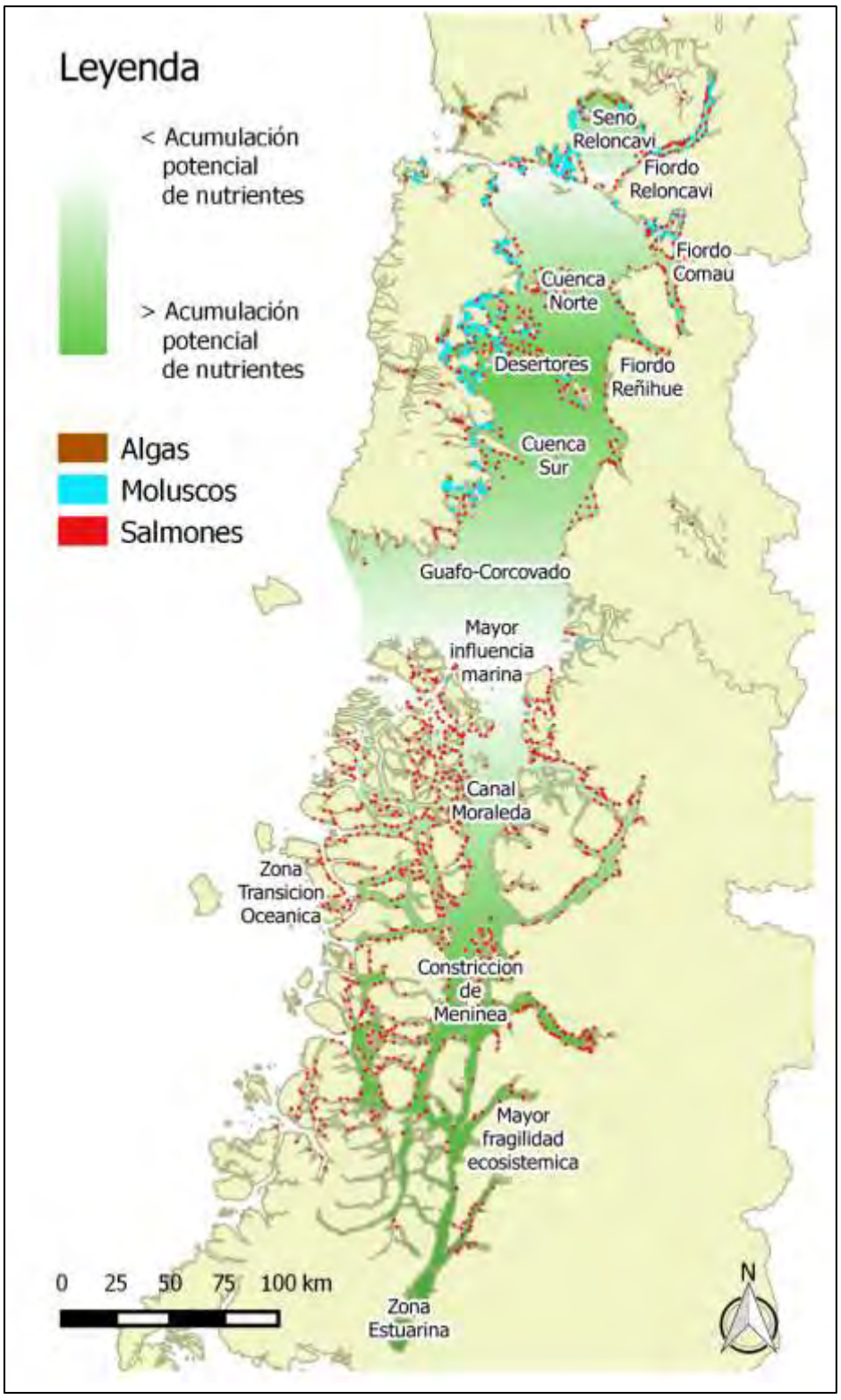


Figura 41. Zonas identificadas en el área de estudio de la Ecorregión Chiloense. Fuente: Elaboración propia en base a los aportes de los participantes en el Taller con especialistas.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Zona 1: Entre la cuenca norte del mar interior de Chiloé y el Archipiélago de Islas Desertores.

La primera zona identificada, corresponde a la cuenca norte del mar interior de Chiloé, la que comprende el Seno del Reloncaví y el Golfo de Ancud con sus estuarios adyacentes, al norte de un conjunto de islas que atraviesan de oriente a poniente (Islas Desertores), las que funcionan como un umbral de profundidad que define el límite sur de la cuenca (**Figura 43**).

Esta zona se caracteriza por una alta productividad primaria, y asociada a esta, grandes concentraciones de zooplancton (Hucke-Gaete 2004), perfilándola como una importante área de crianza de recursos pesqueros, como la anchoveta o la merluza austral (Lillo *et al*. 2006; Bustos *et al*. 2008). En cuanto a la interacción de recursos pesqueros con los centros de cultivo, se han descrito en la zona casos de predación y competencia entre salmones y especies como el róbalo, el pejerrey, el mote, la huaica y el jurel, las que han sido estudiadas en sectores como Calbuco, Hueihue, Lemuy, Puerto Cisnes, and Chacabuco) (Soto *et al*. 2001).

En la zona se ha reportado también la presencia de corales de agua fría en aguas someras, a 8 m de profundidad, principalmente en los fiordos Comau, Reñihue y Reloncaví, situación particular para esta zona a nivel mundial, ya que estos organismos son encontrados en aguas con profundidades mayores a 35 m en otras partes del mundo (Häusserman & Forsterra 2007).

Respecto del impacto de la acuicultura en organismos bentónicos, junto con el descrito gradiente de acumulación de materia orgánica (**Figura 41**), se destaca la generación de grandes cantidades de desechos flotantes, que generan hábitats artificiales (**Figura 42**), los que finalmente modifican las estructuras comunitarias características de los mares interiores del sur de Chile, principalmente a través de la dispersión de organismos adosados a los sustratos exógenos (Hinojosa *et al.*, 2011; Furci, 2009).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Figura 42. Restos de desechos flotantes observados en playas aledañas al sector de monitoreo piloto.

La presencia de praderas de huiro (*Macrocystis pyrifera*) también es otro punto a destacar, considerando que estas algas funcionan como organismos estructuradores de hábitats (Jones *et al*. 1994), permitiendo conformar verdaderas comunidades ecológicas, las que han sido observadas en los Fiordos Reñihue y Comau y han sido considerados como un objeto de conservación en la zona (WWF Chile 2011). En el trabajo con los expertos se plantea que parte de las praderas son explotadas para la obtención de alimento para los cultivos de moluscos como el abalón (Com. Pers. Alonso Vega, Taller de expertos)

Por otro lado, también se ha identificado la presencia de cetáceos, como el caso del delfín chileno *Cephalorhynchus eutropia*, especie endémica y de distribución reducida (Heinrich 2006; Viddi *et al*. 2011), en las cercanías de Castro y Dalcahue (Heinrich 2006, Hucke-Gaete *et al.* 2006) y principalmente en el Fiordo Reñihue (Viddi *et al*. 2006), así como también otras especies de cetáceos, como el delfín austral (*Lagenorhynchus australis*) y la marsopa

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

espinosa (*Phocoena spinipinnis*) (Heinrich 2006; Hucke-Gaete *et al*. 2010; Viddi *et al*. 2010)

Este conjunto de componentes ha significado que en la zona se hayan generado áreas de alto valor para la conservación, principalmente el sector de Dalcahue-Putemún y Los Fiordos Comau y Reñihue (Hucke-Gaete *et al.* 2010) y a futuro las bahías Tic Toc y Pitipalena.

Respecto de los pequeños cetáceos que habitan la zona central de Chiloé y el estero Yaldad, Heinrich (2006) identifica una superposición de hábitat con áreas densamente ocupadas por cultivos de salmones y mitilidos, a lo que se asocian eventos de enmallamiento de estos mamíferos en las redes anti-predadores de los cultivos. Otro aspecto importante que se reporta es que los delfines evitan estas zonas al verse afectados principalmente por el tráfico de embarcaciones, lo que representa un cambio en la conducta de estos mamíferos (Heinrich, 2006, Sepúlveda y Oliva, 2005).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

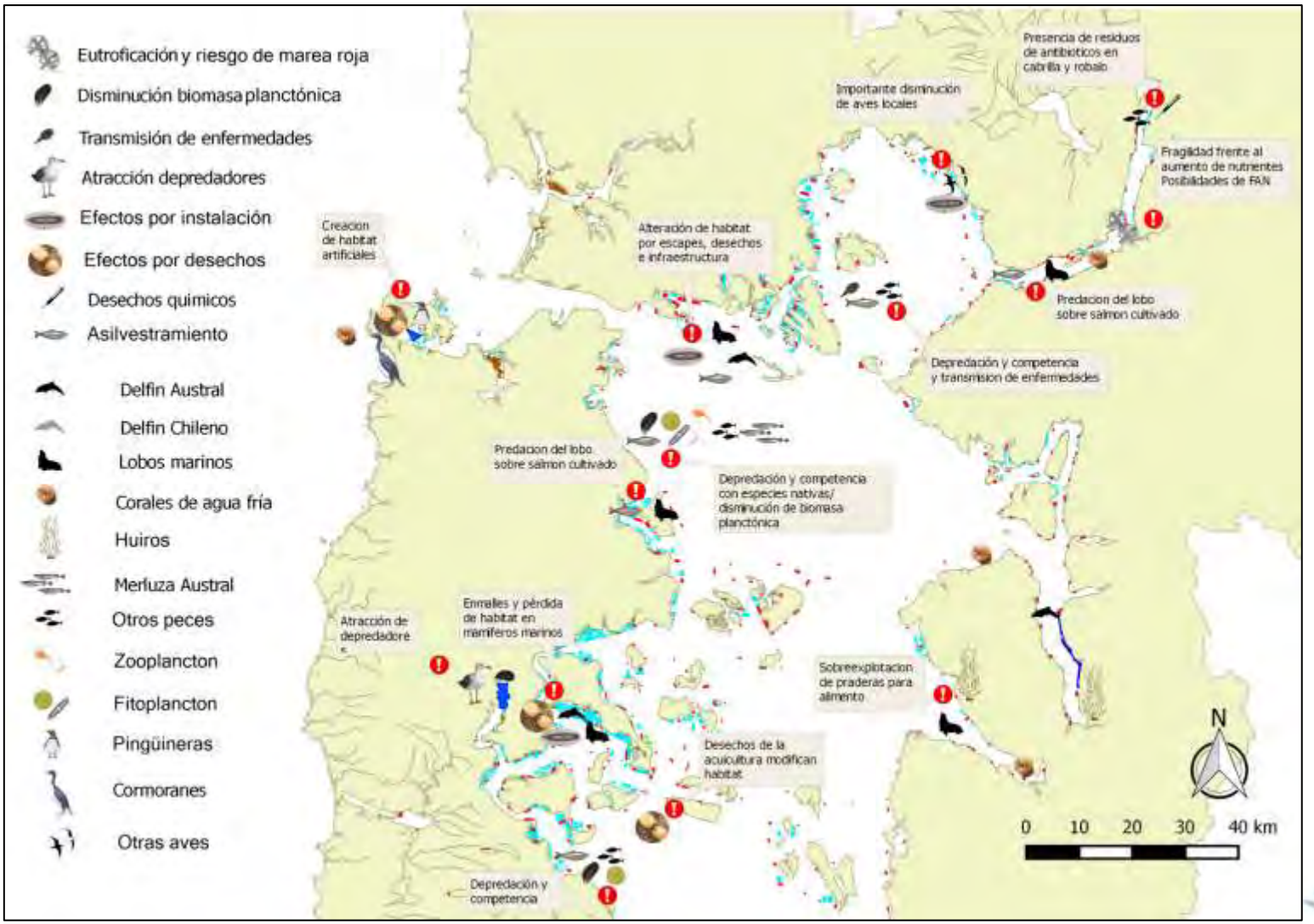


Figura 43. Interacciones entre la acuicultura y la biodiversidad de la cuenca norte del mar interior de Chiloé. Elaboración propia en base a los resultados de la cartografía participativa y la revisión bibliográfica.

Zona 2: Entre la cuenca sur del mar interior de Chiloé hasta la Constricción de Meninea.

Siguiendo hacia el sur, se identifica una segunda zona, que se extiende desde la cuenca sur del mar interior de Chiloé, que comprende el Golfo del Corcovado, hasta la constricción de Meninea, en la parte central del canal Moraleda (ver **Figura 41**). Esta zona también es reconocida por ser un sistema altamente productivo, recibiendo aportes de nutrientes tanto de la masa de agua que ingresa por la Boca del Guafo hacia el Golfo del Corcovado, como por aportes de agua dulce, confiriéndole a este complejo ecosistema marino, características estuarinas (Silva *et al*. 1998; Hucke-Gaete 2004).

Esta gran zona se ha descrito como hábitat de numerosas especies con estados de conservación que resultan relevantes para la biodiversidad de la ecorregión (Miethke & Gálvez 2009; Hucke *et al*. 2010; WWF Chile 2011). Entre ellas destaca la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), siendo esta zona descrita como una de las más importantes a nivel mundial para la especie, como área de alimentación y crianza (Hucke-Gaete 2004). Destaca también una gran cantidad de otros mamíferos marinos, como ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) y sei (*Balaenoptera borealis*), delfines chilenos (*C. eutropia*) y australes (*Lagenorhynchus australis*), entre otros (Heinrich 2006; Hucke-Gaete *et al* 2006; Viddi *et al*. 2010). También destacan la presencia de huirales (WWF Chile 2011), corales de agua fría y esponjas (Häussermann & Försterra 2007), los cuales, como ha sido mencionado anteriormente, juegan importantes roles ecológicos como estructuradores de hábitat (Jones *et al*. 1994, Häussermann & Försterra 2007, Almanza & Buschmann 2013) (**Figura 44**).

Desde el punto de vista de la avifauna, esta zona posee importantes colonias de aves marinas, con especies de fardelas, pingüinos y cormoranes (Hucke *et al*. 2010). Las interacciones descritas entre las aves y los centros de cultivo de la zona son variadas, pudiendo ir desde la atracción de piscívoras (Cursach *et al*., 2011, Jiménez y Arriagada, 2013), hasta la disminución de las poblaciones de aves, como se ha descrito en cisnes de cuello negro para el seno del Reloncaví (Cursach *et al*., 2010; von Meyer 1996). Junto con lo anterior se ha descrito la transmisión de parásitos de peces a aves piscivoras como el cormorán y la gaviota, lo que ha sido registrado en el estero Yaldad (**Figura 44**) y potencialmente podría estar ocurriendo con mayor frecuencia en la zona producto de la salmonicultura (Torres *et al*. 1991 y 1995)

Dentro de esta segunda zona, se reconocen a su vez dossub- zonas, una en el sector del golfo de Corcovado y otra en el área norte del archipiélago de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

los Chonos, y que se extiende a lo largo del canal Moraleda hasta la constricción de Meninea.

Si bien en la sub- zona del Moraleda persiste una intensa actividad acuícola, existe un nivel de circulación de aguas que es menor al observado en la zona del Golfo del Corcovado, debido a que el sistema de fiordos de Patagonia norte (Canal Moraleda y canales menores adyacentes hasta la Constricción de Meninea), presenta una menor conexión con las aguas oceánicas, (Silva & Palma 2008) (**Figura 44**).

Atendiendo a estas consideraciones, la zona al sur del Golfo del Corcovado, presentaría una sensibilidad potencial mayor a los efectos de la actividad acuícola, y por tanto requiere de mayores estudios ecológicos (Hucke-Gaete *et al*. 2010; Viddi *et al*. 2010).

La necesidad de estudios aplicados en esta zona se refleja en la información volcada por los expertos en la cartografía participativa, donde los principales efectos de la salmonicultura sobre la biodiversidad que fueron expuestos en la ocasión, dicen relación con la fragilidad del área frente a los aportes de materia orgánica desde los cultivos, producto de las limitadas condiciones de circulación de la zona, la relativa pobreza de nutrientes, y la presencia de especies tóxicas, causantes de floraciones algales nocivas (FAN).

Si bien las condiciones descritas por los expertos pueden encontrarse en algunos trabajos descriptivos (Marín y Delgado, 2004; Sfeir 2004), Niklitschek *et al*. (2013) hacen una revisión de la literatura existente respecto al enriquecimiento de las aguas por salmonicultura, no encontrando reportes de diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de producción y sitios de control en el sistema de fiordos de Aysén. Esto se debe probablemente al alto poder de dilución de las aguas de la zona (Soto y Norambuena, 2004 fide Niklitschek *et al*., 2013)

Un aspecto que sí ha sido registrado respecto de las interacciones entre cultivos de peces y la biodiversidad de los canales y fiordos patagónicos, dice relación con la elevada cantidad de ejemplares salmonídeos asilvestrados en el área, siendo el sector de Puerto Cisnes, en el canal Puyuhuapi, uno de los más afectados.

Asociadas a estas poblaciones de peces escapados o liberados de sus cultivos, se han descrito relaciones de predación sobre peces como sardinas (*Sardinops sagax*), anchovetas (*Engraulis ringens*), motes (*Normanychthys crockery*) y pejerreyes (*Odonthesthes regia*). Así mismo, se asocia una relación de competencia con los predadores naturales de estas especies como son las distintas especies de merluzas (Soto *et al*., 2001) (**Figura 44**)

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Figura 44. Interacciones entre la acuicultura y la biodiversidad de la zona norte de fiordos y canales. Elaboración propia en base a los resultados de la cartografía participativa y la revisión bibliográfica

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Zona 3: Entre la constricción de Meninea y el estero Elefantes.

Finalmente, se reconoce una tercera zona, vinculada al sistema de fiordos y canales al sur de la constricción de Meninea. La constricción de Meninea es considerada una barrera natural a la entrada de la masa de Agua Subantártica proveniente del Golfo del Corcovado, y que avanza hacia el sur a través del Canal Moraleda. El aislamiento provocado por Meninea, consolida una dominancia del agua estuarina en la zona, al limitar la influencia oceánica (Palma & Silva 2004).

En esta zona destaca la presencia de corales de agua fría en el Fiordo Aysén (Häussermann & Försterra 2007) Cormorán Lile y Albatros de ceja negra (Miethke & Gálvez 2009; WWF Chile 2011), Delfín chileno, delfín austral y Marsopa espinosa (Hucke-Gaete *et al*. 2010; Viddi *et al*. 2010) y Áreas reproducción y crianza de merluza del sur (Miethke & Gálvez 2009; WWF Chile 2011) (**Figura 45**).

Estos antecedentes, han permitido identificar áreas de alto valor para la conservación, como la zona del Fiordo Aysén y Estero y Golfo Elefantes (Hucke-Gaete *et al*. 2010). Así mismo, han sido establecidos como sitios prioritarios los sectores "Isla Kent – Quitralco" y Bahía Anna Pink – Estero Walker", siendo mencionados como sitios de reproducción y hábitat de aves, peces, mamíferos e invertebrados marinos, así como hábitat de praderas de macroalgas[3]. Sin embargo, cabe señalar que en esta zona, existen grandes vacíos de conocimiento con respecto a la biodiversidad local (Hucke-Gaete *et al*. 2010; Viddi *et al*. 2010).

La actividad salmonera al sur de la constricción de Meninea, se concentra al interior de los esteros Quitralco y Cupquelan, además del Seno Aisén. Estos tres sistemas estuarinos, como se mencionó anteriormente, son precisamente los sitios más relevantes desde el punto de vista de su biodiversidad y del desarrollo de especies que constituyen objetos de conservación dentro de los planes de conservación propuestos en la zona (WWF Chile, 2011; Miethke y Galvez, 2009).

Esta coincidencia espacial supone un importante desafío en el que los impactos de las externalidades salmoneras deben ser puestos en contexto del valor ecológico y la fragilidad ambiental de este territorio.

[3] . http://areasprotegidas.mma.gob.cl/MostrarFicha.aspx?idFicha=147

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

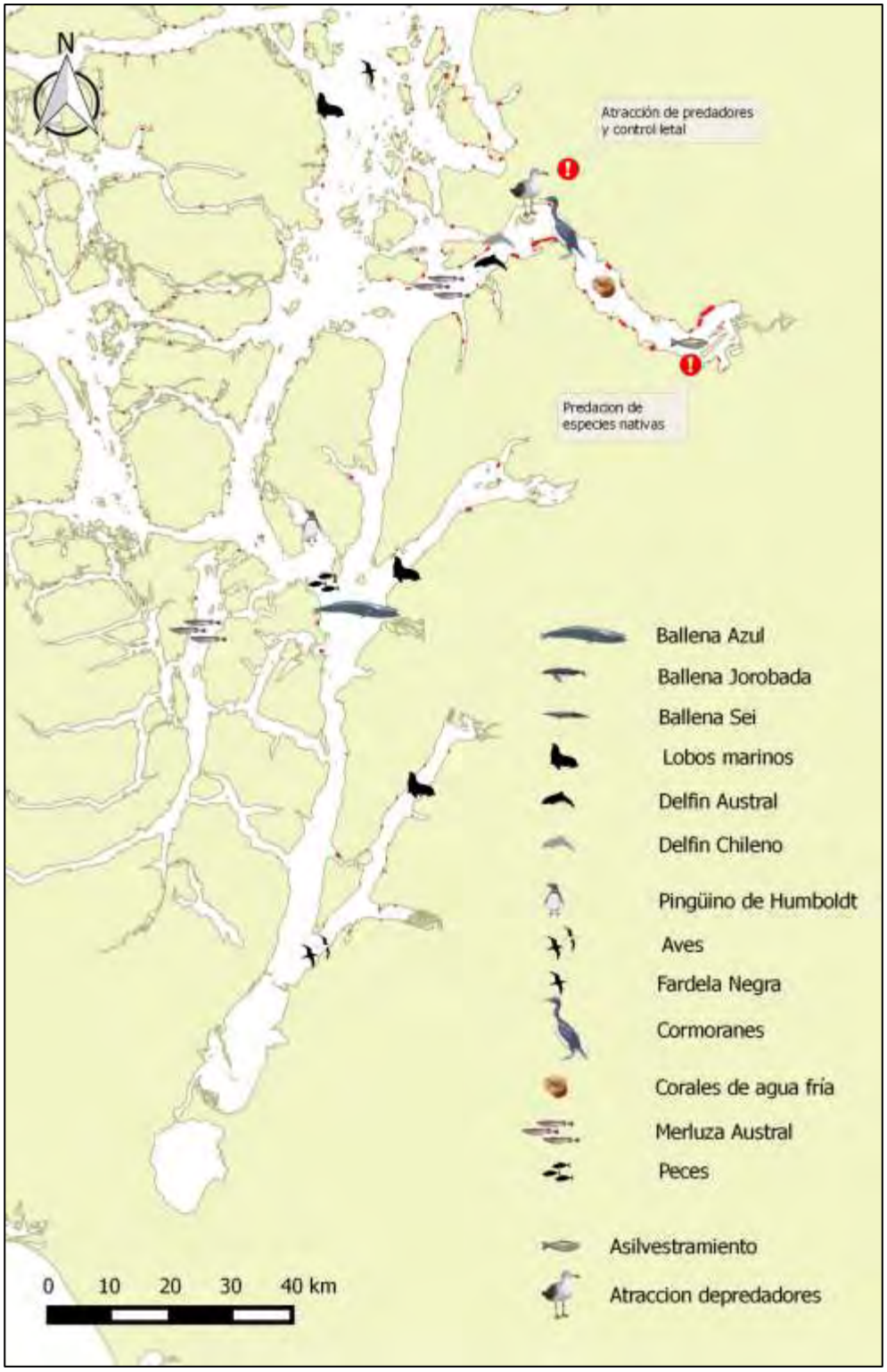


Figura 45. Interacciones entre la acuicultura y la biodiversidad de la zona al sur de Meninea. Elaboración propia en base a los resultados de la cartografía participativa y la revisión bibliográfica

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.3. Objetivo específico 3.3.

Analizar y evaluar la información recopilada en cuanto a los impactos, efectos directos e indirectos, que determinan una alteración de las diferentes especies que conforman la biota acuática.

5.3.1. Influencia – dependencia de efectos en la biodiversidad provocados por acción de la salmonicultura marina.

Debido a que la salmonicultura marina ha sido recurrentemente referida como la actividad acuícola que mayores impactos ambientales genera (Buschman, 2001; Cabello, 2003) y en virtud de los antecedentes descritos en la revisión bibliográfica respecto de la interrelación compleja que existe entre esta actividad y el medioambiente, de los volúmenes de producción y de la importancia socioeconómica que representa esta actividad para el país, se privilegió centrar el análisis de influencia – dependencia de efectos en este sistema productivo. No obstante lo anterior, los efectos son en términos generales análogos a todos los sistemas de producción de organismos marinos, con la salvedad de que en otros cultivos, algunos efectos pueden no estar presentes, y por tanto, los resultados pueden ser aplicados a la generación de políticas públicas que permitan mitigar los efectos modificadores de la condición natural (sin sistema de producción) de las especies que componen el medioambiente por cualquier sistema de producción de organismos marinos.

La metodología de análisis propuesta consistió en la construcción de una matriz de influencia y dependencia entre todos los efectos previamente definidos, cabe mencionar que esta metodología es planteada como un proceso de sistematización participativa de la información y se basa en el conocimiento de los participantes del proceso. Esto, considerando que la revisión y análisis de la información proporcionada por la literatura es la acumulación de una serie de trabajos, cada uno con objetivos particulares, muchos de ellos ajenos a los objetivos del presente trabajo.

Para tratar toda la información recabada a través de la literatura, inicialmente se clasificaron todos los reportes de efectos bajo once tipologías, lo cual fue descrito en el objetivo anterior. Esto con el fin de realizar una confrontación directa de efectos para determinar la influencia que tiene cada uno de estos en los demás (**Figura 46**) y de esta forma

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

entender, de forma gráfica, como los efectos generados por la acuicultura están impactando directa e indirectamente sobre la biodiversidad, para luego observar, en un paso posterior, que especies y/o grupos de especies han sido reportadas por algún efecto de interés.

Figura 46. Fotografía del trabajo participativo del proceso de construcción de la matriz de influencias directas.

Con los resultados de la matriz se esquematizó el "sistema de efectos de la salmonicultura" mediante el análisis del software Micmac, considerando la influencia que ejerce y/o recibe cada uno de los efectos respecto de los demás.

Con base en el análisis de relaciones indirectas se genera un plano (**Figura 47**), que permite observar la ubicación de las variables, de acuerdo a sus condiciones de influenciay dependencia. Este plano se divide en cuatro zonas, que permiten la agrupación de las variables con características similares, como se observa a continuación:

Zona Influyente: Las variables ubicadas en esta zona son influyentes en el sistema y además no dependen o dependen escasamente de otros efectos.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Por lo tanto, estos efectos están determinando el funcionamiento del sistema en su totalidad.

Los efectos que se posicionan en este cuadrante en orden decreciente de influencia son los siguientes:

- Creación de Hábitat Artificial
- Invasión de espacios naturales por actividad humana
- Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos
- Escape de especies de cultivo al medio natural

Zona Clave o de conflicto: Los efectos posicionados en esta zona son muy influyentes y muy dependientes, razón por la cual seconsideran de naturaleza inestable; cualquier acción sobre estos repercutirá sobre los otros efectos y tendrá a su vez una repercusión sobre ellas mismas, lo cual amplificará odesactivará el impulso inicial. En términos generales estas variables no pueden ser modificadas ni monitoreadas. En el caso del análisis realizado, no so encontraron efectos que se posicionaran en esta zona del plano de influencia – dependencia.

Zona autónoma: Los efectos ubicados en esta zona son poco influyentes y poco dependientes, se corresponden con tendencias pasadas o inercias del sistema o bien están desconectadas de él. La modificación forzosa de estas no repercutirá en cambios importantes del sistema.

Los efectos que se posicionan en este cuadrante en orden creciente respecto de su influencia y dependencia son los siguientes:

- Dispersión de organismos en basura flotante
- Daño a organismos por presencia de desechos
- Disminución de organismos naturales utilizados como alimento por especies de cultivo
- Eliminación accidental o deliberada de depredadores
- Dispersión de agentes contaminantes al medio natural

Cabe mencionar que el efecto "Dispersión de agentes contaminantes al medio natural" se mantiene en el límite del cuadrante definido como zona autónoma, muy cercana a la zona dependiente, por tanto la situación particular de este efecto no es manifiesta.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

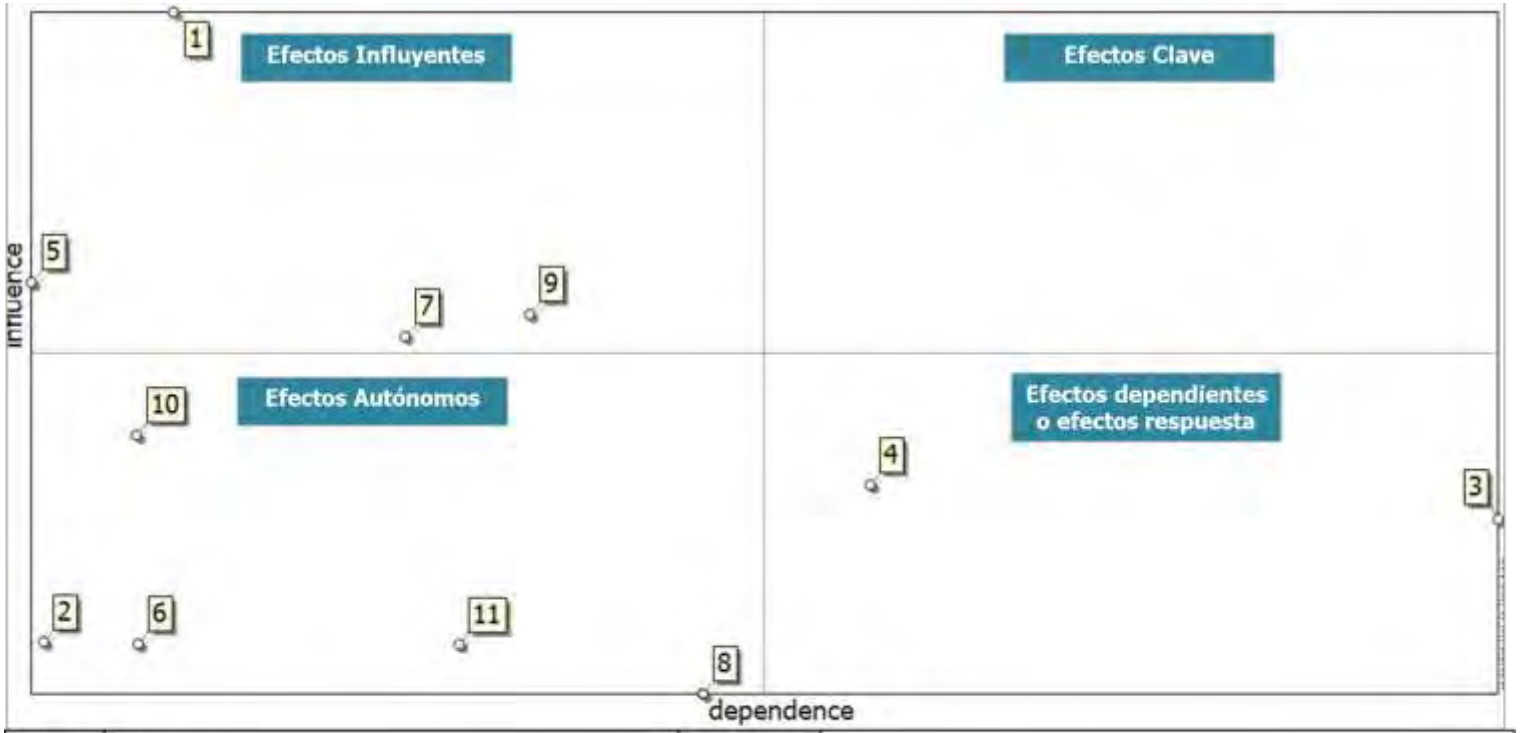
Zona dependiente o respuesta: Los efectos ubicados en esta zona no se pueden modificar directamente sino a través de los efectos que influencian en el sistema. Estas variables posibilitan la realización de un seguimiento y un monitoreo que permita verificar la efectividad de las medidas mitigatorias que eventualmente puedan ser aplicadas a la actividad acuícola. La existencia de estos efectos no influye o potencia la existencia de los demás, pero tienen la característica de recibir una gran influencia del resto de los efectos provocados por la actividad acuícola. Es decir, estos efectos son provocados directamente por la actividad y potenciados indirectamente por la existencia de otros efectos.

La característica descrita de estos efectos los convierte en elementos claves para ser mensurados, ya que en cierta medida son el reflejo del funcionamiento del sistema.

Los efectos que se posicionan en este cuadrante en orden decreciente respecto de su dependencia son los siguientes:

- Colonización de especies exóticas e invasoras
- Modificación de la estructura comunitaria

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl



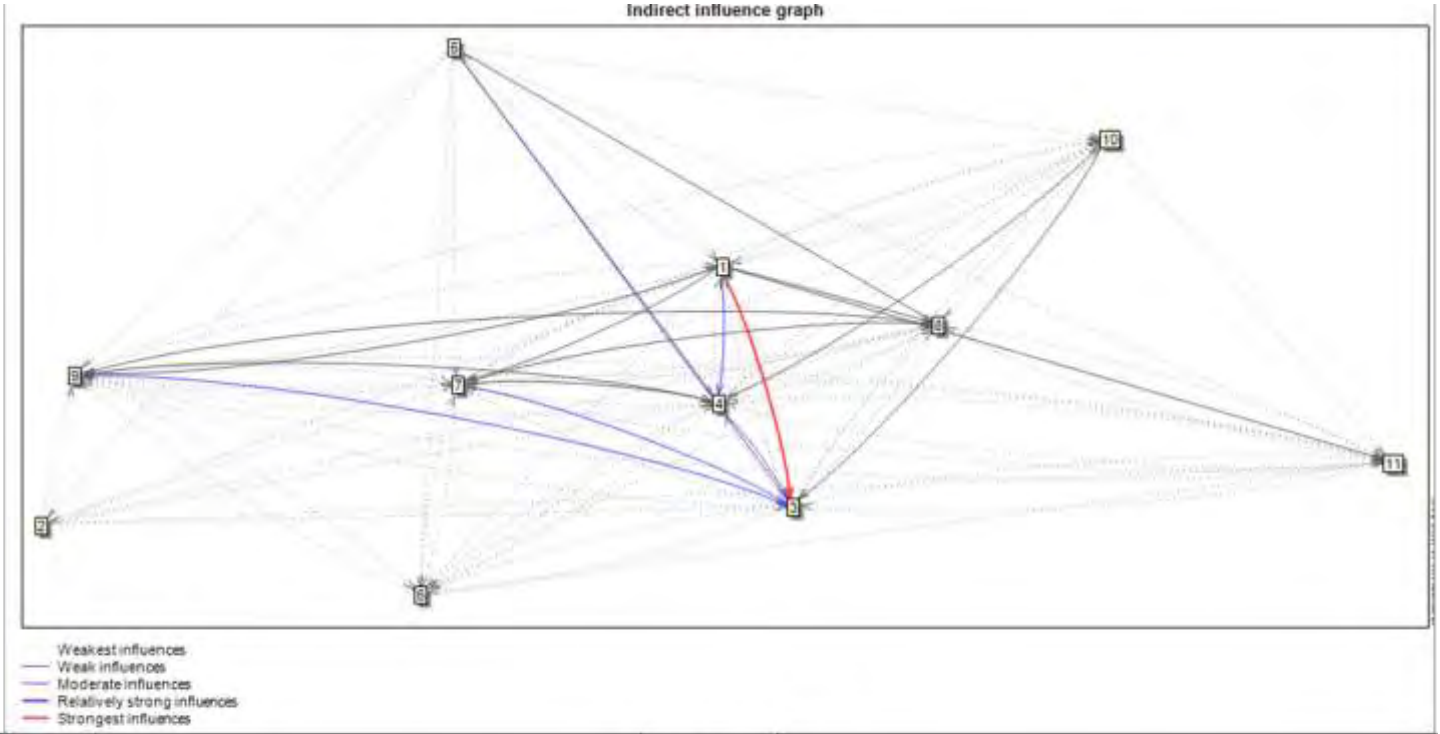
N°	Efecto	6	Daño a organismos por presencia de desecho
1	Creación de Hábitat Artificial	7	Escape de especies de cultivo al medio natural
2	Dispersión de organismos en basura flotante	8	Dispersión de agentes contaminantes al medio natural
3	Modificación de la estructura comunitaria	9	Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos
4	Colonización de especies exótica e invasoras	10	Eliminación accidental o deliberada de depredadores
5	Invasión de espacios naturales por actividad humana	11	Disminución de organismos naturales utilizados como alimento por especies de cultivo

Figura 47. Mapa de influencia – dependencia, construido a partir de la confrontación de los efectos provocados por la salmonicultura en la biodiversidad, de acuerdo a la identificación de estos en la revisión bibliográfica.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

En la **Figura 48** se muestra el gráfico de influencias indirectas, incorporando los grados de influencia entre todas las relaciones. En la gráfica es posible observar como el efectos dependientes "modificación de la estructura comunitaria" están siendo influenciados por los demás. Caso interesante también es el efecto "colonización de especies exóticas e invasoras", que evidencia una alta depedencia de prácticamente todos los demás efectos. En este sentido una línea de investigación distinta a la actual podría desarrollarse para monitorear la intensidad y dinámica de este efecto.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl



N°	Efecto		
1	Creación de Hábitat Artificial	7	Escape de especies de cultivo al medio natural
2	Dispersión de organismos en basura flotante	8	Dispersión de agentes contaminantes al medio natural
3	Modificación de la estructura comunitaria	9	Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos
4	Colonización de especies exótica e invasoras	10	Eliminación accidental o deliberada de depredadores
5	Invasión de espacios naturales por actividad humana	11	Disminución de organismos naturales utilizados como alimento por especies de cultivo
6	Daño a organismos por presencia de desecho		

Figura 48. Red de influencia - dependencia de los efectos provocados por la salmonicultura en la biodiversidad, de acuerdo a la identificación de estos en la revisión bibliográfica.

5.3.2. Ordenamiento y clarificación de efectos e impactos directos a indirectos provocados por acción de la actividad acuícola.

En capítulos anteriores del documento se hace referencia a los "efectos" que la biodiversidad circundante a un centro acuícola experimenta a causa de la existencia de este último, mencionando que por "efecto" se debe entender a cualquier acción transformadora (o cambio) ocasionado directa o indirectamente por las actividades acuícolas sobre algún elemento de la biodiversidad, sea este perjudicial o beneficioso. No obstante lo anterior, en el análisis no se aborda el concepto de impacto, aun considerando que la acuicultura impacta el medio ambiente y, por lo mismo, la biodiversidad, a través de tres mecanismos: el consumode recursos, el proceso de transformación y la generacióndel producto final (Figueroa y Calfucura, 2008).

Por otra parte, Chile ratificó el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) el 9 de septiembre de 1994, mediante Decreto Supremo Nº 1.963 del Ministerio de Relaciones Exteriores, el que fue publicado en el Diario Oficial con fecha 6 de mayo de 1995. Este convenio define por diversidad biológica a la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas. Por tanto, esta definición es la que aborda el presente trabajo.

Este convenio es el primer acuerdo global sobre todos los niveles de la diversidad biológica: recursos genéticos, especies y ecosistemas que reconoce explícitamente que la conservación de la diversidad biológica es una meta común de la humanidad y la base fundamental del proceso de desarrollo.

El CDB es un tratado vinculante que tiene una serie de objetivos estratégicos[4]:

- Abordar las causas subyacentes de la pérdida de diversidad biológica mediante la incorporación de la diversidad biológica en todos los ámbitos gubernamentales y de la sociedad.
- Reducir las presiones directas sobre la diversidad biológica y promover la utilización sostenible.
- Mejorar la situación de la diversidad biológica salvaguardando los ecosistemas, las especies y la diversidad genética.

[4] https://www.cbd.int/convention/

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

- Aumentar los beneficios de la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas para todos.
- Mejorar la aplicación a través de la planificación participativa, la gestión de los conocimientos y la creación de capacidad.

En virtud de la responsabilidad que demanda el tratado de la CDB y sus objetivos estratégicos y entendiendo además que los mecanismos de generación de impactos por parte de la actividad acuícola obedecen a una lógica de producción de bienes, se construye un mapa conceptual basándose en una dinámica de evaluación *ex post* (Walker, 2008).

Lo anterior con el fin de visualizar esquemáticamente, como en la medida en que el proceso productivo genera los resultados o efectos esperados de la producción (divisas, alimento, trabajo e investigación), se generan también los resultados o efectos adversos que se han tratado ampliamente en los capítulos anteriores y que terminan impactando negativamente a la biodiversidad.

A partir de la información de la revisión bibliográfica se construye el diagrama considerando los siguientes conceptos:

Entrada: Corresponden a todas las materias primas, componentes y energía necesarias para desarrollar el producto.

Proceso: Es el conjunto de actividades orientadas a la transformación de los recursos o factores productivos (entradas) en bienes y/o servicios.

Producto: Son los elementos esperados por la ejecución del proceso, tanto en volumen como en calidad, pero también corresponden a los elementos no esperados que son generados durante esta fase.

Resultado: Es el alcance de los cambios previstos respecto de la situación original, estos son los elementos motivantes de la realización del proceso.A su vez, existen resultados no previstos que surgen en el proceso productivo.

Impacto: Son los beneficios netos que se buscan con la producción, estos son, por lo general, consistentes con la misión y los objetivos de los gestores del proyecto (producción acuícola). A su vez son también los perjuicios derivados de resultados no esperados.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

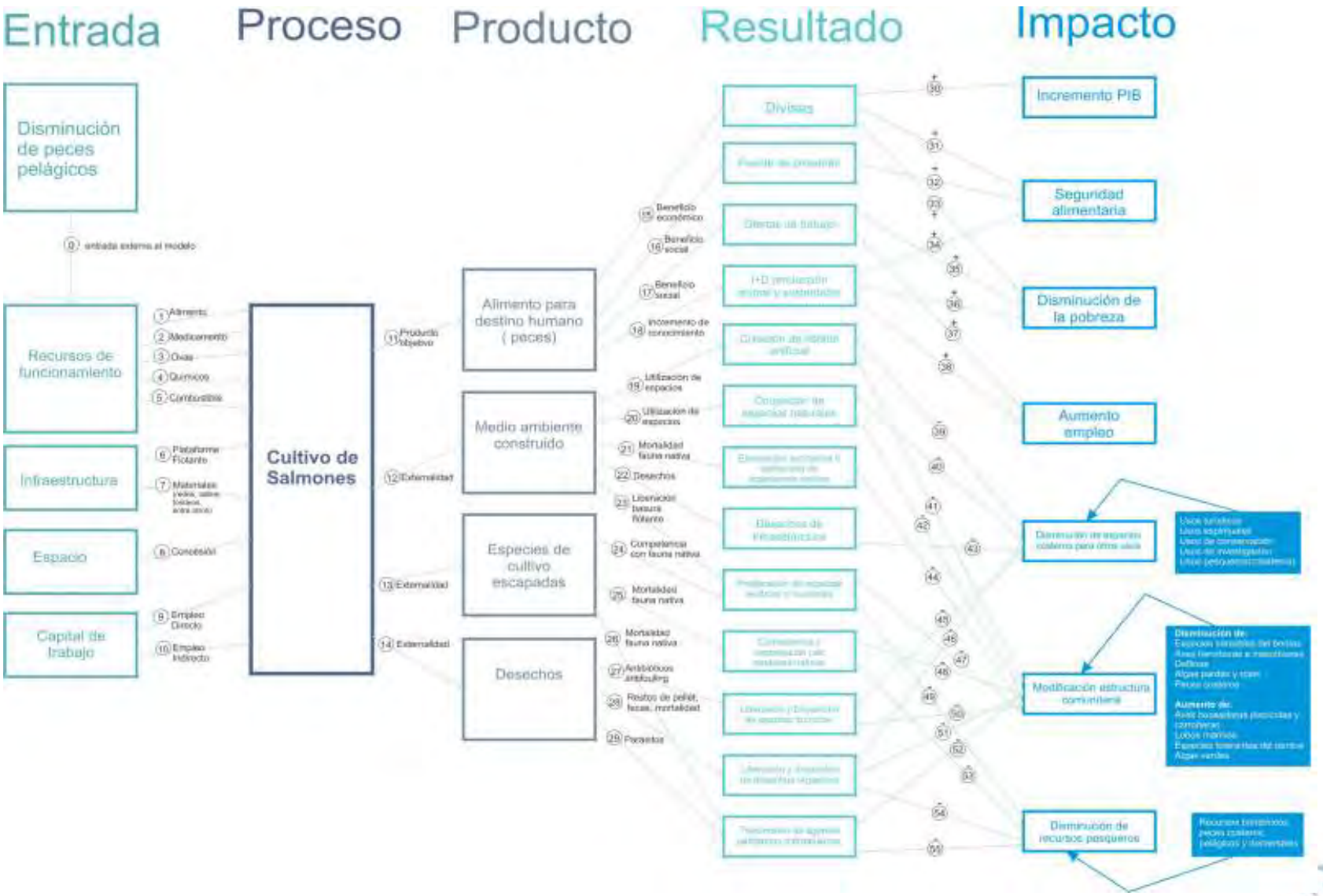


Figura 49. Mapa conceptual del proceso de producción acuícola y sus impactos. Los números en las uniones permiten identificar la dirección causa - efecto. Elaboración propia a partir de datos de la recopilación y sistematización de información.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Se plantea como ejemplo la producción de salmones para la elaboración del mapa (**Figura 49**), no obstante, la lógica del diseño puede ser también utilizada para otros sistemas de producción acuícola con la salvedad de que algunos efectos no objetivos pueden no estar presentes (ver acápites 5.2.2.1 y 5.2.2.2).

La **entrada** al proceso requiere de 4 elementos básicos:

- Recursos de funcionamiento (alimento, medicamentos, ovas, químicos, combustible).
- Infraestructura (plataformas flotantes y materiales como redes, cabos y fondeos, entre otros)
- Espacio físico (concesión)
- Capital de trabajo (empleados)

Estas entradas permiten el desarrollo del proceso, que en este caso particular, es el cultivo de salmones. Hasta este punto, el sistema tiene el devenir esperado. Empero, posterior a ello se puede separar el sistema en dos grandes subsistemas, el de los efectos objetivos y el de los efectos no objetivos que en definitiva son también externalidades del proceso y se corresponden, en gran medida, con las tipologías de efectos detectadas en el análisis bibliográfico (**Figura 49**).

Cabe mencionar que en el sistema no se considera la disminución de peces pelágicos para la elaboración de alimento, ya que es el alimento fabricado la entrada que si contempla el modelo, esto debido a que se consideró que el efecto en la pesquería de peces pelágicos obedece a un modelo conceptual distinto, asociado a la pesquería de estos recursos. No obstante se deja de manifiesto en el modelo como un agente de consideración para la obtención de entradas (**Figura 49** línea 0)

En el subsistema de efectos objetivos, se obtiene como producto alimento para destino humano (salmones), proporcionando como resultado: i) divisas (15), ii) una fuente de proteínas (16), iii) oferta de trabajo (17) y tangencialmente, iv) un incremento en el conocimiento de la producción animal y la sustentabilidad de la actividad (18). Toda lo cual estimula beneficios socioeconómicos importantes para el país. Finalmente, los resultados objetivos generan 4 impactos positivos **(Figura 49**):

- Incremento en el producto interno bruto (30)
- Seguridad alimentaria (31, 32 y 34)
- Disminución de la pobreza (33, 35 y 36)
- Aumento del empleo(37 y 38)

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Estos impactos han sido ampliamente abordados por distintos autores e instituciones que analizan el suceder de la industria (Muñoz, 2009; Salgado 2005; GORE Los Lagos, 2014) y en términos generales todos concuerdan en la importancia país que ha alcanzado la actividad y en la fuerte influencia que ejercen en las zonas donde se emplazan, convirtiéndose en un motor del desarrollo socioeconómico local.

En el subsistema de efectos no objetivos (**Figura 49**), identificamos al menos 3 externalidades, y son definidas como externalidad debido a que estas devienen en un deterioro medioambiental que, potencialmente, puede afectar a servicios ecosistémicos integrales proporcionados por el ambiente, cuyo coste no se ve reflejado en el precio final del producto objetivo.

Los productos o externalidades identificadas en el subsistema no objetivo son:

- La construcción de un medioambiente exógeno (12)
- La liberación (accidental o deliberada) de especies de cultivo (13)
- La liberación de desechos al medio (14)

Para cada producto o externalidad, se identifican a su vez una serie de resultados (**Figura 49**). Para el caso de la construcción de un medioambiente exógeno es posible reconocer, al menos 5:

- Creación de un hábitat artificial (19)
- Ocupación de espacios naturales (20)
- Eliminación accidental o deliberada de organismos nativos (21)
- Generación de desechos de infraestructura (22)
- Proliferación de especies exóticas e invasoras (23)

En tanto, para la liberación (accidental o deliberada) de especies de cultivo, se identifican 3 resultados:

- Proliferación de especies exóticas e invasoras (24)
- Competencia y depredación con especies nativas (25)
- Transmisión de agentes patógenos a organismos nativos (26)

En el caso de la liberación de desechos al medio, se identificaron 3 resultados:

- Liberación y dispersión de agentes químicos (27)
- Liberación y dispersión de desechos orgánicos (28)
- Transmisión de agentes patógenos a organismos nativos (29)

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Finalmente, a partir de los resultados no objetivos identificados, reconocemos la existencia de, al menos, tres impactos:

- Disminución de espacios costeros para otros usos (39, 40, 41, 45 y 46)
- Disminución de recursos pesqueros (52, 53, 54, 55)
- Modificación de la estructura comunitaria (42, 43, 44, 47, 48, 49, 50, 51)
-

En los análisis realizados, la modificación de la estructura comunitaria tiene dos características: 1. Se identificó como el efecto más dependiente en la interacción de los efectos que genera la actividad acuícola (ver sección 5.3.1) y 2. Corresponde a uno de los impactos derivados del proceso productivo.

En virtud de lo anterior, en secciones posteriores del trabajo se abordara más ampliamente este impacto, analizando estrategias que permitan monitorearlo y mensurarlo.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.4. Objetivo específico 3.4.

Proponer un Plan de Monitoreo y seguimiento de los grupos o especies considerados como sensibles, en virtud de los definido en los objetivos específicos 1, 2 y 3. Además definir un protocolo para el levantamiento de información, el cual deberá ser validado (componentes propuestos) en terreno. Finalmente, se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos antes señalados.

5.4.1. Selección y jerarquización de especies y/o grupos de especies para la realización de monitoreo piloto

En secciones anteriores se definió que el efecto más dependiente de la actividad acuícola es la modificación de la estructura comunitaria (sección 5.3.1), a su vez, el diseño de un mapa conceptual del proceso productivo acuícola revela que este efecto es uno de los impactos que la actividad tiene sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que está nos proporciona (sección 5.3.2).

En virtud de lo anterior, del listado de especies que han sido reportadas en la literatura como experimentadoras de algún cambio (positivo o negativo) respecto de su situación normal (sin sistema de producción acuícola). Se seleccionaron, con ayuda de los revisores de la bibliografía, a las especies que han reportado modificaciones claras y correctamente documentadas respecto de alguna de las externalidades que genera la producción acuícola y que conllevan o develan una modificación de ensambles comunitarios. Considerando indicadoras que las especies indicadoras son aquellas que por sus características (sensibilidad a perturbación o contaminantes, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser utilizadas como estimadoras de los atributos o estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente (Caro y O´Doherty, 1999; Fleishman *et al.,* 2001). De esto se desprende que el indicador ecológico y/o las especies sucedáneas deben poseer ciertas características específicas como por ejemplo una clara sensibilidad al efecto antrópico que se desea monitorear, factibilidad técnica de evaluación y bajo costo de análisis para asegurar un plan de monitoreo permanente del mismo, entre otros atributos.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Producto de lo anterior, se identificaron especies y/o grupos de especies para cada agrupación taxonómica y se determinó además si la respuesta a la perturbación es positiva o negativa, entendiendo por positivo la aparición o el dominio de un biotopo por estas especies y por el contrario refiriéndose a negativo en los casos donde la sensibilidad de las especies a la perturbación genera una respuesta de abandono o muerte (**Tabla 17**).

Tabla 17. Especies y grupos de especies indicadoras, propuestas para cada grupo.

	Especies y/o grupos de especies	
Grupo	**Respuesta positiva**	**Respuesta negativa**
Mamíferos Marinos	*Otaria flavescens*	*Cephalorhynchus eutropia*
		Lagenorhynchus australis
Aves	*Phalacrocorax brasilianus*	*Limosa haemastica*
	Leucocarbo atriceps	*Numenius phaeopus hudsonicus*
	Larus dominicanus	*Cygnus melancoryphus*
		Tachyeres pteneres
Peces		*Eleginops maclovinus*
		Familia nototenidae
		Sprattus fuegensis
		Odontesthes regia
Algas	*Enteromorpha* spp	Lessonias
	Ulva spp	*Durvillaea antartica*
	Antithamnion sp	*Macrosystis pyrifera*
	Ectocarpus spp	
	Graciliaria sp	
Bentos	*Capitella capitata*	Familia nereidae
	Polidoras	*Crustáceos betaeus*
	Nassarius spp	Equinodermos en general
		Ofiuroideos

A partir de la identificación de las posibles especies y/o grupos de especies se procedió a aplicar una metodología participativa de jerarquización con el grupo de especialistas y los profesionales designados por la contraparte técnica. Esto con el fin de seleccionar especies o grupos de especies respecto de tres atributos i) Sensibilidad, ii) Factibilidad y iii) Costo (**Figura 50**).

Como primera actividad de jerarquización, se procedió a otorgar a cada uno de los criterios indicados, un peso relativo, en una escala de 1 a 9.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

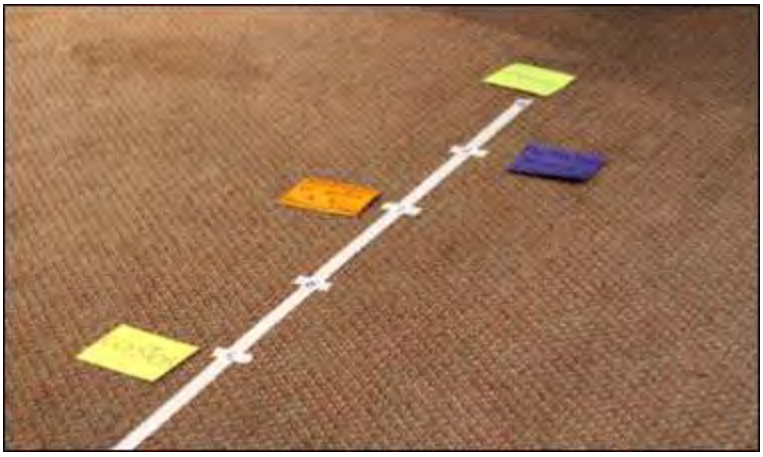


Figura 50. Procedimiento de jerarquización participativa. Entrega de peso relativo a los criterios del indicador.

Una vez obtenidos los pesos relativos de los criterios, se procedió a otorgarle un peso relativo a todas las especies y/o grupos de especies en base a cada criterio (**Figura 51**).

Los resultados de este proceso, identifican a las especies propuestas del bentos como el mejor indicador de una modificación de la estructura comunitaria (peso = 0,2117), seguido por las algas y el cisne de cuello negro con pesos similares de 0,1551 y 0,1520. Posteriormente se jerarquizan las especies propuestas para los grupos plancton, aves y peces, con valores semejantes de 0,1462, 0,1345 y 0,1252 respectivamente. Finalmente las especies del grupo de mamíferos marinos se posicionan como indicadores menos potentes respecto del resto, con un peso relativo de 0,0752 (**Tabla 18**).

Figura 51. Procedimiento de jerarquización participativa. Entrega de peso relativo a las especies y grupos de especies en razón de cada criterio.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 18. Jerarquización de especies y grupos de especies indicadoras, según criterios de sensibilidad, factibilidad y costo.

N°	Pesos Criterios	0,32	0,56	0,12	Priorización Final
	Criterios	Sensibilidad	Factibilidad	Costo	
1	Bentos	0,3332	0,1711	0,0791	**0,2117**
2	Algas	0,0740	0,1711	0,2947	**0,1551**
3	Plancton	0,0461	0,1711	0,2947	**0,1462**
4	Aves	0,0740	0,1711	0,1256	**0,1345**
5	Peces	0,2155	0,0895	0,0525	**0,1252**
6	Mamiferos	0,1286	0,0549	0,0278	**0,0752**

Propuesta especies para implementar monitoreo

En base a los antecedentes recopilados y a los resultados de los talleres, la propuesta de plan de monitoreo se enfoca en medir a las especies indicadoras correspondientes a los grupos del bentos, algas y aves.

Por otro lado, la jerarquización posiciona a las especies del plancton con una priorización menor, no obstante, se toma la decisión de incorporarlo en el monitoreo piloto, debido a su bajo costo de implementación. En el caso de los mamíferos marinos, también se tomó la decisión de incorporarlo al monitoreo piloto ya que este grupo puede ser monitoreado a través del circuito de monitoreo del grupo de aves.

Se descarta el grupo de la ictiofauna por tener un alto costo de monitoreo relativo y por la baja factibilidad de implementación de un monitoreo permanente de este.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.4.2. Selección de sitios piloto y control para la aplicación de monitoreos

En relación con la definición de sectores para la implementación del monitoreo piloto, se identifican en primer término, tres macrozonas, con características particulares cada una de ellas.

La primera, corresponde a la zona del estero y del seno de Reloncaví, un ambiente confinado, al norte del mar interior de Chiloé.

Una segunda macrozona avanzando hacia el sur, se identifica entre el Golfo de Ancud y las islas Desertores, la que es definida como una zona de alto potencial de acumulación de nutrientes y con una gran cantidad de interacciones entre la actividad acuícola y la biodiversidad reportadas en la literatura (ver sección 5.2.3).

Una tercera área característica de la Patagonia norte, corresponde a la zona entre las Desertores y el tramo norte del canal Moraleda. Esta macrozona es caracterizada por un menor potencial de acumulación de nutrientes, y una gran importancia desde el punto de vista de la biodiversidad (ver sección 5.2.3)

Intentando cubrir la variabilidad ambiental descrita, se seleccionaron dos centros de cultivo para ser monitoreados, uno en la cuenca ubicada al norte de las Desertores, y otro en la cuenca sur. La selección de los centros a monitorear, se basó en la densidad y el nivel de producción de los cultivos en cada zona, buscando ubicar las estaciones de muestreo en torno a centros que hayan estado operativos los últimos 4 años, con biomasas cultivadas superiores al promedio de la región, y que además no estuvieran cercanos a otra fuente contaminante, para lo cual se estableció una zona buffer de 1 km de radio, en donde no existiere otra fuente de contaminación.

Así mismo, se definió para cada sitio piloto, un punto control ubicado dentro de la macrozona definida en el trabajo cartográfico realizado con los expertos. Los controles se ubicaron en sectores cercanos a los puntos de monitoreo, en zonas libres donde no existiese actividad acuícola y cuyas condiciones batimétricas y paisajísticas fueran similares a los sitios pilotos.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

A continuación se describen las condiciones generales de circulación y estructura de la columna de agua y contenido de materia orgánica en los sedimentos superficiales, para el sistema de fiordos y canales de Patagonia norte, con el fin de caracterizar desde el punto de vista oceanográfico y geomorfológico, las zonas seleccionadas para desarrollar los monitoreos piloto.

Aspectos Geográficos

La zona de fiordos y canales del sur de Chile, que se extiende desde el seno del Reloncaví hasta el Cabo de Hornos, (41º 30" a 56º S) alberga numerosos subsistemas, delimitados principalmente por aspectos topográficos y por la dinámica de sus masas de agua.

Entre estos subsistemas, se encuentra lo que se conoce como el mar interior de Chiloé, el que se extiende por aproximadamente 100 millas náuticas de norte a sur, conectando el golfo de Ancud con el golfo de Corcovado.

El análisis de la distribución vertical de la temperatura, salinidad y densidad en estaciones oceánicas e interiores, ha demostrado que en general, el sistema de fiordos y canales de Patagonia norte, presenta tres masas de agua entre los 0 y 600 m. Dichas masas corresponden al Agua Superficial Antártica (ASA), al Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y al Agua Intermedia Antártica (AIA) (Silva *et al*., 1995, 1998).

En primer término, las ASAs, provenientes de la Corriente Circumpolar Antártica corresponden a una masa de agua que se ubica entre los 0 y 150 m de profundidad, que tiene valores moderados de temperatura, altos de oxígeno y bajos de salinidad y nutrientes. Estas aguas penetran hacia los canales y cuencas orientales, donde reciben la influencia de las aguas continentales y pasan a recibir la denominación de Aguas Superficiales Antárticas Modificadas (ASAMs). Por su parte las AESSs, originarias de las costas peruanas, se disponen entre los 150 y 300 m, y presentan máximos de salinidad y nutrientes, como también mínimos de oxígeno disuelto.

En el caso particular del área de interés de este estudio, la zona del mar interior de Chiloé, presenta una estructura vertical de dos capas de agua, una entre la superficie y los -30 m, con temperaturas más cálidas, muy oxigenada y con salinidades más bajas y altamente variables, con características de aguas continentales en la capa superficial.

Bajo los -30 m y hasta los 150m, las condiciones tienden a estabilizarse, con temperaturas más frías, salinidades más homogéneas con mayor aporte

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

oceánico (influencia >75%) y disminución en la cantidad de oxígeno disuelto (Silva *et al.*, 1995; 1997).

El nivel superficial está constituido por aguas estuarinas, que a medida que se alejan de las fuentes de agua dulce hacia el océano, van aumentando su salinidad. Esta capa fluye hacia fuera de los canales y golfos (**Figura 52a**). La capa subyacente está constituida por Aguas Subantárticas (ASA) que ingresan al golfo Corcovado por la boca del Guafo, donde son modificadas (ASAM) por su mezcla con aguas superficiales menos salinas. Esta capa se bifurca en dos ramas fluyendo una hacia el norte hasta el seno Reloncaví, y la otra hacia el sur, hasta el estero Elefantes (**Figura 52b**, **Figura 53**).

Por su parte, la penetración y permanencia de las aguas oceánicas de origen ecuatorial subsuperficial se encuentra restringida al sur del Golfo Corcovado debido a umbrales de 100 a 125 m al norte de esta zona, y a la cuenca norte del Moraleda y sus canales interiores (Jacaf y Puyuhuapi, además del estero Ventisquero) y por la presencia de la constricción de Meninea al sur (**Figura 52c**, Silva *et al.*, 1995; 1998).

Por último, en la capa más profunda de la columna de agua (>350 m) se disponen las AIA, con menores temperaturas y salinidades. Producto de que el umbral de la boca del Guafo tiene 200 m de profundidad, estas aguas no penetran a la zona de los canales. (Silva *et al.*, 1995; 1998 a).

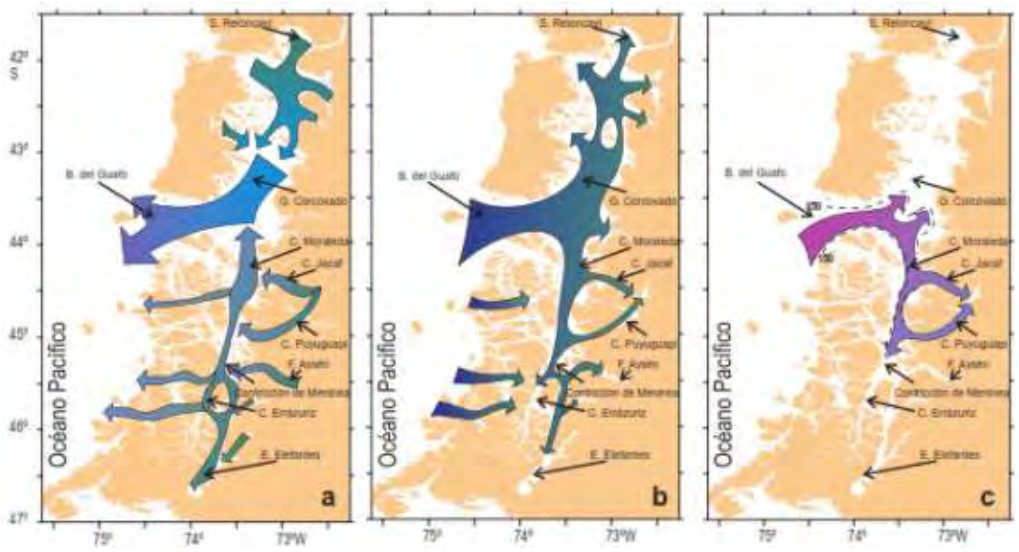


Figura 52. Modelo esquemático de la circulación horizontal: a) nivel superficial (0- ~30 m); b) nivel intermedio (~30- ~150 m), c) nivel profundo (~150 m al fondo) (tomado de Silva *et al.*, 1998 a).

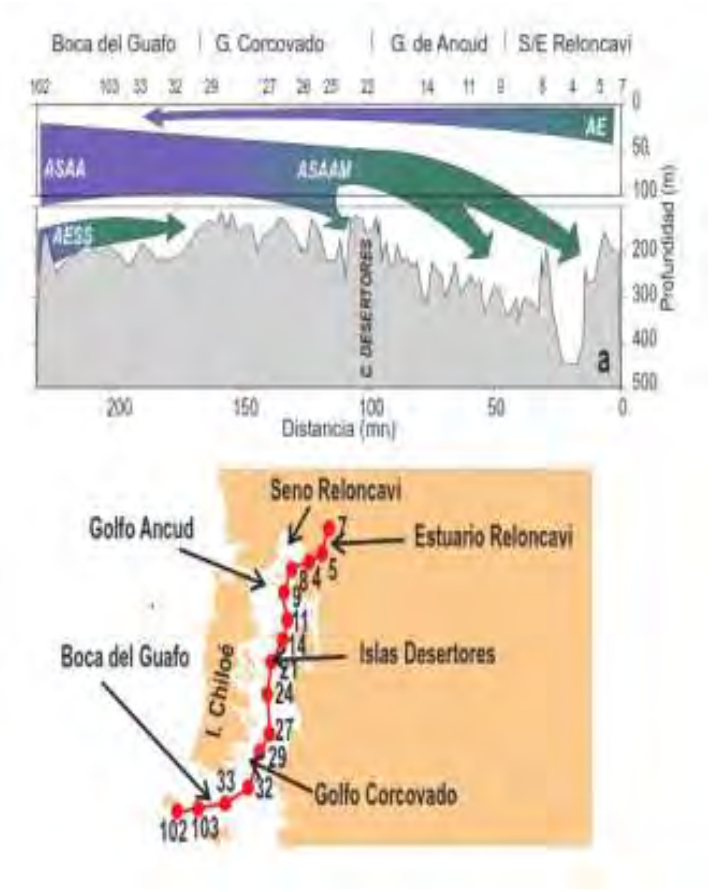


Figura 53. Modelo esquemático de circulación general vertical para mar interior de Chiloé. (Adaptado de Silva *et al*., 1998).

En relación a los sedimentos, se confirma una mayor acumulación de materia orgánica al norte de las Desertores, mientras que la cuenca sur del mar interior de Chiloé presenta menores concentraciones de elementos de origen orgánico, los que vuelven a ser importantes en la cuenca norte del Moraleda, para dar paso a concentraciones más pobres en la zona de ventisqueros y glaciares al sur de Meninea. El origen terrestre del carbono determina que además, las mayores cantidades de materia orgánica se encuentren principalmente en los fiordos y canales interiores, a lo largo de todas las latitudes del sistema (**Figura 54**, Silva *et al*., 1998 b).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

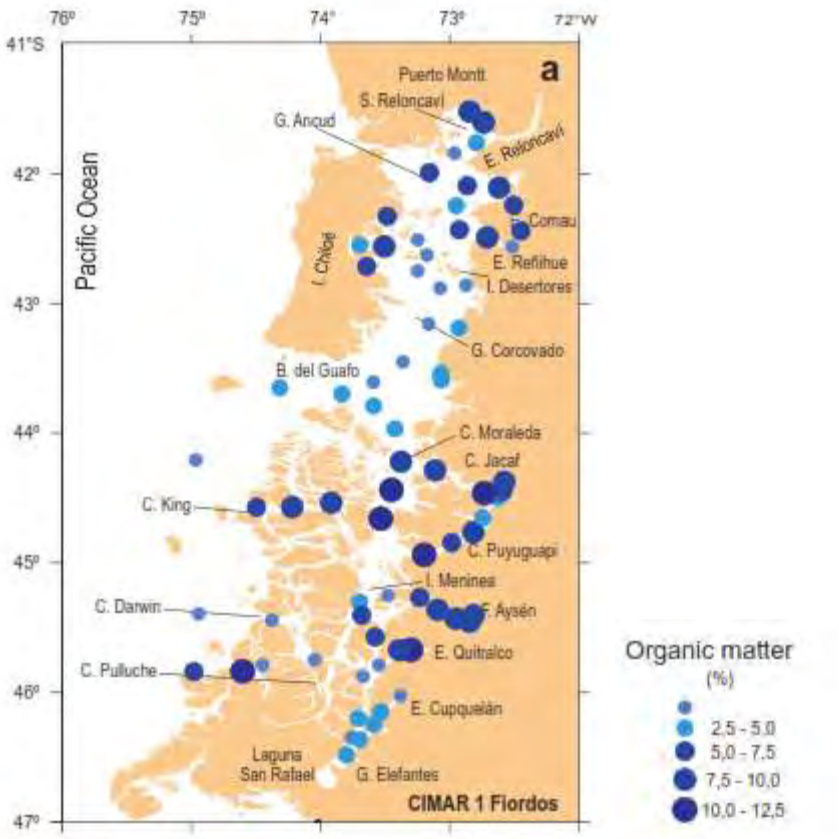


Figura 54. Distribución de la materia orgánica total (%) en los sedimentos superficiales de los canales y fiordos australes de Chile. (tomada de Silva *et al.*, 1998).

Zonas de monitoreo

Las zonas seleccionadas para la aplicación de los monitoreos pilotos son:

1. Zona 1: Entre la cuenca norte del mar interior de Chiloé y el archipiélago de islas Desertores (**Figura 41**).
2. Zona 2: Entre la cuenca sur del mar interior de Chiloé hasta la constricción de Meninea (**Figura 41**).

Para la zona 1, se seleccionó un centro acuícola alrededor de Isla Imelev, al sur de la localidad de Quinchao, comuna del mismo nombre. El área se encuentra altamente intervenida por actividades de acuicultura, y se plantea como un sector altamente sensible desde el punto de vista de la biodiversidad. Por otro lado, el sector control de esta zona fue posicionado en Isla Chaulinec, localizada al sureste de Quinchao, que tiene la

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

característica de estar muy cercana al centro, y de no haber tenido nunca concesiones de acuicultura (**Figura 55**).

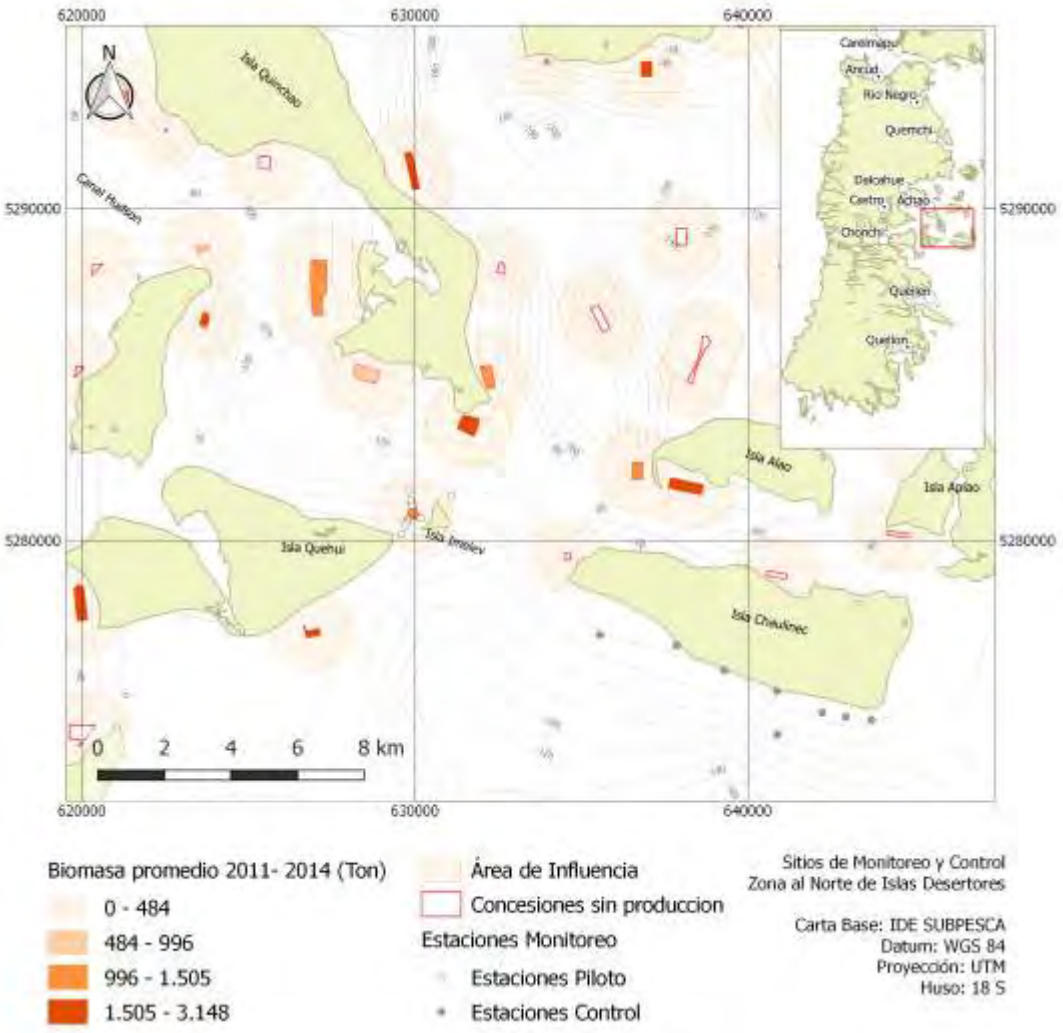


Figura 55. Ubicación de las zonas de monitoreo y control, zona al norte de las islas Desertores.

Para la zona 2, el sector de monitoreo piloto se estableció en un centro de cultivo de salmones ubicado en la costa de Isla Chaullín, ubicada al noreste de Quellón, comuna del mismo nombre, mientras que el sector control fue posicionado en Isla Tranqui, al norte de Isla Chaullín, comuna de Queilen (**Figura 56**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

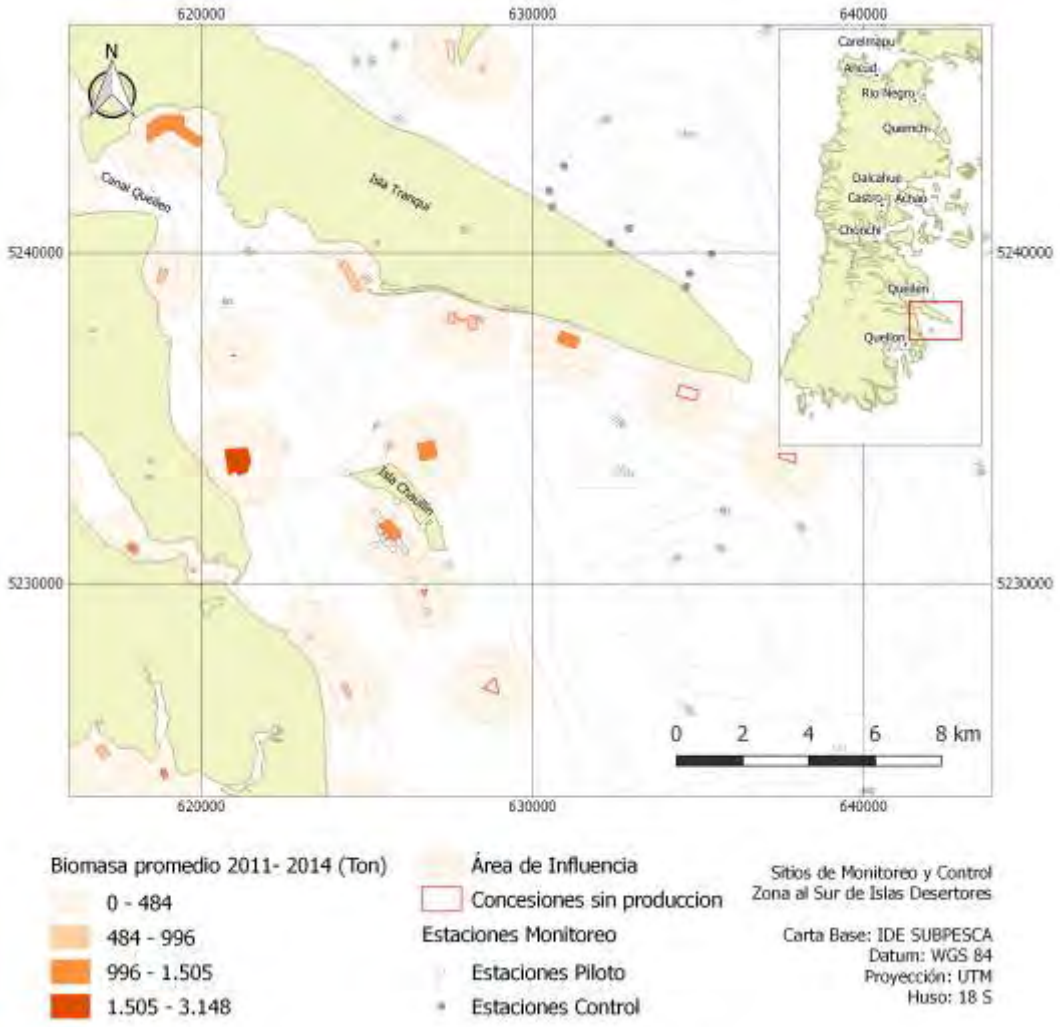


Figura 56. Ubicación de las zonas de monitoreo y control, zona al sur de las islas Desertores.

Estos sectores y localidades cercanas han sido señalados como sitios relevantes para la conservación de la biodiversidad de aves migratorias (CONAMA 2002; Soazo *et al*. 2009; Delgado *et al*. 2010), como el zarapito de pico recto (*Limosa haemastica*) y zarapito común (*Numenius phaeopus*), especies que mantienen en Chiloé las mayores poblaciones no reproductivas de la costa del Pacífico Occidental (Delgado *et al*. 2010), siendo identificada además la actividad acuicultora como una amenaza directa de estas especies (WWF Chile 2011). A lo anterior, se suma el tránsito de ballenas y cetáceos menores en la zona (Viddi *et al*. 2010), de gran importancia turística y ecológica, pero que, sin embargo, se han visto amenazados por la

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

intervención antrópica (Hucke *et al*. 2004), entre las que ha destacado la acuicultura (Ribeiro *et al*. 2007).

Al igual que el sector anterior, en esta zona también destaca la presencia de aves migratorias, como especies de zarapitos y cormorán imperial (Soazo *et al*. 2009; Delgado *et al*. 2010; WWF Chile 2011), asi como la alta abundancia de cetáceos, entre los que destaca la ballena azul (Hucke *et al*. 2010; Viddi *et al*. 2010; WWF Chile 2011). También se ha evidenciado la presencia de corales de agua fría y huirales de *Macrocystis pyrifera* (Häusserman & Forsterra 2007; WWF Chile 2011), los cuales son reconocidos por ser especies bioingenieras, jugando importantes roles en los ambientes que habitan (Jones *et al*. 1994; Häusserman & Forsterra 2007). Debido a lo anterior, estos alrededores se han incluido dentro de una propuesta de Área Marina Protegida de Múltiples Usos que incluye el sector del Golfo del Corcovado y Boca del Guafo (Hucke *et al*. 2010).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.4.3. Aplicación y resultados de monitoreo piloto

Se realizó el monitoreo piloto en torno a dos concesiones acuícolasde producción de salmones en pleno funcionamiento, previo a la actividad de cosecha. A su vez, se monitoreó también un sector control de similares características paisajísticas y oceanográficas para contrastar los resultados obtenidos.

El monitoreo se enfocó en los efectos experimentados en 4 grupos de organismos marinos por efecto de la actividad acuícola, con el fin de poder establecer cambios en un gradiente de contaminación, por lo que también se monitorearon parámetros físicos y químicos de la columna de agua y el sedimento.

El texto se organiza en 3 acápites:

- Monitoreo piloto de comunidades planctónicas
- Monitoreo piloto de comunidades bentónicas
- Monitoreo piloto de algas, aves y mamíferos marinos

Cada acápite corresponde a un informe completo con antecedentes, introducción y resultados. Esto con el fin de proporcionar al lector una lectura completa y simple de cada componente monitoreada.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

5.4.3.1. Monitoreo piloto de comunidades planctónicas

Introducción

Con el objeto de contrastar la información técnica presentada en el numeral 5.2.1.1 del presente documento, correspondiente a los antecedentes bibliográficos aunados para la componente Planctónica; se implementó una metodología analítica orientada en la evaluación espacial de la estructura comunitaria, con relación a las actividades productivas de dos centros de cultivo de salmones tipo, durante su última etapa de su ciclo productivo (cosecha). De esta manera se realizó una prospección de terreno y levantamiento de información biológica en sectores próximos e inmediatos de ambos centros de cultivo, así como en sectores de mayor lejanía de los mismos.

El presente documento informa sobre los resultados aunados en la franja costera existente frente a la localidad de Isla Imelev, Isla Quehui e Isla Chaulinec; así como también en la franja existente frente a isla Chaullín; durante una campaña de monitoreo planctónico, correspondiente al período primaveral, entendido como el periodo de mayor concentración microalgal para la región austral de nuestro país. El presente informe constituye parte de la documentación requerida en el proceso de Evaluación y Análisis de la biodiversidad marina y continental afectada por las actividades de acuicultura.

Se entregan los resultados de diversidad y abundancia microalgal, en el área de operación de un centro de producción acuícola. Se entrega un listado taxonómico de las especies observadas, así como la abundancia celular asociada a cada taxa. De forma complementaria se estiman índices de diversidad y se realizan análisis multivariados.

Objetivo General

Caracterizar el fitoplancton en el área de estudio, en función de un gradiente de contaminación.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Objetivos Específicos

Caracterizar el microfitoplancton, con relación a la diversidad, abundancia y distribución, tanto en el área de concesión acuícola, como en sectores aledaños a esta.

Identificar patrones de especies y/o grupos de especies que manifiesten una respuesta con respecto del gradiente de contaminación.

Metodología

Área de estudio y disposición de estaciones de muestreo. Sector norte archipiélago de Chiloé.

El área monitoreada comprende la porción de costa circunscrita entre las Islas Imelev, Quehui y Chaulinec, archipiélago de Chiloé, X Región de los Lagos. En el sector se ubica un centro de cultivo de salmónidos, en adelante Centro Piloto Norte, posicionado al oeste de isla Imelev y cuyas coordenadas UTM corresponden a 629895-5280788. De forma complementaria se monitorearon dos sectores próximos al área de operación del centro piloto, individualizados como "Sector Referencia" y "Sector Control", ambos identificados por un sistema litoral de similares características respecto del primero, donde no se registra actividad salmoacuícola en las proximidades (**Figura 57**).

Referente al área de impacto de la actividad de acuicultura, se han utilizado modelos de dispersión de sólidos (Depomod) y dispersión de alimento y material fecal (Ecuación de Gowen) en sistemas de producción máxima de 4.000 toneladas, entregando resultados que indican que fuera de los 300 a 350 metros a la redonda podemos encontrar áreas libres de impacto (FIP 2015, autores informe FIP). Al analizar la información de las INFAS de 830 centros de la X región entre los años 2007 y 2013, se logró determinar que el 95% de los centros generaron un área de impacto menor a 500 metros. Por otro lado, a nivel internacional los estudios indican que las estaciones de referencia deberían ser ubicadas entre 300m y 1.000m de distancia respecto de los módulos de producción (Borja *et al* 2009; SEPA 2008; Carroll *et al* 2003, Fernández 2001).

En base a estos antecedentes se propuso una estructura de muestreo integrada por unidades muestrales posicionadas dentro del área de influencia antes referida, en un sector próximo a esta, así como en un sector de mayor lejanía del centro. Se dispusieron 3 transectas orientadas en 3 ejes diferentes (Este, SurOeste y NorOeste), persiguiendo con ello disminuir posibles sesgos

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

generados por anomalías de la correntometría informada para el centro piloto en particular. En cada eje o transecta se dispusieron 5 unidades de muestreo o estaciones desde donde se levantó información planctónica en dos estratos de la columna de agua, identificados como nivel sub-superficial (0,5m) y nivel profundo (15 m). Las estaciones se posicionaron de acuerdo a un gradiente de distancia respecto de la jaula de cultivo, ubicando las estaciones sobre cada uno de los tres ejes a 50m, 100m, 150m, 250m y 550m de distancia respecto del mismo. Adicionalmente se seleccionó un punto de referencia, posicionado a 1150 metros de la jaula de cultivo, en dirección norte (contracorriente). Por último, fue seleccionado un sector control de mayor lejanía al centro piloto donde se implementaron 3 estaciones de muestreo planctónico, con el objeto contrastar los resultados del sector piloto. La **Tabla 19** proporciona el número y coordenadas de cada unidad de monitoreo, la **Figura 57** presenta la distribución espacial de las mismas.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

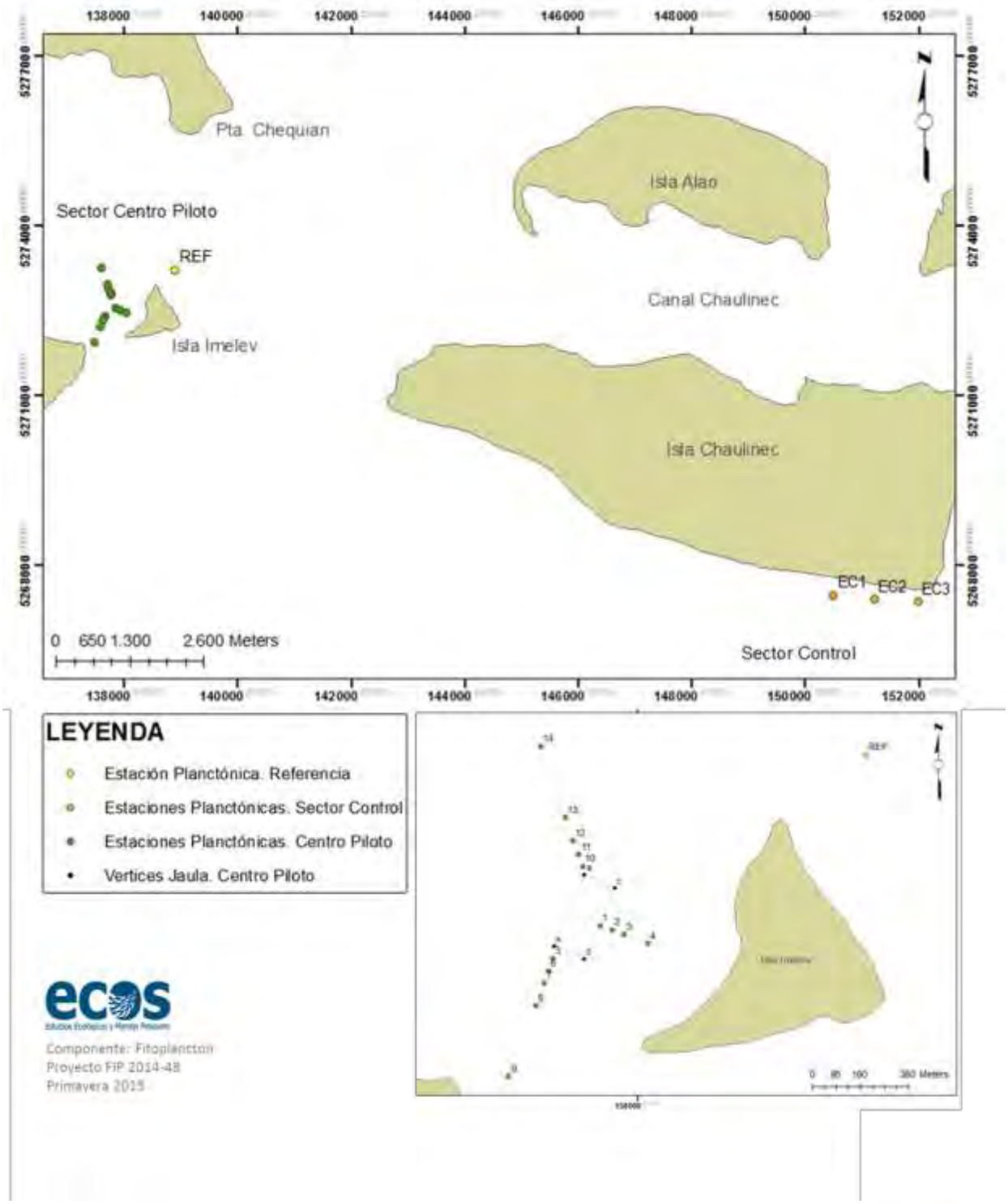


Figura 57. Área de estudio. Sectores de monitoreo Piloto y control (sector norte del Archipiélago de Chiloé) y Unidades de muestreo planctónico (Estaciones).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

En base a estos antecedentes se propuso una estructura de muestreo integrada por unidades muestrales posicionadas dentro del área de influencia antes referida, en un sector próximo a esta, así como en un sector de mayor lejanía del centro piloto. Se dispusieron 3 transectas orientadas en 3 ejes diferentes, separados aproximadamente por un ángulo de 120° entre ellos (transectas dirección Este, Suroeste y Noroeste), persiguiendo con ello disminuir posibles sesgos generados por anomalías de la correntometría informada para el centro piloto en particular. En cada eje o transecta se dispusieron 5 unidades de muestreo o estaciones desde donde se levantó información planctónica en dos estratos de la columna de agua, identificados como nivel sub-superficial (0,5m) y nivel profundo (15 m). Las estaciones se posicionaron de acuerdo a un gradiente de distancia respecto de la jaula de cultivo, ubicando las estaciones sobre cada uno de los tres ejes a 50 m, 100 m, 150 m, 250 m y 550m de distancia respecto del mismo. Adicionalmente se seleccionó un punto de referencia, posicionado a 1.150 metros de la jaula de cultivo, en dirección norte (contracorriente según CPS) (**Tabla 19**). Por último, fue seleccionado un sector control de mayor lejanía al centro piloto donde se implementaron 3 estaciones de muestreo planctónico, con el objeto contrastar los resultados del sector piloto.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 19. Coordenadas de las unidades de monitoreo establecidas. Sector norte del Archipiélago de Chiloé.

Estaciones	Rótulo	Componente	Coordenadas			
			UTM		Geográficas	
			Este	Norte	Latitud	Longitud
1.- Sector Piloto (Centro cultivo)						
Transecta Este	1	Fitoplancton	629981	5280776	42°36'52.19"S	73°24'54.70"O
	2	Fitoplancton	630026	5280756	42°36'52.81"S	73°24'52.71"O
	3	Fitoplancton	630072	5280735	42°36'53.46"S	73°24'50.67"O
	4	Fitoplancton	630164	5280692	42°36'54.80"S	73°24'46.60"O
Transecta SurOeste	5	Fitoplancton	629785	5280659	42°36'56.09"S	73°25'3.19"O
	6	Fitoplancton	629764	5280611	42°36'57.64"S	73°25'4.04"O
	7	Fitoplancton	629744	5280564	42°36'59.18"S	73°25'4.89"O
	8	Fitoplancton	629704	5280477	42°37'2.04"S	73°25'6.59"O
	9	Fitoplancton	629577	5280205	42°37'10.92"S	73°25'11.92"O
Transecta NorOeste	10	Fitoplancton	629929	5281016	42°36'44.44"S	73°24'57.18"O
	11	Fitoplancton	629915	5281062	42°36'42.96"S	73°24'57.83"O
	12	Fitoplancton	629897	5281119	42°36'41.10"S	73°24'58.64"O
	13	Fitoplancton	629872	5281212	42°36'38.09"S	73°24'59.80"O
	14	Fitoplancton	629795	5281500	42°36'28.82"S	73°25'3.42"O
Estación de Referencia	REF	Fitoplancton	631078	5281376	42°36'32.07"S	73°24'7.03"O
2.- Sector Control						
Estación Planctónica 1	EC1	Fitoplancton	642224	5274839	42°39'56.80"S	73°15'52.19"O
Estación Planctónica 2	EC2	Fitoplancton	642933	5274718	42°40'0.24"S	73°15'20.95"O
Estación Planctónica 3	EC3	Fitoplancton	643697	5274617	42°40'3.00"S	73°14'47.31"O

Datum WGS-84

Área de estudio y disposición de estaciones de muestreo. Sector sur archipiélago de Chiloé.

El área monitoreada comprende la porción de costa circunscrita frente a isla Chaullín, archipiélago de Chiloé, X Región de los Lagos. En el sector se ubica un centro de cultivo de salmónidos, en adelante Centro Piloto Norte, posicionado al oeste de isla Chaullín y cuyas coordenadas UTM corresponden a 625701-5231560. De forma complementaria se monitorearon dos sectores próximos al área de operación del centro piloto individualizados como "Sector Referencia" y "Sector Control", ambos identificados por un sistema litoral de similares características respecto del primero, donde no se registra actividad salmoacuícola en las proximidades **Figura 58.**

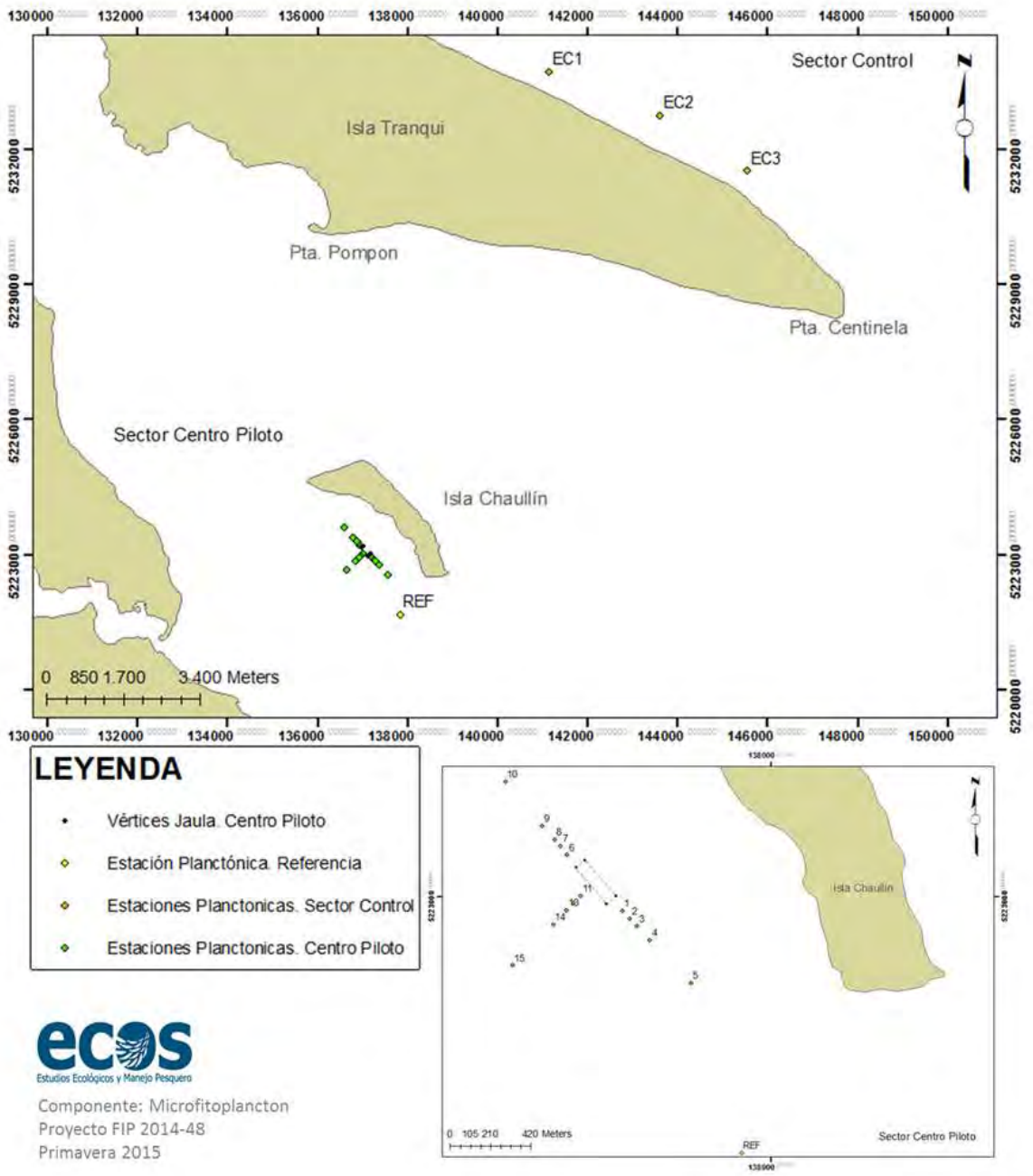


Figura 58. Área de estudio control (sector sur del Archipiélago de Chiloé) y Unidades de muestreo planctónico (Estaciones).Sectores de monitoreo Piloto Sur, control y de referencia.

En forma análoga al monitoreo realizado en la zona sur del Archipiélago de Chiloé, se propuso una estructura de muestreo integrada por unidades muestrales posicionadas dentro del área de influencia, en un sector próximo a esta, así como en un sector de mayor lejanía del centro. Se dispusieron 3

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

transectas orientadas en 3 ejes diferentes (Este, SurOeste y NorOeste), persiguiendo con ello disminuir posibles sesgos generados por anomalías de la correntometría informada para el centro piloto en particular. En cada eje o transecta se dispusieron 5 unidades de muestreo o estaciones desde donde se levantó información planctónica en dos estratos de la columna de agua, identificados como nivel sub-superficial (0,5m) y nivel profundo (15 m). Las estaciones se posicionaron de acuerdo a un gradiente de distancia respecto de la jaula de cultivo, ubicando las estaciones sobre cada uno de los tres ejes a 50m, 100m, 150m, 250m y 550m de distancia respecto del mismo. Adicionalmente se seleccionó un punto de referencia, posicionado a 1150 metros de la jaula de cultivo, en dirección norte (contracorriente). Por último, fue seleccionado un sector control de mayor lejanía al centro piloto donde se implementaron 3 estaciones de muestreo planctónico, con el objeto contrastar los resultados del sector piloto. La **Tabla 20**, proporciona el número y coordenadas de cada unidad de monitoreo, la Figura 58 presenta la distribución espacial de las mismas.

Tabla 20. Coordenadas de las unidades de monitoreo establecidas. Sector sur del Archipiélago de Chiloé.

Estaciones	Rótulo	Componente	Coordenadas			
			UTM		Geográficas	
			Este	Norte	Latitud	Longitud
1.- Sector Piloto (Centro cultivo)						
Transecta SurOeste	1	Fitoplancton	625828	5231406	43° 3'34,63"S	73°27'17,19"O
	2	Fitoplancton	625864	5231363	43° 3'36,00"S	73°27'15,56"O
	3	Fitoplancton	625899	5231322	43° 3'37,31"S	73°27'13,98"O
	4	Fitoplancton	625961	5231246	43° 3'39,73"S	73°27'11,18"O
	5	Fitoplancton	626157	5231006	43° 3'47,39"S	73°27'2,32"O
Transecta NorOeste	6	Fitoplancton	625563	5231718	43° 3'24,67"S	73°27'29,15"O
	7	Fitoplancton	625532	5231767	43° 3'23,11"S	73°27'30,56"O
	8	Fitoplancton	625503	5231803	43° 3'21,96"S	73°27'31,87"O
	9	Fitoplancton	625444	5231878	43° 3'19,56"S	73°27'34,54"O
	10	Fitoplancton	625269	5232122	43° 3'11,76"S	73°27'42,47"O
Transecta SurEste	11	Fitoplancton	625618	5231499	43° 3'31,74"S	73°27'26,54"O
	12	Fitoplancton	625578	5231464	43° 3'32,90"S	73°27'28,28"O
	13	Fitoplancton	625539	5231430	43° 3'34,02"S	73°27'29,98"O
	14	Fitoplancton	625465	5231362	43° 3'36,27"S	73°27'33,20"O
	15	Fitoplancton	625237	5231164	43° 3'42,82"S	73°27'43,11"O
Estación de Referencia	REF	Fitoplancton	626358	5230107	43° 4'16,40"S	73°26'52,70"O
2.- Sector Control						
Estación Planctónica 1	EC1	Fitoplancton	630494	5241865	42°57'52,86"S	73°23'59,79"O
Estación Planctónica 2	EC2	Fitoplancton	632905	5240740	42°58'27,82"S	73°22'12,44"O
Estación Planctónica 3	EC3	Fitoplancton	634732	5239366	42°59'11,18"S	73°20'50,63"O

Toma de muestras

En cada estación de monitoreo planctónico se obtuvieron 2 muestras de agua colectadas a nivel sub-superficial (0,5 m) y a un nivel de mayor profundidad de la columna de agua (15 metros). Estas muestras destinadas a análisis cuantitativos del fitoplancton, fueron colectadas mediante una botella Oceanográfica tipo Niskin (**Figura 59**). Las muestras fueron inmediatamente fijadas con reactivo de Utermöhl y vertidas en frascos de vidrio, previamente rotuladas. Estos últimos se almacenaron en un cooler cerrado, evitando así la decoloración y degradación del lugol.

De manera complementaria, en todas las estaciones seleccionadas se recolectaron muestras para análisis taxonómicos mediante arrastres verticales (Fondo a superficie), con red de fitoplancton de 25 µm de tamaño de malla. Estas muestras se fijaron inmediatamente en formalina al 5% neutralizada con bórax. Los frascos con el material fijado fueron rotulados y almacenados en coolers herméticos. Se utilizaron frascos plásticos de doble tapa.

Figura 59. Muestreo de microfitoplancton. Red de fitoplancton (izquierda) y botella Niskin (Derecha).

Se determinaron a nivel de especie los principales componentes del fitoplancton por observación directa del material fijado en un microscopio fotónico con contraste de fases, de acuerdo a las recomendaciones establecidas por IOC-UNESCO (Intergovernmental Oceanographic Commission, 2010) y Franks & Keafer (2003). Los equipos utilizados cuentan con un sistema fotográfico, a través del cual se obtuvieron registros gráficos durante el análisis de microscopia.

En la identificación de las especies se consultó bibliografía especializada, y en las reubicaciones taxonómicas vigentes se siguió a Tomas (1996). Los

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

resultados son expresados de acuerdo a un índice de abundancia relativa (I.A.R) estructurado a partir de Avaria (1965), el cual permite establecer el grado de importancia de cada taxa en función de su ocurrencia por estación. El I.A.R se estructura de acuerdo a la escala presentada en la**Tabla 21**.

Tabla 21. Escala de índices de Abundancia Relativa (I.A.R).

I.A.R	Diatomeas	Dinoflagelados
Raro (R)	1 Célula	1 Célula
Escaso (E)	2-10 Células	2-10 Células
Abundante (A)	11-50 Células	11-30 Células
Muy Abundante (MA)	>50 Células	>30 Células

En los recuentos de células se utilizó un microscopio invertido con contraste de fases, según técnica de Utermöhl (1958). Los recuentos celulares se efectuaron en cámaras de decantación de 25 cc y 10 cc dependiendo la concentración de cada muestra. Se aplicó el recuento sobre todo el fondo de la cámara. En el análisis y procesamiento de datos se consideraron las recomendaciones de agencias especializadas de organismos internacionales (Unesco 1978, 2003), las de Alveal *et al*. (1995) y aquellas recomendaciones descritas por Hasle (1978). Los resultados son expresados en células por Litro (cél L-1).

Análisis estadísticos

Índices ecológicos

Con la finalidad de dar una visión de la composición y estructura comunitaria fitoplanctónica, se realizó el cálculo de los siguientes índices ecológicos:

Diversidad de Shannon (H') según Pielou (1975) y Gray & Pearson (1982):

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \times \ln p_i$$

Dónde:

S = riqueza de especies (o número de taxa presentes en la muestra)

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

p_i = proporción de la i-ésimo taxon en la muestra

$\ln$ = logaritmo natural,

Uniformidad (J') según Pielou 1966:

$$J' = \frac{H'}{H'_{máx}}$$

Dónde:

H' = diversidad de Shannon

$H'_{máx}$ = ln(S),

Índice de Dominancia (Simpson 1949)

$$D = \sum \frac{Ni\ (Ni - 1)}{N\ (N - 1)}$$

Dónde: D corresponde al índice de Dominancia de Simpson, y Ni a la abundancia de individuos de la especie i.

Índice de Margalef (Margalef, 1978)

d = (S - 1)/ln N

Dónde: d es la biodiversidad, S es el número de especies presentes, y N es el número total de individuos encontrados (pertenecientes a todas las especies). La notación ln denota el logaritmo neperiano de un número.

Análisis de ordenación y clasificación

Con la finalidad de establecer un parámetro de comparación entre cada punto de monitoreo se implementaron análisis de estadística multivariada, tales como el análisis de conglomerados y el de Escalamiento No Métrico Multidimensional (n-MDS). Se construyó una matriz de similitud, a partir de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

los datos de abundancia, los cuales fueron transformados a raíz cuarta, como una forma de estandarización de las especies menos representadas. Una vez transformados los datos, se procedió al cálculo de la matriz, utilizando el índice de Bray-Curtis y la técnica de agrupación jerárquica de la media ponderada o método de agrupamiento UPGMA (Bray & Curtis 1957; Legendre & Legendre 1979). El análisis de clasificación tiene por objetivo agrupar conjuntos de estaciones de composición de especies similares, lo que es un reflejo de las condiciones ambientales a las cuales están siendo sometidas las comunidades del sector, Clark & Warwick (2001). Se realizan pares sucesivos de los grupos similares hasta que toda la muestra o grupos de la muestra se asocien en un conjunto mayor, proceso que culmina con la formación de un dendrograma.

Adicionalmente se aplicó un análisis de escalamiento multidimencional no-métrico con el objeto de agrupar las estaciones más similares entre sí. Este es un modelo multivariado de ordenación, a través del cual se ordenan las variables u observaciones (en este caso estaciones) en función de los registros cuantitativos. El análisis de Escalación No-Métrica Multidimensional (NMDS) fue realizado siguiendo las recomendaciones de Field *et al*. (1982), con las cuales se generaron matrices de asociación por medio del índice de Bray-Curtis, previa transformación de los datos a raíz cuarta (Y = √√X). La ventaja del análisis es el límite del número de dimensiones utilizable (James & Mcculloch 1990). La calidad del análisis queda determinada por el nivel de estrés alcanzado por el mismo.

Así el estrés queda definido como: $$Estrés = \sqrt{\frac{\sum_j \sum_k \left(d_{jk} - \hat{d}_{jk}\right)^2}{\sum_j \sum_k d_{jk}^2}}$$

Dónde:

d_{jk} = distancia entre los puntos j-ésimo y k-ésimo de la muestra

$\hat{d}_{jk}$ = distancia predicha de la línea de regresión ajustada correspondiente a la disimilitud de la matriz de coeficientes de Bray-Curtis

Mientras mayor sea la diferencia entre las disparidades y las distancias, mayor será el Stress y por tanto peor será el modelo. Su valor mínimo es 0, mientras que su límite superior para n estímulos es $\sqrt{1-(2/n)}$. La eficacia del modelo se contrastó con la escala de interpretación del Stress sugerida por Kruskal (1964). A saber:

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Stress		
0,01	:	Exelente
0,01 a 0,05	:	Bueno
0,05 a 0,10	:	Correcto
0,10 a 0,15	:	Moderado
0,15	:	Pobre

La información es representada de forma gráfica en imágenes georeferenciadas ligadas al sistema de información geográfica (SIG).

Resultados

Composición y estructura microalgal. Sector norte Archipiélago de Chiloé.

El fitoplancton presente en los sectores analizados, piloto y control, se caracterizó por una fuerte predominancia de las diatomeas sobre los demás grupos que lo conforman.

Durante el análisis de las muestras de red se identificaron 53 especies y variedades microalgales, correspondientes a 42 diatomeas, 7 dinoflagelados, 2 silicoflagelados, 1 clorofícea y 1 cianofícea (**Tabla 22**). Entre los taxa identificados se registran especies de origen marino, estuarino, continental y especies ticoplanctónicas, destacando los taxa de aguas marinas durante el período estudio, tanto por su mayor frecuencia de registro, su abundancia, así como por el número de especies que componen este grupo. Entre las especies características de sistemas estuarinos se registran los taxa *Synedra ulna*, *Thalassionema nitzschioides* y *Licmophora sp.*; Entre las especies características de sistemas Limnéticos distinguen las diatomeas *Brachysira sp.*, *Cymatopleura sp.*, *Entomoneis sp.*, *Pinnularia sp.*, *Pleurosigma sp.*, y la clorofícea *Pediastrum boryanum*. En la componente ticopelágica se registra la presencia de *Paralia sulcata* y *Actinoptychus senarius*.

Las especies más comunes, que se distinguieron por su mayor frecuencia en la muestras de red, fueron las diatomeas *Thalassiosira cf. aestivalis*, *Pseudo-nitzschia cf. australis*, *Chaetoceros debilis*, *Thalassionema nitzschioides*, *Ditylum brightwellii*, *Diplopsalis lenticula*. El índice de abundancia relativa para las especies antes mencionadas, bajo el criterio de Avaria (1975), se ubica bajo la categoría de Muy Abundante (MA), para el primer taxa, presentando una fluctuación entre Muy Abundante y Raro (R), para el resto de las especies mencionadas (**Tabla 22**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 22. Abundancia cualitativa del fitoplancton. Donde MA: Muy abundante: A: Abundante: E: Escasa y R: Rara.

Taxa	Transecta Este				Transecta Sur-Oeste					Transecta Nor-Oeste					Referencia	Control		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	REF	EC1	EC2	EC3
Bacillariophyta (Diatomeas)																		
Actinoptychus senarius	R	R	E	A	E	R	E			E	E	R						
Asterionellopsis glacialis	E	R			E	E		E	A				R	R	E	E	R	R
Bacillaria paxillifer			R	E														
Bacteriastrum sp.	R	R	R	R		R	R	R										
Brachysira sp.										R	R							
Chaetoceros compressus	R	R			E	E	R	E	A	R			R	E	E	A	A	A
Chaetoceros convolutus	R	R			R	R		R	R					R	R		R	R
Chaetoceros curvisetus	E	E	R	R	R	R	R	R		R				R	E	R	R	E
Chaetoceros debilis	R	R	R	R	A	A	A	E	E			R	E	A	A	R		R
Chaetoceros didymus	R				R									R	R			
Chaetoceros laciniosus						R									R			
Chaetoceros lorenzianus	E	R	R	E	E	R	R	E	E	R				R	R		R	E
Coscinodiscus cf. centralis					R					R							R	E
Coscinodiscus janischii					R											R	R	R
Coscinodiscus cf. radiatus																	R	R
Cylindrotheca closterium															R			
Cymatopleura sp.																R	R	
Ditylum brightwellii	E	E	E	E	E	R	E	R	R	R	R	R	R	R	E	E	E	E
Entomoneis sp.			R	R	R													
Eucampia zodiacus					R		R	R										
Grammatophora marina					R										R			
Lauderia annulata										R	R	R	R	E	E			
Leptocylindrus minimus					R													
Licmophora sp	E	E	E	A		R				R						R	R	R
Navicula spp.			R	E			R								R		R	
Nitzschia cf. bilobata																R		
Odontella aurita						R	R	R	R	R						R	R	R
Odontella longicruris						R		R	R							R	R	R
Paralia sulcata	E	E	A	A	R								R	R	R	A	A	A
Pinnularia sp.									R									
Pleurosigma sp.		R	E	R	R		R			R						R	R	R
Proboscia alata					R			R	R				R	R				
Pseudo-nitzschia cf. australis	A	A	R	R	A	**MA**	A	A	A	A	A	A	A	**MA**	**MA**	R	E	E
Pseudo-nitzschia spp.					R	R	E											
Stephanopyxis turris						R	E	R	R	E	R	R	A	A	R			R
Synedra ulna																	R	
Thalassionema frauenfeldii															R	R	R	
Thalassionema nitzschioides	A	E	A	A	R	R	E	R	R	E	E	E	E	E				
Thalassiosira rotula				E	E	E	A	E	E						A			
Thalassiosira cf. aestivalis	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**
Thalassiosira subtilis					R	R	R	R	E	R	R				A	R	R	R
Thalassiosira cf. minuscula						R									R		R	
Pyrrhophyta (Dinoflagelados)																		
Scrippsiella trochoidea					R	R	R			R	R	R	R	R				
Diplopsalis lenticula	E	E	R	R	R		R	E	E	R	R	R	R	R		R	R	R
Dinophysis acuminata							R	R	R	R						R		
Ceratium furca	R	R	R	R	R		E			R	R		R	R		R	R	R
Protoperidinium pellucidum		R	R					R	R	R		R	R				R	
Protoperidinium sp.	R							R	R		R			R				
Protoperidinium crassipes									R	R		R				R	R	

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

En la **Tabla 23** se indican los valores promedios de abundancia celular, correspondiente a la concentración microalgal superficial y de 15 metros de profundidad. En la **Figura 60** se grafican y geo-referencia la distribución espacial de la abundancia registrada en el estrato superficial del sector piloto y en la **Figura 61**, se muestra la misma información para el sectorcontrol. Estas figuras muestran el atributo abundancia de forma proporcional, mediante gráficos de torta, de acuerdo a los aportes de cada grupo taxonómico (Clases) respecto del total por estación o unidad de muestreo. De esta manera, se presenta un gradiente de tamaño de cada uno de los gráficos de acuerdo a la mayor o menor abundancia total registrada.

En las **Figura 62** y **Figura 63**, se grafican y geo-referencian la distribución espacial de la abundancia registrada en el estrato profundo de los sectores piloto y control, respectivamente.

El análisis cuantitativo de las muestras de agua arrojo un total de 37 especies y variedades microalgales, correspondientes a 30 diatomeas, 6 dinoflagelados y 1 silicoflagelado. A nivel superficial se registran 34 taxa, correspondientes a 27 diatomeas, 6 dinoflagelados y 1 silicoflagelado. El estrato profundo registra un total de 29 especies, integradas por 24 diatomeas y 5 dinoflagelados. Entre las especies que solo fueron registradas a nivel superficial se encuentran *Chaetoceros didymus*, *Coscinodiscus janischii*, *Lauderia annulata*, *Odontella longicruris*, *Thalassionema frauenfeldii*, *Protoperidinium sp*. y*Dictyocha speculum*. Entre las especies que solo fueron registradas a nivel de 15 metros de profundidad se encuentran *Grammatophora marina*, *Pleurosigma sp*. y *Proboscia alata* (**Tabla 23**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 23. Abundancia celular (cél /L) por taxa, en el estrato superficial y profundo; Abundancia total y riqueza específica en cada unidad de monitoreo.Sector archipiélago Chiloé norte.

Taxa	Transecta Este								Transecta Sur-Oeste										Transecta Nor-Oeste										Referencia		Control					
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		REF		EC1		EC2		EC3	
Profundidad (m)	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15
Bacillariophyta (Diatomeas)																																				
Actinoptychus senarius	400	480	1.200	720	1.400	2.320	840	2.920		2.200	200	480	440	1.000					240	320	200	400	120	440												
Asterionellopsis glacialis	700	640	1.500	200					1.100	500	600				280		880								200		80	280	1.600	800	1.400		800	1.100		
Bacillaria paxillifer					280		200																													
Bacteriastrum sp.	700	400	1.200	880		760	640					1.080		720		1.040																				
Chaetoceros compressus		440	1.300	760							840	240	640	1.200	1.160		1.480	960		440							480	400			4.100	1.900	7.100	5.000	3.300	4.200
Chaetoceros convolutus		1.000		1.000						5.500		1.640				1.040											200	400		2.000			2.300	1.400		2.200
Chaetoceros curvisetus	500			480					1.600		1.480		1.760		640				1.160								120		3.500		1.600	1.100	800	200	2.400	1.000
Chaetoceros debilis	1.800		2.500						2.100		4.080		3.800	560	1.880		1.040						480		680		1.240		7.600	2.100	2.300	500	3.800		4.100	2.300
Chaetoceros didymus	800																																			
Chaetoceros lorenzianus	700			720	480				900	1.400	480				320	480	440		400										1.800	800					1.700	
Coscinodiscus cf. centralis										200									40																100	
Coscinodiscus janischii																																			100	
Coscinodiscus cf. radiatus																																	100	100	100	
Ditylum brightwellii	300	400	500		320		240		300	100											40				80		40	40	100	100	100		200	100		
Grammatophora marina										500																										
Lauderia annulata																											240		1.500							
Licmophora sp	700	440	400	640		1.120	440	1.240												80																
Navicula spp.						520	280	760						40																						
Odontella longicruris											320																				800					
Paralia sulcata	900	480	700	440	640	200	240		1.200	500																			1.400		1.200	500	1.000	1.000	800	
Pleurosigma sp.				120																																
Proboscia alata																80																				
Pseudo-nitzschia cf. australis	5.700	2.400	7.100	3.720	440	200	320		7.100	3.700	4.800	3.240	5.640	2.720	4.920	3.040	4.360	4.000	6.040	2.400	5.960	2.600	6.680	2.400	6.480	2.920	8.160	3.000	30.200	24.100	2.000	1.600	4.200	3.300	4.800	2.000
Pseudo-nitzschia spp.									1.200				520	200																						
Stephanopyxis turris											480		320				320		560						480	320	440		800						600	
Thalassionema frauenfeldii																													1.000		500					
Thalassionema nitzschioides	300	360	1.600		840	240	1.560	440	400				240				640		720		320				200		280	120								
Thalassiosira rotula							520		1.500	2.100	1.160	640	600	800	640	200		680											10.500	8.300						
Thalassiosira cf. aestivalis	12.200	7.200	14.000	6.960	8.320	6.240	7.600	4.280	163.900	56.500	11.720	9.400	37.504	14.732	22.920	14.680	13.120	11.760	10.040	9.600	8.400	8.840	7.720	5.800	8.160	5.520	13.080	8.120	71.600	30.900	65.800	35.600	205.300	46.600	91.400	32.700
Thalassiosira subtilis										500											40								2.100	3.800		600				1.100
Pyrrhophyta (Dinoflagelados)																																				
Scrippsiella trochoidea									100	400		280	40	40					40	80	40	40	160	80	40			80								
Diplopsalis lenticula	300	200		280	80	40		80					40	40	160	240	120	80	40	40	40	80	120	80	40	160	80	40			100	200	200	200	100	200
Dinophysis acuminata														80		80		40														100			100	
Ceratium furca	200	160	200	40		120	80	40					160								120						80					300				
Protoperidinium pellucidum				120		80												40					40	40							100				100	
Protoperidinium sp.	100																																			
Dictyochales (Silicoflagelados)																																				
Dictyocha speculum																	40																			
Abundancia (cél / L)	26.300	14.600	32.200	17.080	12.800	11.840	12.960	9.760	181.400	74.100	26.160	17.000	51.704	22.132	32.920	20.880	22.440	17.560	19.280	12.960	15.160	11.960	15.320	8.840	16.360	8.920	24.520	12.480	133.700	72.900	80.000	42.400	225.800	59.000	109.600	45.800
Riqueza Específica (S)	16	13	12	15	9	11	12	7	12	13	11	8	13	12	9	9	10	7	10	7	9	5	7	6	9	4	13	9	13	9	12	10	11	10	13	9

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

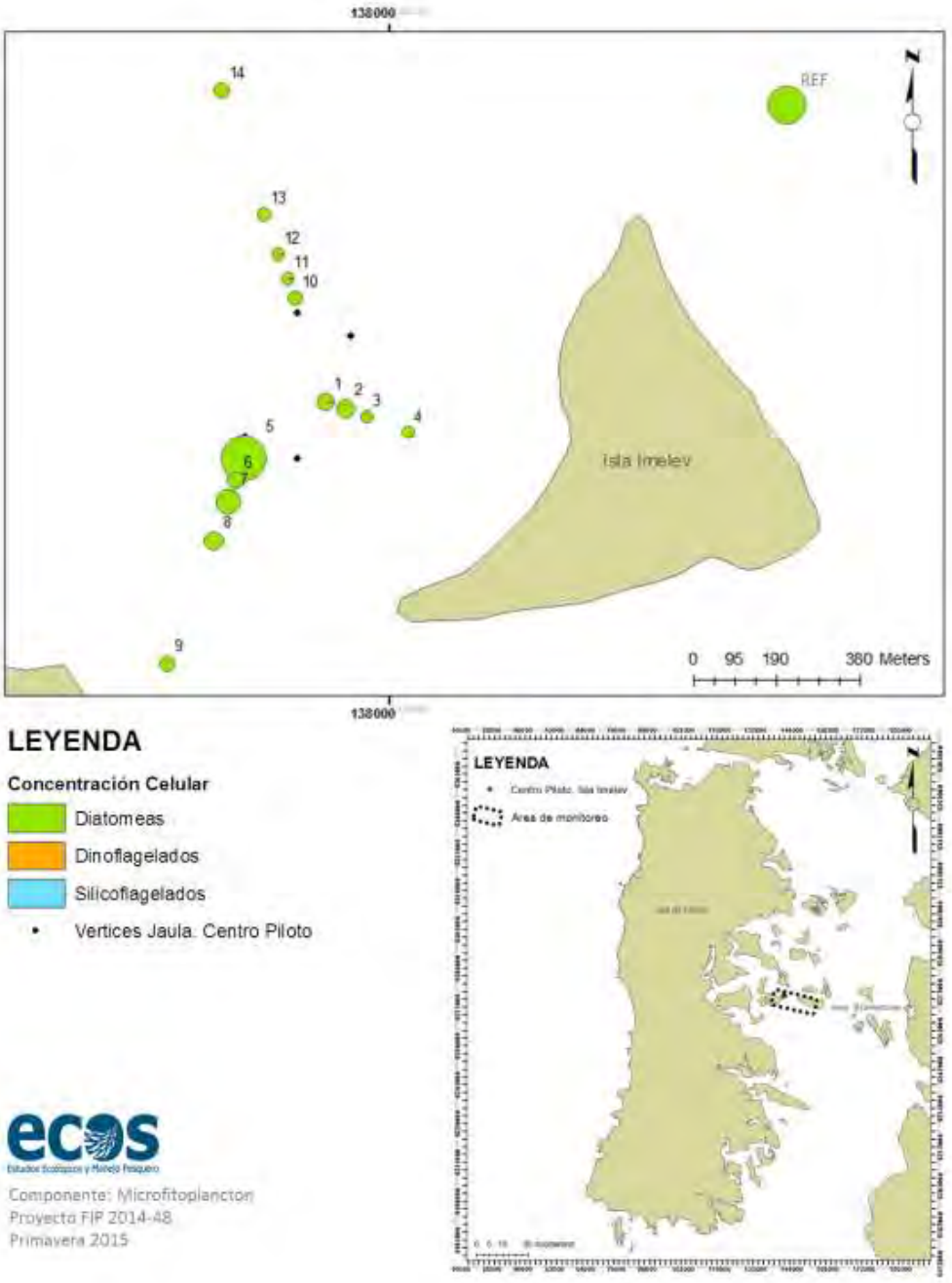


Figura 60. Concentración celular total, en superficie, de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Centro Piloto archipiélago Chiloé norte.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

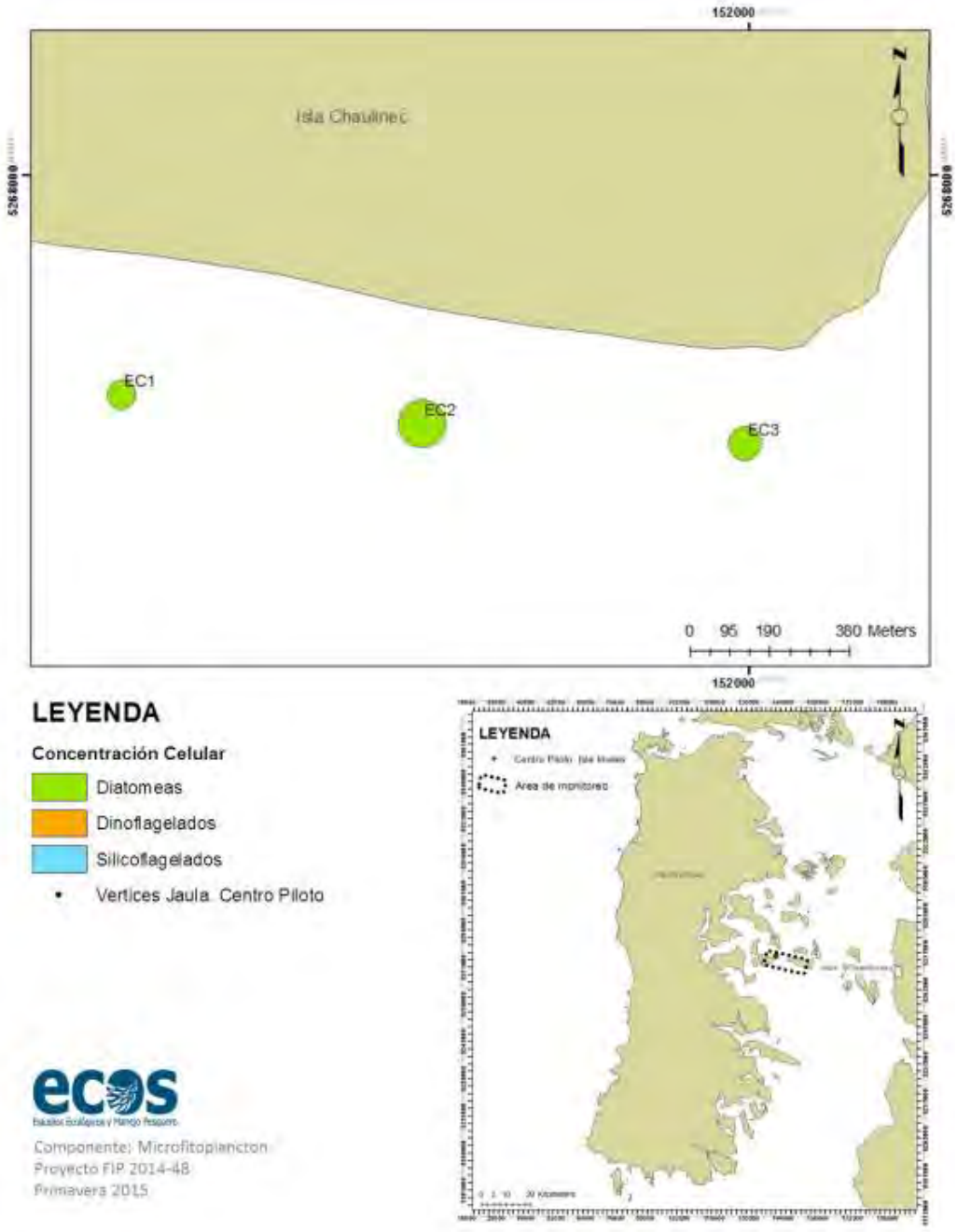


Figura 61. Concentración celular total, en superficie, de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Controlarchipiélago Chiloé norte.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

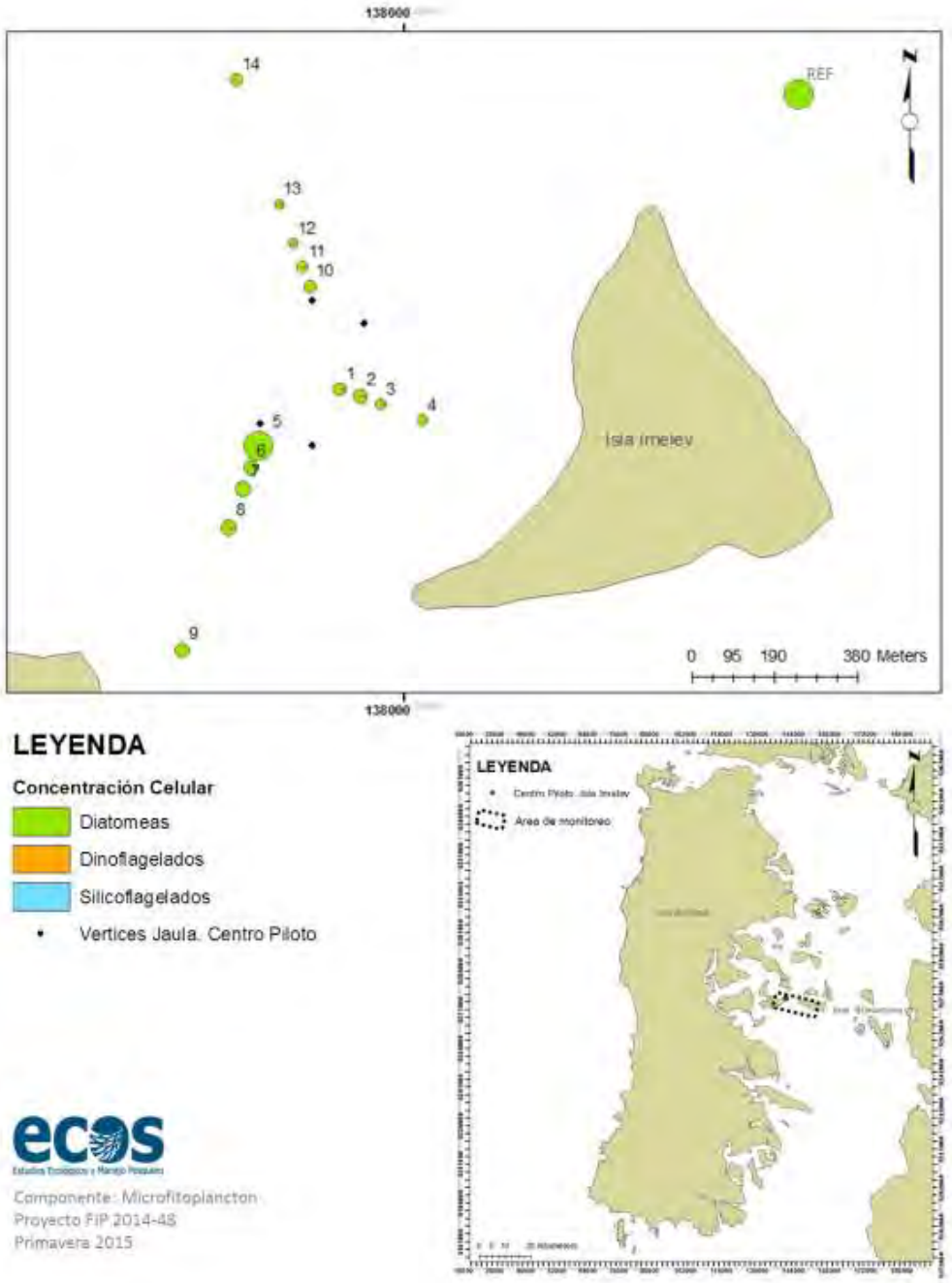


Figura 62. Concentración celular total, en estrato profundo (15 m), de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Centro Piloto archipiélago Chiloé norte.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

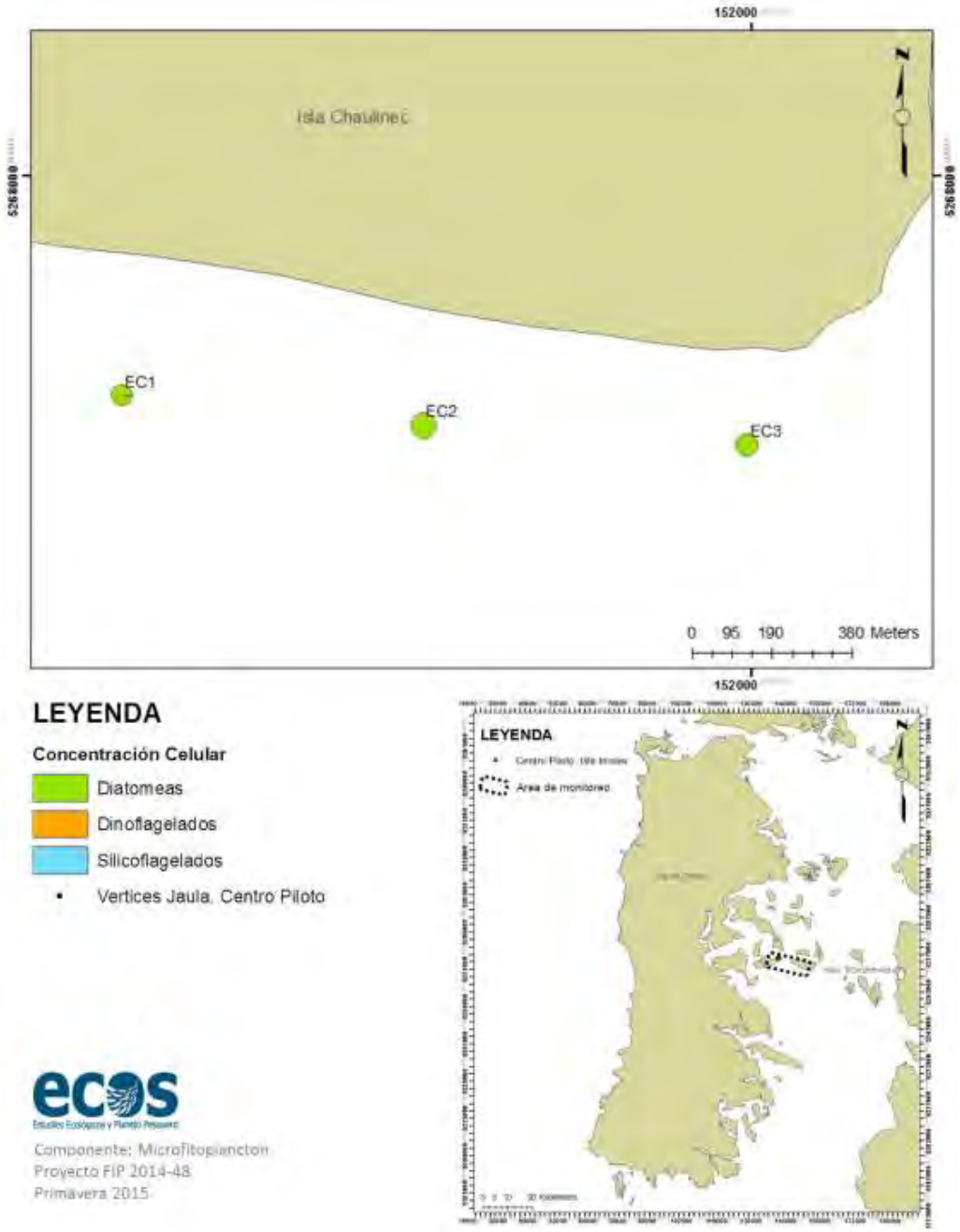


Figura 63. Concentración celular total, en estrato profundo (15 m), de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Control archipiélago Chiloé norte.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

El taxa de mayor importancia cuantitativa, debido a su alta concentración en las muestras de agua fue la diatomea *Thalassiosira cf. aestivalis* con valores puntuales máximos de 163.900 cél L-1 y 205.300 cél L-1, en la porción superficial de las estaciones 1 y EC2, respectivamente. En segundo lugar se registra la especie *Pseudo-nitzschia cf. australis*, con valores superficiales máximos de 30.200 cél L-1 y 24.100 cél L-1 en la estación de Referencia (REF), a nivel superficial y profundo, respectivamente. En menor importancia, respecto de los aportes puntuales a la abundancia total, se registran las especies *Chaetoceros debilis* y *Thalassiosira rotula*, con valores superficiales puntuales de 7.600 cél L-1 y 10.520 cél L-1, en la estación de Referencia (REF), presentando ambas una menor frecuencia de aparición en el sector estudiado. El resto de las especies registra valores inferiores a 5.000 cél L-1 (**Tabla 23**).

Respecto de la distribución espacial de la concentración celular se observan ciertas diferencias entre las estaciones analizadas, a pesar de su proximidad. Diferencias que son más evidentes a nivel superficial. Adicionalmente se observa una variación vertical, con una mayor densidad celular en el estrato superficial de la columna de agua. El estrato superficial presenta una variación de la concentración entre 12.800 cél L-1 y 225.800 cél L-1, con un valor medio de 57.700+63.690 cél L-1 para la totalidad de unidades muestrales consideradas. El estrato profundo presenta una variación de la concentración entre 8.840 cél L-1 y 74.100 cél L-1, con un valor medio de 26.678+22.040 cél L-1 para la totalidad de unidades muestrales consideradas.

Las estaciones planctónicas 5 (Transecta SurOeste) y EC2 (Estación sector control), registran la mayor concentración fitoplanctónica del área prospectada.

En la **Figura 64**, se presenta un registro fotográfico de las especies más abundantes del área prospectada.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

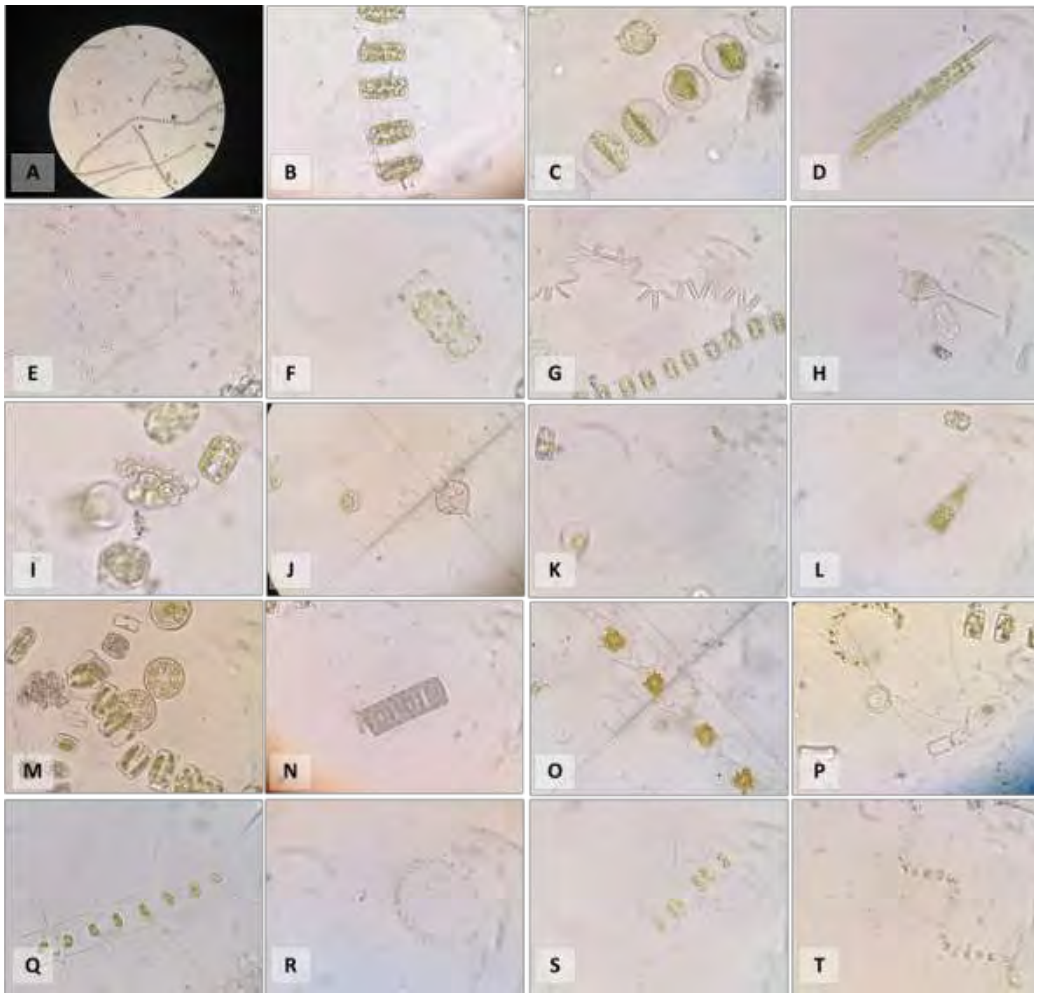


Figura 64. Registro gráfico de las especies más abundantes del área prospectada, donde: A: Muestra general, B: *Th. cf. aestivalis*, C: *S. turris*, D: *B. paxillifer*, E: *P. cf. australis*, F: *L. annulata*, G: *Th. nitzschioides*, H: *C. furca*, I: *P. boryanum*, J: *P. pellucidum,* K: *A. glacialis*, L: *Licmophora sp.*, M: *A. senarius*, N: *P. sulcata*, O: *O. longicruris*, P: *Ch. Convolutus*, Q: *Ch. didymus*, R: *Ch. curvisetus*, S: *Ch. lorenzianus*, T: *Ch. debilis*.

Índices ecológicos y análisis multivariadosSector norte Archipiélago de Chiloé.

La estructura comunitaria microfitoplanctónica, presenta una situación diferencial entre las diferentes unidades de muestreo establecidas. La riqueza específica muestra una fluctuación entre 7 y 16 taxa, a nivel superficial; y entre 4 y 15 taxa en el estrato profundo. En términos generales se observa una estructura con buenos a moderados índices de riqueza específica y bajos a moderados niveles de uniformidad, lo que da cuenta de

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

una distribución poco equitativa en los aportes de abundancia de cada grupo taxonómico (especie) a la abundancia total microalgal.

Las estaciones que integran la transecta Este (1, 2, 3 y 4) evidencian una uniformidad moderada a alta, presentando un valor medio de 0.65+0.06 y 0.69+0.04 para este indicador a nivel superficial y fondo, respectivamente. La estación de referencia muestra valores de 0.58 y 0.66 para este indicador. El resto de las unidades muestrales evidencia una distribución de la abundancia menos equitativa, lo cual esta modulado mayoritariamente por la alta concentración de *Th. Cf. aestivalis*, especie que aporta hasta el 90% de la abundancia total entre las unidades muestrales. Este factor genera valores medios de uniformidad, en superficie, de 0.48+0.19, 0.49+0.05 y 0.27+0.07 en las transectas SurOeste, NorOeste y Sector Control, respectivamente. Con valores medios de 0.51+0.10, 0.49+0.08 y 0.40+0.09 en el estrato profundo, respectivamente. Referente a los valores estimados de uniformidad resaltan las unidades muestrales 5 y EC2, puntos donde se estimaron niveles de 0.20 y 0.19 en superficie, respectivamente.

Referente a los niveles de diversidad, los mayores valores registrados corresponden a las unidades que integran la transecta Este (1, 2, 3 y 4) circunscritas en el sector Piloto, presentando un valor medio de 1.62+0.25 y 1.66+0.26 a nivel superficial y fondo, respectivamente. Los menores niveles promedio, para este indicador, son detectados en la transecta NorOeste, integrada por las estaciones 10, 11, 12, 13 y 14, así como en el sector control, integrado a su vez por las estaciones EC1, EC2 y EC3. El menor valor registrado corresponde a la estación 5 caracterizada por una diversidad de Shannon de 0.5, lo cual se encuentra modulado mayoritariamente por la alta dominancia registrada en este punto, explicada a su vez por la alta concentración celular de *Th. Cf. aestivalis* respecto del resto de taxa que integra la comunidad. El índice de diversidad de Margalef, como era de esperar, coincide con la variación de la riqueza de especies, presentando los valores más altos en la estación 1, en superficie, y estación 2 en el estrato profundo.

En las **Tabla 24** y **Tabla 25**, se indican los principales índices ecológicos estimados para cada una de las áreas monitoreadas en superficie y fondo, respectivamente.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 24. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo a nivel superficial.

Unidad	Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	D
Transecta Este	1	16	26300	1,47	0,66	1,83	0,27
	2	12	32200	1,06	0,72	1,80	0,25
	3	9	12800	0,85	0,59	1,30	0,45
	4	12	12960	1,16	0,63	1,56	0,37
Transecta SurOeste	5	12	181400	0,91	0,20	0,50	0,82
	6	11	26160	0,98	0,71	1,70	0,27
	7	13	51704	1,11	0,41	1,06	0,55
	8	9	32920	0,77	0,49	1,08	0,51
	9	10	22440	0,90	0,59	1,36	0,39
Transecta NorOeste	10	10	19280	0,91	0,55	1,27	0,38
	11	9	15160	0,83	0,42	0,93	0,46
	12	7	15320	0,62	0,49	0,95	0,45
	13	9	16360	0,82	0,51	1,11	0,41
	14	13	24520	1,19	0,48	1,23	0,40
Referencia	REF	13	133700	1,02	0,58	1,48	0,35
Sector Control	EC1	12	80000	0,97	0,33	0,82	0,68
	EC2	11	225800	0,81	0,19	0,46	0,83
	EC3	13	109600	1,03	0,30	0,76	0,70
Promedio Transecta Este		**12**	**21065**	**1,14**	**0,65**	**1,62**	**0,34**
Desviacion Estándar		2,87	9753,54	0,26	0,06	0,25	0,09
Coeficiente de variación (%)		23,4%	46,3%	23,0%	8,6%	15,2%	26,6%
Promedio Transecta SurOeste		**11**	**62925**	**0,93**	**0,48**	**1,14**	**0,51**
Desviacion Estándar		1,58	67181,17	0,12	0,19	0,44	0,21
Coeficiente de variación (%)		14,4%	106,8%	13,2%	39,6%	38,5%	40,8%
Promedio Transecta NorOeste		**10**	**18128**	**0,88**	**0,49**	**1,10**	**0,42**
Desviacion Estándar		2,19	3937,15	0,20	0,05	0,15	0,04
Coeficiente de variación (%)		22,8%	21,7%	23,3%	9,4%	14,0%	8,4%
Promedio Sector Control		**12**	**138467**	**0,94**	**0,27**	**0,68**	**0,74**
Desviacion Estándar		1,00	77067,33	0,12	0,07	0,19	0,08
Coeficiente de variación (%)		8,3%	55,7%	12,3%	26,1%	28,0%	10,8%

Los análisis multivariados de ordenación y clasificación muestran una situación similar (**Figura 65** y **Figura 66**). En ambos análisis se observa una segregación de las estaciones 1, 2, 3 y 4, integrantes de la transecta Este. Este efecto se debe mayoritariamente al echo que en este punto se registró una menor concentración de *Th. Cf. aestivalis*, especie dominante en toda el área de estudio. Paralelamente en esta transecta se registraron especies como *Bacillaria paxillifer*, *Bacteriastrum sp.*, *Licmophora sp* y *Navicula spp.*, los cuales figuran en el resto de las unidades de muestreo con una escaza y nula frecuencia de registro.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 25. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo a nivel profundo (15m).

Unidad	Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	D
Transecta Este	1	13	14600	1,25	0,70	1,80	0,28
	2	15	17080	1,44	0,72	1,94	0,23
	3	11	11840	1,07	0,63	1,51	0,33
	4	7	9760	0,65	0,71	1,39	0,31
Transecta SurOeste	5	13	74100	1,07	0,40	1,02	0,59
	6	8	17000	0,72	0,67	1,40	0,36
	7	12	22132	1,10	0,50	1,25	0,47
	8	9	20880	0,80	0,48	1,05	0,52
	9	7	17560	0,61	0,48	0,94	0,50
Transecta NorOeste	10	7	12960	0,63	0,42	0,82	0,58
	11	5	11960	0,43	0,45	0,72	0,59
	12	6	8840	0,55	0,50	0,89	0,51
	13	4	8920	0,33	0,62	0,85	0,49
	14	9	12480	0,85	0,47	1,04	0,48
Referencia	REF	9	72900	0,71	0,66	1,44	0,31
Sector Control	EC1	10	42400	0,84	0,32	0,74	0,71
	EC2	10	59000	0,82	0,37	0,85	0,64
	EC3	9	45800	0,75	0,50	1,10	0,53
Promedio Transecta Este		**12**	**13320**	**1,10**	**0,69**	**1,66**	**0,29**
Desviacion Estándar		3,42	3195,83	0,34	0,04	0,26	0,04
Coeficiente de variación (%)		29,7%	24,0%	30,4%	5,9%	15,5%	15,4%
Promedio Transecta SurOeste		**10**	**30334**	**0,86**	**0,51**	**1,13**	**0,49**
Desviacion Estándar		2,59	24561,58	0,21	0,10	0,19	0,09
Coeficiente de variación (%)		26,4%	81,0%	25,0%	19,9%	16,4%	17,6%
Promedio Transecta NorOeste		**6**	**11032**	**0,56**	**0,49**	**0,87**	**0,53**
Desviacion Estándar		1,92	1996,28	0,20	0,08	0,12	0,05
Coeficiente de variación (%)		31,0%	18,1%	35,8%	15,3%	13,5%	10,0%
Promedio Sector Control		**10**	**49067**	**0,80**	**0,40**	**0,90**	**0,62**
Desviacion Estándar		0,58	8768,88	0,05	0,09	0,18	0,09
Coeficiente de variación (%)		6,0%	17,9%	6,4%	23,3%	20,5%	14,8%

Los análisis multivariados de ordenación y clasificación muestran una situación similar (**Figura 65** y **Figura 66**). En ambos análisis se observa una segregación de las estaciones 1, 2, 3 y 4, integrantes de la transecta Este. Este efecto se debe mayoritariamente al hecho que en este punto se registró una menor concentración de *Th. Cf. aestivalis*, especie dominante en toda el área de estudio. Paralelamente en esta transecta se registraron especies como *Bacillaria paxillifer*, *Bacteriastrum sp.*, *Licmophora sp.*y*Navicula spp.*, los cuales figuran en el resto de las unidades de muestreo con una escaza y nula frecuencia de registro.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

A nivel superficial el modelo segrega 3 agrupaciones de mayor afinidad, las cuales se congregan con una similitud cercana al 70%. La primera de ellas integrada por las estaciones del sector control (EC1, EC2 y EC3), las cuales a su vez se agregan con la estación 5 (transecta SurOeste) con un nivel de similitud del 75%. Este conglomerado se une a las unidades muestrales REF, 6, 7 y 8 (transecta SurOeste), con una semejanza del 67%, el cual a su vez muestra una afinidad interna del orden del 72% entre las unidades de muestreo que lo integran. Se observa un segundo grupo de afinidad integrado por una unidad perteneciente a la Transecta SurOeste (Estación 9) y unidades correspondientes a la transecta NorOeste (Estaciones 10, 11, 12, 13 y 14) las cuales muestran una similaridad del 70%. A este grupo se asocian las estaciones 1 y 2, integrantes de la Transecta este, con un porcentaje cercano al 62%. El tercer conglomerado se constituye por las estaciones 3 y 4 circunscritas en el sector Piloto, transecta este. Este grupo se asocian al resto con un nivel de similitud del 50%.

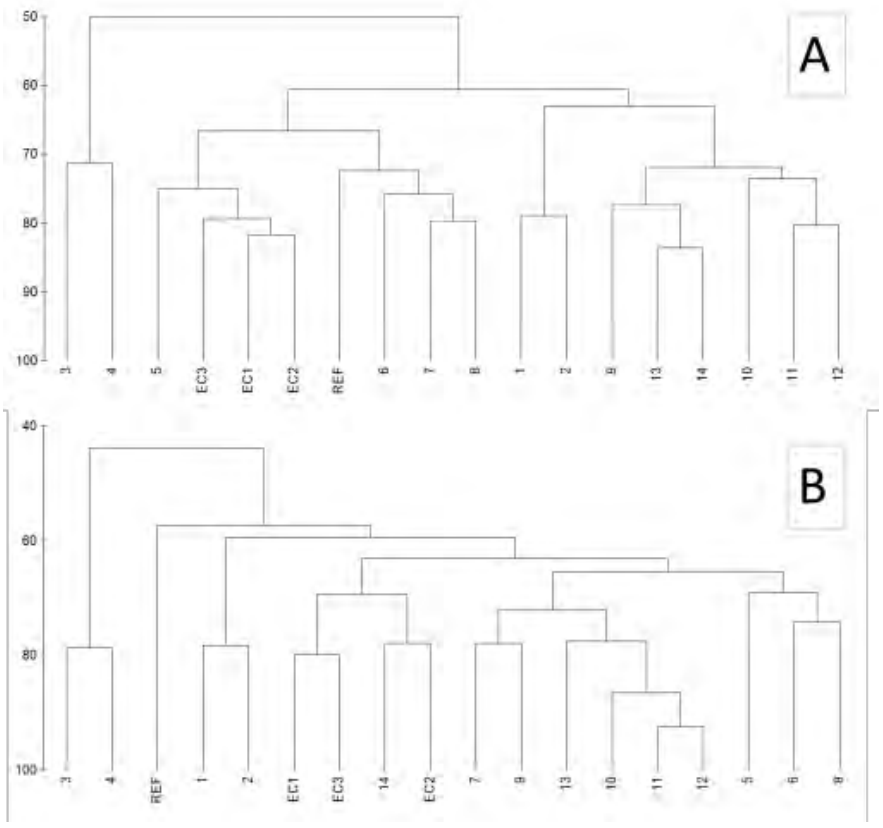


Figura 65. Dendrograma de Agregación respecto a las estaciones de monitoreo, en función al índice de Bray-Curtis y a la concentración celular por especie como atributo. Dónde: A: Estrato superficial, B: Estrato profundo.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

El nivel profundo presenta una situación similar a la anterior, con una mayor similitud entre las unidades correspondientes a las transectas NorOeste y SurOeste. Se observa un primer conglomerado de afinidad, integrado por las estaciones 7 y 9 (Transecta SurOeste) junto a las estaciones 10, 11, 12 y 13 (Transecta NorOeste) agregadas con un porcentaje de similaridad cercano al 73%. A este conglomerado se les unen las unidades de muestreo 5, 6 y 8 (Transecta SurOeste) con un nivel de similitud del 65%. Se distingue un segundo conglomerado integrado por las estaciones del sector control (EC1, EC2 y EC3), las cuales a su vez se agregan con la estación 14 (transecta NorOeste) con un nivel de similitud del 70%. Ambos grupos se unen en un conglomerado mayor, el cual a su vez se le integran las estaciones 1 y 2 (Transecta Este) y posteriormente la estación de referencia, con un porcentaje de similitud cercano al 60%. El tercer conglomerado se constituye por las estaciones 3 y 4 circunscritas en el sector Piloto, transecta este. Este grupo se asocian al resto con un nivel de similitud del 40%.

Descontando la situación de las unidades 3 y 4 las que presentan una mayor disimilitud respecto del resto de estaciones de monitoreo, cabe destacar que diferencias registradas son de pequeña magnitud, razón por la cual las estaciones de monitoreo presentan un porcentajes de similitud cercano al 60%, tanto a nivel superficial como en el estrato profundo.

El criterio de agrupación de cada unidad de muestral corresponde al tipo de especies registradas en cada sector y su abundancia asociada. La estructura variable entre las unidades de muestreo marítimas dice relación con la variación de la abundancia de *Th. Cf. aestivalis*. El análisis no arroja diferencias evidentes entre las estaciones cercanas al centro de cultivo piloto, respecto del resto de unidades de monitoreo (Referencia y Control).

El análisis de ordenación N-MDS presenta una situación similar a la ya expuesta. El nivel de stress asociado al análisis N-MDS es de 0.15, lo que da cuenta de un moderado ajuste del modelo a la data lograda.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

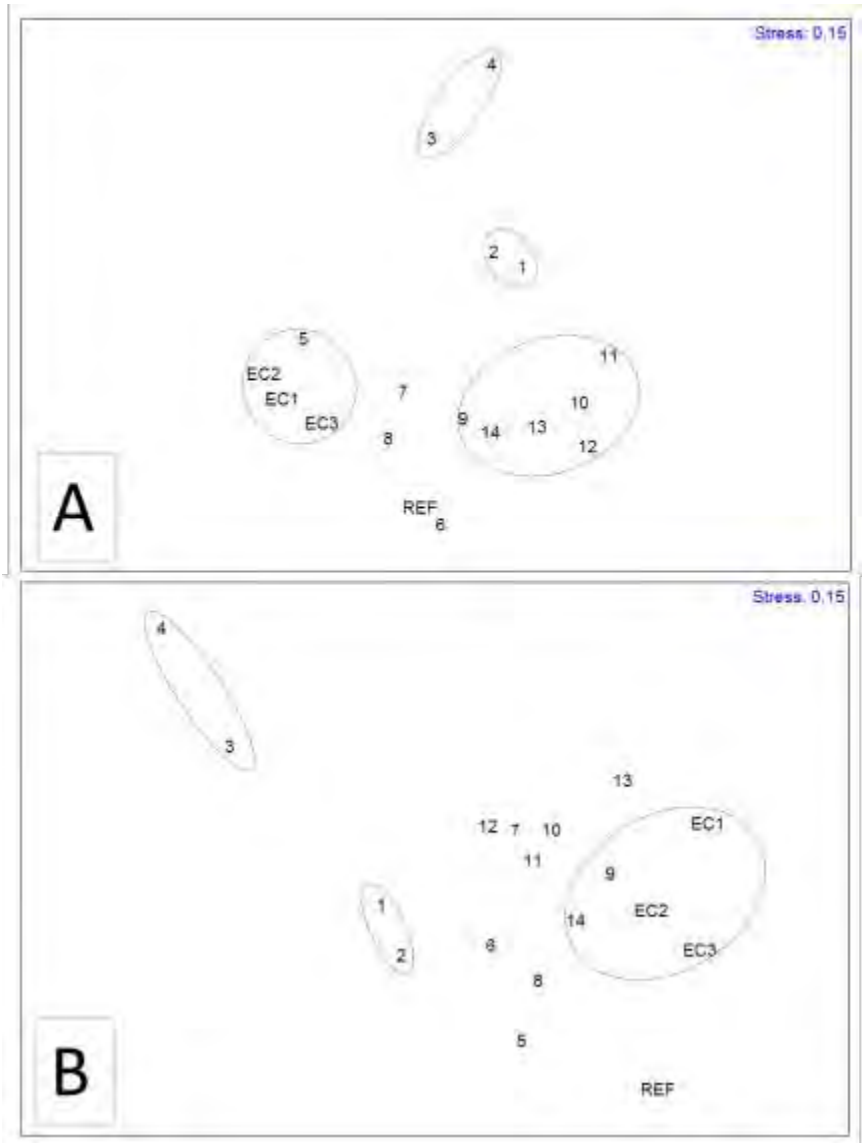


Figura 66. N-MDS de las estaciones de monitoreo, en función al índice de Bray-Curtis y a la concentración celular por especie como atributo. Dónde: A: Estrato superficial, B: Estrato profundo.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Análisis de similitud

Las conclusiones derivadas del análisis de ordenación fueron validadas con la prueba ANOSIM, cuyos resultados son entregados en la**Tabla 26.** La prueba no indicó la presencia de grupos.

Tabla 26. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre las distancias al centro piloto Norte.

Prueba Global	Superficie	Fondo
Valor del estadístico R	0,095	0,138
Nivel de significancia estadística obtenido (%)	21,7	12,1
Nivel de significancia estadística de rechazo (%)	5	5
Número de permutaciones realizadas (R')	999	999
Frecuencia de R'>R	216	120

La **Figura 66**, como se indicó anteriormente, no muestra una clara separación de las estaciones Control y Referencias respecto del resto que corresponden a los ejes Este, Noreste y Suroeste a distancias entre 40 y 600 metros, esto fue respaldado por la prueba ANOSIM no arrojando diferencias significativas (R:0,138; p:12,1).

Al examinar las comparaciones parciales entre pares se ratifica lo entregado por la prueba global, donde las estaciones más alejadas del centro piloto (Control y Referencia: Distancia 4), no son estadísticamente diferentes a las estaciones ubicadas entre las distancias 1 y 3 (50 y 600 metros) (**Tabla 27**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 27. Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia y D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros de distancia del centro piloto. Fondo

Grupos por distancia de las estaciones de muestreo al centro piloto		R	P(%)
D1	D2	-0,271	92,9
D1	D3	-0,313	89,3
D2	D3	0,009	43,1
D3	D5	0,216	17,9
D4	D5	1	25
D4	D1	1	33,3
D4	D2	0,489	14,3
D4	D3	0,244	28,6

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Composición y estructura microalgal. Sector sur Archipiélago de Chiloé.

El fitoplancton presente en los sectores analizados, piloto y control, se caracterizó por una fuerte predominancia de las diatomeas sobre los demás grupos que lo conforman.

Durante el análisis de las muestras de red se identificaron 67 especies y variedades microalgales, correspondientes a 51 diatomeas, 14 dinoflagelados y 2 silicoflagelados (**Tabla 28**). Entre los taxa identificados se registran especies de origen marino, estuarino, continental y especies ticoplanctónicas, destacando los taxa de aguas marinas durante el período estudio, tanto por su mayor frecuencia de registro, su abundancia, así como por el número de especies que componen este grupo. Entre las especies características de sistemas estuarino se registran los taxa *Synedra ulna*, *Thalassionema nitzschioides* y *Licmophora sp.*; Entre las especies características de sistemas Limnéticos distingue la diatomea *Pleurosigma sp*. En la componente ticopelagica se registra la presencia de *Paralia sulcata* y *Actinoptychus senarius*.

Las especies más comunes, que se distinguieron por su mayor frecuencia en la muestras de red, fueron las diatomeas *Thalassiosira rotula*, *Thalassiosira cf. aestivalis Pseudo-nitzschia cf. australis*, *Chaetoceros radicans* y *Ditylum brightwellii*. El índice de abundancia relativa para las especies antes mencionadas, bajo el criterio de Avaria (1975), se ubica bajo la categoría de Muy Abundante (MA), para el primer taxa, presentando una fluctuación entre Muy Abundante y Raro (R), para el resto de las especies mencionadas (**Tabla 28**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 28. Abundancia cualitativa del fitoplancton. Donde MA: Muy abundante: A: Abundante: E: Escasa y R: Rara.

TAXA	Transecta SurOeste					Transecta NorOeste					Transecta SurEste					Referencia	Control		
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**REF**	**EC1**	**EC2**	**EC3**
Bacillariophyceae																			
Achnanthessp.											R								
Actinoptychus senarius	R	R	R			R	R	R	E	A	A	A	A	A	A				
Amphora sp.				R	R					R						R			
Asterionellopsis glacialis	E	R		R	R											R	E	E	E
Bacillaria paxillifer											R								
Bacteriastrum sp.	R	R	R																
Cerataulina pelagica	R	R		R	R		R	R	E	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Chaetoceros compressus	A	E	E	R	R		E		R	E	E	E	R	R	R	E	A	A	A
Chaetoceros convolutus			R	R	R	A	A												
Chaetoceros curvisetus	E	R	R	R	R		R		R	R	R	R	R	R	R		R	R	R
Chaetoceros debilis	E	E	E	R	R				R	R					R		E	E	E
Chaetoceros diadema	R	R	R			R	R				R	R	R						
Chaetoceros didymus				R	R				R	R					R		R	R	R
Chaetoceros laciniosus															R		R	R	R
Chaetoceros lorenzianus	A	A	E	E	E	E	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Chaetoceros radicans	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	A	**MA**	**MA**	A	A	A	A	A	**MA**	**MA**	**MA**	R	R	R
Chaetoceros socialis			R	R	R														
Corethron criophilum	R	R		R	R										R	R	R	R	
Coscinodiscus centralis	E	R		R	R	R		R	R	R			R	R					
Coscinodiscus granii			R	R		R		R	R	R	R								
Coscinodiscus janischii	R	R				R	R		R	R	R		R	R	R	R	R		R
Detonula pumila	R	R		R	R				R	R	R		E	R	R	R		R	R
Ditylum brightwellii	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	E	E	E
Entomoneis sp.														R	R	R	R	R	R
Eucampia zodiacus																	R	E	R
Eucampia zodiacus f. recta	A	A	A	A	A		R	E	A	A	R	R	E	E	A	R			
Guinardia delicatula	R	R					R												
Guinardia striata				R	R				R	R				R	R	R	R	R	
Leptocilindrus danicus																R	R	R	R
Licmophora sp.	R	R						R	E	A	R		R	R	R	R			
Navicula cf. distans	R	R	R	R	R			R	R	R					R			R	
Navicula sp. 1			R	R	R	R		E	A	A			R	R	R	R	R		R
Navicula sp. 2			R							R									
Nitzschia longissima	R									R									
Odontella aurita			R	R	R	R								R	R	R	R	R	R
Odontella longicruris									R	R	R						R	R	R
Paralia sulcata				R	R			R	R	E	R						R		R
Pleurosigma sp.			R	R	R			R	R	R	R		R	R	E			R	R
Pseudo Nitzschia cf. australis	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	R	A	A	**MA**	**MA**	A	A	**MA**	**MA**	**MA**	A	**MA**	**MA**	**MA**
Pseudo Nitzschia spp.					R										R				
Rhizosolenia imbricata var. minuta	R	R	R	R	R		R		R	E	R	R	R	E	E	E	E	E	E
Rhizosolenia setigera					R				R	R	R					E			
Skeletonema costatum	E	R			R			R	R	R	R								
Stephanopyxis turris	E	R	R	R	R		R	R	R	R	E	R	R	R	R	R	R	R	R
Synedra ulna										R	R								
Thalassionema frauenfeldii										R						R	R		
Thalassionema nitzschioides	R	R	R	R	R		R	R	R	E	R	R	E	R	R		R	R	R
Thalassiosira anguste-lineata	E	E	E	A	A		A	A	E	E	A	A	E	E	A	MA			
Thalassiosira cf. aestivalis	A	A	E	R	R				R	R	E	E	R	R	R	E	**MA**	**MA**	**MA**
Thalassiosira cf. minuscula		R													R				
Thalassiosira rotula	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**		**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**	**MA**
Silicoflagelados																			
Dictyocha speculum			R	E	E			R					R			R			
Dictyocha speculum var. septenarius	R								R	R					R				

*Continuación Tabla 27.

Dinoflagelado																			
Ceratium azoricum		R	R									R		R	R	R			
Ceratium furca				R	E						E	R	R	R		E	R	R	R
Ceratium fusus	R	R									E					E			R
Dinophysis acuminata															R				
Diplopsalis lenticula	R	R		R	R			R	R	R	A	R	R	R	R	A	R	R	R
Protoperidinium conicum	R	R			R														
Protoperidinium crassipies																R			
Protoperidinium excentricum		R	R	R				R	R	R	R	R	R	R	R	E			
Protoperidinium obtusum	E	R	R	R	R							E	E	R	R	E			
Protoperidinium oceanicum			R	R	R							R	R	R	R	R	R		
Protoperidinium pellucidum			R								R	E	R	A	A		R	R	R
Protoperidinium steinii					R							R	R						
Pyrocystis lunula																R		R	
Scrippsiella trochoidea												R	R	R	R	R			
Riqueza Específica (S)	33	34	31	36	39	12	18	22	33	38	33	25	31	32	39	36	31	30	30

En la **Tabla 29**, se indican los valores promedios de abundancia celular, correspondiente a la concentración microalgal superficial y de 15 metros de profundidad. La **Figura 67** y **Figura 68**, grafican y geo-referencian la distribución espacial de la abundancia registrada en el estrato superficial de los sectores piloto y control, respectivamente. Mencionada figura muestra el atributo abundancia de forma proporcional, mediante gráficos de torta, de acuerdo a los aportes de cada grupo taxonómico (Clases) respecto del total por estación o unidad de muestreo. De esta manera, se presenta un gradiente de tamaño de cada uno de los gráficos de acuerdo a la mayor o menor abundancia total registrada. La **Figura 69** y **Figura 70**, grafican y geo-referencian la distribución espacial de la abundancia registrada en el estrato profundo de los sectores piloto y control, respectivamente.

El análisis cuantitativo de las muestras de agua arrojo un total de 40 especies y variedades microalgales, correspondientes a 30 diatomeas, 9 dinoflagelados y 1 silicoflagelado. A nivel superficial se registran 40 taxa, correspondientes a 30 diatomeas y 9 dinoflagelados y 1 silicoflagelado. El estrato profundo registra un total de 38 especies, integradas por 29 diatomeas y 9 dinoflagelados. Entre las especies que solo fueron registradas a nivel superficial se encuentran *Skeletonema costatum* y *Dictyocha speculum* (**Tabla 29**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 29. Abundancia celular (cél /L) por taxa, en el estrato superficial y profundo; Abundancia total y riqueza específica en cada unidad de monitoreo.

TAXA	Transecta SurOeste										Transecta NorOeste										Transecta SurEste										Control						Referencia	
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		EC1		EC2		EC3		REF	
Profundidad (m)	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15
Bacillariophyceae																																						
Actinoptychus senarius	440	800	640	1.000	320	440					600	1.400	400	1.080	480	200	600	1.480	400	960	1.200	1.480	1.800	2.040	880	1.160	2.000	1.760	840	1.320								
Asterionellopsis glacialis	160		280				480	200	200																				1.600	280	2.200		700	360	1.000	880
Cerataulina pelagica	160	480	280				840	680	160	400			300		360	200	500		840	400	200	280	280		480	200	400	160	240		600	280	1.100	120	1.800	160	600	120
Chaetoceros compressus	3.040	1.400	1.320	960	1.000	480	480		440	560			1.500	1.640			1.800	1.400	1.080	400	2.160	1.000	1.880	640	880	320	640		1.080	440	2.800	880	3.300	1.600	3.700	2.120	1.600	1.160
Chaetoceros convolutus					640	1.000	320		440	600	5.100	3.160	4.500	4.520																								
Chaetoceros curvisetus			360		200		600		280				1.100				1.500		800		480	320	720	600	280		520	800	800		1.500	280	1.000	480	800			
Chaetoceros debilis	1.400	720	1.640		880		760	400	240								1.200		640	200									480		2.900	440	2.100		3.500	600		
Chaetoceros lorenzianus	3.640	1.480	5.320	2.080	5.640	880	3.280	1.200	2.520	680	3.100		5.700	640	2.400	800	7.800	320	4.080	680	3.520	640	2.880		4.200	360	3.680	800	4.880	440	6.500	960	4.400	640	5.700	1.200	4.800	400
Chaetoceros radicans	28.440	16.640	20.480	12.720	8.360	3.480	13.280	4.200	7.000	4.800	4.100	1.120	15.800	4.080	8.200	2.360	8.300	3.960	9.480	2.920	10.200	4.800	8.320	6.280	8.560	5.200	12.040	5.880	12.320	6.640	3.200	2.280	2.800	2.880	1.700	1.520	34.100	16.200
Chaetoceros socialis							1.440		1.120	1.400																												
Coscinodiscus centralis	40		80				120	40	80		100				80		200		120						40		40											
Coscinodiscus granii							40				200				120	40	200		160	40	40																	
Coscinodiscus janischii											100		200				100		40		80				40		80	40	40	40	100	40			100	40	100	40
Detonula pumila			600	320					400								700		480	320	280				600	480	320		200				600	400	200		400	640
Ditylum brightwelli	1.640	80	1.320	200	2.360	40	840		1.760	40	3.200		3.000		2.320	80	4.500	40	1.240	40	800		1.240		1.000	80	880		1.080	40	1.700	120	800	40	1.000	80	3.200	40
Eucampia zodiacus f. recta	2.800	480	4.840	1.000	3.320	320	4.200	1.080	4.880	640			800		640	240	2.800	280	1.200		720		320		1.400	560	640		1.120	360							900	160
Licmophora sp.			120	600											40	440	600	1.080	320	80	80				120	280	40		160	200							400	240
Navicula cf. distans					80	160	40		120	80					40	80	200		120	40									80	40			200					
Navicula sp. 1							40	40	40	80	200				200	80	700		200	40					40	120	120		40	80		40				40	100	
Navicula sp. 2																			80	120																		
Paralia sulcata							200		160						120		500		280		200										400	80			300	80		
Pleurosigma sp.					80				80	40					80		100		40		40				80		40		320				200	40	100	40		
Pseudo Nitzschia cf. australis	5.080	3.480	3.680	2.800	5.560	2.480	3.040	2.600	3.400	3.080	1.000	480	4.900	1.200	3.960	640	13.300	3.240	5.640	1.680	3.120	920	2.000	680	4.240	1.280	5.160	2.280	4.400	1.120	10.700	920	12.500	1.480	11.300	2.000	6.400	1.160
Rhizosolenia imbricata var. minuta			320						240				200				300		320		80		120		40		320		280		400	40	500		300	40	200	80
Skeletonema costatum	480		280						200						720		1.500		960		840																	
Stephanopyxis turris	280						120		200				500		280		1.300	400	1.200	600	1.000		400	120	640	360	120		800		500	160	800	480	300		1.200	200
Thalassionema nitzschioides			160	200			240		280				600		720	160	700		400		320		200	280	680	240	240		200		500		700	160	500			
Thalassiosira anguste-lineata	1.080	720	1.400	840	760	1.280	4.800	600	3.520	1.600			6.100	840	4.800	1.720	3.200	1.880	2.240	360	1.200	480	1.520	320	2.080	1.080	1.720	440	3.000	760							4.100	920
Thalassiosira cf. aestivalis	2.040	1.200	1.280	440	1.880	880	640	200	360	480							1.200	200	800	480	840		600		1.200	280	200	160	320		18.600	1.800	23.700	4.800	16.300	2.320	8.000	2.480
Thalassiosira rotula	16.440	4.160	12.480	3.040	3.760	2.200	10.080	2.360	12.680	2.920			17.300	4.400	10.320	6.280	21.900	5.200	14.160	6.880	8.360	4.960	9.840	3.560	7.560	2.880	7.000	1.400	6.720	2.720	12.300	8.400	7.800	4.200	14.200	7.040	13.900	4.960
Silicoflagelados																																						
Dictyocha speculum							40								80										40												200	
Dinoflagelado																																						
Ceratium azoricum					80	40																	80	40			40		40	40							200	80
Ceratium furca							40	80	120	80											200	80	40		40	40	40				200	160	100	80		40	400	40
Ceratium fusus			80																		120															120	300	80
Diplopsalis lenticula	40	120	40	160			80	200	40	80					120	280	200	200	40	40	240	120	80		40	40	120		40	40	100	120		80	200	160	500	280
Protoperidinium excentricum			80	120	120	80	40	40							40	80	200	120	80	40	40	40	80	80	120	80	40		80	40							300	160
Protoperidinium obtusum	120	160					80	120	40														160	40	120	80		40		40						200	40
Protoperidinium oceanicum									80														40			40	40		40		100						100	
Protoperidinium pellucidum					40	160															40		120	160		80	280	440	240	200	200		400		100			
Scrippsiella trochoidea																							200	120	40	40	240	40	40	80							400	
Abundancia (cél /L)	67.320	31.920	57.080	26.480	35.080	13.920	46.160	14.040	41.080	17.560	17.700	6.160	62.900	18.400	36.120	13.680	76.100	19.800	47.440	16.320	36.400	15.120	32.920	14.960	35.440	15.280	37.000	14.240	39.880	14.640	64.900	17.280	65.200	17.480	62.800	17.960	83.600	30.360
Riqueza (S)	18	14	23	15	18	15	27	16	29	17	10	4	16	8	22	16	28	14	29	20	27	12	23	14	27	23	28	13	28	19	20	18	19	15	20	18	26	22

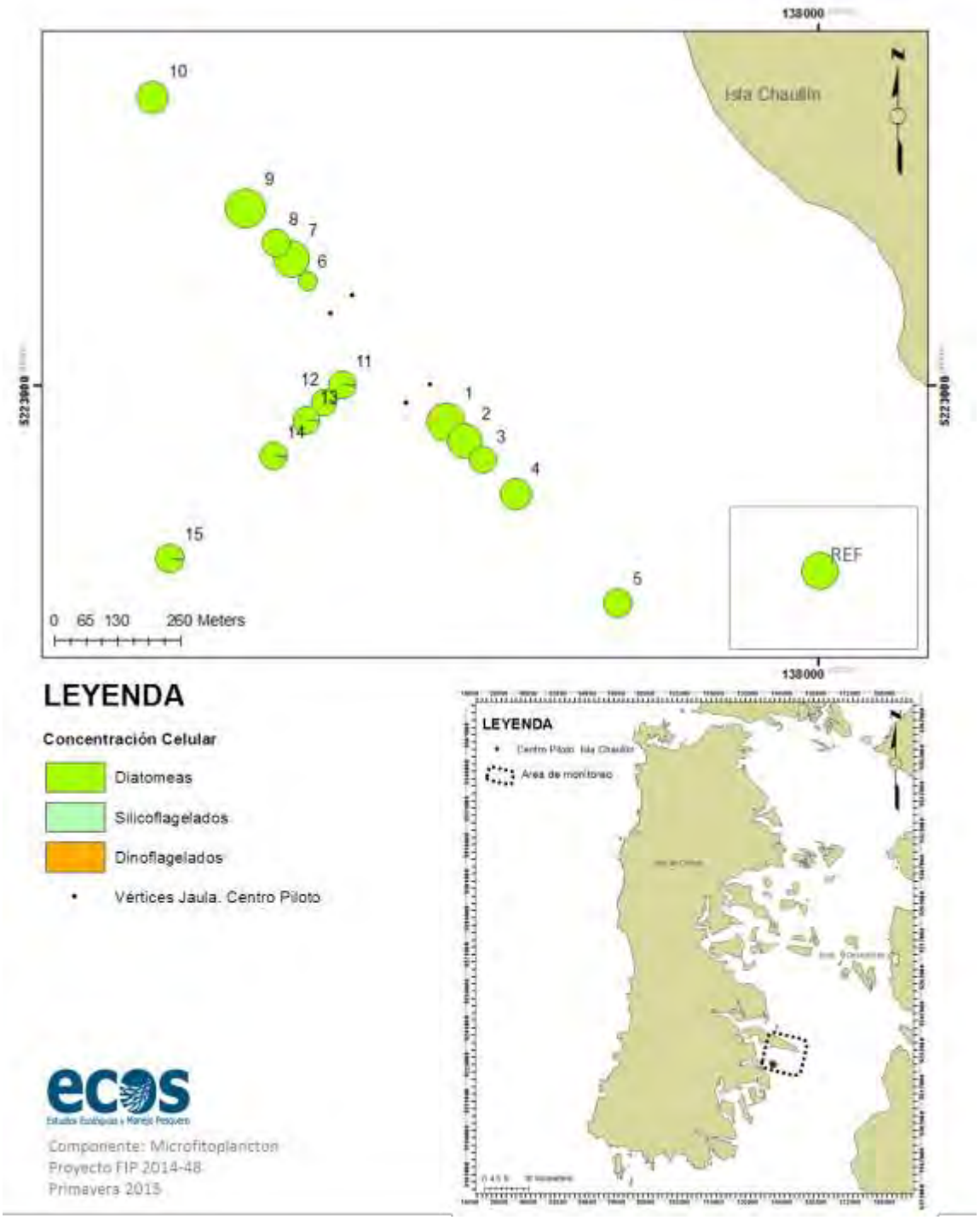


Figura 67. Concentración celular total por Grupos taxonómico, en superficie, por unidad de muestreo. Centro Piloto. Sector sur archipiélago de Chiloé.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

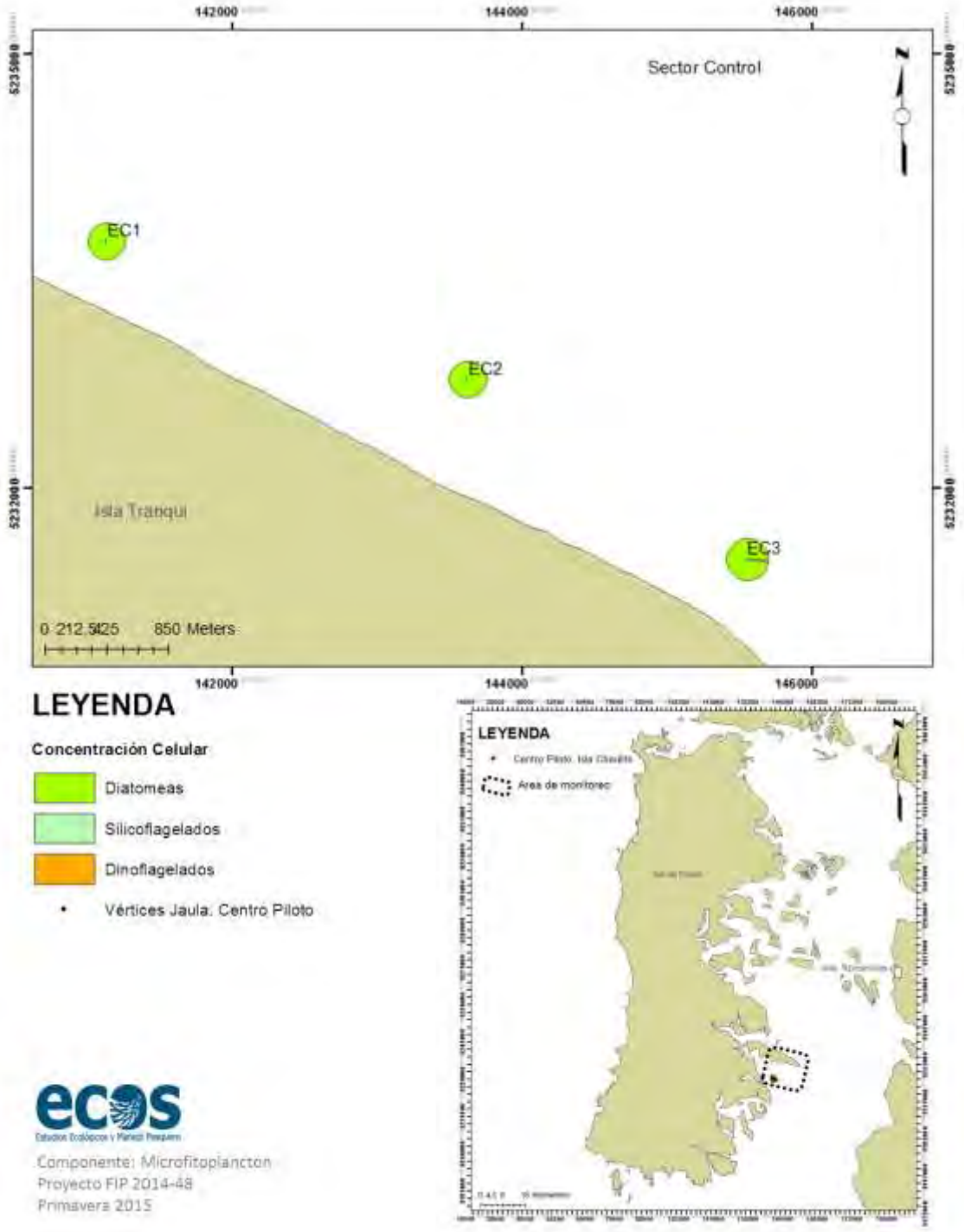


Figura 68. Concentración celular total, en superficie, de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Controlsur archipiélago de Chiloé.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

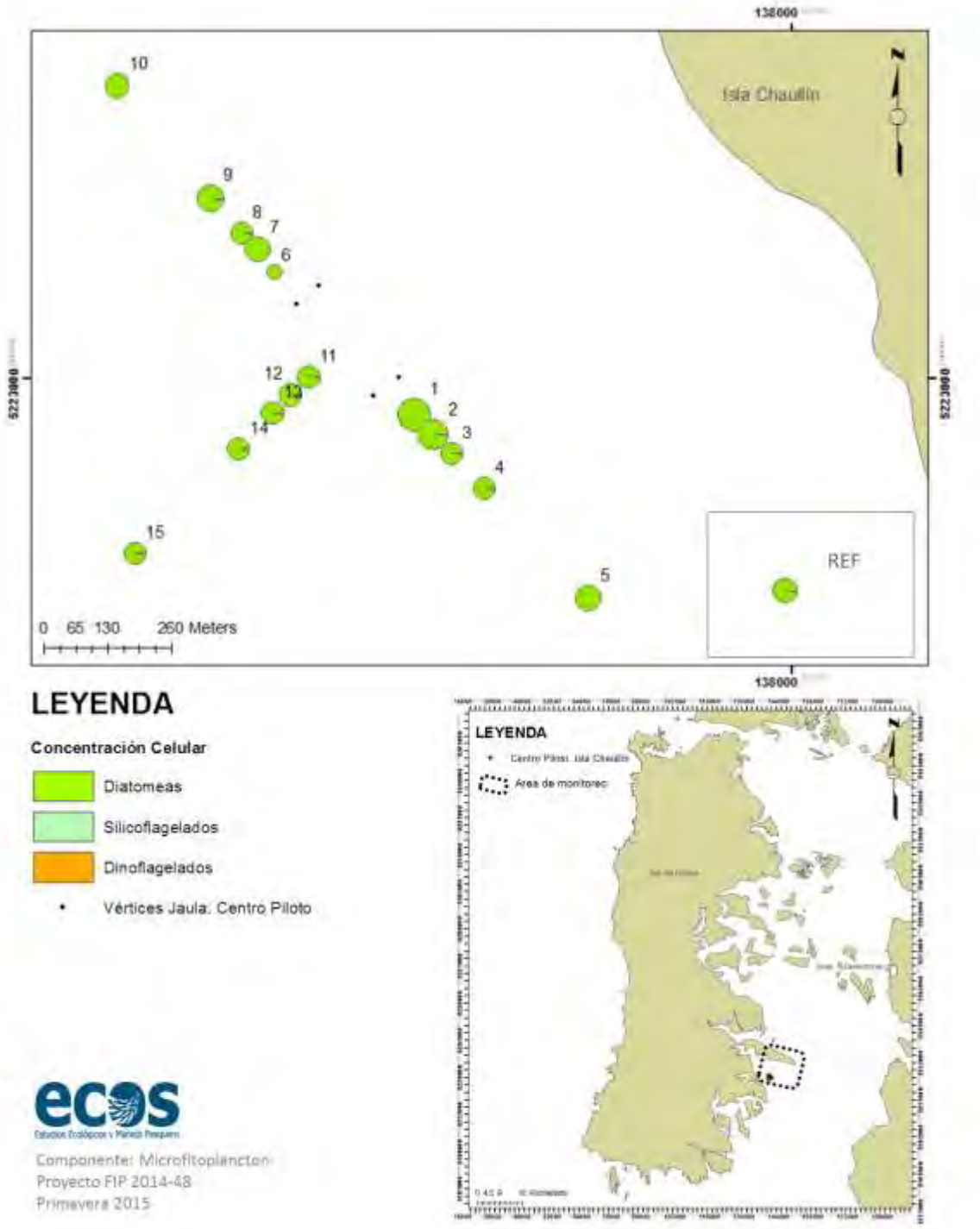


Figura 69. Concentración celular total por grupos taxonómicos, en estrato profundo (15 m), por unidad de muestreo. Centro Piloto. Sector sur archipiélago de Chiloé.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

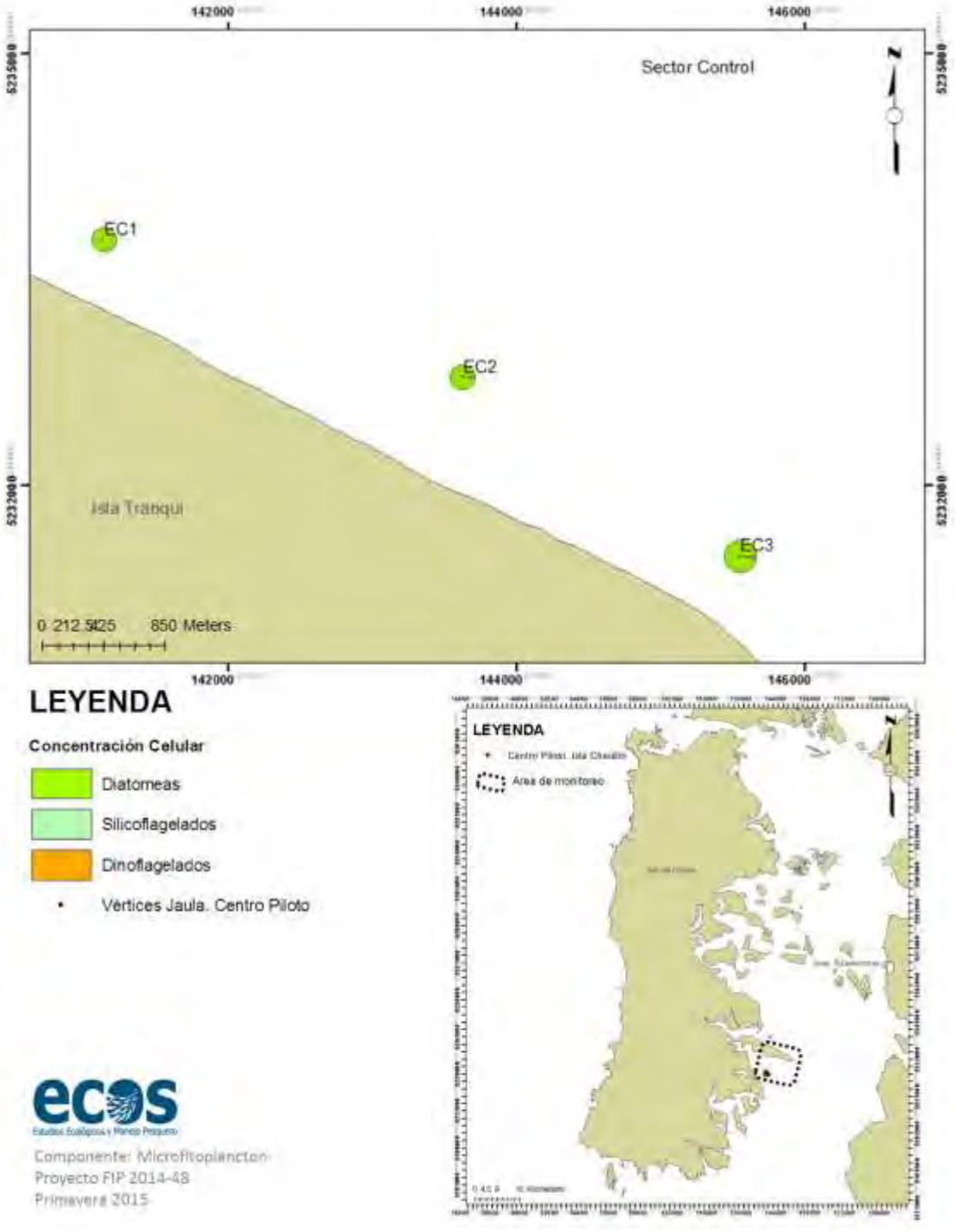


Figura 70. Concentración celular total, en estrato profundo (15 m), de Grupos taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Control, sur archipiélago de Chiloé.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

El taxa de mayor importancia cuantitativa, debido a su alta concentración en las muestras de agua fue la diatomea *Chaetoceros radicans* con valores puntuales máximos de 34.100 cél L-1 y 28.440 cél L-1, en la porción superficial de las estaciones 1 y REF, respectivamente. En segundo lugar se registran las especies *Thalassiosira rotula* y *Thalassiosira cf. aestivalis*, con valores superficiales máximos de 23.700 cél L-1 y 21.900 cél L-1 en las estaciones 9 y EC2, respectivamente. En menor importancia, respecto de los aportes puntuales a la abundancia total, se registran las especies *Pseudo-nitzschia cf. australis*, *Thalassiosira anguste-lineata* y *Chaetoceros lorenzianus*, con valores máximos que fluctúan entre 6.000 y 13.500 cél L-1, presentando estas una menor frecuencia de aparición en el sector estudiado. El resto de las especies registra valores inferiores a 5.000 cél L-1 (**Tabla 29**).

Respecto de la distribución espacial de la concentración celular se observan ciertas diferencias entre las estaciones analizadas, a pesar de su proximidad. Diferencias que son más evidentes a nivel superficial. Adicionalmente se observa una variación vertical, con una mayor densidad celular en el estrato superficial de la columna de agua. El estrato superficial presenta una variación de la concentración entre 17.700 cél L-1 y 83.600 cél L-1, con un valor medio de 50.501+17.290 cél L-1 para la totalidad de unidades muestrales consideradas. El estrato profundo presenta una variación de la concentración entre 6.160 cél L-1 y 31.920 cél L-1, con un valor medio de 17.644+5.917 cél L-1 para la totalidad de unidades muestrales consideradas.

Las estaciones planctónicas 9 (Transecta NorOeste) y REF (Estación de Referencia), registran la mayor concentración fitoplanctónica del área prospectada.

En la **Figura 71** se presenta un registro fotográfico de las especies fitoplantónicas más representativas de la comunidad.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

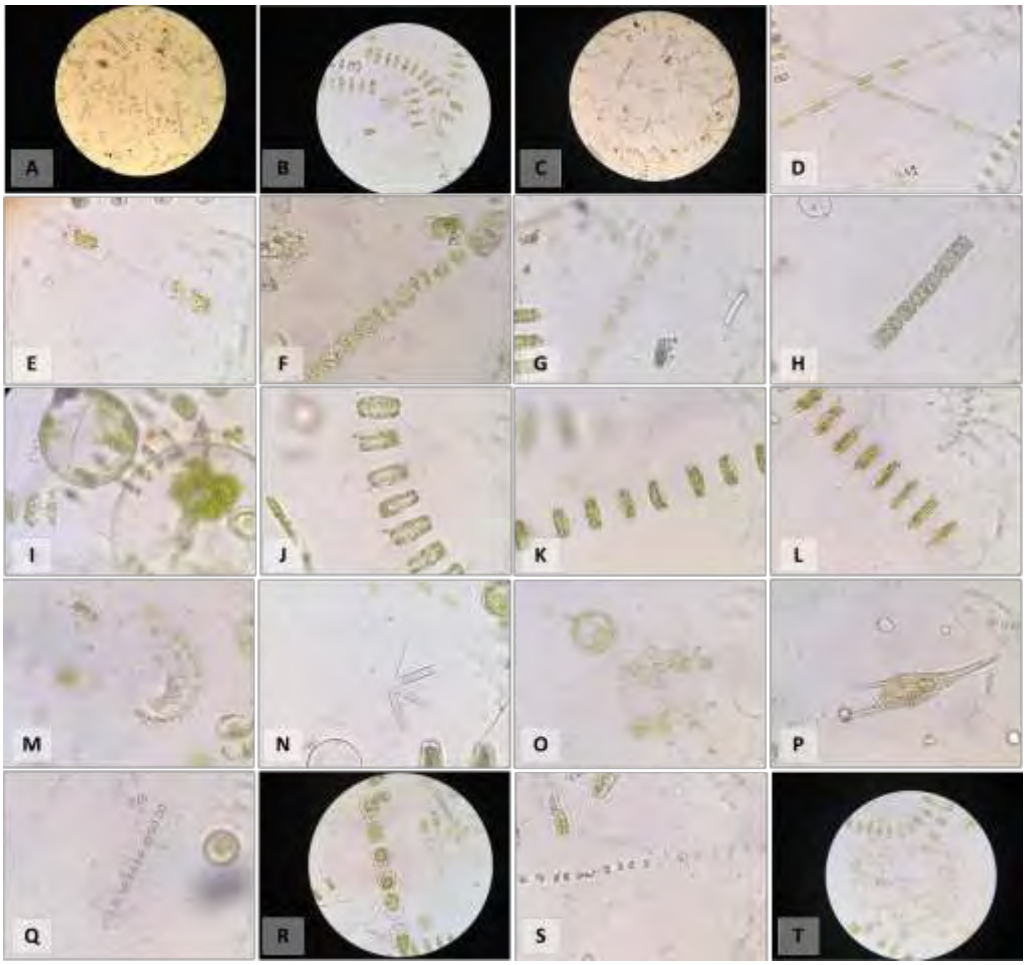


Figura 71. Registro gráfico de las especies más abundantes del área prospectada, donde: A,B,C: Muestra general, D: *P. cf. australis*, E: *D. brightwellii*, F: *D. pumila*, G: *E. zodiacus f. recta*, H: *P. sulcata*, I: *Coscinodiscus spp*, J: *Th. cf. aestivalis*, K: *Th. anguste-lineata*, L: *Th rotula,* M: *Ch. curvisetus*, N: *Th. Nitzschioides*, O: *O. longicruris*, P: *C. furca*, Q: *Ch. radicans*, R: *S. turris*, S: *S. costatum*, T: *Ch. socialiss*.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

La estructura comunitaria microfitoplanctónica, presenta una situación diferencial entre las diferentes unidades de muestreo establecidas. La riqueza específica muestra una fluctuación entre 10 y 29 taxa, a nivel superficial; y entre 4 y 23 taxa en el estrato profundo. En términos generales se observa una estructura con buenos a moderados índices de riqueza específica y altos a moderados niveles de uniformidad, lo que da cuenta de una distribución más bien equitativa en los aportes de abundancia de cada grupo taxonómico (especie) a la abundancia total microalgal.

La uniformidad muestra una condición bastante homogénea entre las diferentes unidades de muestreo, indicando una distribución equitativa respecto de los aportes de cada taxa a la abundancia total por estación y estrato de la columna de agua. Se estimó un valor medio de 0.68 en las estaciones que integran las transectas SurOeste, SurEste y Sector control; mientras que en la estación de referencia y transecta NorOeste se calculó un valor medio de 0.72. Para este indicador.

Referente a los niveles de diversidad, los mayores valores registrados corresponden a las unidades que integran la transecta SurEste (11, 12, 13, 14 y 15) y SurOeste (1, 2, 3, 4, y 5), circunscritas en el sector Piloto, presentando un valor medio de 2.24+0.08 y 1.99+0.21 a nivel superficial y fondo, respectivamente. El menor valor registrado corresponde a la estación 6 caracterizada por una diversidad de Shannon de 1.75 y 1.19, en superficie y fondo respectivamente, lo cual se encuentra modulado mayoritariamente por la menor riqueza especifica detectada en este punto. El índice de diversidad de Margalef, como era de esperar, coincide con la variación de la riqueza de especies, presentando los valores más altos en las estaciones 5 y 10 en superficie y estación 13 en el estrato profundo.

En las **Tabla 30** y **Tabla 31** se indican los principales índices ecológicos estimados para cada una de las áreas monitoreadas en superficie y fondo, respectivamente.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 30. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo a nivel superficial.

Unidad	Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	D
Transecta SurOeste	1	18	67320	1,53	0,63	1,82	0,25
	2	23	57080	2,01	0,66	2,06	0,20
	3	18	35080	1,62	0,77	2,22	0,14
	4	27	46160	2,42	0,67	2,22	0,16
	5	29	41080	2,64	0,67	2,26	0,16
Transecta NorOeste	6	10	17700	0,92	0,76	1,75	0,20
	7	16	62900	1,36	0,75	2,07	0,17
	8	22	36120	2,00	0,67	2,08	0,17
	9	28	76100	2,40	0,72	2,39	0,15
	10	29	47440	2,60	0,70	2,34	0,16
Transecta SurEste	11	27	36400	2,48	0,70	2,30	0,16
	12	23	32920	2,12	0,69	2,17	0,18
	13	27	35440	2,48	0,70	2,32	0,14
	14	28	37000	2,57	0,65	2,16	0,18
	15	28	39880	2,55	0,68	2,26	0,16
Referencia	REF	20	64900	1,72	0,72	2,14	0,16
Sector Control	EC1	19	65200	1,62	0,71	2,08	0,20
	EC2	20	62800	1,72	0,70	2,09	0,17
	EC3	26	83600	2,21	0,63	2,05	0,22
Promedio Transecta SurOeste		**23**	**49344**	**2,04**	**0,68**	**2,12**	**0,18**
Desviacion Estándar		5,05	12892,59	0,48	0,05	0,18	0,05
Coeficiente de variación (%)		22,0%	26,1%	23,7%	7,7%	8,7%	24,8%
Promedio Transecta NorOeste		**21**	**48052**	**1,86**	**0,72**	**2,13**	**0,17**
Desviacion Estándar		8,06	22754,91	0,71	0,04	0,26	0,02
Coeficiente de variación (%)		38,4%	47,4%	38,1%	5,0%	12,1%	13,2%
Promedio Transecta SurEste		**27**	**36328**	**2,44**	**0,68**	**2,24**	**0,16**
Desviacion Estándar		2,07	2523,71	0,18	0,02	0,08	0,01
Coeficiente de variación (%)		7,8%	6,9%	7,6%	3,3%	3,4%	9,1%
Promedio Sector Control		**22**	**70533**	**1,85**	**0,68**	**2,07**	**0,19**
Desviacion Estándar		3,79	11379,51	0,31	0,04	0,02	0,02
Coeficiente de variación (%)		17,5%	16,1%	16,9%	6,2%	1,0%	12,8%

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 31. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo a nivel profundo (15m).

Unidad	Estación	S	N	d	J'	H'(loge)	D
Transecta SurOeste	1	14	31920	1,25	0,64	1,70	0,31
	2	15	26480	1,38	0,68	1,85	0,27
	3	15	13920	1,47	0,81	2,18	0,14
	4	16	14040	1,57	0,74	2,07	0,17
	5	17	17560	1,64	0,76	2,16	0,15
Transecta NorOeste	6	4	6160	0,34	0,86	1,19	0,35
	7	8	18400	0,71	0,88	1,84	0,19
	8	16	13680	1,58	0,65	1,81	0,26
	9	14	19800	1,31	0,79	2,08	0,16
	10	20	16320	1,96	0,66	1,98	0,23
Transecta SurEste	11	12	15120	1,14	0,72	1,79	0,23
	12	14	14960	1,35	0,65	1,72	0,26
	13	23	15280	2,28	0,71	2,24	0,17
	14	13	14240	1,26	0,71	1,83	0,23
	15	19	14640	1,88	0,62	1,83	0,26
Referencia	REF	18	17280	1,74	0,64	1,84	0,27
Sector Control	EC1	15	17480	1,43	0,73	1,98	0,18
	EC2	18	17960	1,74	0,67	1,94	0,21
	EC3	22	30360	2,04	0,55	1,71	0,32
Promedio Transecta SurOeste		**15**	**20784**	**1,46**	**0,73**	**1,99**	**0,21**
Desviacion Estándar		1,14	8053,65	0,15	0,06	0,21	0,07
Coeficiente de variación (%)		7,4%	38,7%	10,5%	8,8%	10,4%	35,5%
Promedio Transecta NorOeste		**12**	**14872**	**1,18**	**0,77**	**1,78**	**0,24**
Desviacion Estándar		6,39	5388,61	0,65	0,11	0,35	0,08
Coeficiente de variación (%)		51,5%	36,2%	55,2%	14,1%	19,5%	31,8%
Promedio Transecta SurEste		**16**	**14848**	**1,58**	**0,68**	**1,88**	**0,23**
Desviacion Estándar		4,66	414,15	0,48	0,04	0,20	0,03
Coeficiente de variación (%)		28,8%	2,8%	30,5%	6,6%	10,8%	15,0%
Promedio Sector Control		**18**	**21933**	**1,73**	**0,65**	**1,88**	**0,24**
Desviacion Estándar		3,51	7301,65	0,30	0,09	0,15	0,08
Coeficiente de variación (%)		19,2%	33,3%	17,4%	14,1%	8,0%	32,0%

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Los análisis multivariados de ordenación y clasificación muestran una situación similar (**Figura 72** y **Figura 73**). En ambos análisis se observa una marcada segregación de la estación 6 ubicada en la posición NorOeste respecto de la concesión acuícola. Este efecto se debe mayoritariamente al hecho que en este punto se registró una menor riqueza de especies. Por otra parte se observa una agregación en las estaciones que integran la transecta REF, EC1, EC2 y EC3, grupo que presenta una similitud del 60% respecto del resto de unidades de muestreo.

A nivel superficial el modelo segrega 3 agrupaciones de mayor afinidad, la primera de ellas integrada por las estaciones del sector control (EC1, EC2 y EC3) y Referencia (REF), las cuales a su vez se agregan con las estaciones posicionadas en el sector piloto con un nivel de similitud del 60%. Este conglomerado se une a la estación 6, con una semejanza del 30%.

El nivel profundo presenta una situación similar a la anterior, con una mayor similitud entre las unidades correspondientes a las estaciones control y referencia, sin embargo la estación EC3 presenta una menor semejanza, asociándose al conjunto de unidades posicionadas en el sector piloto. Ambos grupos se unen en un conglomerado mayor, con un porcentaje de similitud cercano al 60%. El tercer conglomerado se constituye por la estación 6, circunscritas en el sector Piloto. Este grupo se asocian al resto con un nivel de similitud del 40%.

Descontando la situación de la unidad 6 la que presentó una mayor disimilitud respecto del resto de estaciones de monitoreo, cabe destacar que las diferencias registradas son de pequeña magnitud, razón por la cual las estaciones de monitoreo presentan un porcentajes de similitud cercano al 60%, tanto a nivel superficial como en el estrato profundo.

El criterio de agrupación de cada unidad de muestral corresponde al tipo de especies registradas en cada sector y su abundancia asociada. La estructura variable entre las unidades de muestreo marítimas dice relación con la variación de la abundancia de *Th. Rotula* y con la presencia ausencia de especies de menor frecuencia de aparición tales como *Chaetoceros socialis*, *Coscinodiscus centralis*, *Coscinodiscus granii*, *Thalassiosira anguste-lineata*, *Chaetoceros Convolutus*, *Actinoptychus senarius*, entre otras especies que no fueron registradas en el sector control y referencia.

El análisis de ordenación N-MDS presenta una situación similar a la ya expuesta. El nivel de stress asociado al análisis N-MDS es de 0.14 y 0.1, lo que da cuenta de un moderado ajuste del modelo a la data lograda.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

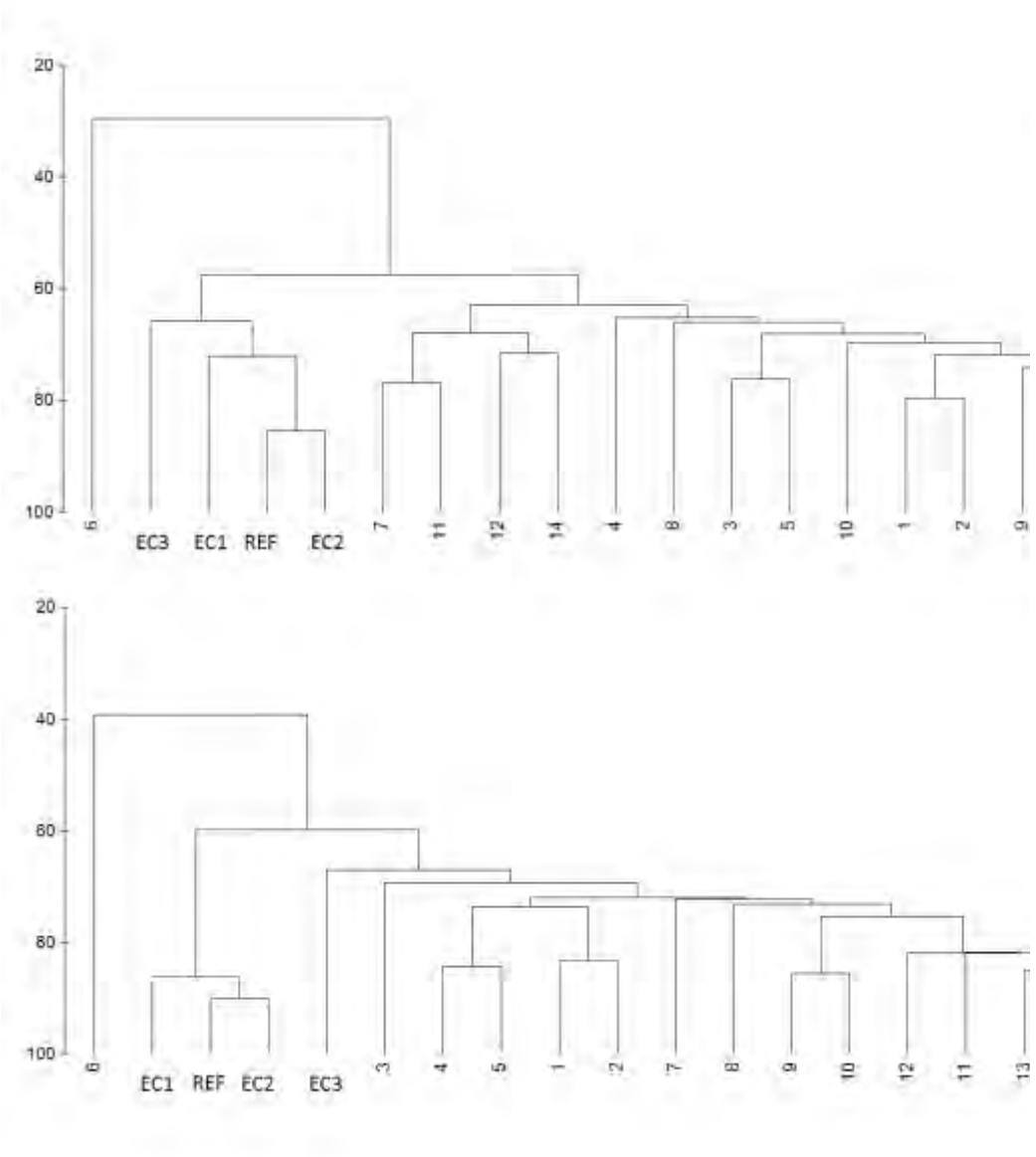


Figura 72. Dendrograma de Agregación respecto a las estaciones de monitoreo, en función al índice de Bray-Curtis y a la concentración celular por especie como atributo. Dónde: A: Estrato superficial, B: Estrato profundo.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

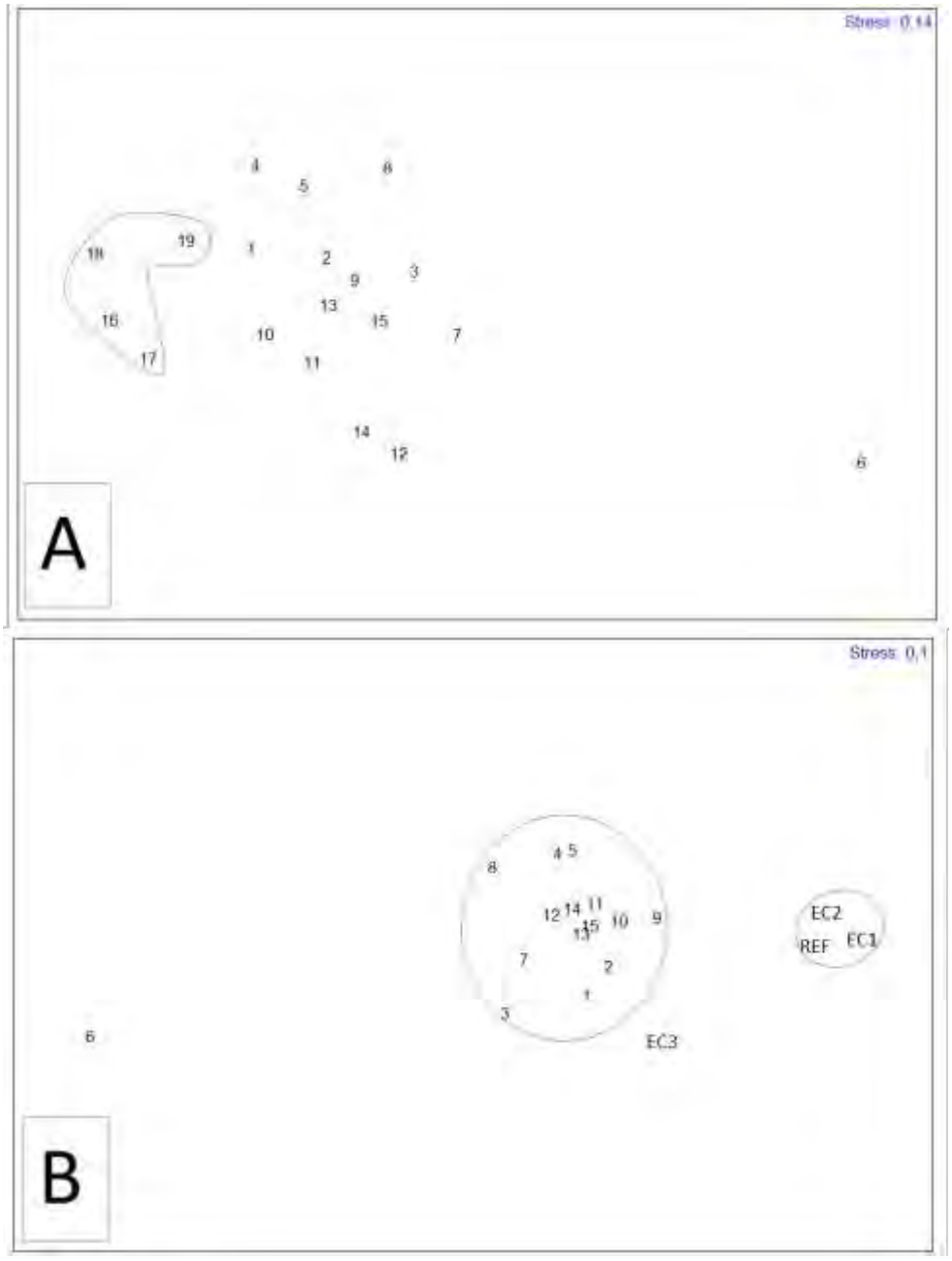


Figura 73. N-MDS de las estaciones de monitoreo, en función al índice de Bray-Curtis y a la concentración celular por especie como atributo. Dónde: A: Estrato superficial, B: Estrato profundo.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Análisis de similitud

Las conclusiones derivadas del análisis de ordenación fueron validadas con la prueba ANOSIM, cuyos resultados son entregados en la **Tabla 32**. La prueba no indicó la presencia de grupos.

Tabla 32. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validar diferencias significativas entre las distancias al centro piloto Sur.

Prueba Global	Superficie	Fondo
Valor del estadístico R	0,208	0,151
Nivel de significancia estadística obtenido (%)	3,3	8,3
Nivel de significancia estadística de rechazo (%)	5	5
Número de permutaciones realizadas (R′)	999	999
Frecuencia de R′>R	32	82

La **Figura 73**, como se indicó anteriormente, no muestra una clara separación de las estaciones Control y Referencias respecto del resto que corresponden a los ejes Sureste, Noreste y Suroeste, esto fue respaldado por la prueba ANOSIM no arrojando diferencias significativas (R: 0,208; p:3,3).

Al examinar las comparaciones parciales entre pares se ratifica lo entregado por la prueba global, donde las estaciones más alejadas del centro piloto (Control y Referencia: Distancia 4), no son estadísticamente diferentes a las estaciones ubicadas entre las distancias 1 y 3 (50 y 600 metros) (**Tabla 33**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 33. Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia y D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros de distancia del centro piloto. Fondo.

Grupos por distancia de las estaciones de muestreo al centro piloto		R	P(%)
D1	D2	-0,006	50,9
D1	D3	0,006	44
D2	D3	-0,315	96,4
D3	D5	0,704	10
D4	D5	0,556	50
D4	D1	0,111	42,9
D4	D2	0,022	71,4
D4	D3	-0,111	75

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Introducción

Con el objeto de contrastar la información técnica presentada en el numeral 5.2.1.3 del presente trabajo, correspondiente a los antecedentes bibliográficos aunados para la componente bentónica; se implementó una metodología analítica orientada en la evaluación espacial de la estructura comunitaria, con relación a las actividades productivas de un centro de cultivo de salmones tipo, durante la última etapa de su ciclo productivo (cosecha). De esta manera se realizó una prospección de terreno y levantamiento de información biológica en sectores próximos e inmediatos al centro de cultivo, así como en sectores de mayor lejanía del mismo.

El presente documento acápite informa sobre los resultados de las campañas de monitoreo piloto realizados en los sectores Norte y Sur seleccionados aunados en la franja costera existente frente a la localidad de Isla Imelev, e Isla Chaullin respectivamente. El presente informe constituye parte de la documentación requerida en el proceso de Evaluación y Análisis de la biodiversidad marina y continental afectada por las actividades de acuicultura enfocada al diseño de un protocolo que permita evidenciar alteraciones en la biodiversidad por causa de la producción acuícola.

Se entregan los resultados de parámetros de la columna de agua (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y profundidad) y de los sedimentos (pH, materia orgánica total y potencial redox),junto con los resultados de análisis univariados y multivariados realizados a partir de muestras de sedimentos extraídas en un gradiente de distancia al centro de cultivo.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Objetivo General

Caracterizar la comunidad bentónica en el área de estudio, en función de un gradiente de contaminación.

Objetivos Específicos

Caracterizar la comunidad bentónica, con relación a la diversidad, abundancia y distribución, tanto en el área de concesión acuícola, como en sectores aledaños a esta.

Identificar patrones de especies y/o grupos de especies que manifiesten una respuesta con respecto del gradiente de contaminación.

Metodología

Área de estudio y disposición de estaciones de muestreo

En cada centro piloto (Sector Norte y Sector Sur), se distribuyeron 19 estaciones de muestreo (**Tabla 34** y **Tabla 35**), las cuales fueron ubicadas en torno al centro de cultivo en tres ejes separados en un ángulo aproximado de 120°, en cada eje se dispusieron 5 estaciones cada una con 3 réplicas ubicadas para la caracterización de tres zonas:

- Zona 1: lo más cercano al módulo hasta 50 metros,
- Zona 2: entre 100 y 200 metros del centro
- Zona 3: entre 300 y 600 metros del centro

Junto con estas estaciones se dispuso una estación de referencia a 1.000 metros de distancia del centro en contra de la dirección más predominante de la corriente establecida en la CPS. Por otra parte se estableció una zona control ubicada a más de 13.000 metros de centro con la característica de no poseer en su cercanía centros de cultivo en operación.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 34. Estaciones de muestreo columna de agua y fondo marino, monitoreo centro piloto sector Norte.

Estación	Coordenada UTM		Distancia respecto del centro de cultivo piloto (metros)
	Este	Norte	
NO1	629945	5280969	40
NO2	629929	5281016	83
NO3	629915	5281062	194
NO4	629872	5281212	289
NO5	629795	5281500	588
E1	629981	5280776	40
E2	630026	5280756	95
E3	630072	5280735	144
E4	630164	5280692	245
E5	630326	5280639	450
SO1	629785	5280659	85
SO2	629764	5280611	144
SO3	629744	5280564	195
SO4	629704	5280477	292
SO5	629577	5280205	591
REF	629588	5280254	1000
Control 1	642224	5274839	13000
Control 2	642933	5274718	14500
Control 3	643697	5274617	15000

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 35. Estaciones de muestreo columna de agua y fondo marino, monitoreo centro piloto sector Sur.

Estación	Coordenada UTM		Distancia respecto del centro de cultivo piloto (metros)
	Este	Norte	
NO1	625563	5231718	100
NO2	625532	5231767	146
NO3	625503	5231803	174
NO4	625444	5231878	273
NO5	625269	5232122	571
SE1	625618	5231499	106
SE2	625578	5231464	112
SE3	625539	5231430	143
SE4	625465	5231362	137
SE5	625237	5231164	550
SO1	625828	5231406	43
SO2	625864	5231363	220
SO3	625899	5231322	182
SO4	625961	5231246	250
SO5	626157	5231006	350
REF	626358	5230107	1000
Control 1	642224	5274839	13000
Control 2	642933	5274718	14500
Control 3	643697	5274617	15000

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

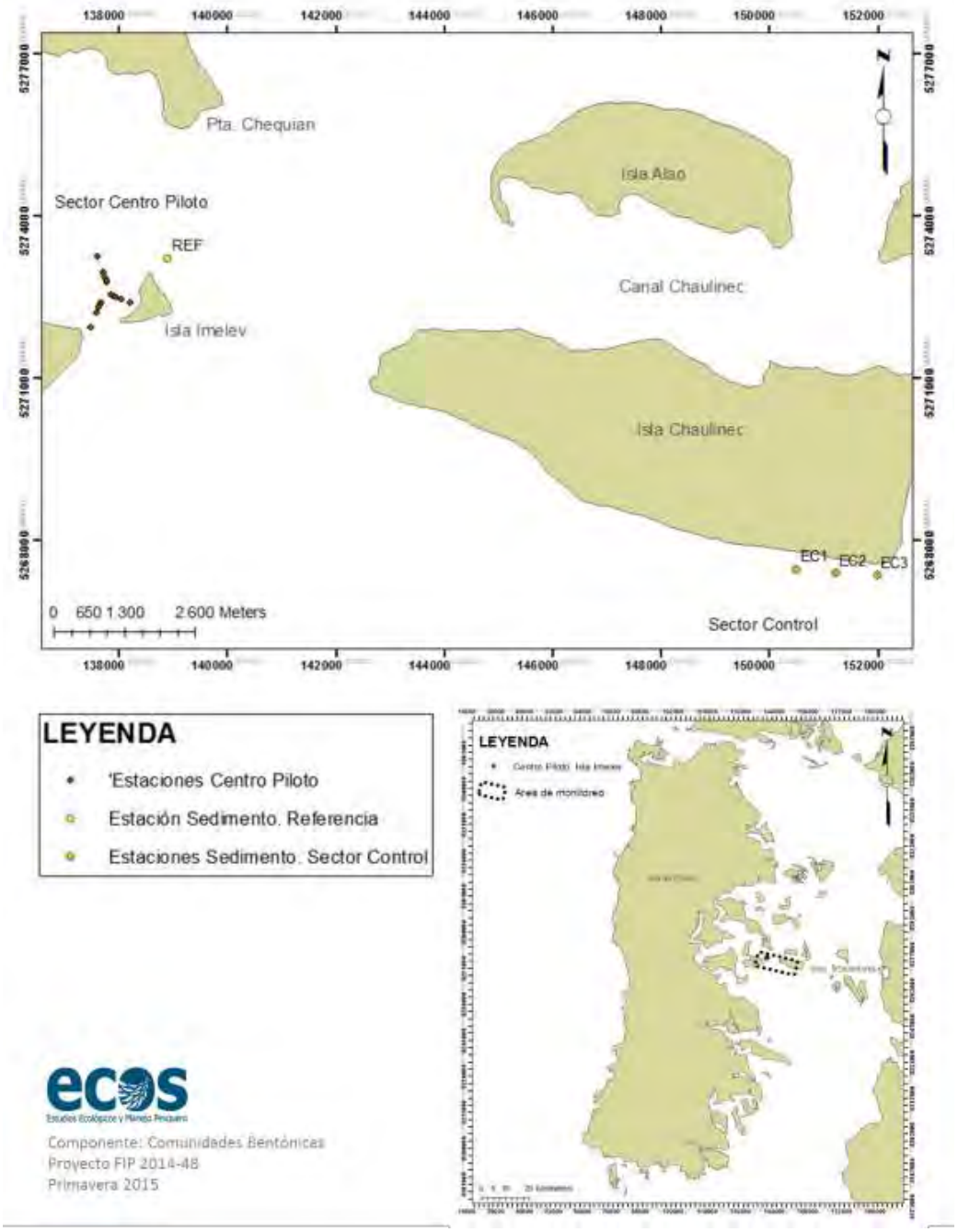


Figura 74. Ubicación de puntos de muestreo Centro Piloto Norte.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

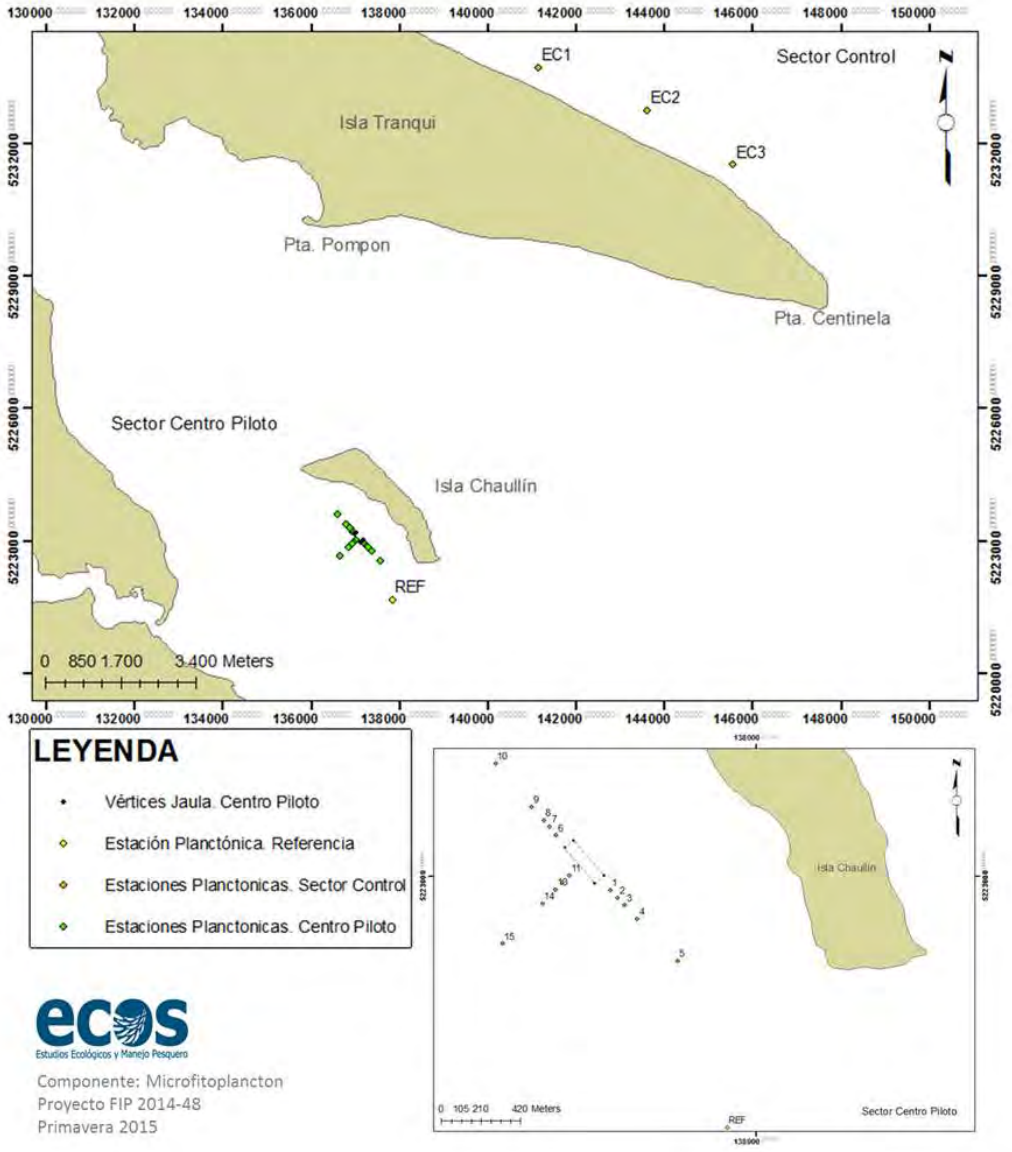


Figura 75. Ubicación de puntos de muestreo Centro Piloto Sur.

Recolección de muestras

Las muestras fueron recolectadas entre el 22 y el 24 de septiembre de 2015 para el sector norte y entre el 19 y 25 de octubre de 2015para el sector sur, a través de una draga tipo Van Veen de 0,1m^2 de mordida y guinche oceanográfico a bordo de la embarcación Cristal,matrícula ACH-2273 de 11,8 metros de eslora, en cada estación se recolectaron 3 muestras, las cuales fueron destinadas al análisis del macrozoobentos, análisis granulométrico y contenido de materia orgánica total.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Separación y preservación de macrofauna bentónica

Cada muestra de sedimento fue harneada a través de un set de tamices compuesto por uno de 1mm y otro de 0,5 mm de abertura de malla. El sedimento retenido en cada tamiz fue fijado en solución de formalina al 4%, y almacenado en recipientes separados, para posteriormente bajo la lupa estereoscópica, separar, identificar y cuantificar el material biológico retenido, el cual se almacenó en frascos con etanol 70%.

La identificación de especies fue realizada por profesionales con experiencia en taxonomía de organismos marinos, mediante el uso de bibliografía especializada, claves taxonómicas y material comparativo de invertebrados perteneciente al Centro de Estudios ECOS.

Análisis granulométrico, contenido de materia orgánica, pH y potencial redox

Las muestras fueron tomadas de los primeros centímetros del sedimento directamente desde la draga. Las muestras fueron rotuladas y mantenidas en recipientes con suficiente hielo para cumplir con la temperatura de recepción (mantención de la temperatura o 4°C según corresponda), por su parte los parámetros pH y Redox fueron tomados in situ mediante el uso de un equipo Hanna HI 98190, el que fue verificado previamente con tampones 4, 7 y 10 y solución ORP de 240 mv ambos certificados y trazables al NIST (**Tabla 36**).

Tabla 36. Análisis físico-químico Sedimentos

Parámetro	Metodología
Materia Orgánica Total	Subsecretaría de Pesca RES.EXE 3612. Articulo 27
Granulometría	Subsecretaría de Pesca RES.EXE 3612. Articulo 26
Temperatura pH y Potencial Redox	Subsecretaría de Pesca RES.EXE 3612. Articulo 30

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Variables físicas y químicas de la columna de agua

Salinidad, temperatura y oxígeno disuelto

Las mediciones de oxígeno, salinidad y temperatura se realizaron in situ mediante un equipo multipamétrico HI 9828, el cual fue verificado con soluciones de conductividad y solución Zero oxigeno ambas certificadas y trazables al NIST, con el objeto de poder conocer los valores de la columna de agua a 1 metro del fondo y así obtener un mayor espectro de información del sistema estudiado (**Tabla 37**).

Las muestras fueron tomadas desde la superficie a un metro del fondo con ayuda de botella oceanográfica Niskin de 5 litros de capacidad accionada mediante mensajero desde la superficie.

Tabla 37. Análisis físico-químico Columna de Agua

Parámetro	Metodología
Temperatura	Subsecretaría de Pesca RES.EXE 3612. Artículo 30.
Salinidad	
Oxígeno disuelto	

Tratamiento de la información

Análisis univariados

Se determinó la abundancia como el número de individuos totales por cada muestra. Para caracterizar la estructura de la comunidad se determinaron algunos índices ecológicos: riqueza (S), uniformidad de pielou (J') y diversidad de Shannon-Wiener (H'). Estos índices nos permiten evaluar el grado de complejidad de la comunidad y su modificación en el tiempo (Odum 1984, Ludwig y Reynolds 1988, Ramírez 1999).

Los resultados fueron obtenidos utilizando log base 2, con el fin de poder clasificar las estaciones de monitoreo en las siguientes categorías (**Tabla 38**, **Tabla 39**, **Tabla 40**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 38. Categorías Diversidad de Shannon-Wiener (H')

Rango	Categoría
0-1	Muy Bajo
1-3	Bajo
2-3	Regular
3-4	Alto
>4	Muy alto

Tabla 39. Categorías Uniformidad de Pielou (J´)

Rango	Categoría
0 - 0,25	Muy baja uniformidad y alta dominancia
0,25 – 0,50	Baja uniformidad y regular dominancia
0,50 – 0,75	Regular uniformidad y regular dominancia
0,75 – 1,00	Alta uniformidad y muy baja dominancia

Tabla 40. Categorías Riqueza (S)

Rango	Categoría
0-1	Muy Baja
1-9	Baja
10-20	Regular
20-30	Alta
>30	Muy alta

Escalamiento multidimensional no métrico

Para examinar la distribución espacial de la muestras según la composición y abundancia de los organismos encontrados en el sedimento se aplicó un análisis de ordenación por el método de escalamiento multimensional no métrico (N-MDS), mediante el índice de Similaridad de Bray-Curtis (Clarke y Warwick 2001). Los análisis fueron realizados previa transformación de los datos con raíz a la cuarta con el fin de ponderar la contribución de taxa comunes y raros en el análisis comunitario. Este análisis es un método que no tiene prerrequisitos de distribución de los datos y puede representar en un espacio de pocas dimensiones las relaciones complejas que existen entre las estaciones debidas a la variación en abundancia y composición de taxa.

Análisis de Similitudes (ANOSIM)

Se realizó un análisis de similitud (Clarke 1993), con el fin de determinar diferencias significativas entre los grupos obtenidos del N-MDS. Este método es equivalente a un análisis de varianza multivariado no paramétrico.

El análisis de similitud, contrasta las diferencias entre muestras al interior de cada categoría o sitio, con la diferencia entre muestras de categorías o sitios distintos. El estadístico R es un indicador de la separación ente grupos, variando desde 0 (no diferencia entre factores, hipótesis nula verdadera) y 1 (completa separación entre los grupos: las réplicas al interior de los grupos son más similares que cualquier réplica de sitios distintos).

Análisis de Contribución (SIMPER)

Con el fin de identificar los taxa que contribuyen a la diferencia entre grupos se realizó un análisis de similitud-distancia (SIMPER, Clarke 1993). Permitiendo determinar que especie o grupo de especies son las que más contribuye en porcentaje a la disimilitud entre grupos observados mediante ANOSIM.

Análisis gráficos

Curvas ABC

El método de las curvas ABC es una técnica empleada para evaluar las condiciones ambientales de una comunidad bentónica sin tener que disponer de datos históricos del área (Warwick 1986).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

El método consiste en comparar en un mismo gráfico las curvas de abundancia y biomasa; jerarquizando las especies según el orden de importancia en el eje x (escala logarítmica) con el porcentaje de dominancia y biomasa acumulado en el eje Y. Si las dos curvas se superponen indicaría una comunidad moderadamente alterada. Si la curva de biomasa se ubica sobre la de abundancia indicaría una comunidad no alterada, de lo contrario si la curva de abundancia se ubica sobre la biomasa indicaría una comunidad alterada.

Integración variables columna de agua y sedimento con abundancia bentónica

BioEnv

Este análisis muestra de un grupo de variables abióticas la variable o combinación de variables que mejor explican el agrupamiento de las muestras biológicas en un área (Clarke & Warwick 2001, Clarke KR & RN Gorley 2001). Este análisis maximiza la correlación de los elementos de las matrices triangulares de similaridad biótica (Bray-Curtis) y abiótica (Distancia Euclidiana sobre las variables ambientales estandarizadas).

Todos los análisis se realizaron mediante el programa PRIMER-E Plymouth UK Versión 6, para Windows (Clarke y Gorley 2006).

Valoración de impacto

La valoración que se presenta en los cuadros siguientes sigue la metodología de los Criterios Relevantes Integrados (CRI) y se practica para los principales efectos sobre los componentes ambientales. El método pretende sistematizar y objetivar la calificación del impacto, basado en los resultados del monitoreo piloto y en la revisión bibliográfica de los efectos de la acuicultura en la biodiversidad.

Mageau *et al.* (1995) propone que la salud del ecosistema puede cuantificarse en base al vigor, organización, resistencia y resiliencia al disturbio. Considerando esto y para unificar los resultados del monitoreo de la componente macrofauna y obtener un estimado del impacto que permite analizar su evolución en el tiempo, se propone la utilización del método CRI (Buroz, 1990) que se basa en un análisis multicriterio, partiendo de la idea de que un impacto ambiental se puede estimar a partir del análisis de criterios con valoración ambiental cualitativa.

El método considera la valoración cualitativa de 5 criterios en base al conocimiento del fenómeno a analizar, estos son:

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

a) Intensidad
b) Extensión
c) Duración
d) Reversibilidad
e) riesgo

La valoración para las variables intensidad, extensión, duración, reversibilidad y riesgo se determinan con base, en una escala de 1 a 10, tal como se expresa en la **Tabla 41**.

En la **Tabla 41** se indican los criterios de puntuación que fueron considerados para cada variable. La tabla construida es una modificación de Buroz (1990), basándose en antecedentes propios de la actividad de producción de salmones.

Las consideraciones para determinar la puntuación de cada criterio son las siguientes:

Intensidad: Es la cuantificación de la fuerza, peso o rigor con que se manifiesta el proceso o impacto puesto en marcha.

Se determinó a partir del porcentaje de muestras que provienen de los puntos de muestreo ubicados a menos de 600 m del centro, mediante la utilización del índice de Warwick calculado a partir de las curvas de abundancia y dominancia.

Las consideraciones de puntuación fueron las siguientes: Si más del 50 % de las muestras se encuentran alteradas y/o moderadamente alteradas, se consideró una intensidad alta. En tanto, si el porcentaje de muestras alteradas y/o moderadamente alteradas está entre 30 % y 50 %, se consideró intensidad media y finalmente si el porcentaje de muestras alteradas y/o moderadamente alteradas es inferior al 30 %, se consideró intensidad baja.

Extensión: Es la influencia espacial o superficie afectada por la acción antrópica. Es decir, Medida del ámbito espacial o superficie donde ocurre la afectación.

Se consideró la distancia de influencia respecto del centro y para ello, se entendió por influencia la existencia de muestras en situación alterada o medianamente alteradas de acuerdo al índice de warwick obtenido para cada muestra.

Las consideraciones de puntuación fueron las siguientes: Si se observan muestras alteradas o medianamente alteradas en un gradiente de distancia superior a 600 m, observando inclusive grados de alteración en la estación de referencia ubicada a más de 1000 m, se consideró una extensión

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

generalizada, independiente si esta situación pudiese estar generándose por la influencia parcial o total de otros centros de cultivo cercanos u otras fuentes de perturbación antrópica. Si la estación de referencia aparece como no alterada, se consideró una extensión extensiva y si solamente se observan estaciones alteradas o medianamente alteradas a menos de 50 m medidos desde el centro, se consideró una extensión puntual.

Duración: Lapso o tiempo que dura la perturbación. Período durante el cual se sienten las repercusiones del proyecto o número de años que dura la acción que genera el impacto.

Las consideraciones de puntuación son las siguientes: En este caso se consideró como duración, el tiempo del ciclo productivo y los ciclos sucesivos que se han realizado en la concesión. Si el tiempo de producción ha sido igual o menor a 2 años en forma continua, se consideró una duración corta. En tanto, si la producción continua ha sido mayor a dos años, pero menor que 5 años, se consideró una duración media y si la producción ha sido continua por más de 5 años, se consideró una duración larga. Para definir la fecha inicial de producción, se consideró que la concesión haya experimentado un periodo de descanso mínimo de un año.

Reversibilidad: Esla posibilidad o dificultad para retornar a la situación actual, podría considerarse como la capacidad de resiliencia de la comunidad.

Esta variable es la más difícil de definir bajo un fundamento técnico claro. En Chile no existen estudios que orienten a determinar la capacidad de resiliencia de las comunidades bentónicas frente a los efectos de la acuicultura y a nivel internacional la información tampoco es clara. No obstante, trabajos de la comunidad europea indican que las comunidades bentónicas se recuperan rápidamente, ya que los impactos son muy puntuales, por tanto al momento de detener la incorporación de desechos, se produce prontamente el reasentamiento larval de las especies. Empero, este supuesto aplica para zonas con cargas de uno o pocos centros de producción y no para zonas cuyos espacios estén altamente utilizados para la producción, en estos casos se desconoce la capacidad de resiliencia y pasa a ser una gran interrogante (Tett, 2008). Este último es el caso más similar a la situación chilena, específicamente a lo que sucede en la ecorregión Chiloense.

Las consideraciones de puntuación fueron las siguientes: En base a lo explicado y con el objeto de entregar al análisis un valor de esta variable, se consideró por defecto el valor de reversibilidad medio, es decir una capacidad de recuperación de largo plazo (11 a 20 años), esto considerando

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

también que los sectores actualmente utilizados se someten a descansos muy acotados o inexistentes que impiden la recuperación.

Riesgo: Es laprobabilidad de que el efecto ocurra, en este caso se consideró por defecto que esta variable es de un nivel alto, ya que estudios nacionales (Buschmann & Pizarro 2001, Buschmann & Fortt 2005,Buschmann *et al.* 2008a, 2008c, 2009, 2013) e internacionales (Cook *et al*., 2008) indican que prácticamente en el 100% de los casos es posible observar modificaciones que pueden ir de modificaciones leves y a espacios muy acotados a modificaciones severas que pueden abarcar espacios generalizados.

Tabla 41. Escala de clasificación de impactos. Modificada de Buroz (1990).

INTENSIDAD		
Niveles	**Porcentaje de Comunidades bentónicas alteradas (Según Índice W)**	**Puntuación**
Alta	> 50 %	6 – 10
Media	entre 30% y 50%	3 – 5
Baja	< 30 %	1 – 2
EXTENSIÓN		
Niveles	**Distancia de perturbación respecto del centro**	**Puntuación**
Generalizada	> 600 m	6 – 10
Extensiva	< 600m	3 – 5
Puntual	< 50 m	1 – 2
DURACIÓN		
Niveles	**t de producción**	**Puntuación**
Larga	(>5años)	6 – 10
Media	(2>5 años)	3 – 5
Corta	(<2 años)	1 – 2
REVERSIBILIDAD		
Niveles	**t de resiliencia**	**Puntuación**
Irreversible	baja capacidad o irrecuperable	6 – 10
Medianamente	reversible de 11 a 20 años, largo plazo	3 – 5
Reversible	a corto plazo < de 10 años	1 – 2
RIESGO		
Niveles	% Estimación de riesgo de ocurrencia	**Puntuación**
Alto	(>50%)	6 – 10
Medio	(10 a 50%)	3 – 5
Bajo	(<10%)	1 – 2

A partir del análisis de cada variable, se elaboró una ponderación estándar para los indicadores (**Tabla 42**), intensidad, extensión y duración poseen los valores de ponderación más altos, porque son lo que mayor variación muestran a partir del protocolo de monitoreo propuesto. En tanto el indicador de riesgo es de gran importancia, se le otorga una ponderación intermedia, ya que se basa en antecedentes que han sido reportados por una cantidad importante de autores y finalmente el indicador de reversibilidad es el de menor ponderación, debido a la incertidumbre de su determinación.

Tabla 42. Criterios de evaluación y ponderaciónasignada

Indicador	Peso (%)
Intensidad	25
Extensión	25
Duración	25
Reversibilidad	10
Riesgo	15

Una vez definidas las puntuaciones para cada criterio, se calculó el Valor del Impacto Ambiental (VIA) según:

$$VIA = I \times W_i + E \times W_e + D \times W_d + Rv \times W_{Rv} + Ri \times W_{Ri}$$

Donde:

I: Intensidad
W_i: Peso de intensidad
E: Extensión
W_e: Peso de extensión
D: Duración
W_d: Peso de duración
Rv: Reversibilidad
W_{Rv}: Peso de reversibilidad
Ri: Riesgo
W_{Ri}: Peso de riesgo

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Una vez calculado el VIA para el centro, se debe clasificó según lo recomendado por Buroz (1990)**Tabla 43**.

Tabla 43. Jerarquización de impactos según valor de VIA

Categoría del impacto	VIA
Muy alta	VIA >8
Alta	6 < VIA ≤ 8
Moderada	4 < VIA ≤ 6
Baja	VIA ≤ 4

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Resultados

Sector Norte

Columna de agua

Durante la campaña de monitoreo piloto sector norte (septiembre 2015), todas las estaciones de muestreo a un metro del fondo, presentaron una columna de agua homogénea en términos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (**Tabla 44**). Esta situación en normal para ambientes que presentan una importante mezcla superficial que se genera durante periodos de aumento de viento.

La temperatura presento un estrecho rango de valores entre 10,61 y 10,92 °C, mientras los registros de salinidad estuvieron en torno a 30 PSU en todas las estaciones, evidenciando la influencia de aguas oceánicas con altas salinidades. Por su parte la concentración de oxígeno disuelto presento un mayor rango de valores entre 6,09 y 8,24 mg/l, todos mayores al límite de aceptabilidad indicado en la Res. Ex. 3612 (>2,5 mg/l) (**Tabla 44** , **Figura 76**).

Tabla 44. Valores de Salinidad (PSU), Temperatura (°C) y Oxígeno disuelto (mg/l) a 1 metro del fondo, monitoreo centro piloto Sector Norte.

Estación	Columna de agua a 1 metro del fondo			
	Salinidad (PSU)	Temperatura (°C)	O2 disuelto (ml/g)	Prof. Máx. (m)
E1	29,76	10,84	7,34	41
E2	29,82	10,78	8,21	33
E3	30,01	10,77	8,11	23
E4	29,77	10,91	8,25	13
E5	29,9	10,92	5,64	5
NO1	29,55	10,71	7,23	44
NO2	29,61	10,73	7,26	55
NO3	29,71	10,72	7,55	58
NO4	30,1	10,69	6,89	74
NO5	29,8	10,7	7,01	97
SO1	30,2	10,73	7,76	44
SO2	30,1	10,75	7,58	42
SO3	30,05	10,81	6,85	41
SO4	29,9	10,83	7	33
SO5	29,75	10,77	8,24	24
REF1	29,9	10,87	6,09	55
CONTROL 1	30,01	10,71	6,89	32
CONTROL 2	29,75	10,72	7,23	35
CONTROL 3	29,88	10,71	7,11	39
Promedio	29,87	10,77	7,27	41,47
D. Estándar	0,17	0,07	0,69	20,90

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

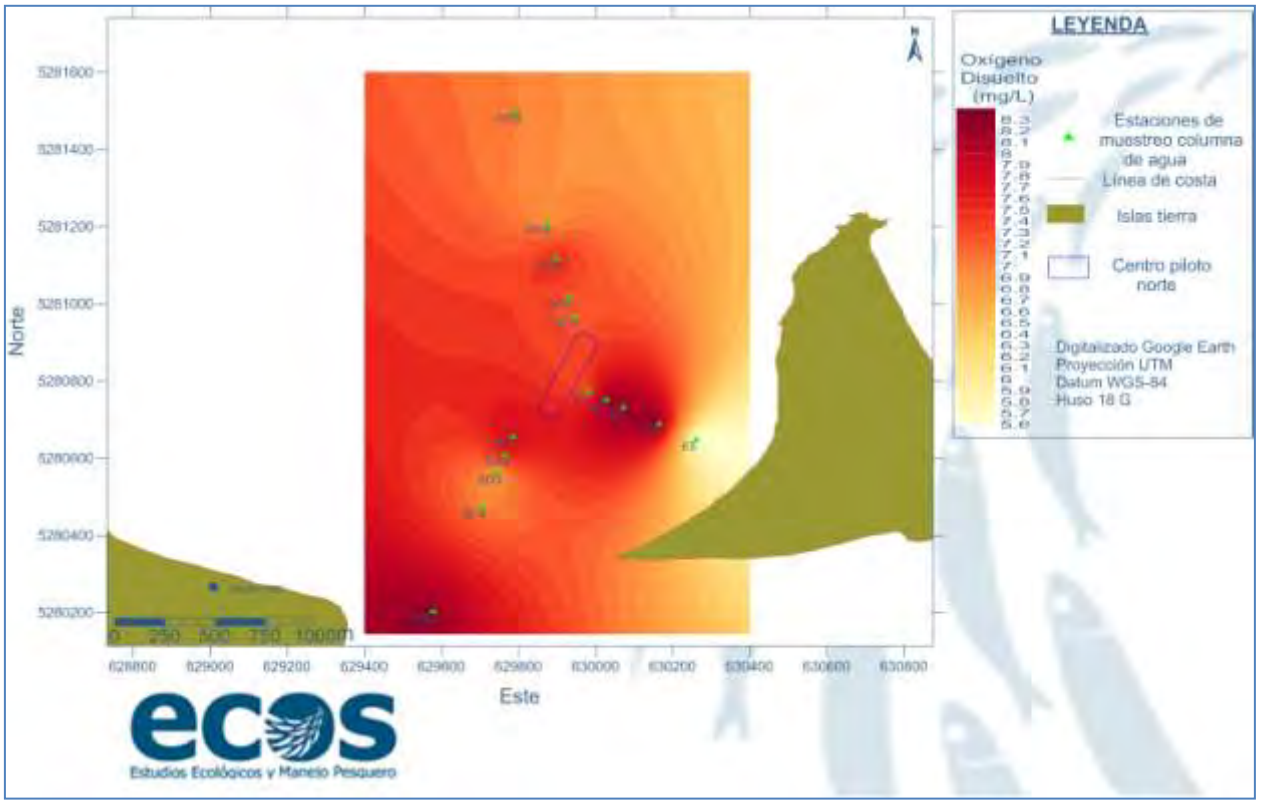


Figura 76. Distribución espacialde la concentración de oxígeno disuelto a un metro del fondo Centro Piloto Norte.

Sedimentos marinos

Materia orgánica total

El contenido porcentual de materia orgánica total (MOT %) obtenido en las distintas estaciones de muestreo se resume en la (**Tabla 45** y **Figura 77**).

Para las muestras E1-R2, E1-R3 no se logró recolectar sedimento debido al riesgo de perder equipo (draga) producto de los tensores del módulo de cultivo, por su parte para las muestras SO4 y SO5 con sus tres replicas no fue posible su recolección por presentar fondo rocoso.

El contenido de materia orgánica asociado al sedimento vario desde valores mínimos de 0.37% y 0,38% para las estaciones NO4-3 y REF1. Los valores máximos estuvieron en tornoa 0,94% para la estación E2-2.

Todos los valores registrados estuvieron bajo el límite de aceptabilidad indicado en la Res. Ex. 3612 (< 9 %).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 45. Porcentaje de materia orgánica total de los sedimentos correspondientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Norte.

Estación	MOT (%)		
	R1	R2	R3
E1	0,73		
E2	0,68	0,94	0,62
E3	0,66	0,85	0,8
E4	0,68	0,71	0,63
E5	0,58	0,63	0,66
NO1	0,67	0,7	0,64
NO2	0,67	0,73	0,73
NO3	0,65	0,72	0,6
NO4	0,76	0,65	0,37
NO5	0,7	0,45	0,43
SO1	0,49	0,72	0,8
SO2	0,52	0,68	0,73
SO3	0,71	0,69	0,73
REF1	0,45	0,38	0,8
CONTROL 1	0,66	0,54	0,78
CONTROL 2	0,82	0,76	0,77
CONTROL 3	0,68	0,51	0,8
Promedio	0,65	0,66	0,68
D. Estandar	0,09	0,14	0,13

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

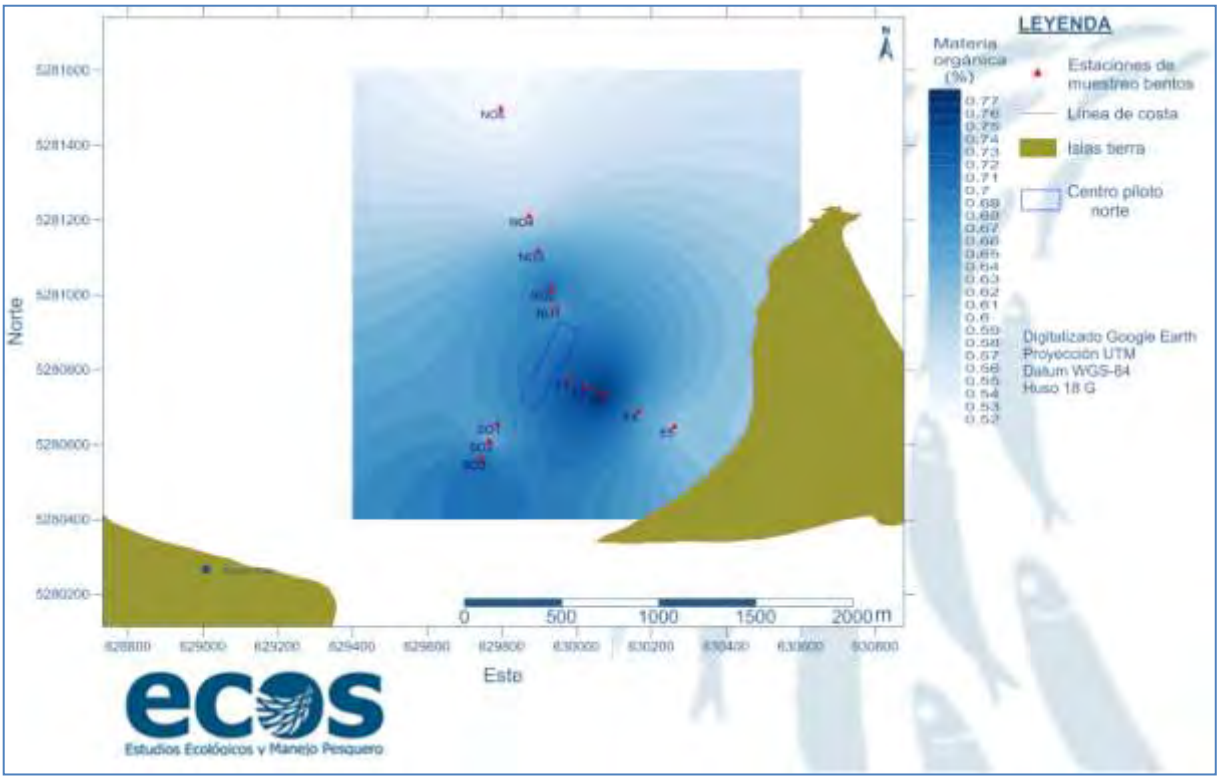


Figura 77. Distribución espacialdel porcentaje de Materia Orgánica Centro Piloto Norte.

Potencial redox

En cuanto al potencial redox (mv) obtenido en las distintas estaciones de muestreo (**Tabla 46**, **Figura 78**), los valores presentaron valores positivos mayores a 50 mv (límite de aceptabilidad indicado en la Res. Ex. 3612) en la mayoría de las estaciones, con la excepción de NO1, NO2 y SO1 con valores promedio de sus tres réplicas de 9,3; -59 y 26 mv, respectivamente.

Para las muestras E1-R2, E1-R3 no se logró recolectar sedimento debido al riesgo de perder equipo (draga) producto de los tensores del módulo de cultivo, por su parte para las muestras SO4 y SO5 con sus tres replicas no fue posible su recolección por presentar fondo rocoso.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 46. Valores de Potencial Redox de los sedimentos correspondientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Norte.

Estación	Potencial Redox (mv)		
	R1	R2	R3
E1	115		
E2	91	78	67
E3	94	81	90
E4	130	143	100
E5	93	101	82
NO1	15	-10	23
NO2	-66	-42	-71
NO3	128	131	113
NO4	99	112	133
NO5	129	115	121
SO1	16	41	23
SO2	151	193	123
SO3	156	141	171
REF1	123	104	117
CONTROL 1	157	167	130
CONTROL 2	95	151	10
CONTROL 3	90	99	77
Promedio	95,05	100,31	81,81
D. Estándar	58,08	61,75	60,22

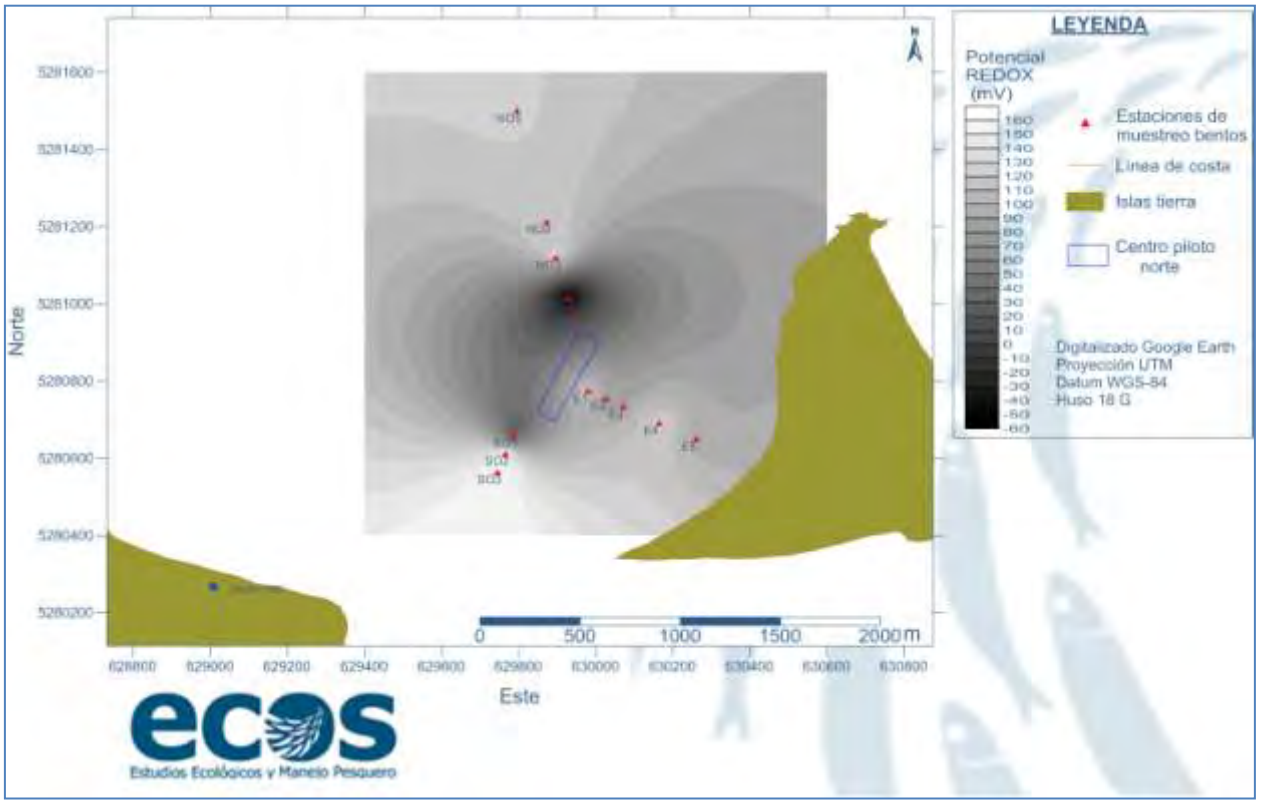


Figura 78. Distribución espacialde los valores de Potencial Redox Centro Piloto Norte.

Valores de pH

Respecto de los valores de pH obtenido en las distintas estaciones de muestreo **(Tabla 47**, **Figura 79**), se observaron valores mayores 7,1 (límite de aceptabilidad indicado en la Res. Ex. 3612) en la mayoría de las estaciones, con la excepción de NO5, SO1 y SO2 con valores promedio de sus tres réplicas de 6,69; 7,08 y 6,96 respectivamente.

Para las muestras E1-R2, E1-R3 no se lográrecolectar sedimento debido al riesgo de perder equipo (draga) producto de los tensores del módulo de cultivo, por su parte para las muestras SO4 y SO5 con sus tres replicas no fue posible su recolección por presentar fondo rocoso.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 47. Valores de pH de los sedimentos correspondientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Norte.

Estación	pH		
	R1	R2	R3
E1	7,31		
E2	7,37	7,21	7,19
E3	7,33	8,01	7,53
E4	7,44	7,21	7,15
E5	7,44	7,39	7,02
NO1	7,32	7,21	7,28
NO2	7,22	7,39	7,43
NO3	7,32	7,15	7,41
NO4	7,09	7,01	7,07
NO5	6,55	6,71	6,82
SO1	7,14	7,01	7,09
SO2	6,91	6,95	7,03
SO3	7,17	7,05	7,13
REF1	7,21	7,14	7,17
CONTROL 1	7,55	7,63	6,97
CONTROL 2	7,13	7,12	7,3
CONTROL 3	7,51	6,39	7,12
Promedio	7,23	7,16	7,16
D. Estándar	0,24	0,36	0,18

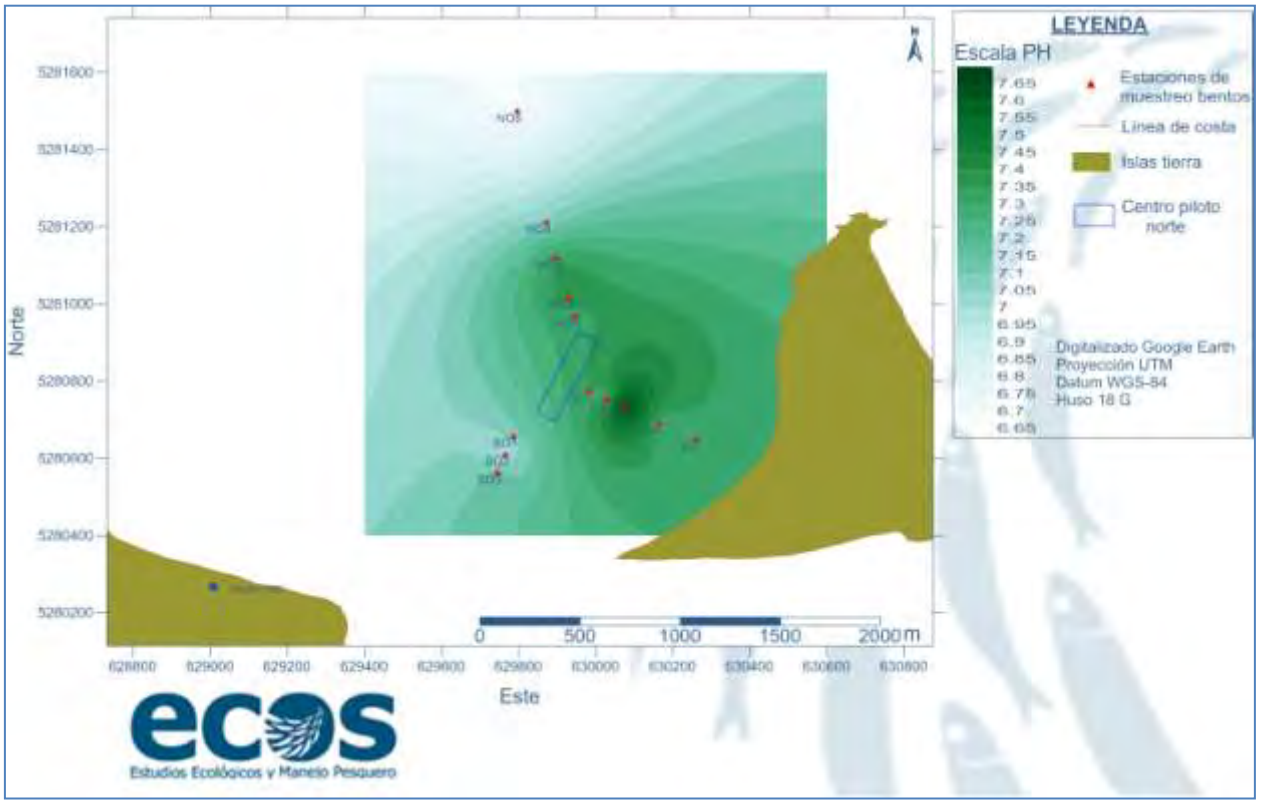


Figura 79. Distribución espacial de los valores de pH en los sedimentos Centro Piloto Norte.

Diámetro del grano

Respecto de la granulometría los resultados indican que el sedimento está compuesto principalmente por arenas, con valores promedio de diámetro de la partícula por eje de muestreo en torno a los 300 µm, con excepción de la estación de referencia que presento valores promedio de sus tres réplicas de 700 µm (Tabla 48).

Para las muestras E1-R2, E1-R3 no se logró recolectar sedimento debido al riesgo de perder equipo (draga) producto de los tensores del módulo de cultivo, por su parte para las muestras SO4 y SO5 con sus tres replicas no fue posible su recolección por presentar fondo rocoso.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 48. Valores del diámetro de la partícula del sedimento correspondiente a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Norte.

Estación	Diámetro de la partícula de sedimento		
	R1	R2	R3
E1	251,4	-	
E2	355,7	340,7	366,2
E3	335,8	299,9	308,7
E4	335,2	344,5	348,3
E5	267,6	271,4	268,1
NO1	272,4	261,4	256
NO2	281,9	273,1	283,7
NO3	302,4	307,6	308,9
NO4	351,3	357,9	363,9
NO5	432,7	401,7	391,5
SO1	263,1	279	265,6
SO2	301,4	302,2	318,3
SO3	289,6	273,6	280,6
REF1	677,7	732,5	692,9
CONTROL 1	303,8	335,1	249,4
CONTROL 2	300,7	302,9	308,3
CONTROL 3	274	344	303,4

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Comunidades macrozoobentónicas submareales

A continuación se entregan los resultados obtenidos en el Centro Piloto Norte. La **Tabla 49** resume los resultados de los índices ecológicos, Riqueza (S), Abundancia Total (N), Diversidad (H'), Uniformidad (J') y Dominancia (1-lamba). La **Tabla 50** resume la clasificación de cada estación en relación a los rangos establecidos.

Tabla 49. Resumen de los resultados de índices de diversidad por estación y réplica correspondiente. Monitoreo Piloto Norte.Tamiz 0,5 mm, Log base 2.

Estaciones		índices ecológicos				
		S	N	H´	J'	1-lambda
Referencia	REF 1	7	13	2,50	0,89	0,78
	REF 2	5	14	1,63	0,7	0,55
	REF 3	8	34	2,78	0,93	0,83
Control	CE1-1	7	18	2,35	0,84	0,74
	CE1-2	6	7	2,52	0,98	0,82
	CE1-3	3	3	1,58	1	0,67
	CE2-1	1	1	0,00	-	-
	CE3-1	5	8	2,16	0,93	0,75
	CE3-2	5	6	2,25	0,97	0,78
	CE3-3	5	20	1,92	0,83	0,68
Este	E1-1	7	34	2,07	0,74	0,67
	E2-1	10	67	2,18	0,66	0,66
	E2-1	14	67	3,01	0,79	0,84
	E2-2	11	27	3,13	0,9	0,86
	E3-1	10	55	2,50	0,75	0,76
	E3-2	15	79	2,74	0,7	0,73
	E3-3	7	37	1,81	0,65	0,58
	E4-1	7	36	2,03	0,72	0,69
	E4-2	6	10	2,16	0,84	0,7
	E4-3	11	94	2,28	0,66	0,69

	E5-1	6	9	2,28	0,88	0,74
	E5-2	10	20	3,15	0,95	0,88
	E5-3	12	25	3,27	0,91	0,87
Suroeste	**S01-1**	4	7	1,66	0,83	0,61
	SO1-2	8	21	2,29	0,76	0,69
	SO1-3	5	11	1,87	0,8	0,64
	SO2-1	5	12	1,90	0,82	0,67
	SO2-2	7	8	2,75	0,98	0,84
	SO2-3	4	7	1,84	0,92	0,69
	SO3-1	6	11	2,22	0,86	0,73
	SO3-2	6	12	1,95	0,75	0,63
	SO3-3	9	14	2,95	0,93	0,85
	SO4-1	5	7	2,13	0,92	0,73
Noroeste	**NO1-1**	3	6	1,25	0,79	0,5
	NO1-2	6	14	1,95	0,75	0,63
	NO1-3	7	14	2,61	0,93	0,82
	NO2-1	8	43	2,12	0,63	0,58
	NO2-2	8	19	2,69	0,9	0,81
	NO2-3	11	32	3,16	0,91	0,87
	NO3-1	11	41	2,98	0,86	0,84
	NO3-2	9	42	2,17	0,69	0,66
	NO3-3	9	36	2,33	0,73	0,7
	NO4-1	9	30	2,25	0,71	0,67
	NO4-2	9	23	2,71	0,86	0,8
	NO4-3	11	21	3,30	0,95	0,89
	NO5-1	8	22	2,72	0,91	0,83
	NO5-2	9	22	2,77	0,87	0,81
	NO5-3	10	19	3,05	0,92	0,86

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 50. Clasificación índicesecológicos por estación y replica. Monitoreo Piloto Norte. Tamiz 0,5 mm.

Estaciones		Clasificación ÍndicesEcológicos		
		S	H´(log2)	J'
Referencia	REF 1	Baja	Regular	Alta
	REF 2	Baja	Bajo	Regular
	REF 3	Baja	Regular	Alta
Control	CE1-1	Baja	Regular	Alta
	CE1-2	Baja	Regular	Alta
	CE1-3	Baja	Bajo	Alta
	CE2-1	Muy baja	Muy bajo	-
	CE3-1	Baja	Regular	Alta
	CE3-2	Baja	Regular	Alta
	CE3-3	Baja	Bajo	Alta
Este	E1-1	Baja	Regular	Regular
	E2-1	Regular	Regular	Regular
	E2-1	Regular	Regular	Alta
	E2-2	Regular	Alto	Alta
	E3-1	Regular	Regular	Alta
	E3-2	Regular	Regular	Regular
	E3-3	Baja	Bajo	Regular
	E4-1	Baja	Regular	Regular
	E4-2	Baja	Regular	Alta
	E4-3	Regular	Regular	Regular
	E5-1	Baja	Regular	Alta
	E5-2	Regular	Alto	Alta
	E5-3	Regular	Alto	Alta
Suroeste	S01-1	Baja	Regular	Alta
	SO1-2	Baja	Regular	Alta

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

	SO1-3	Baja	Bajo	Alta
	SO2-1	Baja	Bajo	Alta
	SO2-2	Baja	Regular	Alta
	SO2-3	Baja	Bajo	Alta
	SO3-1	Baja	Regular	Alta
	SO3-2	Baja	Bajo	Alta
	SO3-3	Baja	Regular	Alta
	SO4-1	Baja	Regular	Alta
Noroeste	**NO1-1**	Baja	Bajo	Alta
	NO1-2	Baja	Bajo	Regular
	NO1-3	Baja	Regular	Alta
	NO2-1	Baja	Regular	Regular
	NO2-2	Baja	Regular	Alta
	NO2-3	Regular	Alto	Alta
	NO3-1	Regular	Regular	Alta
	NO3-2	Baja	Regular	Regular
	NO3-3	Baja	Regular	Regular
	NO4-1	Baja	Regular	Regular
	NO4-2	Baja	Regular	Alta
	NO4-3	Regular	Alto	Alta
	NO5-1	Baja	Regular	Alta
	NO5-2	Baja	Regular	Alta
	NO5-3	Regular	Alto	Alta

El análisis faunístico reporte un total de1170 individuos. De estos el 47% fue recolectado en las estaciones correspondientes al eje Este, con una abundancia de 560 individuos, seguido de las estaciones pertenecientes al eje Noroeste, con un 32% y el eje Suroeste con un 8% que en total registraron 384 y 103 individuos respectivamente.

Por su parte, los resultados de abundancia total por estación indican que las estaciones de referencia y control presentaron un máximo de 34 ind/0,1m^2 y 20 ind/0,1m^2 respectivamente (**Tabla 51**).

Las estaciones que presentaron mayor fluctuación de abundancia fueron las estaciones correspondiente al eje Este (E1 a E5) con un máximo de 94 ind/0,1m^2, en la estación E4-3 y un mínimo de 9 ind/0,1m^2, ubicado en la estación E5-1. El segundo transecto con mayor abundancia fue el eje noroeste en relación al centro de cultivo piloto, registrando un mínimo de 6 ind/0,1m^2 y un máximo de 43 ind/0,1m^2 ubicado en la estación NO2-1. El transecto ubicado en el sector suroeste no sobrepaso los 21 ind/0,1m^2 (**Tabla 53**, **Tabla 54**, **Tabla 55** y **Figura 80**).

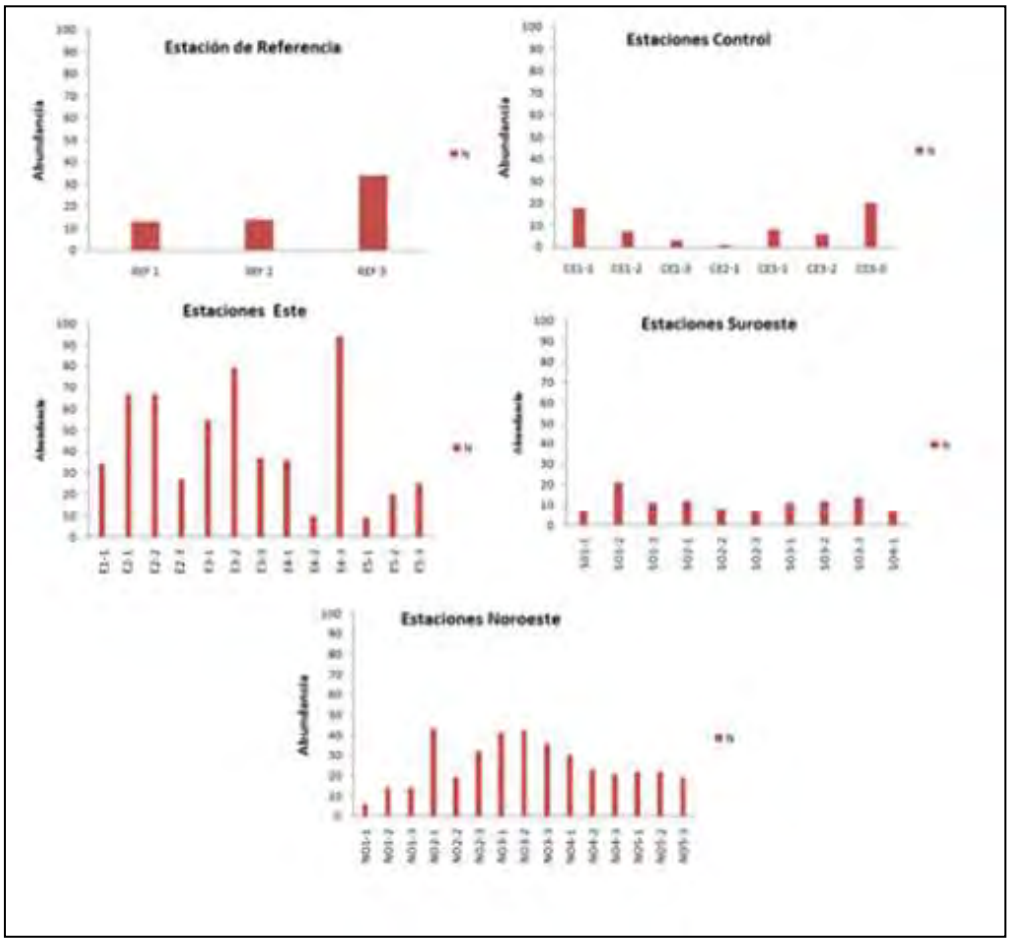


Figura 80. Abundancia total de especies de fondos blandos por estación y réplica. Monitoreo Piloto Norte.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

El grupo taxonómico dominante en términos de abundancia fueMollusca con un 75% del total reportado, seguido por Polychaeta y Crustacea, con valores relativos mucho menores, 9% del total de organismos recolectados en ambos casos.

Los taxa numéricamente dominantes fueron los bivalvos *Nucula pisum*, *Tindariopsis sulculata*, *Venus antiqua* y los gasterópodos *Nassarius gayii* y *Nassarius coppingeri* (**Figura 81** y **Figura 83**).

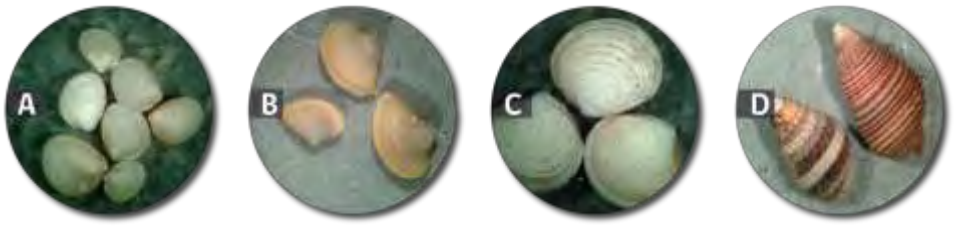


Figura 81. Taxa numéricamente dominantes durante el periodo de estudio. a) *Nucula pisum* (Bivalvo), b) *Tindariopsis sulculata* (Bivalvo), c) *Venus antiqua* (Bivalvo), d) *Nassarius gayii* y *Nassarius coppingeri* (Gasterópodos).

Respecto a la biomasa total registrada (104 g peso húmedo) el crustáceo *Peltarion spinosulum* fue el organismo que registro los mayores pesos húmedo, los 3 individuos capturados de gran tamaño son los que aportan en gran medida a la biomasa total registrada (21 %), una situación similar se registró para *Zygochlamys patagónica* y *Arbacia dufresnii*, que registraron 1 individuo por especie lo que les basto para aportar entre ambos un 25% del total, todas estas especies fueron registradas en las estaciones Control y Referencia (Distancia 4) (**Figura 82**y**Figura 84**).

Por su parte, los bivalvos *Venus antiqua* y *Tindariopsis sulculata* registraron 53 y 130 individuos durante el monitoreo, aportando con 8 % y 6 % de la biomasa total registrada, estas especies fueron registradas en estaciones cercanas al centro en particular en muestras tomadas en el eje Este (Distancias 1 a 3) (**Figura 82**).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Figura 82. Taxa que aportan en mayor porcentaje a la biomasa húmeda durante el periodo de estudio. a) *Peltarion spinosulum* (Crustaceo), b) *Zygochlamys patagonica* (Bivalvo), c) *Arbacia dufresnii* (Equinodermo), d) *Venus antiqua* (Bivalvo), e) *Tindariopsis sulculata* (Bivalvo).

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

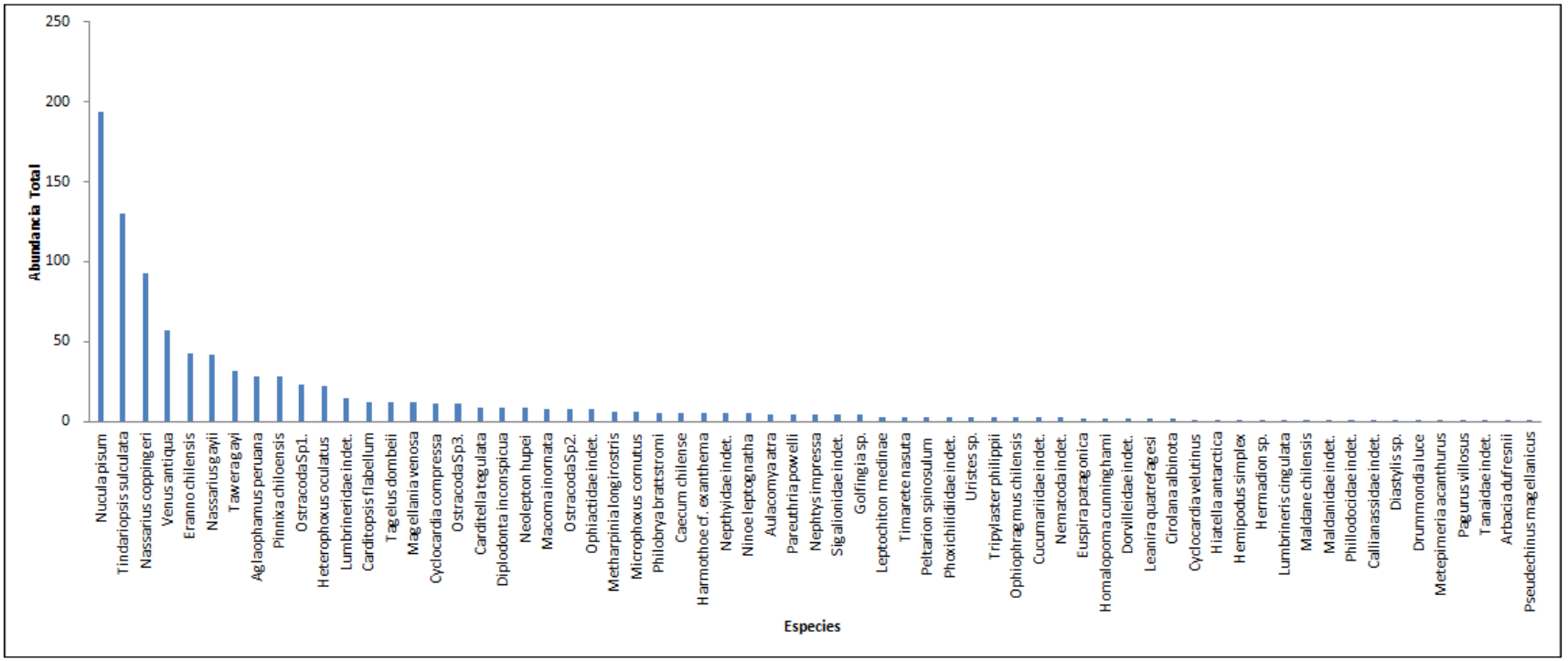


Figura 83. Abundancia Total de las especies registradas en la zona submareal observadas en monitoreo piloto.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

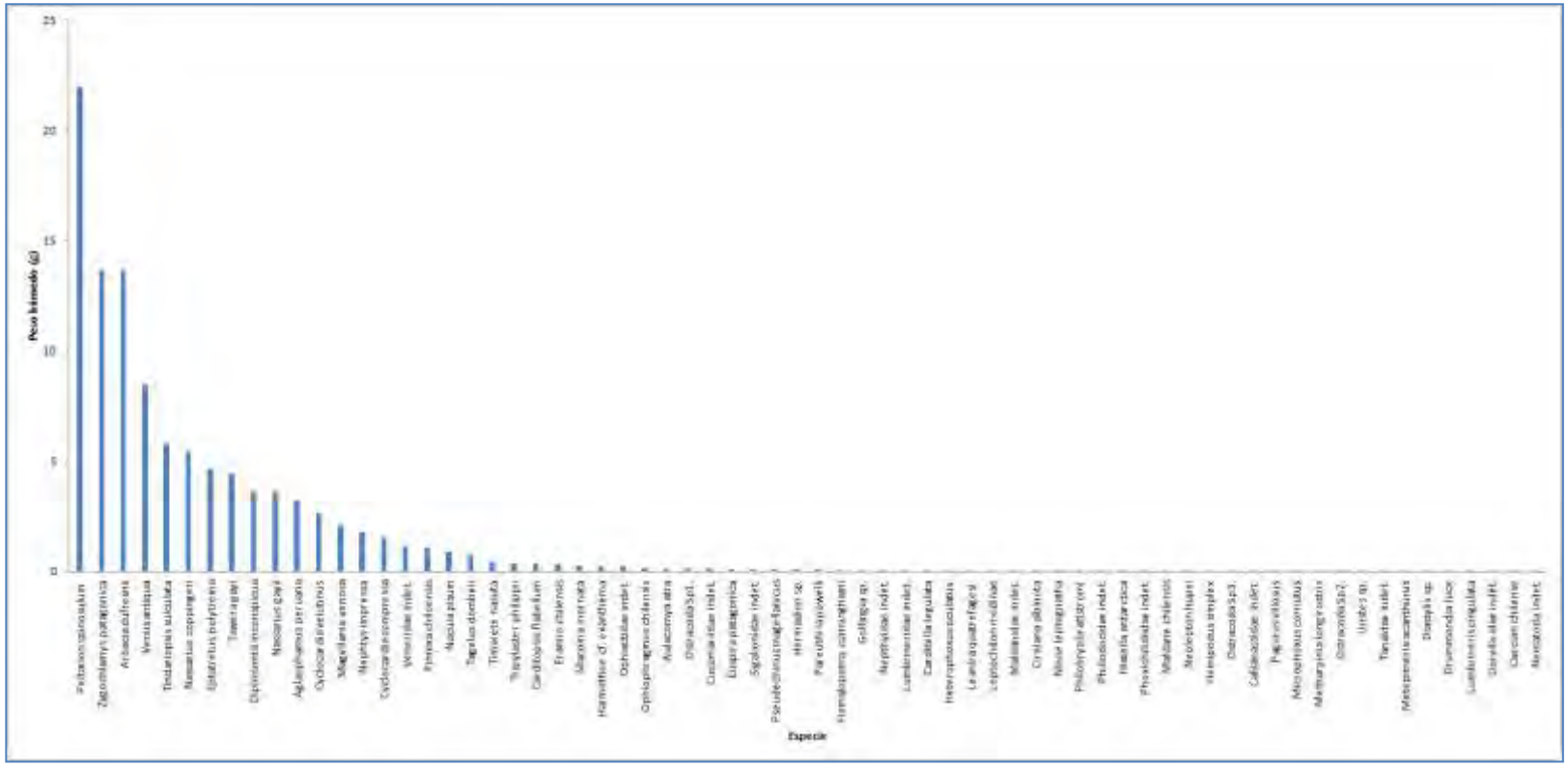


Figura 84. Peso Húmedo de las especies registradas en la zona submareal observadas en monitoreo piloto norte.

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 51. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Control, campaña monitoreo piloto Sector Norte. Tamiz 0,5 mm.

Especie	Estación Referencia					
	Abundancia (ind/0,1m^2)			Biomasa(g/0,1m^2)		
	REF 1	REF 2	REF 3	REF 1	REF 2	REF 3
Cyclocardia compressa	1		9	0,0377		1,4307
Diplodonta inconspicua	1		4	0,1927		2,2681
Philobrya brattstromi	2		3	0,0059		0,0206
Tawera gayi	5	9	7	0,1357	2,6051	0,8733
Homalopoma cunninghami			2			0,0732
Leptochiton medinae		1	2		0,0028	0,0313
Aglaophamus peruana		2			0,1363	
Peltarion spinosulum	1			0,0524		
Phoxichilidiidae indet.		1			0,0074	
Arbacia dufresnii		1			13,6707	
Ophiactidae indet.	1		2	0,0325		0,1041
Magellania venosa	2		5	0,1162		1,9089

Tabla 52. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Control, campaña monitoreo piloto Sector Norte.Tamiz 0,5 mm.

Especie	Estaciones Control													
	Abundancia (ind/0,1m²)							Biomasa(g/0,1m²)						
	CE1-1	CE1-2	CE1-3	CE2-1	CE3-1	CE3-2	CE3-3	CE1-1	CE1-2	CE1-3	CE2-1	CE3-1	CE3-2	CE3-3
Aulacomya atra					1							0,127		
Carditella tegulata	1							0,0026						
Cyclocardia compressa			1							0,0925				
Cyclocardia velutinus							1							2,6711
Hiatella antárctica	1							0,0198						
Tawera gayi						1							0,0039	
Tindariopsis sulculata	8	1	1			1	10	0,2455	0,0106	0,0743			0,1493	0,6108
Zygochlamys patagónica				1							13,6707			
Nassarius coppingeri		1							0,0715					
Nassarius gayii			1							0,2181				
Aglaophamus peruana		2			3	2			0,2485			0,0463	0,0227	
Dorvilleidae indet.	1							0,0005						
Eranno chilensis	2					1	2	0,0084					0,0082	0,0339
Lumbrineridae indet.		1							0,0065					
Ninoe leptognatha	3							0,0195						
Diastylis sp.		1							0,0049					
Heterophoxus oculatus							3							0,0004
Metepimeria acanthurus					1							0,0057		
Metharpinia longirostris		1							0,0027					
Microphoxus cornutus					1							0,0003		
Ostracoda Sp1.	2							0,0031						
Ostracoda Sp2.							4							0,0068
Pinnixa chiloensis						1							0,0122	
Magellania venosa					2							0,0496		

Tabla 53. Densidad (ind/0,1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Este, campaña monitoreo piloto Sector Norte.Tamiz 0,5 mm.

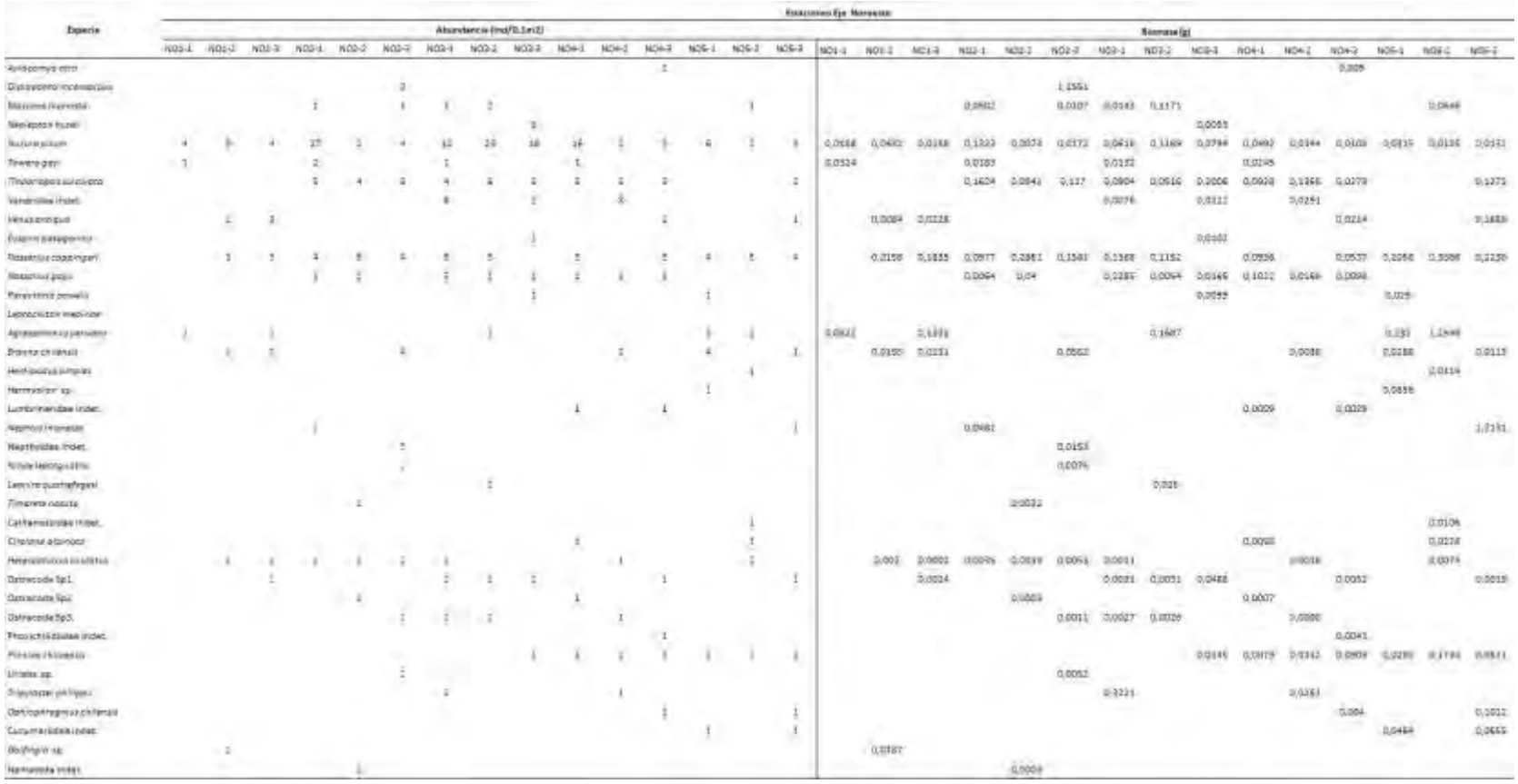
	Estaciones Eje Este																								
	Abundancia (ind/0,1m²)													Biomasa(g)											
Especie	E1-1	E1-2	E2-1	E2-2	E3-1	E3-2	E3-3	E4-1	E4-2	E4-3	E5-1	E5-2	E5-3	E1-1	E1-2	E2-1	E2-2	E3-1	E3-2	E3-3	E4-1	E4-2	E4-3	E5-1	E5-2	E5-3
Aulacomya atra		1													0,0093											
Cormelia tegulata			1			9			1							0,0051			0,020			0,0092				
Corallopsis filabilium				6						6							0,1807						0,165			
Dipolydora mesnilpicta							1													0,0261						
Macoma incarnata												2													0,0255	
Nephtys impar						9													0,0067							
Nuculo pisum	1	2				1	1	8		17	1		2	0,0036	0,0076				0,0068	0,0005	0,0377		0,0652	0,0065		0,0041
Togarus dombei											1	4	1											0,0496	0,1025	0,6281
Tawera gayi			1			1										0,4706			0,1253							
Thiasiosoli sulcuata	4	9	6	1	12	7	4		5					0,2073	0,5981	0,8548	0,0861	0,8551	0,4271	0,2893		0,1065				
Veneridae indet.	18	37	29		22	36	28	17		47				0,1375	0,1524	0,0923		0,2307	0,1749	0,0347	0,0478		0,1705			
Venus antiqua		7	8	1	2	6	5	7		12	1	1	1		1,3894	0,1373	0,0743	0,1432	4,3781	0,054	0,3267		0,3516	0,1548	0,1674	1,0389
Caecum chilense						1				4									0,0004				0,0005			
Eusarsiella patagonica					1													0,1001								
Nassarius coppingeri	6	6	5	5	5	1				1		1		0,4328	0,4052	0,4549	0,4712	0,3521	0,1483				0,0979		0,3211	
Nassarius gayi	2		13	2	2	1				5			1	0,2155		0,5088	0,4781	0,0814	0,0145				0,4441			0,5164
Aglaophamus peruana		1	1	1	1				1				1		0,0575	0,0038	0,022	0,0667				0,0027				0,30108
Dorvilleidae indet.									1													0,0009				
Eranno chilensis				2	8						4		2				0,0178	0,026						0,0219		0,0069
Harmothoe cf. exanthema			1										2			0,1996										0,3068
Lumbrineridae indet.		2							1			1			0,0011							0,0081			0,0068	
Lumbrineris cingulata											1													0,0055		
Malaxe chilensis			1													0,0137										
Maldanidae indet.				1													0,0339									
Nephtyidae indet.								1													0,021					
Phyllodocidae indet.												1													0,0169	
Sigalionidae indet.						1		1		1									0,0536		0,0275		0,0249			
Timarete nexus			1													0,386										
Drummondia lucr												1													0,0039	
Heteraloxia acuminata						1							1						0,0087							0,3077
Morpholoxia cornuta	1	1									1			0,0011	0,0007									0,0027		
Ostracoda Sp1.	1	1	1		1		1			1			1	0,0217	0,0186	0,0044		0,0016		0,0101			0,0031			0,0041
Ostracoda Sp2.									1			1										0,0005			0,0013	
Ostracoda Sp3.						1													0,0038							
Pagurus mirabilis			1													0,0105										
Pelagia spinosum							1													21,945						
Phoxichilidiidae indet.				1													0,0062									
Pinnixa chilensis			1		1	1		1					1			0,0178		0,1512	0,005		0,197					0,2837
Tanaidae indet.										1													0,0076			
Unistes sp.												1													0,0036	
Pseudechinus magellanicus								1													0,0986					
Ophiactidae indet.				4		1											0,0866		0,0009							
Ophiophragmus chilensis													1													0,5499
Cucumariidae indet.										1													0,0121			
Mogellonia venosa				3													0,0141									

Tabla 54. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Suroeste, campaña monitoreo piloto Sector Norte.Tamiz 0,5 mm.

Estaciones Eje Suroeste																				
	Abundancia (ind/0,1m^2)										Biomasa (g)									
Especie	**S01-1**	**SO1-2**	**SO1-3**	**SO2-1**	**SO2-2**	**SO2-3**	**SO3-1**	**SO3-2**	**SO3-3**	**SO4-1**	**S01-1**	**SO1-2**	**SO1-3**	**SO2-1**	**SO2-2**	**SO2-3**	**SO3-1**	**SO3-2**	**SO3-3**	**SO4-1**
Carditopsis flabellum										1										0,0077
Nucula pisum	4	11	6	1	1	2			1	3	0,0154	0,0487	0,0357	0,0088	0,0067	0,0069			0,0007	0,0109
Tawera gayi		2							1			0,1351							0,0035	
Tindariopsis sulculata		2	2			3	2	1	1			0,1004	0,0355			0,1421	0,0318	0,0004	0,0915	
Veneridae indet.					1		5								0,0038		0,0241			
Venus antiqua							1										0,1027			
Nassarius coppingeri				1	2			7	2					0,0954	0,3855			0,2874	0,0555	
Nassarius gayii			1				1		1	1			0,0384				0,3156		0,0127	0,312
Pareuthria powelli					1			1							0,0272			0,0157		
Aglaophamus peruana			1			1			2	1			0,034			0,0138			0,1567	0,4809
Eranno chilensis	1	1				1		1	4		0,0098	0,0153				0,0074		0,0025	0,0174	
Harmothoe cf. exanthema		1							1			0,0429							0,0053	
Lumbrineridae indet.				6										0,0329						
Nephtys impressa	1							1			0,0049							0,026		
Nepthyidae indet.				3										0,0299						
Leanira quatrefagesi							1										0,0103			
Timarete nasuta					1										0,0044					
Heterophoxus oculatus		2					1					0,0037					0,0027			
Metharpinia longirostris	1										0,0018									
Microphoxus cornutus								1	1									0,0014	0,0024	
Ostracoda Sp3.			1										0,0007							
Pinnixa chiloensis		1										0,0101								
Golfingia sp.		1		1	1							0,0098		0,0079	0,0322					
Eptatretus polytrema										1										4,633
Nematoda indet.					1										0,0002					

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

Tabla 55. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Noroeste, campaña monitoreo piloto Sector Norte.Tamiz 0,5 mm.



Riqueza de especies

Las estaciones de referencia y control, presentaron una riqueza máxima de 8 individuos y una mínima de 1 taxa en la estación control Control 2-R1.

Por su parte, las estaciones con mayor riqueza se hallaron en la transecta Este (E1 a E5), este eje presento grandes fluctuaciones en su riqueza con valores entre 6 a 15 especies. La segunda transecta con mayor riqueza fue la ubicada al Noroeste del centro de cultivo piloto, este eje evidencio un aumento en su riqueza en la medida que aumenta la distancia de éste (desde 3 a 11 Taxa). Las estaciones ubicadas al suroeste no presentaron patrón de distribución fluctuando entre un mínimo de 4 y un máximo de 9 especies ubicada en la estación SO3-3 (**Tabla 49**y**Figura 85**).

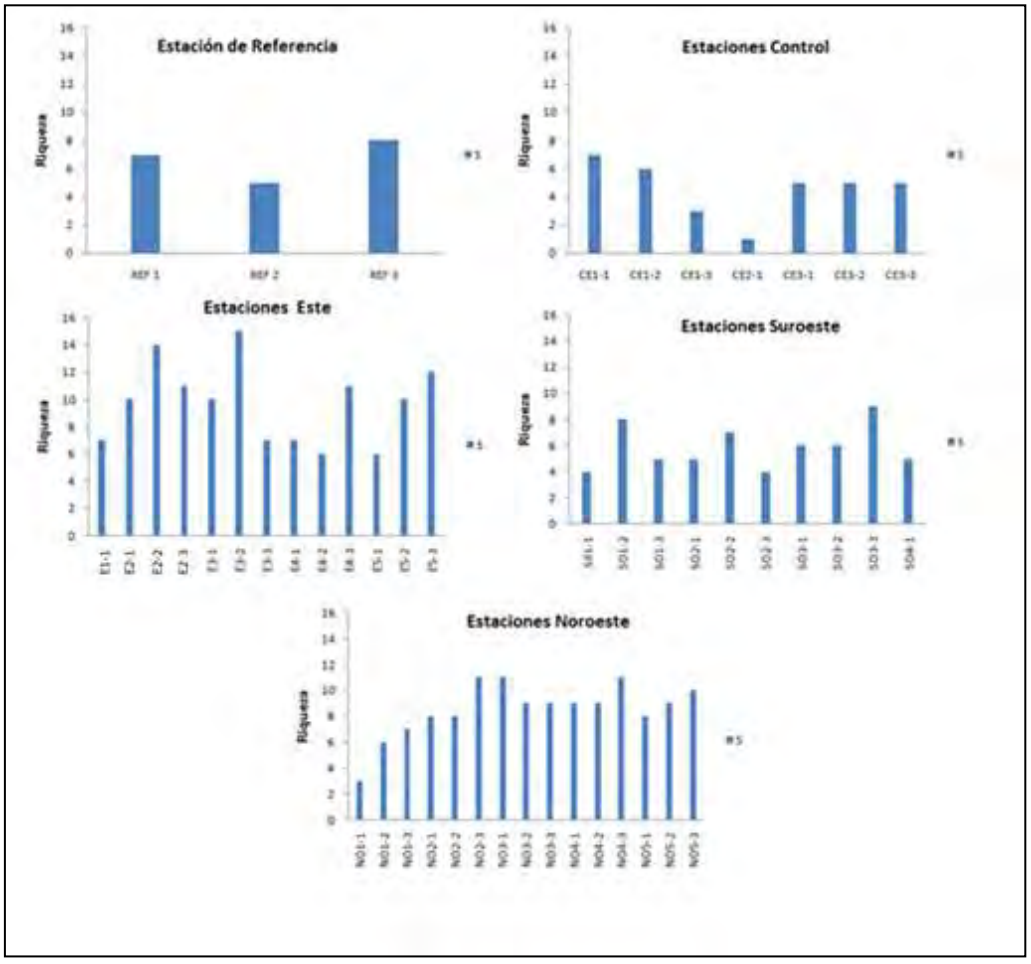


Figura 85. Riqueza total de especies de fondos blandos por estación y réplica. Campaña Monitoreo Piloto Norte. Mejorar gráfica.

Uniformidad y dominancia

En relación con la equitatibidad y dominancia en la distribución de las abundancias numéricas por cada categoría taxonómica. Se observa que el índice de uniformidad, va desde 0,63 ubicada en NO2-1 a 1 en estaciones control, para todos los casos uniformidad superó el valor de 0,5 (**Tabla 49**,**Figura 86** y**Figura 87**).

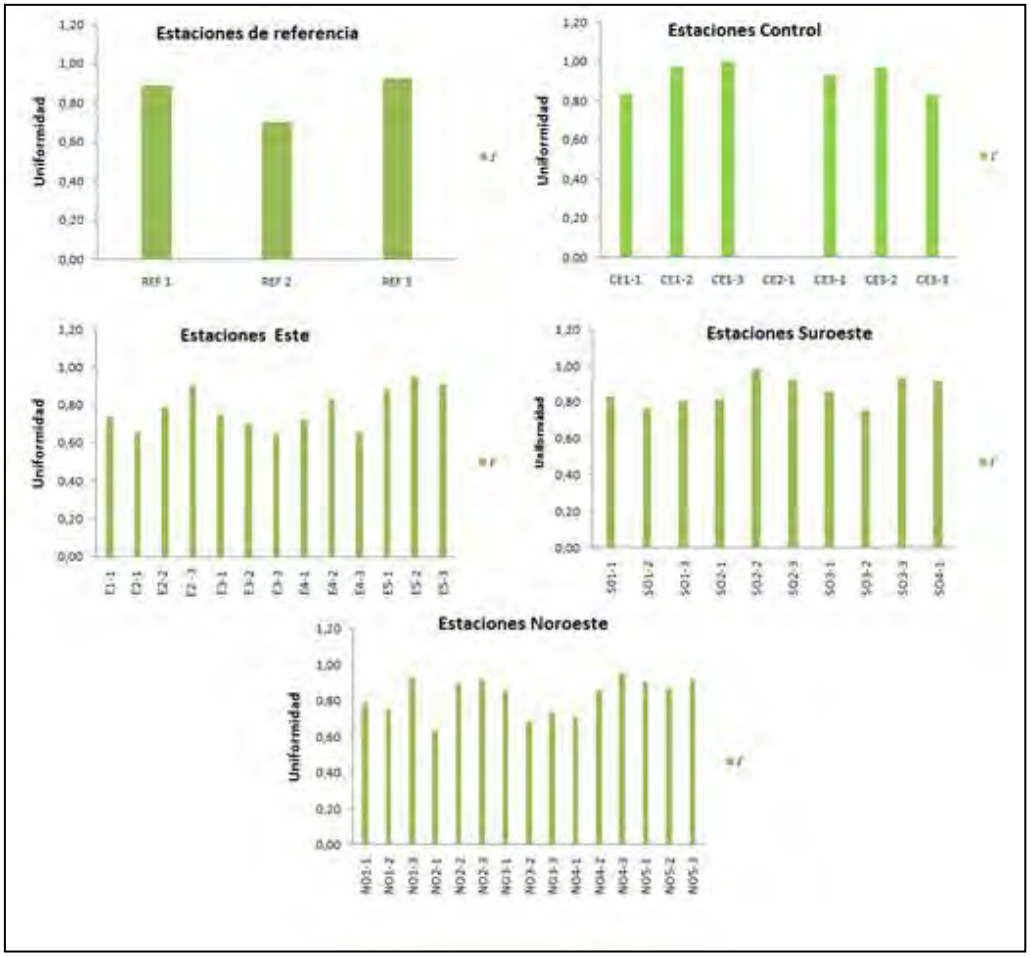


Figura 86. Uniformidad de especies de fondos blandos por estación y réplica correspondiente. Campaña Monitoreo Piloto Norte.

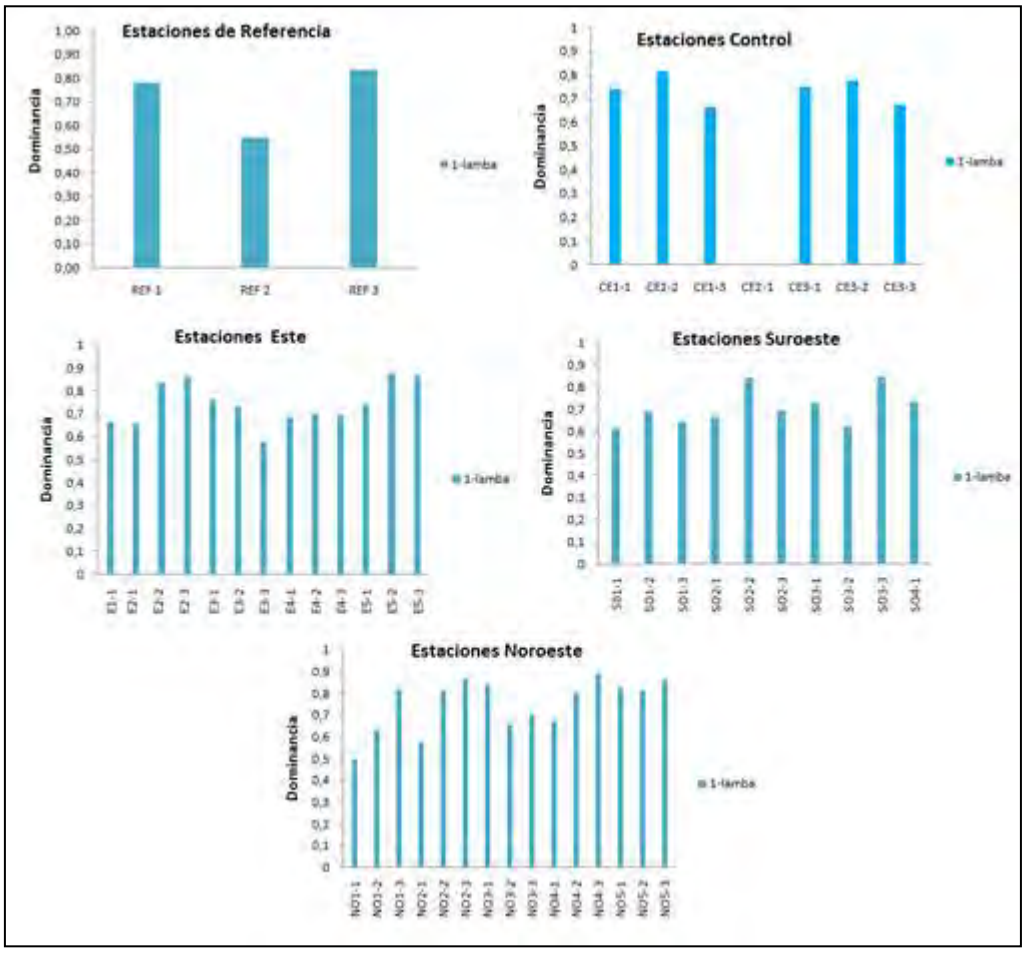


Figura 87. Dominancia de especies de fondos blandos por estación y réplica. Monitoreo Piloto Norte.

Análisis multivariado

Escalamiento multidimensional no métrico (N-MDS)

El N-MDS permitió ordenar en un espacio de dos dimensiones las estaciones muestreadas a lo largo del periodo de estudio (**Figura 88**), la configuración resultante se clasifico como útil, generando un valor de estrés de 0,21, es decir que la representación multivariada se ajusta a la matriz de datos originales.

En el N-MDS se observó que las estaciones con sus réplicas que se encuentran en torno al centro piloto (distancias < a 600 metros) se agrupan formando un grupo distinto las estaciones referencia (>1000 metros) y control (>13000 metros).

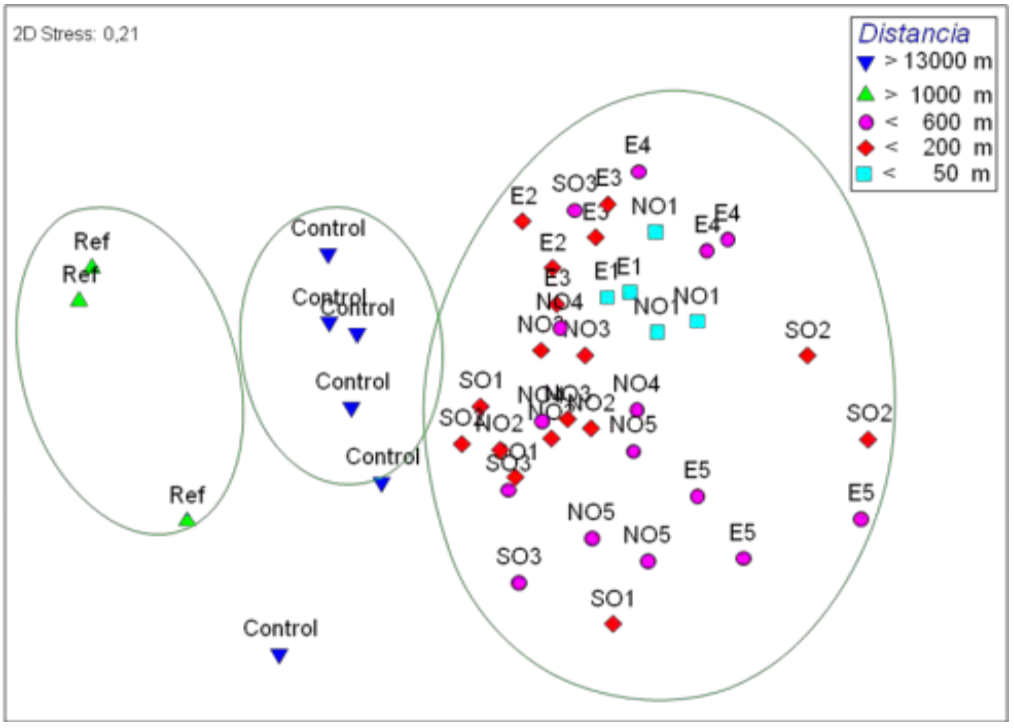


Figura 88. Análisis de ordenación no paramétrica (N-MDS) de las estaciones de muestreo. Factor Distancia al Centro Piloto

Análisis de similitud

Las conclusiones derivadas del análisis de ordenación fueron validadas con la prueba ANOSIM, cuyos resultados son entregados en la **Tabla 56**. La prueba indicó la presencia de grupos.

Tabla 56. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre estaciones de muestreo a lo largo del periodo de estudio.

Prueba Global	
Valor del estadístico R	0,307
Nivel de significancia estadística obtenido (%)	0,1
Nivel de significancia estadística de rechazo (%)	5
Número de permutaciones realizadas (R')	999
Frecuencia de R'>R	0

La **Figura 88**, muestra una clara separación de las estaciones Control y Referencias respecto del resto que corresponden a los ejes Este, Noreste y Suroeste a distancias entre 40 y 600 metros, esto fue respaldado por la prueba ANOSIM arrojando diferencias significativas (R:0,307; p:0,1).

Al examinar las comparaciones parciales entre pares se observó que las estaciones más alejadas del centro piloto (Control y Referencia: Distancia 4), son estadísticamente diferentes a las estaciones ubicadas entre las distancias 1 y 3 (50 y 600 metros). Pero entre las estaciones ubicadas entre las distancias 1 a 3 no hay diferencias significativas respecto a la composición de especies (**Tabla 57**).

Tabla 57. Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia y D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros de distancia del centro piloto

Grupos por distancia de las estaciones de muestreo al centro piloto		R	P(%)
D5	D1	0,398	2,3(*)
D5	D2	0,441	0,2 (*)
D5	D3	0,308	0,5 (*)
D5	D4	0,506	2,4 (*)
D4	D1	0,477	0,5 (*)
D4	D2	0,583	0,1(*)
D4	D3	0,545	0,1 (*)
D1	D2	-0,087	73,6
D2	D3	-0,179	94,2
D2	D3	0,061	8,6

(*) Indica diferencias entre grupos.

Análisis de contribución SIMPER

Las **Tabla 58**, **Tabla 59** y **Tabla 60** contienen el porcentaje de contribución de cada taxón al distanciamiento entre las distancias de muestreo (D4 vs D1, D4 vs D2 y D4 vs D3), indicando los taxa con mayor porcentaje de contribución a este distanciamiento.

Los resultados indican que los moluscos bivalvos *Nucula pisum*, y los juveniles de la familia veneridae, junto con los moluscos gasterópodos *Nassarius gayi* y *N. coppingeri* fueron los taxas más importantes en términos de frecuencia y porcentaje de contribución, estos taxas estuvieron presentes principalmente en las estaciones más cercanas al centro de cultivo piloto, por su parte el molusco bivalvo *Tindariopsis sulculata* y *Tawera gayi* también fueron taxas importantes en términos de frecuencia y porcentaje de contribución, sin embargo estos estuvieron presentes en mayor abundancia promedio en las estaciones control y referencia (**Figura 89**).

Tabla 58. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a las distancias D4 (>1000 metros) y distancia D1 (<50 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.

Especies	D4	D1	%	% Acumulado
	Abundancia Promedio		Contribución	
Veneridae juveniles	0	19,8	41,34	41,34
Nucula pisum	0	3,8	9,63	50,97
Tindariopsis sulculata	3,33	2,6	8,28	59,25
Tawera gayi	2,44	0,2	5,3	64,55
Nassarius coppingeri	0,11	2,8	5,21	69,76
Venus antiqua	0	2,2	4,01	73,78
Cyclocardia compressa	1,44	0	2,65	76,43
Aglaophamus peruana	1	0,8	2,61	79,04
Magellania venosa	1	0	2,03	81,07
Heterophoxus oculatus	0,33	0,6	2,01	83,08
Eranno chilensis	0,56	0,6	1,93	85,01
Ostracoda Sp1.	0,22	0,8	1,82	86,83
Ninoe leptognatha	0,78	0	1,78	88,61
Philobrya brattstromi	0,56	0	1,07	89,68
Nassarius gayii	0,11	0,4	1,07	90,74

Tabla 59. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D4 (>1000 metros) y distancia D2 (<200 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.

Especies	D4	D2	%	% Acumulado
	Abundancia Promedio		Contribución	
Nucula pisum	0	6,71	17,05	17,05
Veneridae indet.	0	7,82	12,84	29,89
Tindariopsis sulculata	3,33	4,24	10,82	40,71
Tawera gayi	2,44	0,41	6,73	47,43
Nassarius coppingeri	0,11	2,76	6,1	53,54
Aglaophamus peruana	1	0,35	3,41	56,95
Nassarius gayii	0,11	1,71	3,2	60,16
Cyclocardia compressa	1,44	0	3,16	63,31
Eranno chilensis	0,56	1	3,02	66,33
Magellania venosa	1	0,18	2,69	69,02
Ninoe leptognatha	0,78	0,12	2,33	71,35
Heterophoxus oculatus	0,33	0,65	1,97	73,33
Lumbrineridae indet.	0,11	0,35	1,81	75,14
Ostracoda Sp1.	0,22	0,76	1,7	76,84
Venus antiqua	0	1	1,61	78,45

Tabla 60. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D4 (>1000 metros) y distancia D3 (<600 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.

Especies	D4	D3	%	% Acumulado
	Abundancia Promedio		Contribución	
Veneridae indet.	0	6,67	11,9	11,9
Tindariopsis sulculata	3,33	1,6	10,04	21,93
Nucula pisum	0	4,07	9,26	31,2
Tawera gayi	2,44	0,13	6,95	38,15
Nassarius coppingeri	0,11	2,07	6,88	45,03
Venus antique	0	2,47	5,2	50,22
Eranno chilensis	0,56	1,2	4,53	54,76
Pinnixa chiloensis	0,11	1,47	4,47	59,23
Aglaophamus peruana	1	0,53	3,73	62,95
Cyclocardia compressa	1,44	0	3,34	66,29
Magellania venosa	1	0	2,66	68,95
Tagelus dombeii	0	0,8	2,51	71,45
Ninoe leptognatha	0,78	0	2,37	73,82
Heterophoxus oculatus	0,33	0,33	1,77	75,59
Nassarius gayii	0,11	0,67	1,74	77,33

Figura 89. Taxa más importantes, en términos de frecuencia y porcentaje de contribución en la disimilitud observada entre las estaciones de muestreo. a) *Nucula pisum* b) *Venus antiqua* c) *Nassarius gayi* y *N. coppingeri* d) *Tindariopsis sulculata* y e) *Tawera gayi*. Fotografías (José Saavedra).

Análisis de curvas ABC

La **Figura 90** representa los resultados de estadístico W derivado de las curvas ABC, aplicada al bentos submareal de fondos de la zona de estudio, correspondiente a la campaña de monitoreo piloto norte.Los valores obtenidos de W se indican en la **Tabla 61**.

Las conclusiones obtenidas a partir de las curvas ABC se resumen en las **Tabla 62** y **Tabla 63**, según la metodología propuesta por Warwick (1986), en general se observa que las comunidades presentes en las estaciones de muestreo del eje Este y Noroeste cercanas al centro de cultivo (Distancia 1< 50 metros) presentan un alto porcentaje de condición "Moderadamente perturbada", situación similar se registró para las comunidades presentes en el eje Este y Suroeste a una distancia entre 50 y 200 metros (Distancia 2) con excepción de las muestras SO1-R1 y NO2-R1 que registraron comunidades identificadas como "Alteradas" con valores del estadístico W:<-1,5. Por su parte las comunidades más lejanas al centro de cultivo (Distancia 3 y 4), presentan casi un 100% de estaciones con condición "No Alterada".

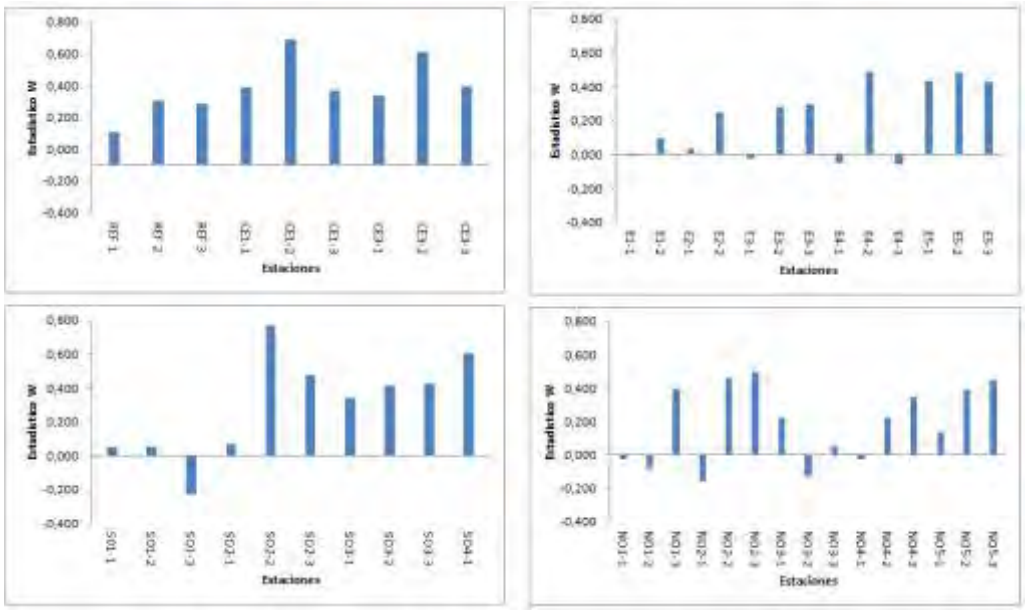


Figura 90. Valores del estadístico W ´para las estaciones monitoreadas campaña Piloto Norte

Tabla 61. Valores estadístico W para cada réplica, estaciones pertenecientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Centro Piloto Norte.

Estación	R1	R2	R3
REF	0,107	0,304	0,285
Control 1	0,393	0,689	0,374
Control 2	0,337	0,611	0,395
E1	-0,002		
E2	0,099	0,034	0,253
E3	-0,023	0,281	0,299
E4	-0,049	0,49	-0,055
E5	0,436	0,484	0,43
SO1	0,049	0,054	-0,233
SO2	0,069	0,77	0,474
SO3	0,341	0,413	0,425
NO1	-0,025	-0,084	0,396
NO2	-0,155	0,456	0,5
NO3	0,224	-0,123	0,056
NO4	-0,029	0,224	0,345
NO5	0,134	0,391	0,447

Tabla 62. Tabla resumen resultados obtenidos a partir de las curvas ABC, estaciones ejes Este, Suroeste y Noroeste, asociado a las distancias al centro de cultivo. Monitoreo piloto Norte. Verde: Comunidades No alteradas; Amarillo: Comunidades Moderadamente alteradas; Rojo: Comunidades Alteradas.

Lejanía a centro piloto	Eje		
	Este	Suroeste	Noroeste
Distancia 1	E1-1		NO1-1
			NO1-2
			NO1-3
Distancia 2	E2-1	SO1-1	NO2-1
	E2-2	SO1-2	NO2-2
	E2-3	SO1-3	NO2-3
	E3-1	SO2-1	NO3-1
	E3-2	SO2-2	NO3-2
	E3-3	SO2-3	NO3-3
Distancia 3	E4-1	SO3-1	NO4-1
	E4-2	SO3-2	NO4-2
	E4-3	SO3-3	NO4-3
	E5-1		NO5-1
	E5-2		NO5-2
	E5-3		NO5-3

Tabla 63. Tabla resumen resultados obtenidos a partir de las curvas ABC, estaciones Referencia y Control, asociado a las distancias al centro de cultivo. Monitoreo piloto Norte. Verde: Comunidades No alteradas; Amarillo: Comunidades Moderadamente alteradas; Rojo: Comunidades Alteradas.

Lejanía a Centro Piloto	Referencia	Control
Distancia 4	Ref1-1	C1-1
	Ref1-2	C1-2
	Ref1-3	C1-3
		C2-1
		C2-2
		C2-3
		C3-1
		C3-2
		C3-3

Integración variables sedimentos y abundancia bentónica

La estructura biológica encontrada en el Centro Piloto Norte, muestra un gradiente de variación en algunos de los descriptores de la comunidad, como por ejemplo reducción del número de especies, diversidad y abundancia total en aquellas estaciones ubicadas cercanas al Centro.

Para relacionar mediante el análisis Bio-env la configuración espacial del componente biológico, con las características del sedimento y la columna de agua se usaron los siguientes datos fisicoquímicos de sedimento: pH, REDOX, Materia orgánica total, media del grano y columna de agua: temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (a 1 metro del fondo).

Las **Tabla 64** y**Tabla 65** muestran los resultados del análisis, este indica que las variablespH y Diámetro medio del grano, presentan la mejor correlación con la configuración espacial del macrozoobentos del centro piloto Norte (Pw: 0.33; p: 2%)

Tabla 64. Resultado del Bio-Env mediante el coeficiente de correlación de Spearman (pw)

Prueba Global	
Valor del estadístico Rho	0,33
Nivel de significancia estadística obtenido (%)	2
Nivel de significancia estadística de rechazo (%)	5
Número de permutaciones realizadas (R')	99
Frecuencia de Rho">Rho	1

Tabla 65. Resultado del Bio-Env mediante el coeficiente de correlación de Spearman (pw). Combinación de 7 variables fisicoquímicas del sedimento y columna de agua. El primer valor en negrita indica la máxima correlación.

Número de variables que entregan Mejor Resultado	Correlación	Variables seleccionadas
2	**0,33**	**pH-Diámetro medio del grano**
3	0,303	MOT- **Diámetro medio del grano**
3	0,293	Redox- **pH-Diámetro medio del grano**
2	0,277	Redox**-Diámetro medio del grano**

Sector Sur

Columna de agua

Durante la campaña de monitoreo piloto sector sur, todas las estaciones de muestreo a un metro del fondo, presentaron una columna de agua homogénea en términos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (**Tabla 66, Figura 91**). Esta situación en normal para ambientes que presentan una importante mezcla superficial que se genera durante periodos de aumento de viento.

La temperatura presento un estrecho rango de valores entre 10,57 y 10,88 °C, mientras los registros de salinidad estuvieron en torno a 33 PSU en todas las estaciones, evidenciando la influencia de aguas oceánicas con altas salinidades. Por su parte la concentración de oxígeno disuelto presento un mayor rango de valores entre 3,05 y 4,85 mg/l, todos mayores al límite de aceptabilidad indicado en la Res. Ex. 3612 (>2,5 mg/l).

Tabla 66. Valores de Salinidad (PSU), Temperatura (°C) y Oxígeno disuelto (mg/l) a 1 metro del fondo, monitoreo centro piloto Sector Sur.

Estación	Columna de agua a 1 metro del fondo			
	Salinidad	Temperatura	Oxígeno disuelto	Profundidad máxima
	(PSU)	(°C)	(ml/g)	(m)
SE1	33,85	10,60	4,57	22
SE2	33,30	10,63	4,47	21
SE3	33,84	10,57	4,13	33
SE4	33,82	10,65	4,28	31
SE5	33,82	10,69	4,85	26
NO1	33,96	10,62	3,96	42
NO2	33,97	10,62	3,32	33
NO3	34,60	10,61	3,64	32
NO4	33.98	10,61	3,05	31
NO5	34,01	10,88	3,46	27
SO1	32,80	10,83	4,40	52
SO2	33,43	10,62	3,89	42
SO3	34,06	10,58	4,04	51
SO4	33,76	10,60	4,21	41
SO5	33,87	10,57	3,96	66
REF1	33,96	10,58	4,34	32
CONTROL 1	33,55	10,63	4,65	45
CONTROL 2	33,37	10,43	4,77	48
CONTROL 3	33,91	10,51	4,64	53
Promedio	33,77	10,62	4,13	38,31
D. Estandar	0,38	0,09	0,50	12,0

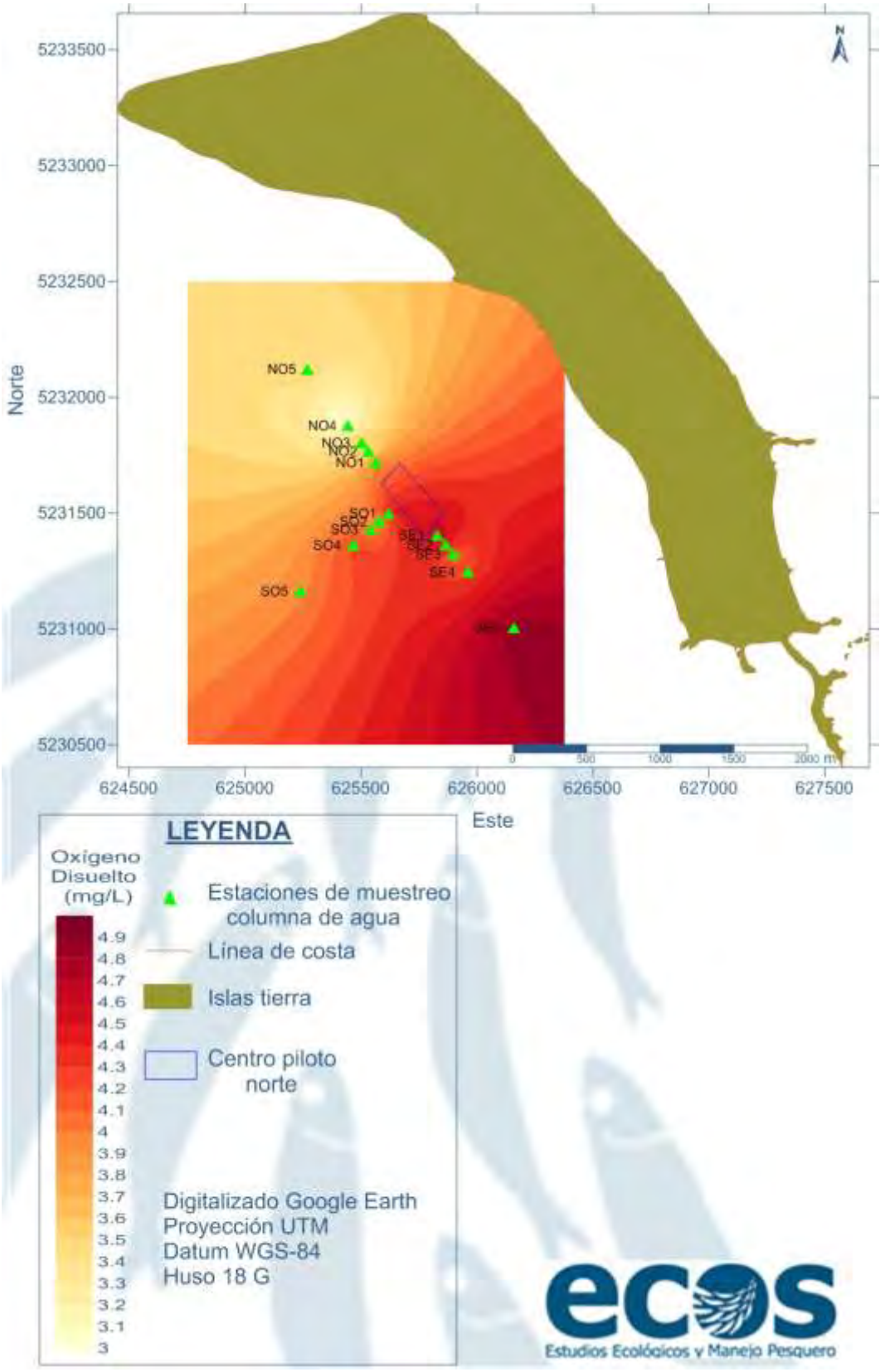


Figura 91. Distribución espacial de oxígeno disuelto centro piloto sur

Sedimentos marinos

Materia Orgánica Total

El contenido porcentual de materia orgánica total (MOT %) obtenido en las distintas estaciones de muestreo se resume en la (**Tabla 67**,**Figura 92**).Para las muestras NO4-R2, NO4-R3 no se logró recolectar sedimento debido a que el tipo de fondo presente correspondió a sustrato duro.

El contenido de materia orgánica asociado al sedimento vario desde valores mínimos de 0,37% para las estaciones SE5-R2yun valor máximo de 5,25% para la estación NO3-R2.

Tabla 67. Porcentaje de materia orgánica total de los sedimentos correspondientes a los ejes Este, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur.

Estación	MOT (%)		
	R1	R2	R3
SE1	1,11	1,23	1,21
SE2	0,81	0,95	0,92
SE3	0,97	0,83	0,95
SE4	1,05	0,89	1,04
SE5	0,42	0,37	0,58
NO1	1,26	1,13	1,31
NO2	1,55	1,57	1,64
NO3	1,37	5,25	1,55
NO4	0,76	Fondo duro	Fondo duro
NO5	0,69	0,79	0,72
SO1	0,93	0,75	1,21
SO2	0,97	1,04	0,84
SO3	0,86	0,57	0,47
REF1	0,99	0,82	0,95
CONTROL 1	1,27	1,09	1,22
CONTROL 2	0,75	0,79	0,79
CONTROL 3	0,43	0,42	0,45
Promedio	0,95	1,15	0,99
D. Estandar	0,30	1,13	0,35

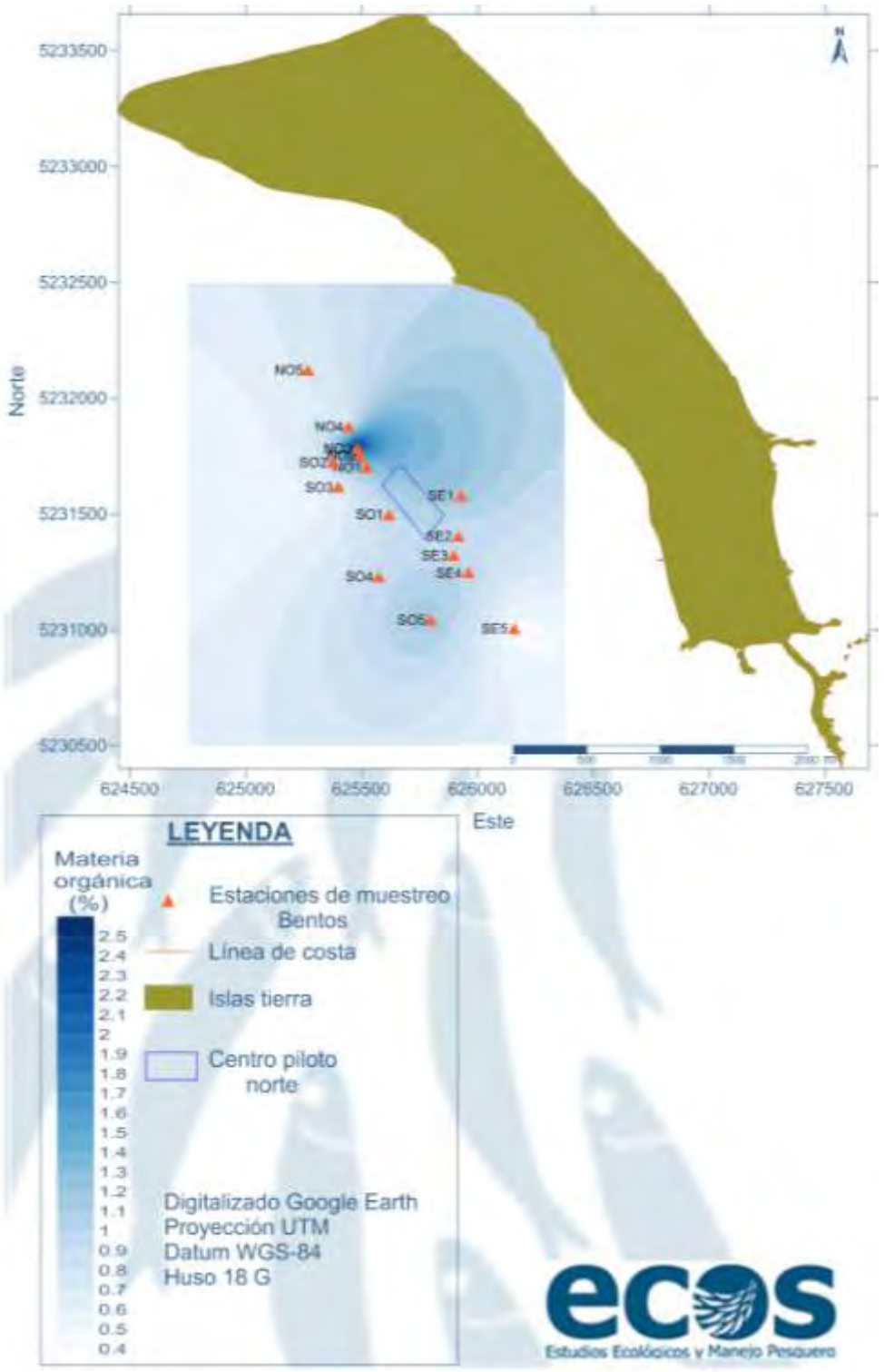


Figura 92. Distribución espacial del porcentaje de materia orgánica. Centro piloto sur

Potencial Redox

En cuanto al potencial redox (mv) obtenido en las distintas estaciones de muestreo (**Tabla 68** y **Figura 93**), los valores presentaron valores positivos mayores a 50 mv (límite de aceptabilidad indicado en la Res. Ex. 3612) en aquellas estaciones alejadas al centro de cultivo (REF y Control). Para aquellas estaciones cercanas al centro se observaros 24 estaciones presentaron valores negativo de estas y aquellas que presentan valores positivos están bajo el límite de aceptabilidad (50 mv).

Para las muestras NO4-R2, NO4-R3 no se logró recolectar sedimento debido a presentar fondo duro.

Tabla 68. Valores de Potencial Redox de los sedimentos correspondientes a los ejes Sureste, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur.

Estación	Potencial Redox (mv)		
	R1	R2	R3
SE1	-62,0	94,4	10,60
SE2	6,2	3,4	54,1
SE3	-32,8	-192,1	55,3
SE4	89,1	-48,1	-32,4
SE5	75,9	76,6	88,7
NO1	-224,2	-240,7	-210,2
NO2	-185,2	-151,3	-152,5
NO3	-122,9	-193,5	-128,1
NO4	-33,3	Fondo duro	Fondo duro
NO5	78,1	80,3	65
SO1	-121,2	-155,9	-170,7
SO2	-43,7	-56,0	-59,0
SO3	-64,1	-80,5	36,5
SO4	25,0	96,6	-34,4
SO5	22,2	6,8	68,4
REF1	69,4	96,2	107,8
CONTROL 1	73,0	56,6	54,4
CONTROL 2	23,2	26,8	78,4
CONTROL 3	87,4	196,2	97,7
Promedio	-17,88	-21,34	-3,9
D. estándar	94,16	124,96	100,84

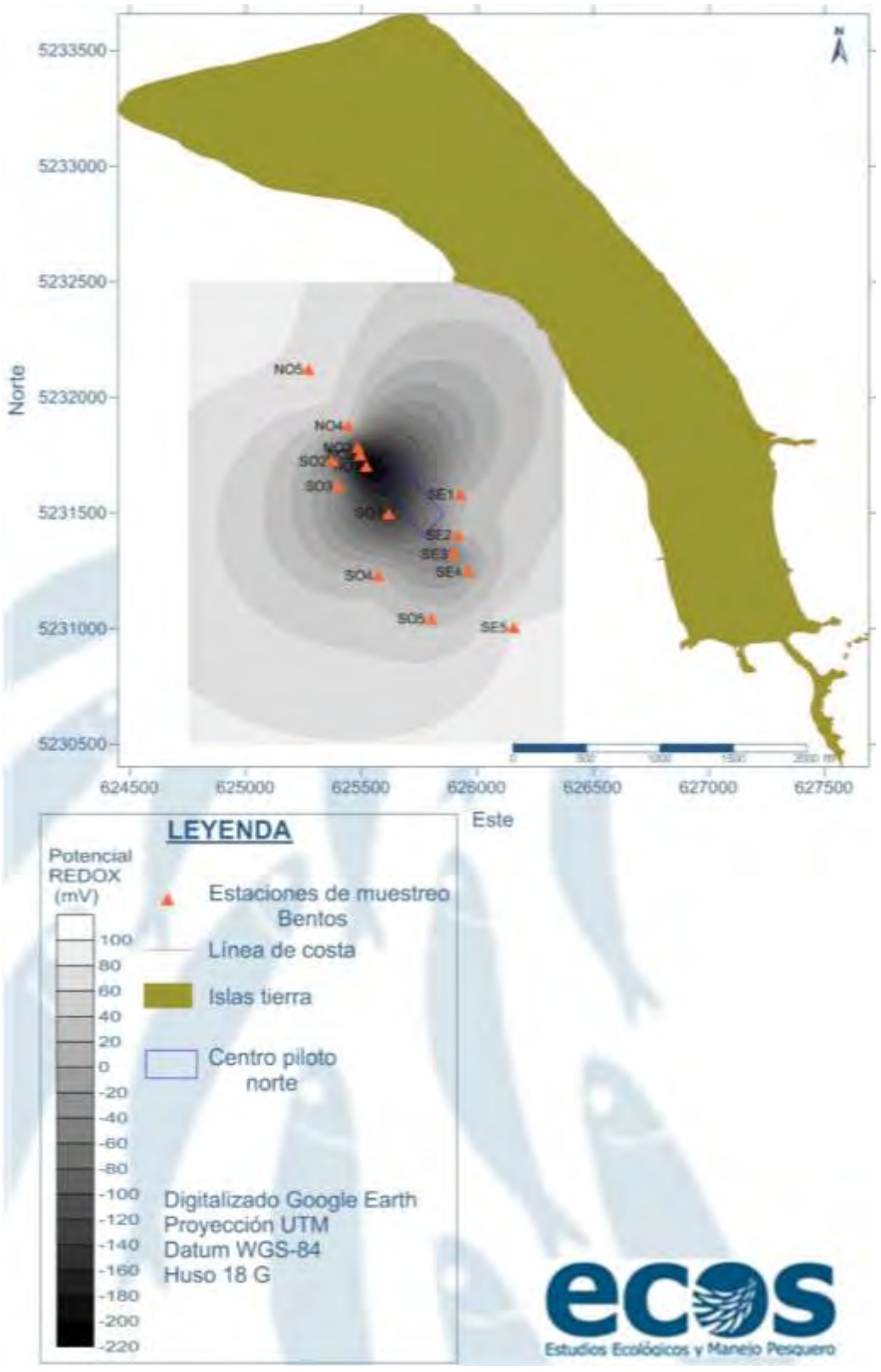


Figura 93. Distribución espacial del potencial redox. Centro piloto sur

Valores de pH

Respecto de los valores de pH obtenido en las distintas estaciones de muestreo (**Tabla 69**, **Figura 94**), se observaron valores mayores 7,1 (límite de aceptabilidad indicado en la Res. Ex. 3612) en la mayoría de las estaciones.

Para las muestras NO4-R2, NO4-R3 no se logró recolectar sedimento debido a presentar fondo duro.

Tabla 69. Valores de pH de los sedimentos correspondientes a los ejes Sureste, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur.

Estación	pH		
	R1	R2	R3
SE1	7,2	7,1	6,8
SE2	7,4	7,2	7,2
SE3	7,5	7,1	7,3
SE4	7,1	7,3	7,1
SE5	7,4	7,4	7,4
NO1	7,3	7,3	7,4
NO2	7,0	7,0	7,0
NO3	7,2	7,1	6,9
NO4	7,4	Fondo duro	Fondo duro
NO5	7,2	7,2	7,3
SO1	7,2	7,3	7,3
SO2	7,2	7,1	7,1
SO3	7,3	7,2	7,2
SO4	7,4	7,2	7,0
SO5	7,3	7,2	7,3
REF1	7,2	7,3	7,3
CONTROL 1	7,1	7,4	7,2
CONTROL 2	7,2	7,3	7,2
CONTROL 3	7,2	7,2	7,2
Promedio	7,2	7,2	7,1
D. estándar	0,12	0,10	0,16

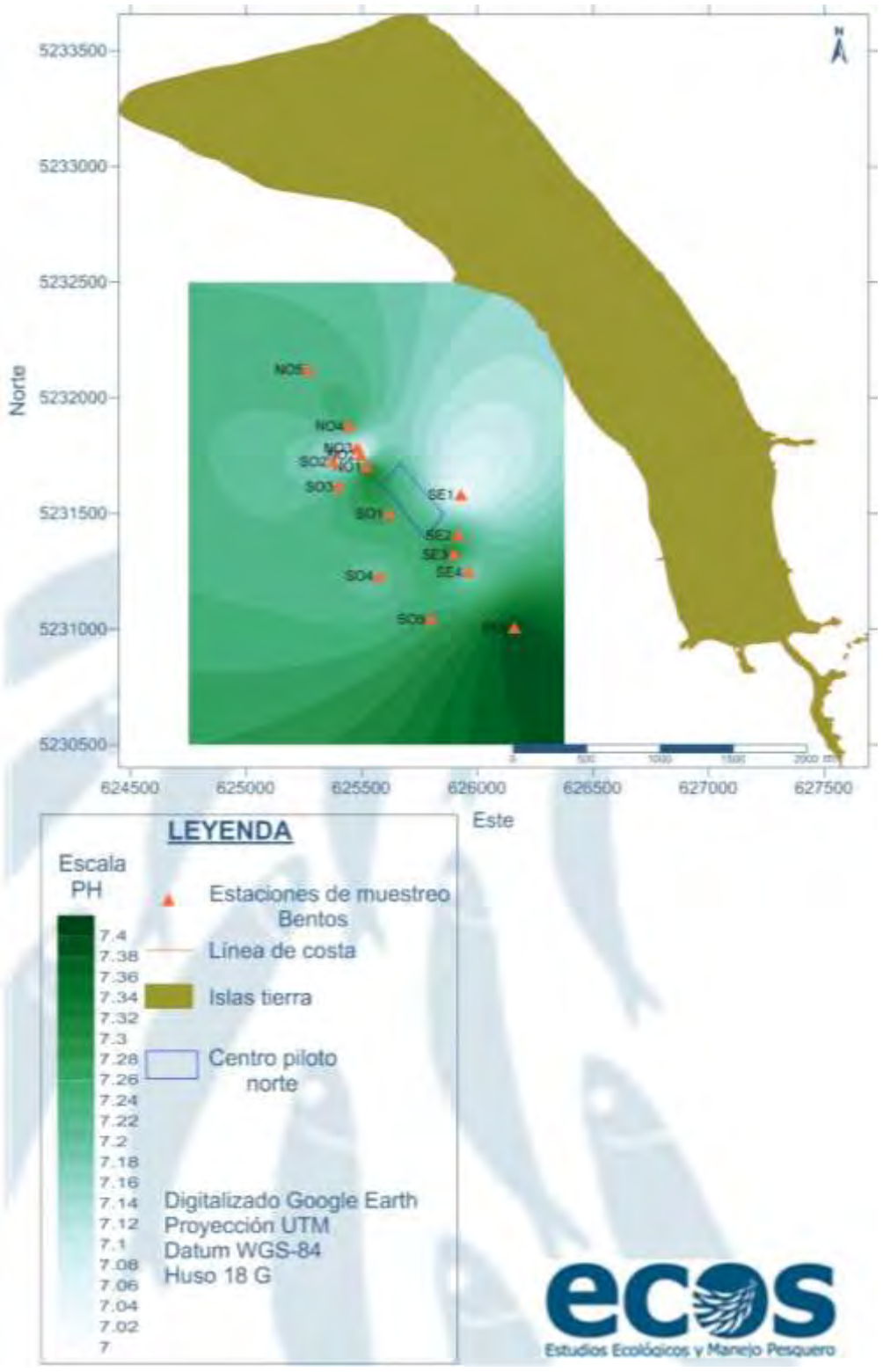


Figura 94. Distribución espacial del pH. Centro piloto sur

Diámetro del grano

Respecto de la granulometría los resultados indican que el sedimento está compuesto principalmente por arenas, con valores promedio de diámetro de la partícula por eje de muestreo en torno a los 250µm, con excepción de las estaciones control que presentaron valores por sobre los 1000 µm (**Tabla 70).**

Para las muestras NO4-R2 y NO4 no se logró recolectar sedimento debido a que presentó fondo rocoso.

Tabla 70. Valores del diámetro de la partícula del sedimento correspondiente a los ejes Sureste, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur.

Estación	Diámetro de la partícula de sedimento		
	R1	R2	R3
SE1	96,94	80,29	99,2
SE2	115,2	100,2	108,1
SE3	102,7	107,2	102,4
SE4	98,22	93,76	93,88
SE5	528,4	543,2	533,1
NO1	284,3	209,6	210
NO2	318,5	377,4	293,8
NO3	590,2	316,1	293,1
NO4	323,1	Fondo duro	Fondo duro
NO5	568,1	567,4	522,1
SO1	136,8	147,6	142,1
SO2	492	314,6	301,1
SO3	341,3	505	411,2
SO4	92,26	94,03	71,8
SO5	89	88,01	82,61
REF1	105,2	105,9	109,5
CONTROL 1	558,4	544,6	521,6
CONTROL 2	1138,1	1056,9	900,1
CONTROL 3	274	344	303,4
Promedio	329,09	310,87	283,28
D. estándar	269,67	258,50	223,29

Comunidades macrozoobentónicas submareales

A continuación se entregan los resultados correspondientes a la Campaña de Monitoreo Piloto Sur. La **Tabla 71** resume los resultados de los índices ecológicos, Riqueza (S), Abundancia Total (N), Diversidad (H'), Uniformidad (J') y Dominancia (1-lamba).La **Tabla 72**resume la clasificación de cada estación en relación a los rangos establecidos.

En el análisis faunístico, se registraron una abundancia total 6.946 individuos. De estos el 80% fue recolectado en las estaciones correspondientes al eje Noroeste, seguido de las estaciones pertenecientes al eje Suroeste, con un 10,73% (**Tabla 71**).

Tabla 71. Resumen de los resultados de índices de diversidad por estación y réplica correspondiente. Monitoreo Piloto Sur. Tamiz 0,5 mm.

Estaciones		índices ecológicos				
		S	N	H´(log 2)	J'	1-lambda
Referencia	REF 1	9	25	2,77	0,87	0,85
	REF 2	5	7	2,24	0,96	0,9
	REF 3	10	54	2,54	0,76	0,75
Control	CE1-1	1	2	0,00	-	0
	CE1-2	8	15	2,61	0,86	0,83
	CE1-3	7	17	2,34	0,83	0,79
	CE2-1	9	20	2,74	0,86	0,84
	CE2-2	5	14	2,18	0,93	0,82
	CE2-3	0	0	0,00		
	CE3-1	4	10	1,85	0,92	0,77
	CE3-2	4	17	1,65	0,82	0,67
	CE3-3	6	21	1,98	0,76	0,7
Sureste	SE1-1	6	23	2,23	0,86	0,77
	SE1-2	9	37	2,81	0,88	0,86
	SE1-3	16	45	3,43	0,85	0,88
	SE2-1	10	34	3,00	0,9	0,88

	SE2-2	5	11	1,97	0,84	0,76
	SE2-3	11	24	3,09	0,89	0,89
	SE3-1	10	33	2,83	0,85	0,83
	SE3-2	12	76	2,62	0,73	0,75
	SE3-3	5	10	1,77	0,76	0,66
	SE4-1	8	25	2,18	0,72	0,7
	SE4-2	15	55	3,52	0,9	0,9
	SE4-3	13	42	3,34	0,9	0,9
	SE5-1	2	4	0,81	0,81	0,5
	SE5-2	11	27	2,97	0,85	0,85
	SE5-3	7	15	2,47	0,87	0,83
Suroeste	**S01-1**	16	51	3,63	0,9	0,91
	SO1-2	21	160	2,41	0,54	0,58
	SO1-3	12	96	2,64	0,73	0,77
	SO2-1	14	55	2,75	0,72	0,76
	SO2-2	11	37	3,12	0,9	0,88
	SO2-3	11	44	3,03	0,87	0,87
	SO3-1	8	18	2,82	0,94	0,89
	SO3-2	16	21	3,92	0,97	0,97
	SO3-3	8	20	2,46	0,81	0,78
	SO4-1	6	16	2,15	0,83	0,76
	SO4-2	7	23	2,44	0,86	0,82
	SO4-3	16	54	3,69	0,92	0,92
	SO5-1	8	16	2,73	0,9	0,87
	SO5-2	14	59	3,08	0,8	0,84
	SO5-3	21	76	3,71	0,84	0,9
Noroeste	**NO1-1**	10	2103	0,11	0,03	0,01
	NO1-2	11	1968	0,09	0,02	0,01

	NO1-3	8	799	0,17	0,05	0,03
	NO2-1	12	85	2,80	0,78	0,77
	NO2-2	18	65	3,52	0,84	0,89
	NO2-3	25	224	2,51	0,53	0,62
	NO3-1	16	53	3,26	0,81	0,86
	NO3-2	8	30	2,19	0,73	0,73
	NO3-3	11	73	2,38	0,68	0,74
	NO4-1	9	12	3,02	0,95	0,93
	NO5-1	10	34	2,86	0,86	0,85
	NO5-2	14	71	2,96	0,77	0,81
	NO5-3	9	30	2,93	0,92	0,88

Tabla 72. Clasificación índicesecológicos por estación y replica. Monitoreo Piloto Sur. Tamiz 0,5 mm.

Estaciones		Clasificación Índices Ecológicos		
		S	H´	J'
Referencia	REF 1	Baja	Regular	Alta
	REF 2	Baja	Regular	Alta
	REF 3	Regular	Regular	Alta
Control	CE1-1	Baja	Muy Bajo	-
	CE1-2	Baja	Regular	Alta
	CE1-3	Baja	Regular	Alta
	CE2-1	Baja	Regular	Alta
	CE2-2	Baja	Regular	Alta
	CE2-3	Muy Baja	Muy Bajo	
	CE3-1	Baja	Bajo	Alta
	CE3-2	Baja	Bajo	Alta
	CE3-3	Baja	Bajo	Alta
Sureste	SE1-1	Baja	Regular	Alta
	SE1-2	Baja	Regular	Alta
	SE1-3	Regular	Alto	Alta
	SE2-1	Regular	Alto	Alta
	SE2-2	Baja	Regular	Alta
	SE2-3	Regular	Alto	Alta
	SE3-1	Regular	Regular	Alta
	SE3-2	Regular	Regular	Regular
	SE3-3	Baja	Bajo	Alta
	SE4-1	Baja	Regular	Regular
	SE4-2	Regular	Alto	Alta
	SE4-3	Regular	Alto	Alta
	SE5-1	Baja	Muy Bajo	Alta

	SE5-2	Regular	Regular	Alta
	SE5-3	Baja	Regular	Alta
Suroeste	**SO1-1**	Regular	Alto	Alta
	SO1-2	Alta	Regular	Regular
	SO1-3	Regular	Regular	Regular
	SO2-1	Regular	Regular	Regular
	SO2-2	Regular	Alto	Alta
	SO2-3	Regular	Alto	Alta
	SO3-1	Baja	Regular	Alta
	SO3-2	Regular	Alto	Alta
	SO3-3	Baja	Regular	Alta
	SO4-1	Baja	Regular	Alta
	SO4-2	Baja	Regular	Alta
	SO4-3	Regular	Alto	Alta
	SO5-1	Baja	Regular	Alta
	SO5-2	Regular	Alto	Alta
	SO5-3	Alta	Alto	Alta
Noroeste	**NO1-1**	Regular	Muy bajo	Muy Baja
	NO1-2	Regular	Muy bajo	Muy Baja
	NO1-3	Baja	Muy bajo	Muy Baja
	NO2-1	Regular	Regular	Alta
	NO2-2	Regular	Alto	Alta
	NO2-3	Alta	Regular	Baja
	NO3-1	Regular	Alto	Alta
	NO3-2	Baja	Regular	Regular
	NO3-3	Regular	Regular	Regular
	NO4-1	Baja	Alto	Alta
	NO5-1	Regular	Regular	Alta

	NO5-2	Regular	Regular	Alta
	NO5-3	Baja	Regular	Alta

Las estaciones que presentaron mayor fluctuación de abundancia fueron las estaciones correspondiente al eje Noroeste (NO1 a NO5) con un máximo de 2103 ind/0,1m^2, en la estación NO1-1 y un mínimo de 12 ind/0,1m^2, ubicado en la estación NO4-1. El segundo transecto con mayor fluctuación en abundancia fue el eje suroeste en relación al centro de cultivo piloto, registrando un mínimo de 16 ind/0,1m^2 (SO4-1) y un máximo de 160 ind/0,1m^2 ubicado en la estación SO1-2 (**Tabla 73**, **Tabla 74**, **Tabla 75**, **Tabla 76**, **Tabla 77** y **Figura 95**).

,

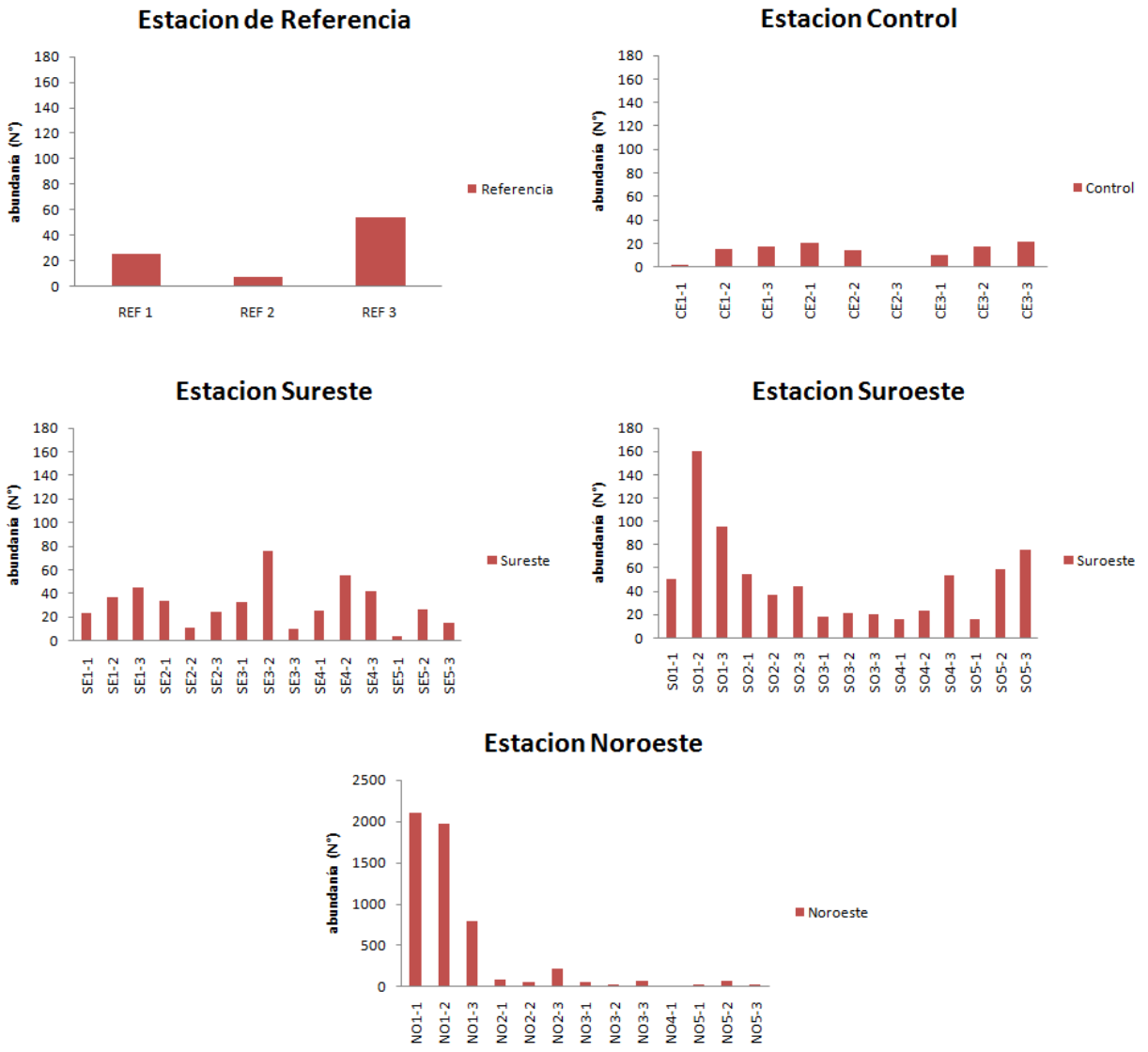


Figura 95. Abundancia total de especies de fondos blandos por estación y réplica. Monitoreo Piloto Sur.

Los grupos taxonómicos dominantes en términos de abundancia fueron: Nematoda con el 70,6%, seguido de lejos por Mollusca con 12,1% y Annelida con 8,6 % del total de organismos recolectados.

Los taxa numéricamente dominantes fueron los Nematodos del Orden Triplonchida (4910 ind/0,1 m^2) los que fueron reportados en su mayoría para la estación NO1 a 100 metros del centro de cultivo (N01-R1 = 2083 ind/0,1 m^2; N02-R2 = 1952 ind/0,1 m^2; NO1-R3= 785 ind/0,1 m^2)

seguido por los Moluscos de las especies *Tindariopsis sulculata* (344 ind/0,1 m^2) y *Aulacomya atra* con 236 ind/0,1 m^2, esta última especie fue registrada en su mayoría en las estaciones NO2 y NO3 en sus tres réplicas (228 ind/0,1 m^2). El Annelido *Cirriformia nasuta* y el echinodermo*Ophiactis sp.,* presentaron 110 y 109 ind/0,1 m^2, respectivamente (**Figura 96** y **Figura 98**).

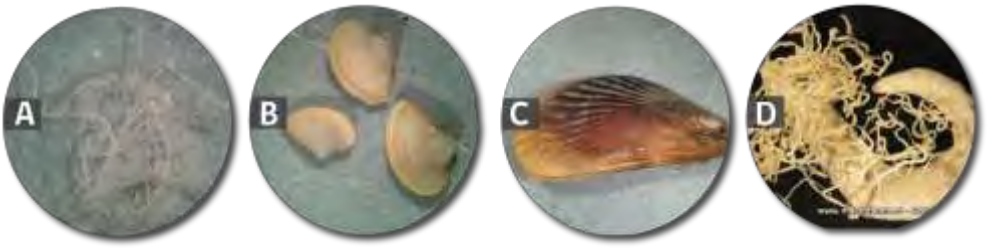


Figura 96. Taxa numéricamente dominantes durante el periodo de estudio. a) Orden Triplonchida (Nematoda), b) *Tindariopsis sulculata* (Bivalvo), c) *Aulacomya atra* (Bivalvo), d*) Cirriformia nasuta* (Annelida) y e) *Ophiactis sp* (Echinodermata).

Respecto a la biomasa total registrada (2314,96 g peso húmedo), las taxas del phyllum Mollusca presentaron el 93% de la biomasa Total. Las especies que presentaron mayor biomasa fueron los bivalvos *Aulacomya atra* con el mayor peso húmedo (1886,93 g/0,1 m^2), seguido de *Choromytilus chorus* con 119 g/0,1 m^2 y el Echinodermo*Tripylaster philippii* con 104 g/0,1 m^2. Para posteriormentecontinuar con las especies Mollusca tales como *Crepipatella dilatata* (71g/0,1 m^2) y el bivalvo *Mytilus chilensis* con 55g/m^2 (**Figura 97** y **Figura 99**).

Figura 97. Taxa que aportan en mayor porcentaje a la biomasa húmeda durante el periodo de estudio. a) *Aulacomya atra* (Mollusca), b) *Choromytilus chorus* (Mollusca), c) *Tripylaster philippii* (Echinodermata).

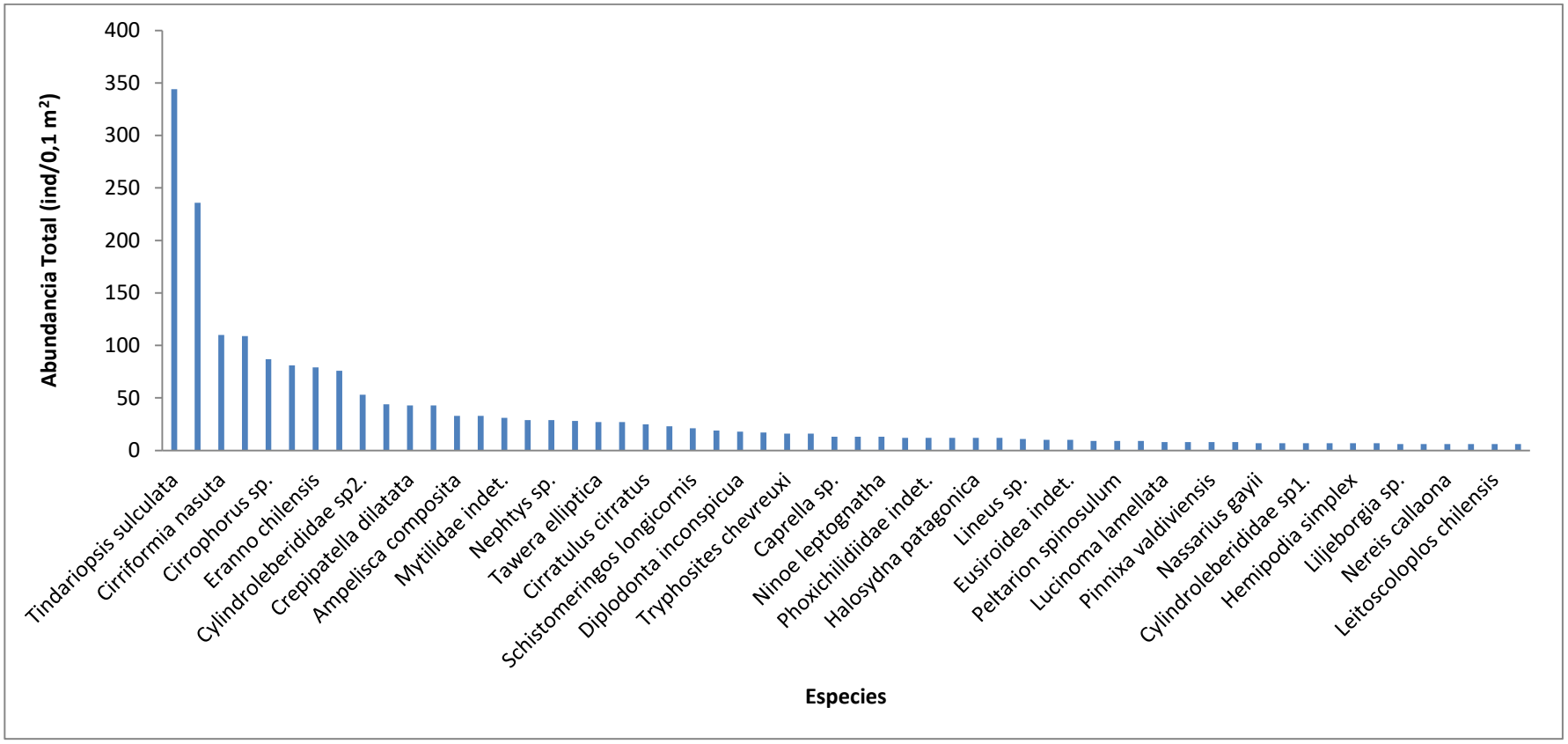


Figura 98. Abundancia Total de las principales especies registradas en la zona submareal observadas en monitoreo piloto Sur (se excluye del gráfico orden Triplonchida Abundancia Total: 4910 ind/0,1 m^2).

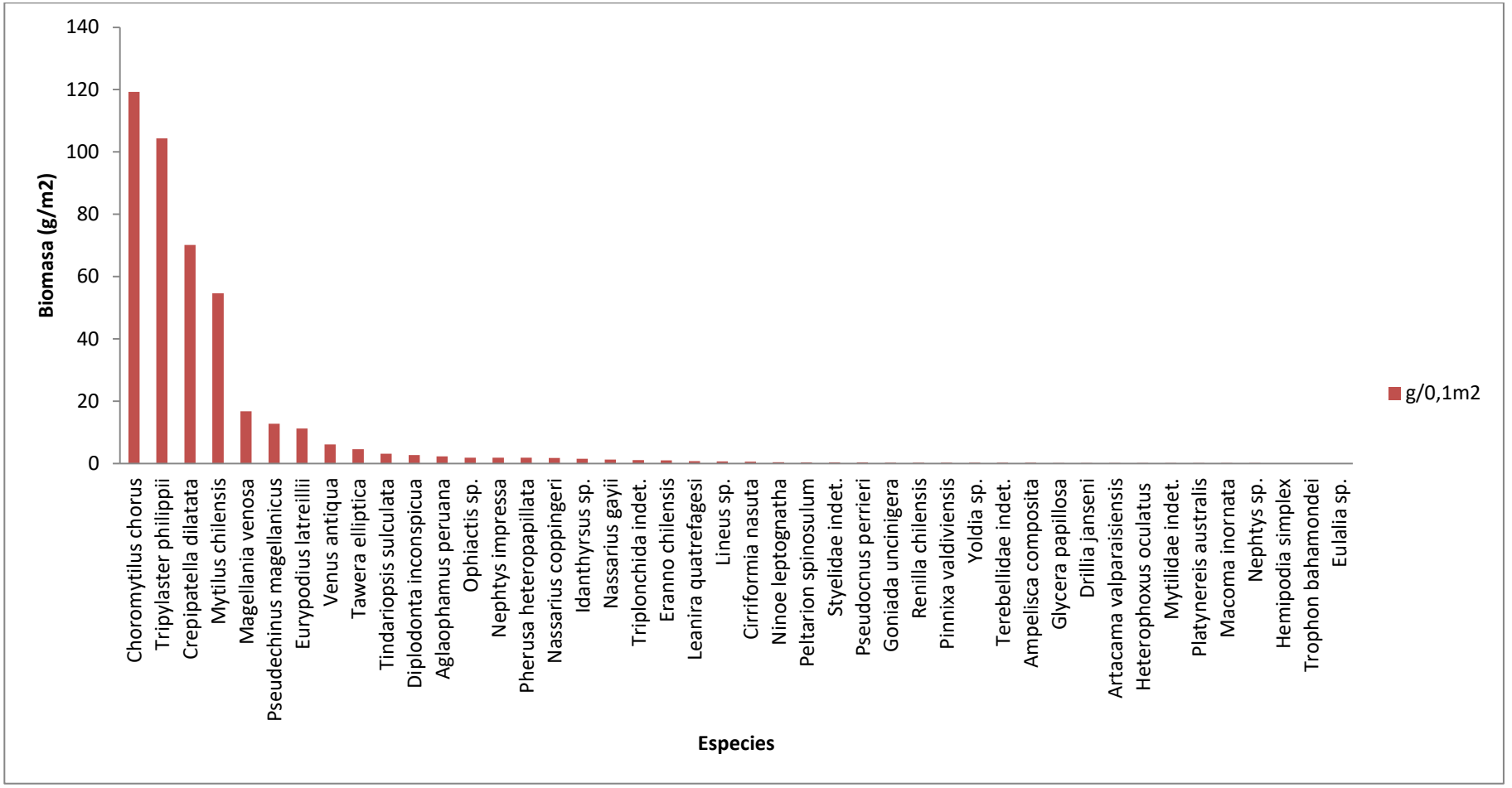


Figura 99. Peso Húmedo de las especies registradas en la zona submareal observadas en monitoreo piloto Sur (se excluye del gráfico *Aulacomya atra* Biomasa total: 1886,93 g/0,1 m^2.

Tabla 73. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones de Referencia, campaña monitoreo piloto Sector Sur.

Especie	Estación Referencia					
	Abundancia (ind/0,1m^2)			Biomasa(g/0,1m^2)		
	REF 1	REF 2	REF 3	REF 1	REF 2	REF 3
Nassarius coppingeri	1	2	0	0	0,0186	0,0447
Lucinoma lamellata	0	1	0	0	0	0,0071
Tagelus dombeii	1	0	0	0	0,0423	0
Tindariopsis sulculata	4	0	25	0,1381	0,0476	0
Heterophoxus oculatus	3	1	5	0,0134	0,0079	0,0018
Metarphinia longirostris	0	1	0	0	0	0,0043
Microphoxus cornutus	2	0	0	0	0,0056	0
Cirratulus cirratus	4	0	0	0	0,0059	0
Cirriformia nasuta	0	0	3	0,0122	0	0
Hemipodia simplex	0	0	1	0,0285	0	0
Eranno chilensis	0	0	1	0,0141	0	0
Nephtys impressa	0	2	0	0	0	0,2083
Nephtys sp.	8	0	5	0,0098	0,0322	0
Aglaophamus peruana	1	0	4	0,0614	0,0543	0
Leitoscoloplos chilensis	0	0	2	0,0115	0	0
Tripylaster philippii	1	0	0	0	1,3005	0
Triplonchida indet.	0	0	7	0,0015	0	0
Lineus sp.	0	0	1	0,1544	0	0

Tabla 74. Densidad (ind/0.1 m^2) y biomasa húmeda (g/0,1 m^2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Control, campaña monitoreo piloto Sector Sur.

Especie	Estación Control																		
	Abundancia (ind/0,1m²)									Biomasa(g/0,1m²)									
	E1-R1	E1-R2	E1-R3	E2-R1	E2-R2	E2-R3	E3-R1	E3-R2	E3-R3	E1-R1	E1-R2	E1-R3	E2-R1	E2-R2	E2-R3	E3-R1	E3-R2	E3-R3
Pareuthria powelli	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0382	0	0
Nassarius gayii	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0,4674	0,7492	0	0	0	0
Neolepton hupei	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0015	0	0	0	0	0
Nucula pisum	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0039
Diplodonta inconspicua	0	0	0	0	0	0	4	8	6	0	0	0	0	0	0	0,5936	1,424	0,727
Tawera elliptica	0	0	0	4	2	0	3	6	10	0	0	0	0,0901	0,0742	0	1,446	1,5069	1,4429
Venus antiqua	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0,1233	0	0	0	0	0	0,1024
Peltarion spinosulum	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1733	0	0	0	0	0
Cylindroleberididae sp1.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0003
Drummondia luce	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0026	0	0	0	0	0
Pagurus villosus	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0882	0
Heterophoxus oculatus	0	2	0	7	0	0	0	0	0	0	0,0098	0	0,0073	0	0	0	0	0
Microphoxus cornutus	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0,0035	0	0	0,0039	0	0	0	0
Pinnixa valdiviensis	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0,0289	0,0042	0,0403	0	0	0	0	0
Tanaidae indet.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0065	0	0	0	0	0	0	0
Cirriformia nasuta	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0131	0	0	0	0	0	0
Glycera papillosa	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0153	0	0	0	0	0
Hemipodia simplex	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0112	0	0	0	0	0	0	0
Eranno chilensis	0	6	7	0	4	0	0	0	0	0	0,1652	0,1439	0	0,0754	0	0	0	0
Nephtyidae indet.	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0351	0	0	0	0	0	0
Nephtys impressa	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,8417	0,7565
Aglaophamus peruana	2	1	2	0	4	0	2	0	0	0,0265	0,0281	0,0517	0	0,1992	0	0,0285	0	0
Eulalia sp.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0602	0	0	0	0	0	0	0
Terebellidae indet.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,169	0	0	0	0	0	0
Triplonchida indet.	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0005	0	0	0	0	0

Tabla 75. Densidad (ind/0.1 m2) y biomasa húmeda (g/0,1 m2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Noroeste, campaña monitoreo piloto Sector Sur.

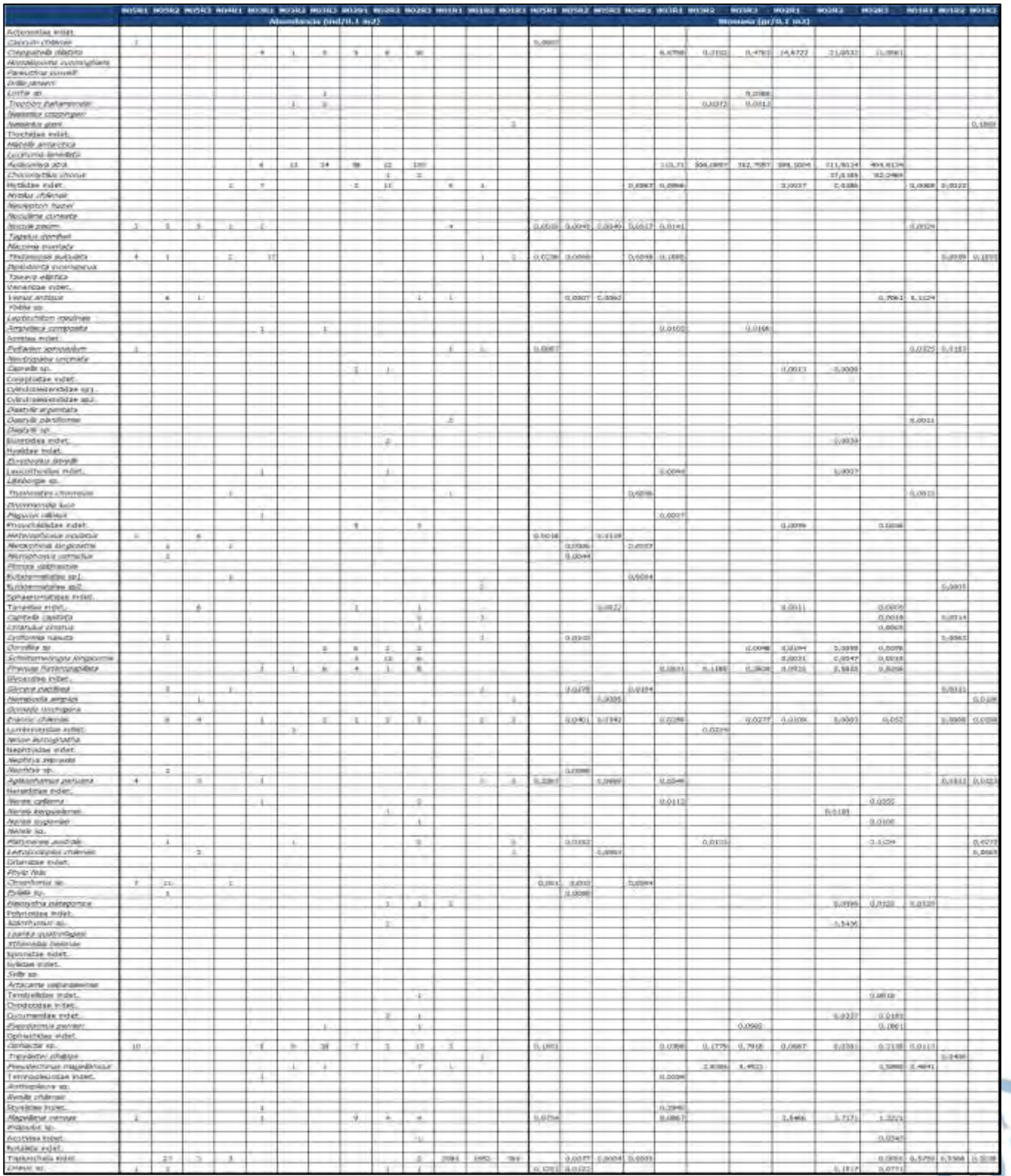


Tabla 76. Densidad (ind/0.1 m2) y biomasa húmeda (g/0,1 m2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Suroeste, campaña monitoreo piloto Sector Sur.

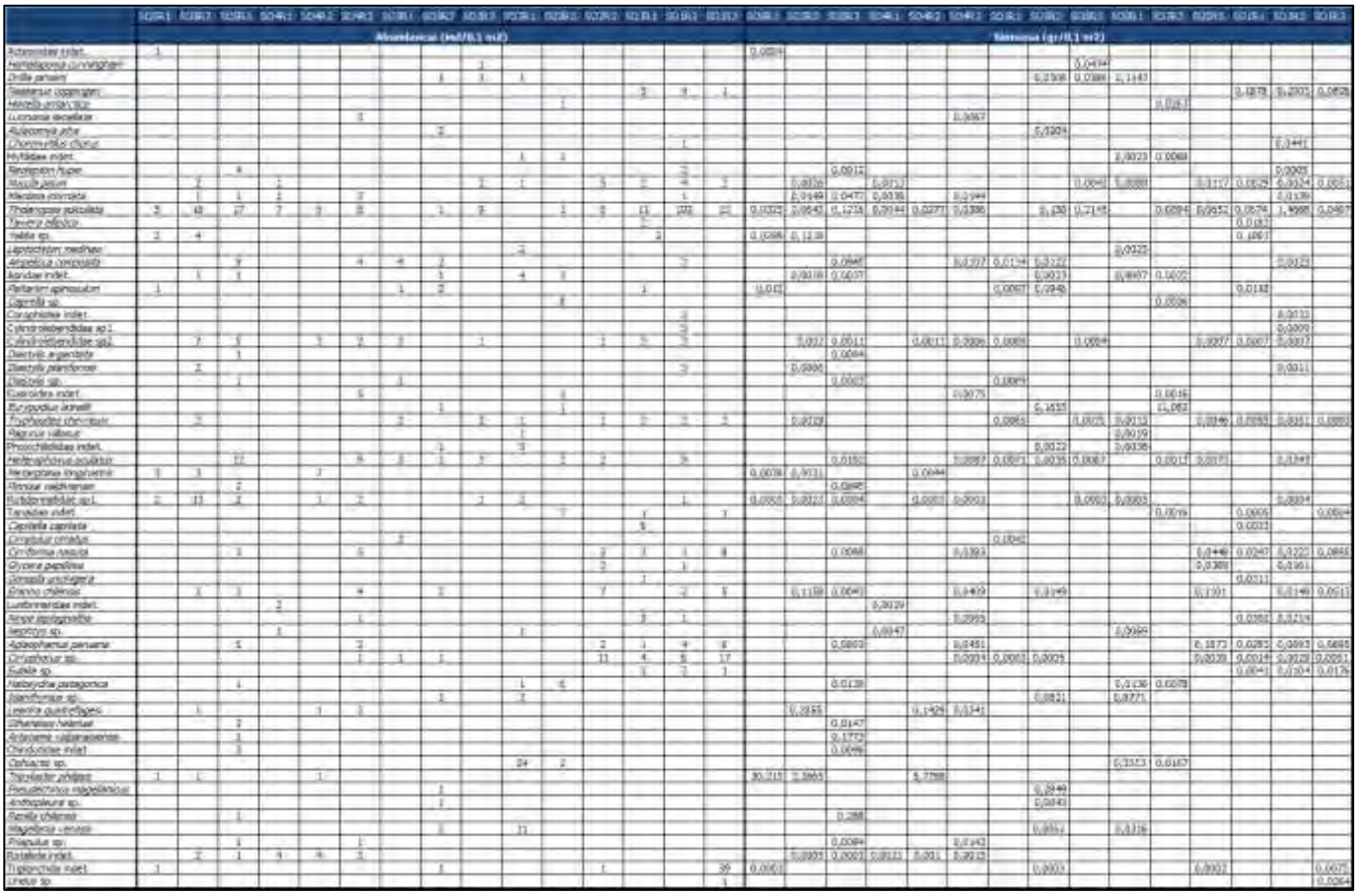
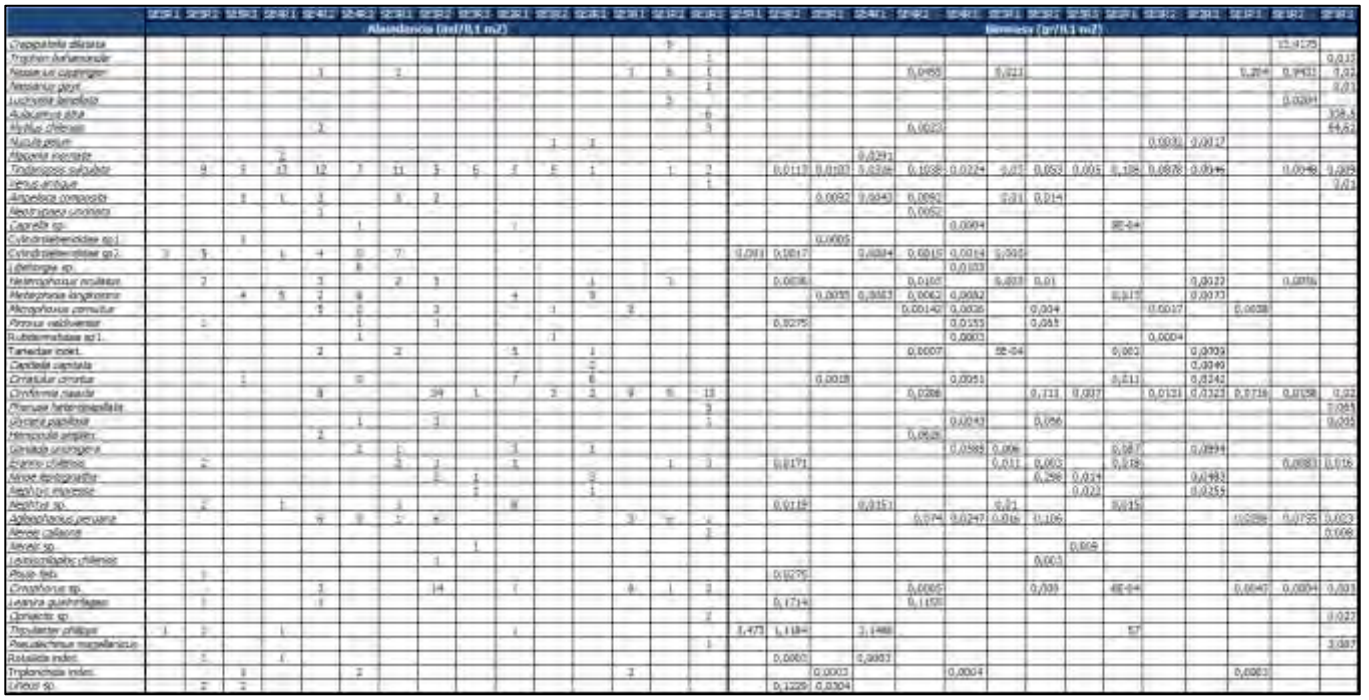


Tabla 77. Densidad (ind/0.1 m2) y biomasa húmeda (g/0,1 m2) de los macroinvertebrados en las tres réplicas. Estaciones Eje Sureste, campaña monitoreo piloto Sector Sur.



Riqueza de especies

Las estaciones de referencia y control, presentaron una riqueza máxima de 10 individuos y una mínima de 0 taxa en la estación control CE2-3.

Por su parte, las estaciones con mayor riqueza se hallaron en las transectas del Noroeste y Suroeste presentando las mayores fluctuaciones en su riqueza con valores entre 6 a 25 especies.Mientras que el eje ubicado al sureste del objetivo presento fluctuaciones en la riqueza desde 2 a 16 taxa. (**Tabla 71** y **Figura 100**).

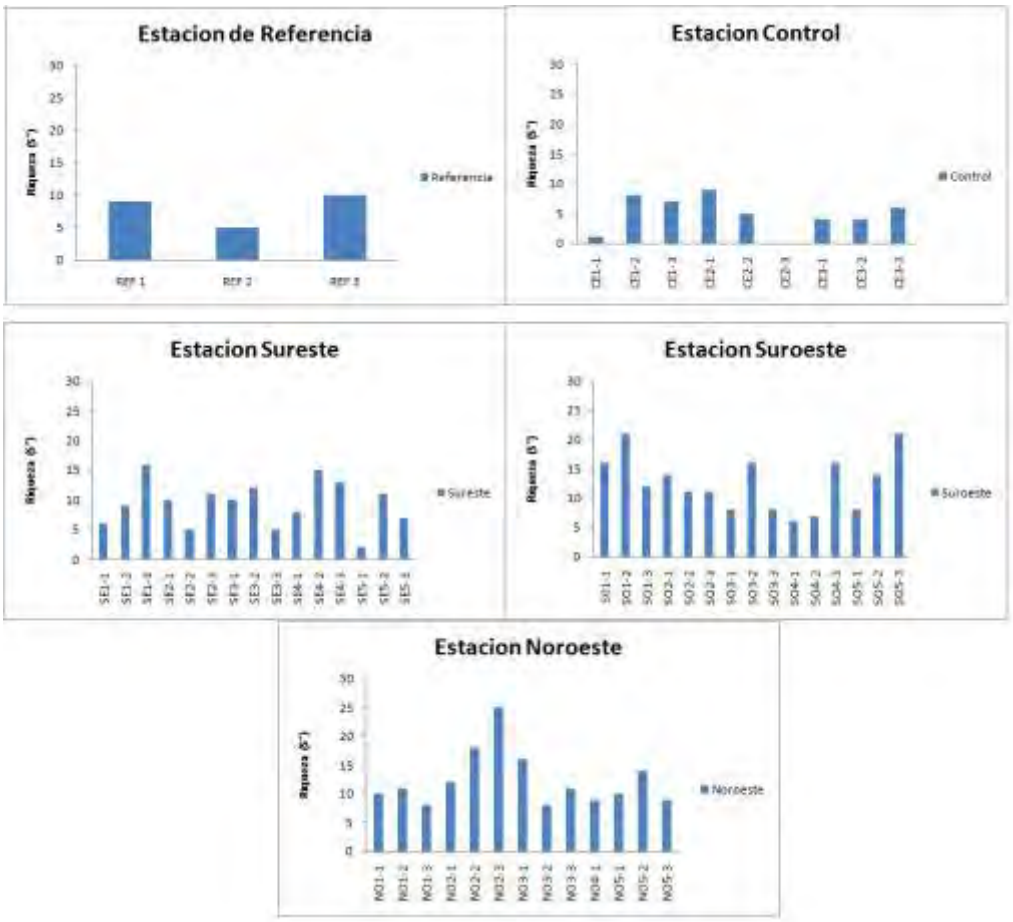


Figura 100. Riqueza total de especies de fondos blandos por estación y réplica. Campaña Monitoreo Piloto Sur

Uniformidad y dominancia

En relación con la equitatibilidad y dominancia en la distribución de las abundancias numéricas por cada categoría taxonómica. Se observa que el índice de uniformidad, presenta un máximo de 0,979 en la estación SO3-2 y un mínimo de 0,0271 NO1-2. La estación NO1 en sus tres réplicas presento valores de abundancia un solo taxa (Orden triplonchida) cercano al 100% (99%, 99% y 98 para las réplicas R1, R2 y R3 respectivamente) (**Tabla 71, Figura 101**y**Figura 102**).

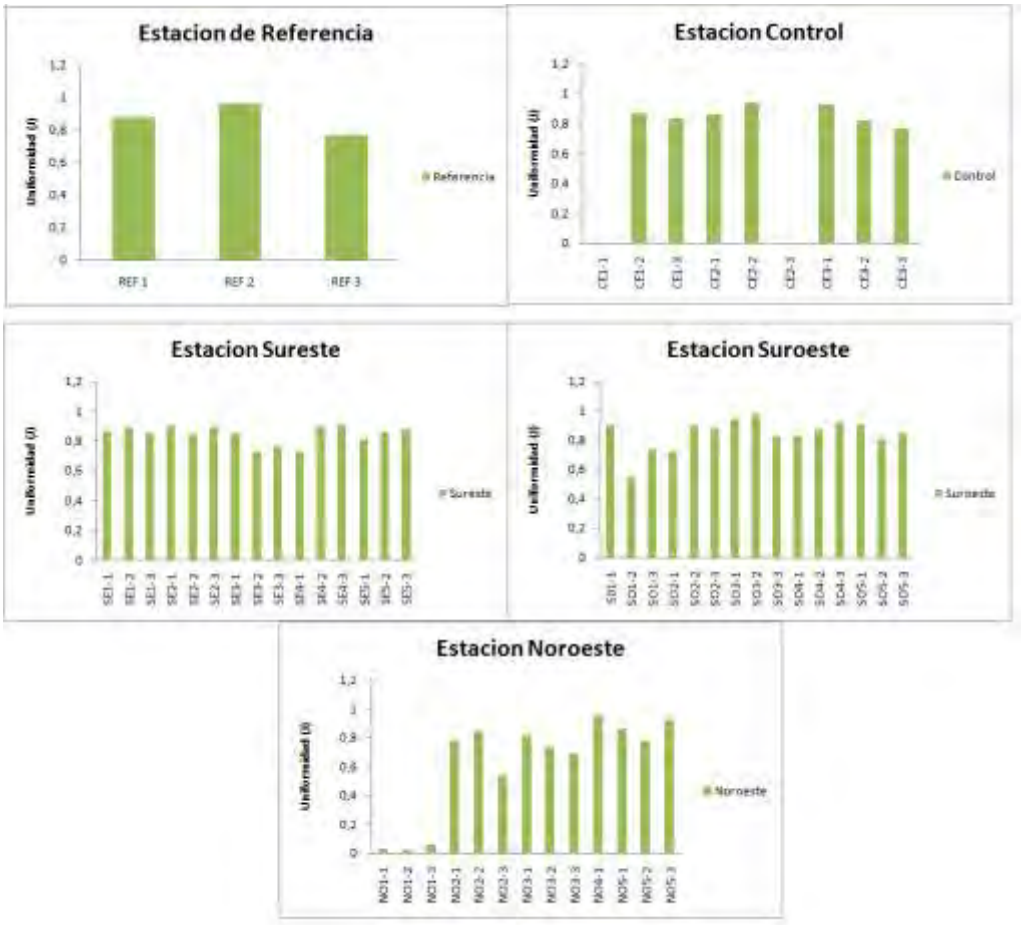


Figura 101. Uniformidad de especies de fondos blandos por estación y réplica correspondiente. Campaña Monitoreo Piloto Sur.

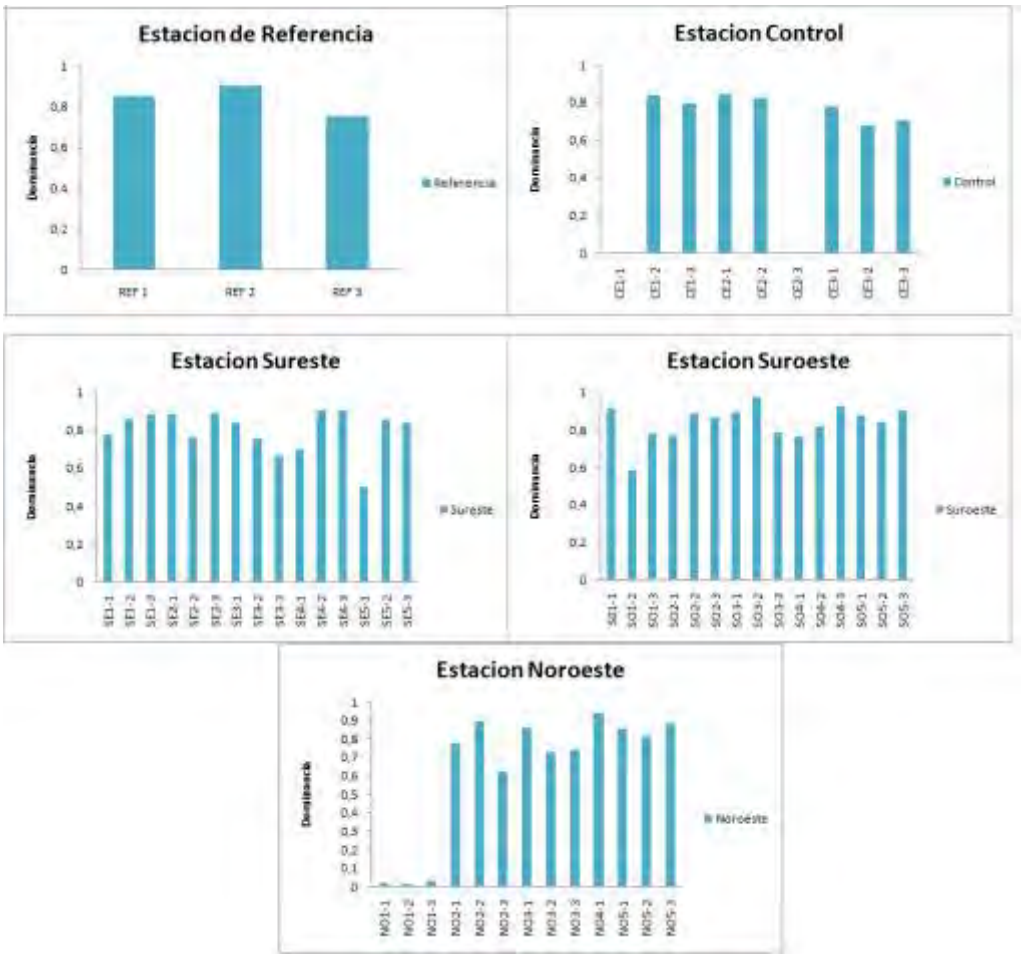


Figura 102. Dominancia de especies de fondos blandos por estación y réplica. Monitoreo Piloto Sur.

Análisis multivariado

Escalamiento multidimensional no métrico

El NMDS permitió ordenar en un espacio de dos dimensiones las estaciones muestreadas a lo largo del periodo de estudio (**Figura 103**), la configuración resultante se clasifico como útil, generando un valor de estrés de 0,19, es decir que la representación multivariada se ajusta a la matriz de datos originales.

En el N-MDS se observó que las estaciones con sus réplicas que se encuentran en torno al centro piloto (distancias < a 600 metros) y aquellas estaciones de referencia (>1000 metros) se agrupan formando un grupo distinto las estaciones control (>13000 metros).

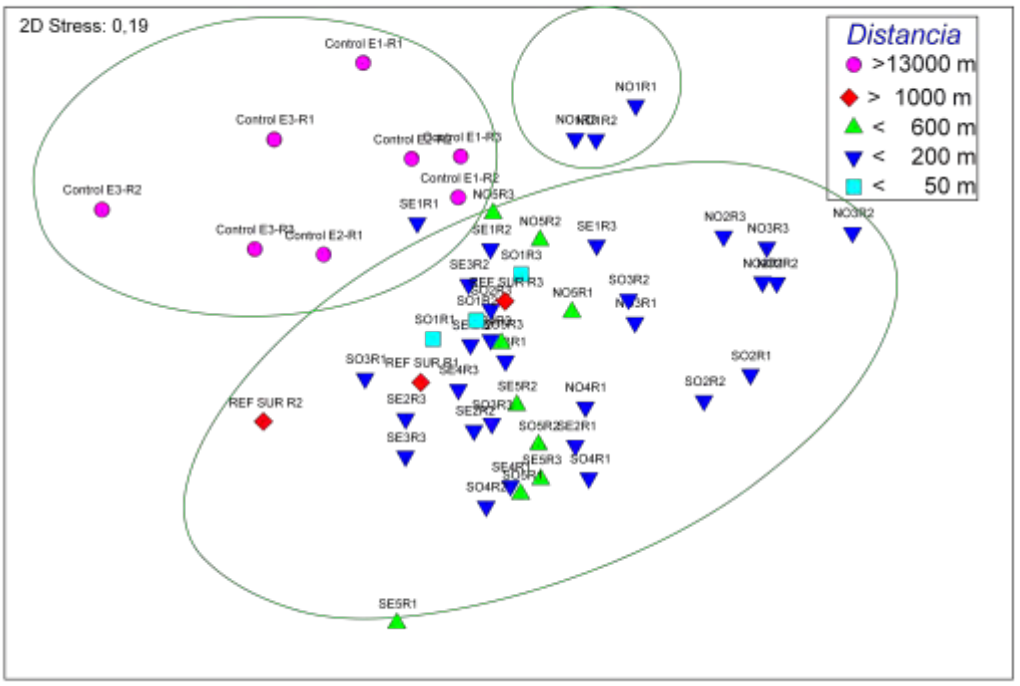


Figura 103. Análisis de ordenación no paramétrica (NMDS) de las estaciones de muestreo. Factor Distancia al Centro Piloto Sur.

Análisis de similitud

Las conclusiones derivadas del análisis de ordenación fueron validadas con la prueba ANOSIM, cuyos resultados son entregados en la **Tabla 78.** La prueba indicó la presencia de grupos.

Tabla 78. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre estaciones de muestreo a lo largo del periodo de estudio.

Prueba Global	
Valor del estadístico R	0,133
Nivel de significancia estadística obtenido (%)	0,1
Nivel de significancia estadística de rechazo (%)	5
Número de permutaciones realizadas (R')	999
Frecuencia de R'>R	45

La **Figura 103**, muestra una clara separación de las estaciones Control respecto del resto que corresponden a los ejes Sureste, Noreste y Suroeste a distancias entre 40 y 1000 metros, esto fue respaldado por la prueba ANOSIM arrojando diferencias significativas (R: 0,133; p:0,1).

Al examinar las comparaciones parciales entre pares se observó que las estaciones más alejadas del centro piloto (Control: Distancia 5), son estadísticamente diferentes a las estaciones ubicadas entre las distancias 1 y 4 (50 y >1000 metros). Pero entre las estaciones ubicadas entre las distancias 1 a 4 no hay diferencias significativas respecto a la composición de especies (**Tabla 79**).

Tabla 79. Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia, D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros y D5 >13000 de distancia del centro piloto.

Grupos por distancia de las estaciones de muestreo al centro piloto		R	P(%)
D5	D1	0,449	1,8 (*)
D5	D2	0,459	0,1(*)
D5	D3	0,52	0,1 (*)
D5	D4	0,409	1,8(*)
D4	D1	0,481	10
D4	D2	0,005	41,7
D4	D3	0,071	36,8
D3	D2	-0,049	73,5
D3	D1	-0,128	70,9
D2	D1	0,22	96,3

(*) Indica diferencias entre grupos.

Análisis de contribución SIMPER

Las **Tabla 80 a Tabla 83** contienen el porcentaje de contribución de cada taxón al distanciamiento entre las distancias de muestreo (D5 vs D1, D2, D3 y D4), indicando los taxa con mayor porcentaje de contribución a este distanciamiento.

Los resultados indican que aquellos taxas mas importantes en términos de frecuencia y porcentaje de contribución, en las estaciones más cercanas al centro de cultivo piloto, fueron entre otros los poliquetos *Cirriformia nasuta, Cirratulus cirratus, Eranno chilensis, Aglaophamus peruana* y *Cirrophorus sp.,* el bivalvo *Tindariopsis sulculata,* el gastropodo *Nassarius coppingeri* y los nematodos del orden Tripochida.

Por su parte los moluscos bivalvos *Tawera gayi* y *Diplodonta inconspicua* y el crustáceo *Pinnnixa valdiviensis* también fueron taxas importantes en términos de frecuencia y porcentaje de contribución, sin embargo estos estuvieron presentes en mayor abundancia promedio en las estaciones control (**Figura 104**).

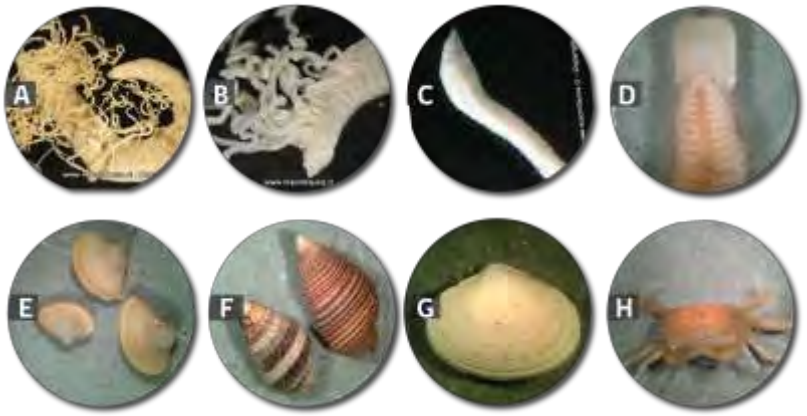


Figura 104. Taxa más importantes, en términos de frecuencia y porcentaje de contribución en la disimilitud observada entre las estaciones de muestreo. a) *Cirriformia nasuta,* b) *Cirratulus cirratus,* c) *Eranno chilensis*,d) *Aglaophamus peruana*,e) *Tindariopsis sulculata* f) Nassarius gayi y *N. coppingeri,* g) *Tawera gayi* y g) *Pinnnixa valdiviensis*. Fotografías (José Saavedra: d,e,f,g,h; www.macrofauna.cl:a,b,c).

Tabla 80. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D5 (>13000 metros) y distancia D1 (<50 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.

	D5	D1	%	
Especies	**Abundancia promedio**		**Contribución**	**Acumulado**
Tindariopsis sulculata	0	5,67	15,71	15,71
Cirrophorus sp.	0	2,86	8,63	24,34
Triplonchida indet.	0,18	2,08	6,83	31,17
Cirriformia nasuta	0,13	2,1	5,99	37,16
Nassarius coppingeri	0	1,75	5,19	42,35
Tryphosites chevreuxi	0	1,41	4,24	46,59
Nucula pisum	0,18	1,61	4,22	50,81
Eranno chilensis	0,89	1,22	3,6	54,41
Tawera elliptica	1,34	0,47	3,57	57,98
Eulalia sp.	0,13	1,28	3,45	61,43
Cylindroleberididae sp2.	0	1,15	3,34	64,77
Ninoe leptognatha	0	1,08	3,31	68,08
Aglaophamus peruana	0,91	1,82	3,21	71,29
Heterophoxus oculatus	0,51	1	3,04	74,33
Capitella capitata	0	0,82	2,75	77,07
Diplodonta inconspicua	0,91	0	2,73	79,81

Tabla 81. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D5 (>13000 metros) y distancia D2 (<200 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.

Especies	D5	D2	%	
	Abundancia promedio		Contribución	Acumulado
Triplonchida indet.	0,18	4,06	8,57	8,57
Tindariopsis sulculata	0	1,59	7,68	16,25
Tawera elliptica	1,34	0	5,74	21,99
Eranno chilensis	0,89	0,74	4,48	26,47
Aglaophamus peruana	0,91	0,65	4,29	30,76
Diplodonta inconspicua	0,91	0	4,09	34,85
Cirriformia nasuta	0,13	0,88	3,95	38,79
Aulacomya atra	0	1,16	3,81	42,6
Heterophoxus oculatus	0,51	0,58	3,47	46,08
Ophiactis sp.	0	0,91	3,26	49,34
Cirrophorus sp.	0	0,6	2,58	51,92
Metarphinia longirostris	0	0,46	2,22	54,14
Cylindroleberididae sp2.	0	0,48	2,19	56,34
Nucula pisum	0,18	0,39	2,15	58,49
Ampelisca composita	0	0,43	1,84	60,33
Crepipatella dilatata	0	0,53	1,8	62,14
Microphoxus cornutus	0,25	0,25	1,79	63,92
Tanaidae indet.	0,13	0,36	1,71	65,64
Pinnixa valdiviensis	0,38	0,06	1,58	67,22
Mytilidae indet.	0	0,46	1,57	68,78
Nassarius gayii	0,34	0,08	1,52	70,3

Tabla 82. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D5 (>13000 metros) y distancia D3 (<600 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.

Especies	D5	D3	%	
	Abundancia promedio		Contribución	Acumulado
Tindariopsis sulculata	0	2,09	9,47	9,47
Tawera elliptica	1,34	0	6,9	16,37
Eranno chilensis	0,89	0,97	5,59	21,96
Aglaophamus peruana	0,91	0,66	5,55	27,51
Cylindroleberididae sp2.	0	0,98	5,43	32,93
Diplodonta inconspicua	0,91	0	4,97	37,9
Heterophoxus oculatus	0,51	0,93	4,79	42,7
Triplonchida indet.	0,18	0,96	4,3	47
Metarphinia longirostris	0	0,72	3,77	50,76
Nucula pisum	0,18	0,85	3,7	54,46
Tripylaster philippii	0	0,44	3,05	57,51
Rutidermatidae sp1.	0	0,71	2,9	60,41
Lineus sp.	0	0,58	2,88	63,29
Cirrophorus sp.	0	0,66	2,59	65,88
Venus antiqua	0,25	0,38	2,25	68,13
Pinnixa valdiviensis	0,38	0,27	2,23	70,36

Tabla 83. Contribución porcentual a la disimilitud entre las estaciones pertenecientes a la las distancias D5 (>13000 metros) y distancia D4 (>1000 metros), de los taxa bentónicos submareales de la zona de estudio.

Especies	D5	D4	%	
	Abundancia promedio		Contribución	Acumulado
Tindariopsis sulculata	0	2,33	10,64	10,64
Heterophoxus oculatus	0,51	1,66	8,44	19,08
Nephtys sp.	0	1,69	8,41	27,49
Tawera elliptica	1,34	0	7,82	35,3
Nassarius coppingeri	0	0,8	6,17	41,47
Aglaophamus peruana	0,91	1	5,66	47,13
Diplodonta inconspicua	0,91	0	5,64	52,77
Eranno chilensis	0,89	0,33	5,47	58,24
Nephtys impressa	0,25	0,47	4,38	62,62
Triplonchida indet.	0,18	0,88	4,08	66,7
Cirratulus cirratus	0	0,67	3,77	70,47
Microphoxus cornutus	0,25	0,47	3,19	73,66
Metarphinia longirostris	0	0,33	3,03	76,69
Lucinoma lamellata	0	0,33	3,03	79,71
Cirriformia nasuta	0,13	0,58	2,81	82,52

Análisis de curvas ABC

La **Figura 105** representa los resultados de estadístico W derivado de las curvas ABC, aplicada al bentos submareal de fondos de la zona de estudio, correspondiente a la campaña de monitoreo piloto norte.Los valores obtenidos de W se indican en la **Tabla 84.**

Los resultados obtenidos a partir de las curvas ABC se resumen en las **Tabla 85** y **Tabla 86**, según la metodología propuesta por Warwick (1986), en general se observa que las comunidades presentes en las estaciones de muestreo del eje Noroeste cercanas en torno a los 100 metros al centro de cultivo (Distancia 2< 200 metros) presentan condición "Moderadamente perturbada" en las estaciones Noroeste NO1-R1 y NO1-R2 y condición "Alteradas" para la estación NO1-R3, situación similar se registró para las comunidades presentes en el eje Sureste para estaciones cercanas al centro en torno a los 150 metros al centro de cultivo (Distancia 2< 200 metros) presentan condición "Moderadamente perturbada" en las estaciones Noroeste SE3-R1 y SE3-R2 y condición "Alteradas" para la estación SE3-R3. Por su parte las comunidades más lejanas al centro de cultivo (Distancia 3, 4 y 5), presentan casi un 100% de estaciones con condición "No Alterada".

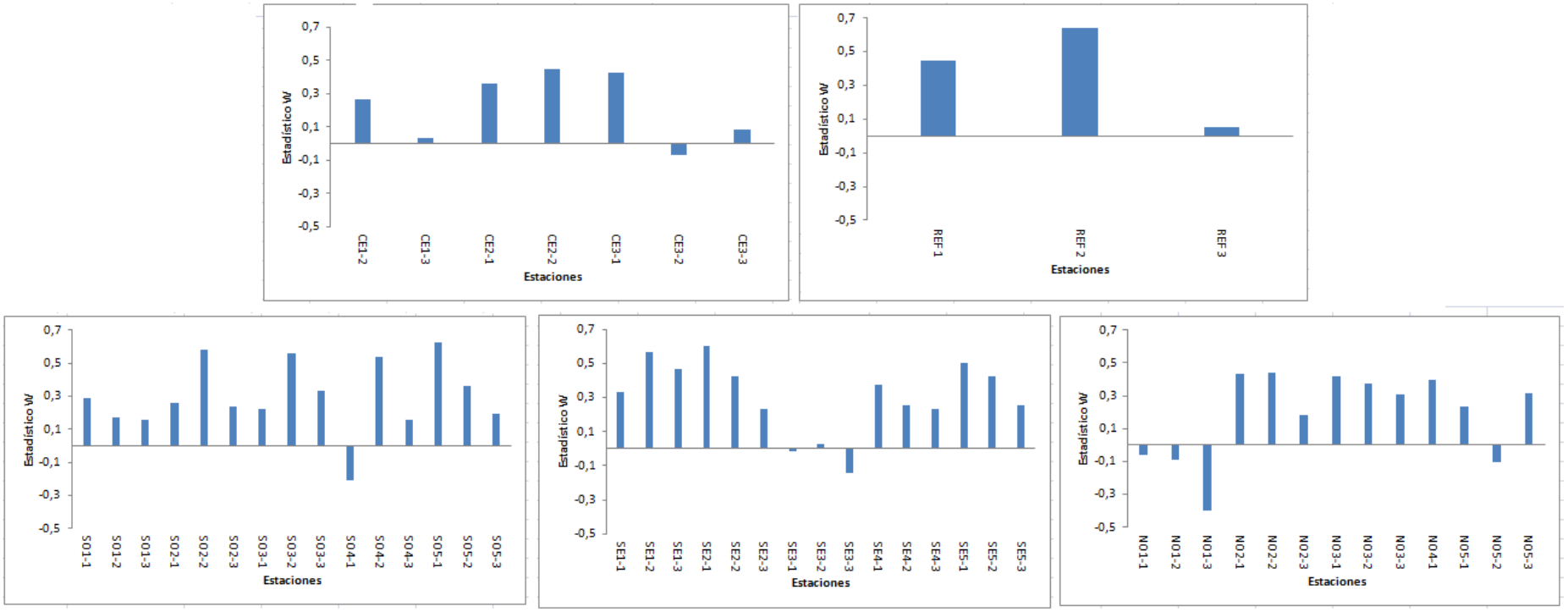


Figura 105. Valores del estadístico W ´para las estaciones monitoreadas campaña Piloto Sur

Tabla 84. Valores estadísticos W para cada réplica para las estaciones pertenecientes a los ejes Sureste, Noroeste, Suroeste, estación de referencia y control sector de monitoreo Piloto Sur.

Estación	R1	R2	R3
REF	0,446	0,637	0,05
Control 1	-	0,263	0,031
Control 2	0,361	0,447	-
Control 3	0,428	-0,072	0,085
SE1	0,334	0,568	0,463
SE2	0,599	0,422	0,23
SE3	-0,016	0,025	-0,142
SE4	0,371	0,254	0,233
SE5	0,499	0,423	0,252
SO1	0,29	0,175	0,154
SO2	0,259	0,58	0,235
SO3	0,222	0,557	0,329
SO4	-0,212	0,538	0,16
SO5	0,623	0,364	0,194
NO1	-0,058	-0,092	-0,398
NO2	0,434	0,442	0,184
NO3	0,416	0,374	0,31
NO4	0,4		
NO5	0,235	-0,103	0,315

Tabla 85. Tabla resumen resultados obtenidos a partir de las curvas ABC, estaciones ejes Sureste, Suroeste y Noroeste, asociado a las distancias al centro de cultivo. Monitoreo piloto Norte. Verde: Comunidades No alteradas; Amarillo: Comunidades Moderadamente alteradas; Rojo: Comunidades Alteradas.

Lejanía a centro piloto	Eje		
	Sureste	Suroeste	Noroeste
Distancia 1		SO1-1	
		SO1-2	
		SO1-3	
Distancia 2	SE1-1	SO2-1	NO1-1
	SE1-2	SO2-2	NO1-2
	SE1-3	SO2-3	NO1-3
	SE2-1	SO3-1	NO2-1
	SE2-2	SO3-2	NO2-2
	SE2-3	SO3-3	NO2-3
	SE3-1		NO3-1
	SE3-2		NO3-2
	SE3-3		NO3-3
	SE4-1		
	SE4-2		
	SE4-3		
Distancia 3	SE5-1	SO4-1	NO4-1
	SE5-2	SO4-2	Fondo duro
	SE5-3	SO4-3	
		SO5-1	NO5-1
		SO5-2	NO5-2
		SO5-3	NO5-3

Tabla 86. Tabla resumen resultados obtenidos a partir de las curvas ABC, estaciones Referencia y Control, asociado a las distancias al centro de cultivo. Monitoreo piloto Sur. Verde: Comunidades No alteradas; Amarillo: Comunidades Moderadamente alteradas; Rojo: Comunidades Alteradas.

Lejanía a Centro Piloto	Referencia
Distancia 4	Ref1-1
	Ref1-2
	Ref1-3

Lejanía a Centro Piloto	Control
Distancia 5	Muy poca fauna
	C1-2
	C1-3
	C2-1
	C2-2
	Sin fauna
	C3-1
	C3-2
	C3-3

Integración variables sedimentos y abundancia bentónica

La estructura biológica encontrada en relación al centro de cultivo piloto Suren las estaciones ubicadas entre las D1 y D5, muestra un gradiente de variación en algunos de los descriptores de la comunidad, como por ejemplo variación del número de especies, diversidad y abundancia total en aquellas estaciones ubicadas a menos de 1000 metros (D5), tomando como referencia las estructuras Centro de Cultivo.

Para relacionar mediante el análisis Bio-env la configuración espacial del componente biológico, con las características del sedimento y la columna de agua se usaron los siguientes datos fisicoquímicos: Materia orgánica total, diámetro de la partícula de arena, Potencial REDOX, pH, temperatura, Oxígeno disuelto y salinidad.

La **Tabla 87** y **Tabla 88**, muestran los resultados del análisis, e indican que la combinación de variables Oxigeno-MOT-REDOX-Diámetro medio del granoen conjunto, presenta la mejor correlación con la configuración espacial del macrozoobentos asociado al centro piloto sur (Pw: 0.431; p: 1%)

Tabla 87. Resultado del Bio-Env mediante el coeficiente de correlación de Spearman (pw).

Prueba Global	
Valor del estadístico Rho	0,431
Nivel de significancia estadística obtenido (%)	1
Nivel de significancia estadística de rechazo (%)	5
Número de permutaciones realizadas (R')	99
Frecuencia de Rho">Rho	0

Tabla 88. Resultado del Bio-Env mediante el coeficiente de correlación de Spearman (pw). Combinación de 7 variables fisicoquímicas del sedimento y columna de agua. El primer valor en negrita indica la máxima correlación.

Numero de variables que entregan Mejor Resultado	Correlación	Variables seleccionadas
4	**0,431**	Oxigeno-MOT-REDOX-Diámetro medio del grano
3	0,419	MOT-REDOX-Diámetro medio del grano
5	0,412	Oxigeno-MOT-REDOX-pH-Diámetro medio del grano
3	0,41	Oxigeno MOT-Diámetro medio del grano

Comparación niveles de diversidad y composición de la macrofauna entre sectores de monitoreo piloto

Escalamiento multidimensional no métrico (Comparación entre sectores)

El NMDS permitió ordenar en un espacio de dos dimensiones las estaciones de sectores piloto monitoreados (**Figura 106**), la configuración resultante se clasifico como útil, generando un valor de estrés de 0,23, es decir que la representación multivariada se ajusta a la matriz de datos originales.

En el N-MDS se observó que las estaciones de monitoreo de cada sector piloto monitoreado se agrupan formando un grupo distinto.

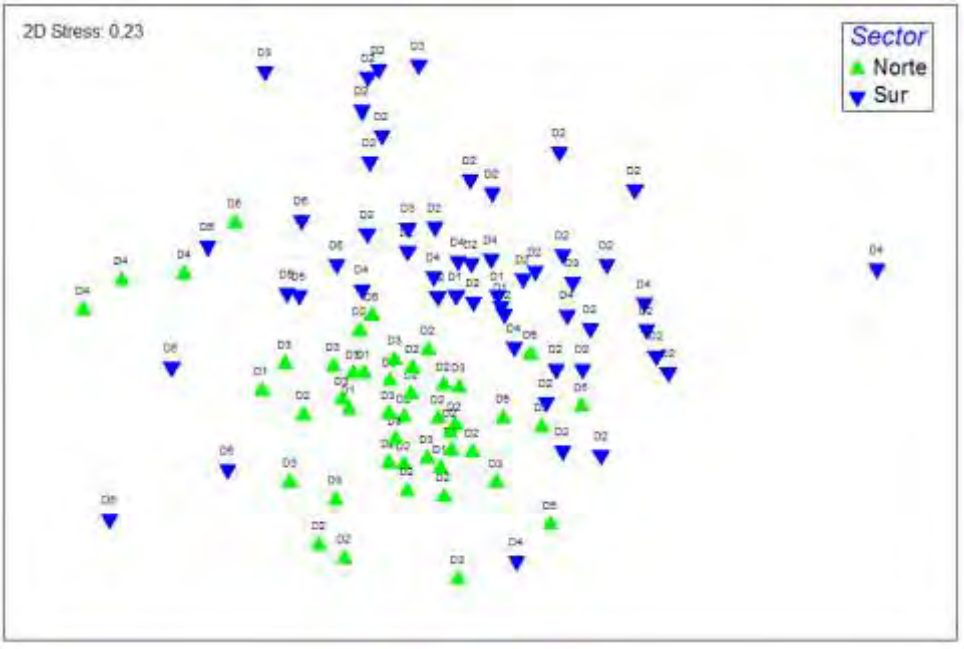


Figura 106. Análisis de ordenación no paramétrica (NMDS) de las estaciones de muestreo. Factor Sector Piloto.

Análisis de similitud

Las conclusiones derivadas del análisis de ordenación fueron validadas con la prueba ANOSIM, cuyos resultados son entregados en la **Tabla 89.** La prueba indicó la presencia de grupos.

Tabla 89. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre estaciones de muestreo a lo largo del periodo de estudio.

Prueba Global	
Valor del estadístico R	0,248
Nivel de significancia estadística obtenido (%)	0,1
Nivel de significancia estadística de rechazo (%)	5
Número de permutaciones realizadas (R')	999
Frecuencia de R'>R	0

La **Figura 106**, muestra una clara separación de los sectores de monitoreo, esto fue respaldado por la prueba ANOSIM arrojando diferencias significativas (R: 0,248; p:0,1) (**Tabla 89**).

Al examinar las comparaciones parciales entre las distancias de ambos sectores se observó que la composición del macrozoobentos entre distancias de ambos sectores (D1 Norte vs D1 Sur;D2 Norte vs D2 Sur;D3 Norte vs D3 Sur;D4 Norte vs D4 Sur;D5 Norte vs D5 Sur), son estadísticamente diferentes (**Tabla 90**).Las especies que más aportan a esta diferenciación son principalmente Triplonchida indet., *Aulacomya atra*,*Tindariopsis sulculata*, presentes principalmente en las estaciones del sector de monitoreo piloto Sur y *Nucula pisum*, Veneridae indet y*Nassarius coppingeri* en el sector norte.

Tabla 90 Prueba de pares del análisis de similitud (ANOSIM). R: Valor de estadístico; P (%): nivel de significancia; D1: Estaciones ubicadas a < de 50 metros de distancia; D2: Estaciones ubicadas a < de 200 metros de distancia, D3: Estaciones ubicadas a < de 600 metros de distancia, D4: Estaciones ubicadas a > de 1000 metros y D5 >13000 de distancia del centro piloto.

Comparación distancias entre sectores centro piloto Norte y Sur		R	P(%)
D1 Sur	D1 Sur	0,63	5,7(*)
D2 Sur	D2 Sur	0,32	0,1(*)
D3 Sur	D3 Sur	0,698	0,1(*)
D4 Sur	D4 Sur	0,745	0,5(*)
D5 Sur	D5 Sur	0,323	0,9(*)

(*) Indica diferencias entre grupos.

Comparación parámetros comunitarios entre sectores de monitoreo piloto

Al comparar la riqueza (S), abundancia (N), diversidad (H) y uniformidad (J) entre las distancias de ambos sectores de estudio es posible indicar que solo las distancias D1 y D2 presentan diferencias para la riqueza presentándose los mayores valores en el sector Sur (Mann Whitney, p<0,05) (**Figura 107**). El resto de los parámetros comunitarios no presenta diferencias significativas entre las distintas distancias entre sectores(Mann Whitney, p>0,05) (**Figura 108**, **Figura 109**, **Figura 110**).

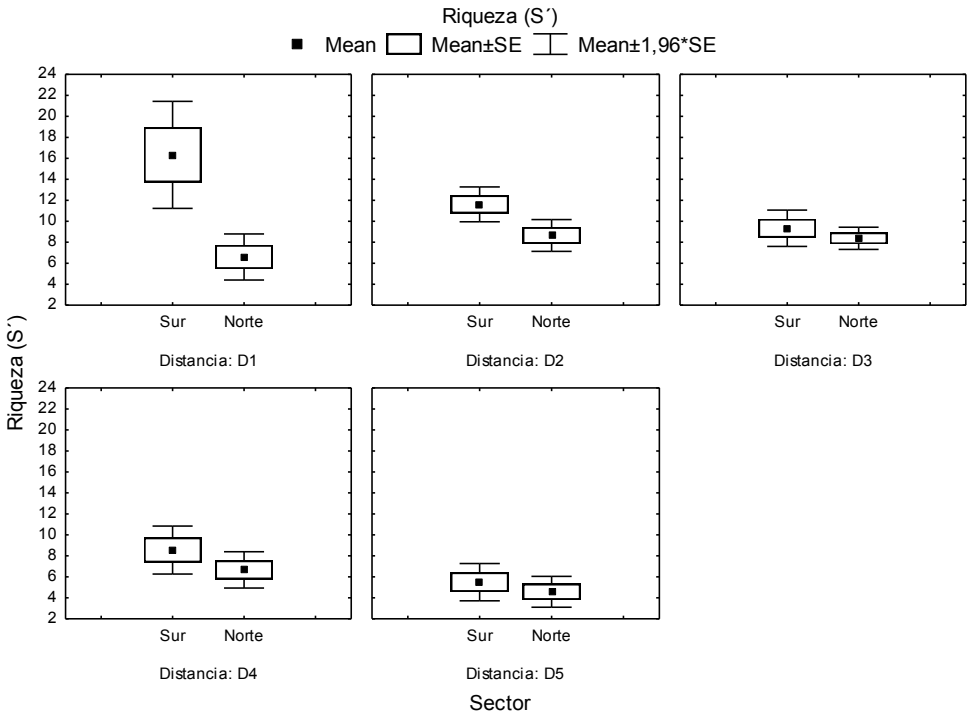


Figura 107. Análisis comparativo de la Riqueza (S) de las distancias entre sectores de monitoreo piloto.

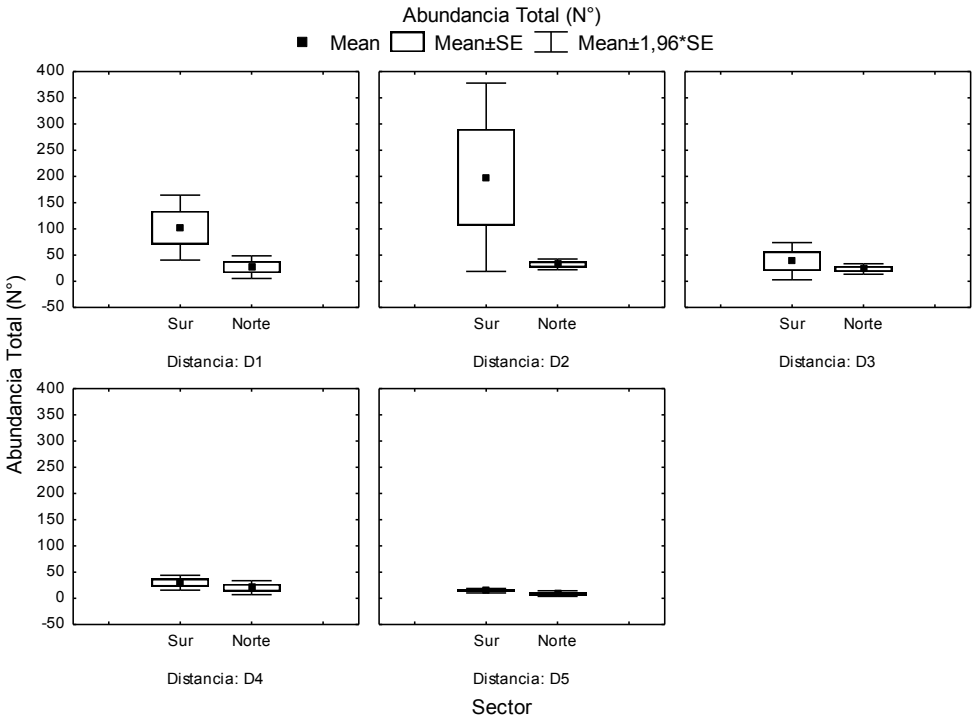


Figura 108. Análisis comparativo de la Abundancia (N) de las distancias entre sectores de monitoreo piloto.

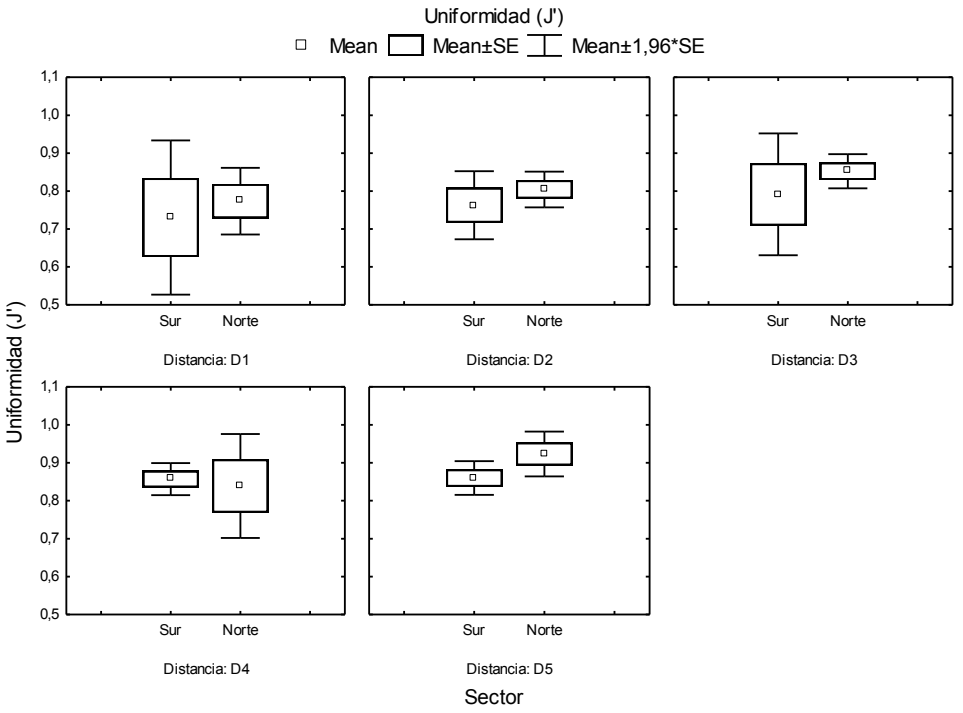


Figura 109. Análisis comparativo de la Uniformidad (J) de las distancias entre sectores de monitoreo piloto.

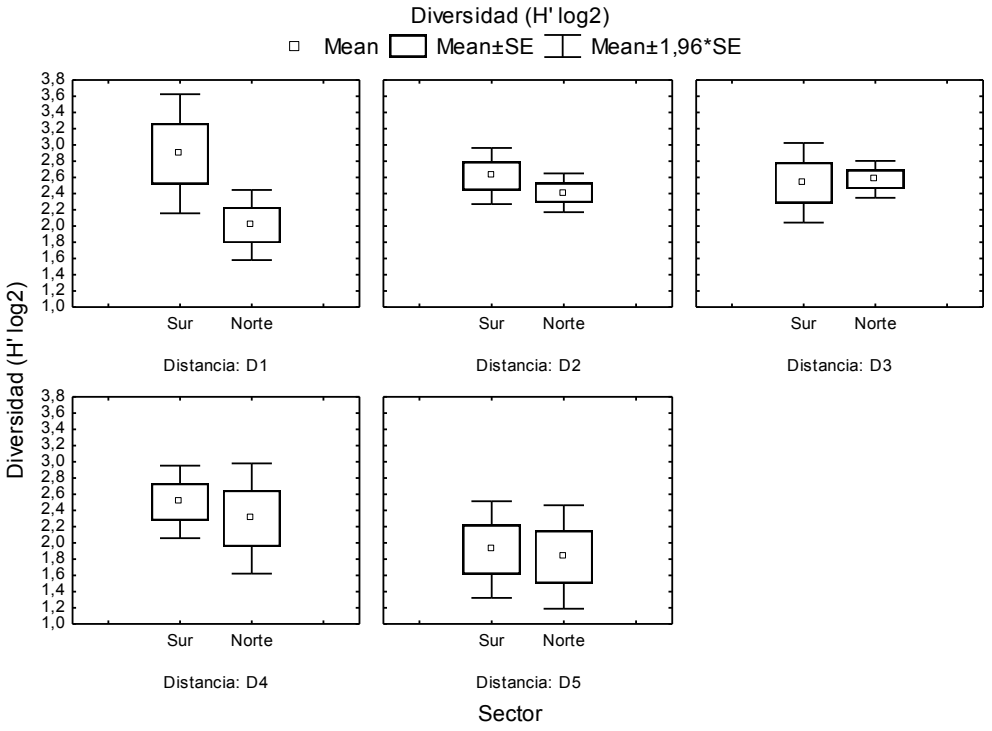


Figura 110. Análisis comparativo de la Diversidad (H') de las distancias entre sectores de monitoreo piloto.

Valoración de impacto

A partir de los resultados del monitoreo piloto de la componente macrofauna, se determinó el Valor de Impacto Ambiental (VIA) por medio del Método Criterios Relevantes Integrados (CRI).

En el sector piloto norte (centro Imelev), se determinó que en cuanto al criterio de intensidad, toma un nivel medio con una proporción total de muestras alteradas o moderadamente alteradas del 38%, de acuerdo al índice de Warwick. Por lo cual se le asigna un valor de 4 para este indicador (**Tabla 91**).

En cuanto a la extensión fue posible identificar estaciones alteradas o moderadamente alteradas (según índice de Warwick), en distancia menores a 600 m desde el centro, por lo que se determinó una extensión de tipo extensiva. Otorgándole un valor de 5 (**Tabla 91**).

En cuanto a la duración se consideró un nivel largo, ya que la información de producción de la concesión indica que se han mantenido ciclos de producción sucesivos por más de 5 años, sin descansos intermedios de al menos un año. Por lo cual se le otorgó una puntuación de 10 (**Tabla 91**).

Para reversibilidad y riesgo se consideran los valores determinados por defecto de acuerdo a los antecedentes descritosen la metodología, donde se otorgan valores de 4 y 10 respectivamente (**Tabla 91**).

Tabla 91. Valoración de criterios para la determinación del Valor de Impacto Ambiental en el sector piloto norte (Centro Imelev).

INTENSIDAD			**Sector Norte (Centro Imelev)**		
Niveles	**Porcentaje de Comunidades bentónicas alteradas (Según Índice W)**	**Puntuación**	**% Muestras alteradas**	**Nivel**	**Puntuación**
Alta	> 50 %	6 – 10	38%	Medio	4
Media	entre 30% y 50%	3 – 5			
Baja	< 30 %	1 – 2			
EXTENSIÓN					
Niveles	**Distancia de perturbación respecto del cetro**	**Puntuación**	**Distancia del centro de muestras alteradas**	**Nivel**	**Puntuación**
Generalizada	> 600 m	6 – 10	< 600 M	Extensiva	5
Extensiva	< 600m	3 – 5			
Puntual	< 50 m	1 – 2			
DURACIÓN					
Niveles	**t de producción**	**Puntuación**	**Definida en base a ciclo productivo**	**Nivel**	**Puntuación**
Larga	(>5años)	6 – 10	> 5 años	Largo	10
Media	(2>5 años)	3 – 5			
Corta	(<2 años)	1 – 2			
REVERSIBILIDAD					
Niveles	**t de resiliencia**	**Puntuación**	**Definida bajo un criterio conservador**	**Nivel**	**Puntuación**
Irreversible	baja capacidad o irrecuperable	6 – 10	largo plazo	Medianamente	4
Medianamente	reversible de 11 a 20 años, largo plazo	3 – 5			
Reversible	a corto plazo < de 10 años	1 – 2			
RIESGO					
Niveles	**% Estimación de riesgo de ocurrencia**	**Puntuación**	**Definida en base a literatura disponible**	**Nivel**	**Puntuación**
Alto	(>50%)	6 – 10	100 % de riesgo de ocurrencia	Alto	10
Medio	(10 a 50%)	3 – 5			
Bajo	(<10%)	1 – 2			

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

En la **Tabla 92**, se muestra el valor del VIA, para el centro piloto norte (centro Imelev), indicando la ponderación y la puntuación de cada criterio.El VIA calculado para este centro tomó un valor de 6,65. De acuerdo a la jerarquización de impactos propuesta por Buroz (1990) (**Tabla 93**), este VIA corresponde a un **nivel de impacto alto.**

Tabla 92. Determinación de VIA para el centro piloto norte (centro Imelev)

Indicador	Ponderación (%)	Puntuación criterio	Productos
Intensidad	0,25	4	1
Extensión	0,25	5	1,25
Duración	0,25	10	2,5
Reversibilidad	0,1	4	0,4
Riesgo	0,15	10	1,5
SUMA DE PRODUCTOS (VIA)			**6,65**

Tabla 93. Jerarquización de impactos

Categoría	VIA
Muy alta	VIA >8
Alta	6 < VIA ≤ 8
Moderada	4 < VIA ≤ 6
Baja	VIA ≤ 4

En el sector piloto sur (centro Chaullin), se determinó que el criterio de intensidad, toma un nivel menor al centro norte, ya que tuvo una proporción total de muestras alteradas o moderadamente alteradas del 19%, de acuerdo al índice de Warwick. Por lo cual se le asigna un valor de 2 para este indicador (**Tabla 94**). No obstante, la extensión fue mayor, identificándose estaciones alteradas o moderadamente alteradas hasta en la estación de referencia (según índice de Warwick), por lo que se determinó una extensión de tipo generalizada. Otorgándole un valor de 6 (**Tabla 94**).

En cuanto a la duración se consideró un nivel largo, ya que al igual que el centro norte, la información de producción de la concesión indica que se han mantenido ciclos de producción sucesivos por más de 5 años, sin descansos intermedios de al menos un año. Por lo cual se le otorgó una puntuación de 10 (**Tabla 94**).Para reversibilidad y riesgo se consideran los valores determinados por defecto de acuerdo a los antecedentes descritos en la metodología, donde se otorgan valores de 4 y 10 respectivamente (**Tabla 94**).

Tabla 94. Valoración de criterios para la determinación del Valor de Impacto Ambiental en el sector piloto sur (Centro Chaullin).

INTENSIDAD			**Sector Norte (Centro Chaullín)**		
Niveles	**Porcentaje de Comunidades bentónicas alteradas (Según Índice W)**	**Puntuación**	**% Muestras alteradas**	**Nivel**	**Puntuación**
Alta	> 50 %	6 – 10	19%	Bajo	2
Media	entre 30% y 50%	3 – 5			
Baja	< 30 %	1 – 2			
EXTENSIÓN					
Niveles	**Distancia de perturbación respecto del cetro**	**Puntuación**	**Distancia del centro de muestras alteradas**	**Nivel**	**Puntuación**
Generalizada	> 600 m	6 – 10	> 600 M	Extensiva	6
Extensiva	< 600m	3 – 5			
Puntual	< 50 m	1 – 2			
DURACIÓN					
Niveles	**t de producción**	**Puntuación**	**Definida en base a ciclo productivo**	**Nivel**	**Puntuación**
Larga	(>5años)	6 – 10	> 5 años	Larga	10
Media	(2>5 años)	3 – 5			
Corta	(<2 años)	1 – 2			
REVERSIBILIDAD					
Niveles	**t de resiliencia**	**Puntuación**	**Definida bajo un criterio conservador**	**Nivel**	**Puntuación**
Irreversible	baja capacidad o irrecuperable	6 – 10	largo plazo	Medianamente	4
Medianamente	reversible de 11 a 20 años, largo plazo	3 – 5			
Reversible	a corto plazo < de 10 años	1 – 2			
RIESGO					
Niveles	**% Estimación de riesgo de ocurrencia**	**Puntuación**	**Definida en base a literatura disponible**	**Nivel**	**Puntuación**
Alto	(>50%)	6 – 10	100 % de riesgo de ocurrencia	Alto	10
Medio	(10 a 50%)	3 – 5			
Bajo	(<10%)	1 – 2			

Av. Errázuriz 1178 Of. 101, Valparaíso. | Fono: 32 221 38 32 | www.ecosmar.cl | ecos@ecosmar.cl

En la **Tabla 95**, se muestra el valor del VIA, para el centro piloto sur (centro Chaullín), indicando la ponderación y la puntuación de cada criterio. El VIA calculado para este centro tomó un valor de 6,40, levemente más bajo que el centro norte, por tener una intensidad menor, pero compensado por encontrarse una extensión mayor en este caso. De acuerdo a la jerarquización de impactos propuesta por Buroz (1990) (**Tabla 93**), este VIA corresponde, igualmente, a un **nivel de impacto alto.**

Tabla 95. Determinación de VIA para el centro piloto sur (centro Chaullin)

Indicador	Peso (%)	Puntuación criterio	Productos
Intensidad	0,25	2	0,5
Extensión	0,25	6	1,5
Duración	0,25	10	2,5
Reversibilidad	0,1	4	0,4
Riesgo	0,15	10	1,5
SUMA DE PRODUCTOS (VIA)			**6,40**

5.4.3.3. Monitoreo piloto de comunidades de aves, mamíferos marinos y algas

Introducción

Con el objeto de contrastar la información técnica presentada en los numerales 5.2.1.5 y 5.2.1.6 del presente documento, correspondiente a los antecedentes bibliográficos aunados para las componentes Avifauna y mamíferos marinos; se implementó una metodología analítica orientada en la evaluación espacial de la estructura comunitaria de cada componente, con relación a las actividades productivas de dos centros de cultivo de salmones tipo, durante la última etapa de su ciclo productivo (cosecha). De esta manera se realizó una prospección de terreno y levantamiento de información biológica en sectores próximos e inmediatos a ambos centro de cultivo, así como en sectores de mayor lejanía de los mismos.

El presente documento informa sobre los resultados aunados en la franja costera existente frente a la localidad de Isla Imelev, Isla Quehui e Isla Chaulinec; así como también en la franja existente frente a isla Chaullín e isla Tranqui; durante una campaña de monitoreo de aves y mamíferos marinos, correspondiente al período primaveral, entendido como el periodo de mayor abundancia y diversidad para la región austral de nuestro país.

Se entregan los resultados de diversidad y abundancia de aves marinas y litorales, así como la diversidad y abundancia de mamíferos marinos presentes en el área colindante al sector de operación del centro de producción acuícola. Se entrega un listado taxonómico de las especies observadas, así como también se indican los estados de conservación, de acuerdo a los criterios estipulados en la Ley de Caza N° 19.473; según los criterios de la IUCN (Red List of Threatened Species); y según el Reglamento de Clasificación de Especies D.S. N° 13/2013 (RCE) del primer al noveno proceso.

Objetivo general

Caracterizar la avifauna y mamíferos marinos que reside o visita el área de estudio.

Objetivos específicos

- Caracterizar la avifauna existente, con relación a la diversidad, abundancia y distribución, tanto en el área de concesión acuícola, como en los biotopos identificados en sectores aledaños a esta.
- Caracterizar la comunidad de Mamíferos marinos, con relación a la diversidad, abundancia y distribución, tanto en el área de concesión acuícola como en los biotopos identificados en sectores aledaños a esta.
- Caracterizar las componentes biológicas consideradas, en función a las categorías de conservación correspondientes.

Metodología

Área de estudio y estaciones de monitoreo. Sector norte del Archipiélago de Chiloé

El área monitoreada comprende la porción de costa circunscrita entre las Islas Imelev, Quehui y Chaulinec, archipiélago de Chiloé, Región de Los Lagos, en el sector se ubica un centro de cultivo de salmones, en adelante Centro Piloto, posicionado al oeste de isla Imelev y cuyas coordenadas UTM corresponden a 629895 E – 5280788 N. De forma complementaria se monitoreó un sector próximo al área de operación del centro piloto (Control), sector identificado por un sistema litoral de similares características respecto del primero, donde no se registra actividad acuícola en las proximidades (**Figura 111**).

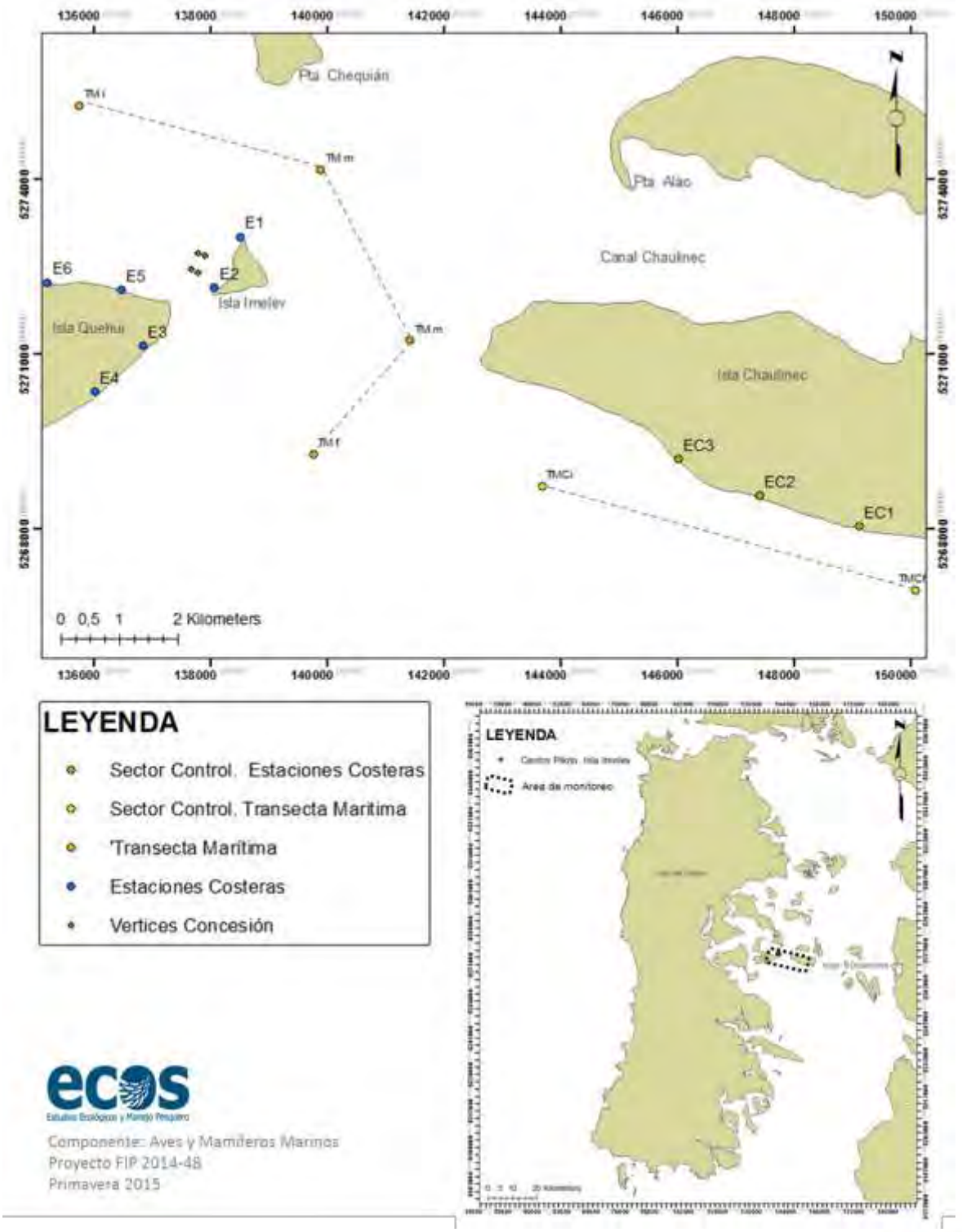


Figura 111. Área de estudio. El recuadro negro detalla área prospectada en el archipiélago de Chiloé. Sector norte.

La selección de los sitios de interés se realizó de acuerdo a información levantada en la prospección del terreno, en donde se caracterizó toda el área de estudio de acuerdo a los siguientes criterios o factores para la selección:

- Condiciones geomorfológicas específicas del área de estudio.
- Potenciales focos de atracción de aves y mamíferos marinos, existentes en el borde costero, tales como Caletas de Pescadores Artesanales, Puertos, Ductos, Desagües, Humedales, Estuarios, islotes, entre otros.
- Existencia de biotopos particulares considerados como sitios potenciales de albergar fauna posible de desplazarse al interior de la zona de influencia.
- Estado actual del conocimiento sobre la composición, estructura y organización ecológica de las comunidades animales del área.

La prospección de terreno del área individualizada no consideró la inclusión de sitios de interés diferenciales al resto del margen de costa y porción marina analizada. Lo anterior se debe a que el área prospectada presentó gran homogeneidad respecto de su estructura florística y grados de intervención antrópica. De esta forma el sector de monitoreo se caracterizó de acuerdo a unidades muestrales terrestres (estaciones costeras) y unidades marítimas (Transectas marítimas) (**Figura 111**).

En cada unidad muestral, se realizó un catastro de todas las especies presentes, por tres días consecutivos, durante las jornadas de mañana (AM) y tarde (PM). La **Tabla 96**, se proporciona el número y coordenadas de cada unidad de monitoreo.

Tabla 96. Estaciones de monitoreo establecidas.Sector norte del Archipiélago de Chiloé.

Estaciones	Rótulo	Componente	Coordenadas			
			UTM		Geográficas	
			Este	Norte	Latitud	Longitud
1.- Sector Piloto (Centro cultivo)						
Estación Costera 1	E1	Aves, Mamiferos	630676	5281203	42°36'37.93"S	73°24'24.55"O
Estación Costera 2	E2	Aves, Mamiferos	630174	5280368	42°37'5.29"S	73°24'45.89"O
Estación Costera 3	E3	Aves, Mamiferos	628883	5279457	42°37'35.60"S	73°25'41.80"O
Estación Costera 4	E4	Aves, Mamiferos	628004	5278740	42°37'59.36"S	73°26'19.79"O
Estación Costera 5	E5	Aves, Mamiferos	628580	5280443	42°37'3.82"S	73°25'55.90"O
Estación Costera 6	E6	Aves, Mamiferos	627329	5280654	42°36'57.05"S	73°27'0.28"O
Transecta Marina Inicio	TMi	Aves, Mamiferos	628081	5283639	42°35'20.55"S	73°26'20.38"O
Transecta Marina Término	TMf		631656	5277395	42°38'40.73"S	73°23'38.39"O
2.- Sector Control						
Estación Costera 1	EC1	Aves, Mamiferos	640905	5275495	42°39'36.41"S	73°16'50.70"O
Estación Costera 2	EC2	Aves, Mamiferos	639242	5276147	42°39'16.37"S	73°18'4.29"O
Estación Costera 3	EC3	Aves, Mamiferos	637893	5276873	42°38'53.72"S	73°19'4.15"O
Transecta Marina Inicio	TMCi	Aves, Mamiferos	635534	5276576	42°39'4.85"S	73°20'47.45"O
Transecta Marina Término	TMCf		641785	5274342	42°40'13.19"S	73°16'11.02"O

Datum WGS-84

Área de estudio y estaciones de monitoreo. Sector sur del Archipiélago de Chiloé

El área monitoreada comprende la porción de costa circunscrita frente a isla Chaullín e isla Tranqui, archipiélago de Chiloé, X Región de los Lagos. En el sector se ubica un centro de cultivo de salmónidos, en adelante Centro Piloto Norte, posicionado al oeste de isla Chaullín y cuyas coordenadas UTM corresponden a 625701-5231560. De forma complementaria se monitorearon dos sectores próximos al área de operación del centro piloto, individualizados como "Sector Referencia" y "Sector Control", ambos identificados por un sistema litoral de similares características respecto del primero, donde no se registra actividad salmoacuícola en las proximidades (**Figura 112**).

El diseño de muestreo de esta zona obedece a una estructura de muestreo análoga a la descritaen el sector norte del Archipiélago de Chiloé.

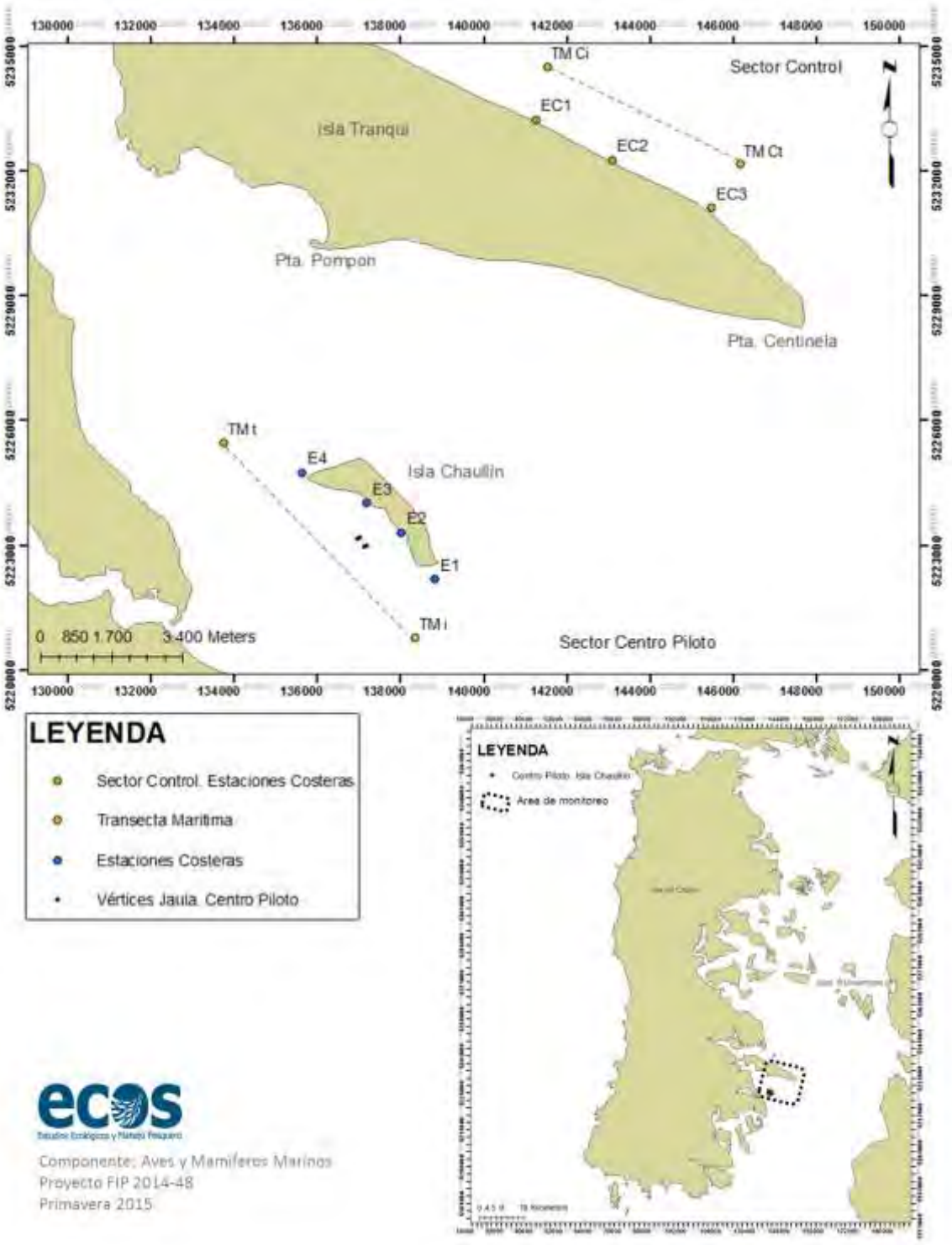


Figura 112. Área de estudio. El recuadro negro detalla el área prospectada en el archipiélago de Chiloé. Sector sur.

La prospección de terreno del área individualizada no consideró la inclusión de sitios de interés diferenciales al resto del margen de costa y porción marina analizada. Lo anterior se debe a que el área prospectada presentó gran homogeneidad respecto de su estructura florística y grados de intervención antrópica. De esta forma el sector de monitoreo se caracterizó de acuerdo a unidades muestrales terrestres (estaciones costeras) y unidades marítimas (Transectas marítimas) (**Figura 112**). En cada unidad muestral, se realizó un catastro de todas las especies presentes, por tres días consecutivos, durante las jornadas de mañana (AM) y tarde (PM). La **Tabla 97** proporciona el número y coordenadas de cada unidad de monitoreo.

Tabla 97. Estaciones de monitoreo establecidas.Sector sur del Archipiélago de Chiloé.

Estaciones	Rótulo	Componente	Coordenadas			
			UTM		Geográficas	
			Este	Norte	Latitud	Longitud
1.- Sector Piloto (Centro cultivo)						
Estación Costera 1	E1	Aves, Mamiferos	627382	5230542	43° 4'1.69"S	73°26'7.80"O
Estación Costera 2	E2	Aves, Mamiferos	626667	5231727	43° 3'23.72"S	73°26'40.37"O
Estación Costera 3	E3	Aves, Mamiferos	625887	5232482	43° 2'59.72"S	73°27'15.46"O
Estación Costera 4	E4	Aves, Mamiferos	624382	5233332	43° 2'33.07"S	73°28'22.64"O
Transecta Marina Inicio	TMi	Aves, Mamiferos	626814	5229181	43° 4'46.14"S	73°26'31.79"O
Transecta Marina Término	TMf		622552	5234182	43° 2'6.60"S	73°29'44.17"O
2.- Sector Control						
Estación Costera 1	EC1	Aves, Mamiferos	630593	5241378	42°58'8.55"S	73°23'54.97"O
Estación Costera 2	EC2	Aves, Mamiferos	632343	5240282	42°58'42.99"S	73°22'36.83"O
Estación Costera 3	EC3	Aves, Mamiferos	634639	5238977	42°59'23.83"S	73°20'54.35"O
Transecta Marina Inicio	TMCi	Aves, Mamiferos	630949	5242621	42°57'28.08"S	73°23'40.35"O
Transecta Marina Término	TMCf		635399	5239968	42°58'51.25"S	73°20'21.71"O

Datum WGS-84

Levantamiento de datos Avifauna

La caracterización de la avifauna se realizó por medio de evidencias directas sobre una transecta marítima, en la que se implementó un registro continuo. Los períodos de navegación tuvieron una duración que varió entre 1 a 1,5 horas diarias, durante las cuales 2 observadores a bordo generaron un recuento de forma independiente. En cada unidad de muestreo marítima se generó un recuento durante 3 días consecutivos y en 2 periodos diferentes del día. Estos horarios fueron definidos como mañana (entre 07:00 y 11:00

h) y tarde (entre 13:00 y 18:00 h). Con ello se persiguió constatar, por medio de tres réplicas, los movimientos de la avifauna durante diferentes etapas del día (AM-PM).

Con el objetivo de incluir todas las especies que pudieran ser identificadas en la zona y tomando en consideración la gran variabilidad de amplitud de los canales recorridos, los registros de monitoreo siguieron el mismo criterio establecido por Imberti (2005), donde las observaciones se realizaron sin las restricciones de distancia y tiempo que necesariamente implica el uso de una franja o transecta marítima de ancho fijo (Tasker *et al*. 1984, Bibby *et al*. 1992).

De forma complementaria se establecieron unidades de observación costera, donde se implementó una estrategia de registro diferencial a aquella descrita durante la navegación, mediante el uso de una estación puntual de radio variable. En cada punto, se observó la totalidad de aves presentes en lapsos de 10 minutos, durante 3 días consecutivos y en 2 periodos diferentes del día. Estos horarios fueron definidos como mañana (entre 07:00 y 11:00 h) y tarde (entre 13:00 y 18:00 h). Con ello se persiguió constatar, por medio de tres replicas, los movimientos de la avifauna durante diferentes etapas del día (AM-PM).

Tomando en consideración que la estructura y composición de la vegetación son elementos determinantes de las características del hábitat de las aves (Cody, 1985), en cada unidad de monitoreo costera o estación de tierra, se generó una clasificación funcional tomando, especialmente en cuenta, los estratos vegetales o las porciones de hábitats requeridos para las actividades cotidianas de las aves. De esta manera cada punto de monitoreo fue descrito en función de su estructura florística (intermareal y supramareal), detallando así las diferentes estructuras de hábitat, definidas como biotopos de interés para comunidades o ensambles de aves.

La clasificación taxonómica de las especies se siguió a South American Classification Committee (SACC), of the American Ornithologists' Union (AOU) (Remsen *et al*. 2014).

Todos los puntos de avistamientos fueron registrados con GPS. Como materiales se utilizó un binocular Nikon 10x50 y una cámara Canon serie EOS con Lente 120-400mm. Con este último se generó un registro gráfico de las especies más frecuentes y/o abundantes.

Cálculos de abundancia

Sobre los resultados del monitoreo logrados en cada unidad de muestreo, se generó una matriz de taxa por estación.

El recuento fue realizado por dos observadores independientes, registrando valores promedio sin aproximar a cifras enteras. Con los datos levantados durante 3 días de recuento se calculó la abundancia promedio, obteniendo para cada uno de ellos los siguientes descriptores:

- Abundancia Promedio Total: (Abundancia especifica media, por estación) / (Nº estaciones).
- Abundancia relativa: proporción entre la abundancia de una especie y la abundancia de todas las especies en la muestra, expresada como porcentaje.

Cada valor de abundancia tiene asociado una desviación estándar y un coeficiente de variación (%). Indicadores que evidencian la variabilidad asociada a los valores medios presentados.

Índices ecológicos

Se estimaron los índices de:

Diversidad de Shannon (H') según Pielou (1975), Gray & Pearson (1982):

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} pi \times \ln pi$$

Dónde:

S = Riqueza de especies o número de taxa presentes en la muestra

pi = Proporción de i-ésimotaxón en la muestra

ln = Logaritmo natural

Uniformidad (J') según Pielou (1966):

$$J' = \frac{H'}{H'max}$$

Dónde:

H′ = Diversidad de Shannon

H′max = ln (S)

Índice de Dominancia de Simpson (Simpson, 1949)

$$D = \sum P\,i^2$$

Dónde:

Pi = Abundancia específica

Análisis de ordenación y clasificación

Con la finalidad de establecer un parámetro de comparación entre cada punto de monitoreo, se realizaron análisis de conglomerados y de Escalamiento No Métrico Multidimensional (N-MDS).

Se construyó una matriz de similitud, a partir de los datos de abundancia. Los datos fueron transformados a raíz cuarta, como una forma de estandarización de las especies menos representadas. Una vez transformados los datos, se procedió con el cálculo de la matriz, utilizando el índice de Bray-Curtis y la técnica de agrupación jerárquica de la media ponderada (Bray & Curtis 1957; Legendre & Legendre 1979) para medir la similitud entre pares de elementos. Así, la matriz de similitud generada a partir de los datos transformados y estandarizados de cobertura, constituyó los datos de entrada para los análisis de clasificación y ordenación.

El análisis de clasificación tiene por objetivo agrupar conjuntos de estaciones de composición de especies similares, lo que es un reflejo de las condiciones ambientales a las cuales están siendo sometidas las comunidades del sector, Clark & Warwick (2001). Se realizan pares sucesivos de los grupos similares hasta que toda la muestra o grupos de la muestra se asocien en un conjunto mayor, proceso que culmina con la formación de un dendrograma.

El análisis de ordenación permite representar de manera gráfica las similitudes a nivel de especie entre 2 o más muestras, las que son medidas por la distancia entre ellas en una figura. La ventaja del análisis es el límite del número de dimensiones utilizable (James & Mcculloch, 1990). La calidad del análisis queda determinada por el nivel de estrés alcanzado por el mismo.

$$Estrés = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j \left(d_{ij} - \hat{d}_{ij}\right)^2}{\sum_i \sum_j d_{ij}^2}}$$

Dónde:

djk = Distancia entre los puntos j-ésimo y k-ésimo de la muestra

$\hat{d}_{jk}$ = Distancia predicha de la línea de regresión ajustada correspondiente a la disimilitud δjkde la matriz de coeficiente de Bray-Curtis.

Mientras mayor sea la diferencia entre las disparidades y las distancias, mayor será el Stress y por tanto peor será el modelo. Su valor mínimo es 0, mientras que su límite superior para n estímulos es $\sqrt{1 - (2/n)}$. La eficacia del modelo se contrastó con la escala de interpretación del Stress sugerida por Kruskal (1964). A saber:

Stress		
0,01	:	Exelente
0,01 a 0,05	:	Bueno
0,05 a 0,10	:	Correcto
0,10 a 0,15	:	Moderado
0,15	:	Pobre

Análisis Estadístico de representatividad

La calidad de monitoreo fue evaluada por medio de la aplicación de la ecuación de Clench (1979), como descriptor de la curva de acumulación de especies que se construye al añadir nuevas especies conforme se aumenta el esfuerzo de monitoreo.

Para el análisis de datos se utilizaron curvas de acumulación con la ayuda del programa EstimateS versión 9.1. Posteriormente se realizó un ajuste de cada

curva mediante el método de Clench (1979), utilizado según las recomendaciones de Soberón & Llorente (1993), lo que permitió obtener el número teórico de especies totales para el área de estudio. Para estimar la pendiente de la curva de Clench se utilizó el programa Statistica versión 7.0. Para ello, la estocasticidad de las entradas fue calculada mediante estimación no lineal, con 100 iteraciones, y en el ajuste de la función se utilizó el método del algoritmo de Simplex & Quasi-Newton. El ajuste de la curva se evaluó con el factor de determinación R2, acogiendo las recomendaciones de Flather (1996) quien sugiere un valor referencial de 1 como buen ajuste. La ecuación de Clench está dada por la expresión:

$$S_n = a \cdot n / (1 + b \cdot n)$$

Donde:

Sn=Número esperado de especies

n=Número acumulado de especies

a=Tasa de incremento de nuevas especies al comienzo del inventario

b=Parámetro relacionado con la forma de la curva

La asíntota de la curva se calculó como a/b, mientras que el valor de la pendiente se determinó a partir de la riqueza especifica registrada en cada localidad y los parámetros a y b, según las recomendaciones de Jiménez-Valverde & Hortal, 2003. De no alcanzarse la asíntota, la tangente (derivada) de la función de Clench ajustada en el último punto de monitoreo (d'=a/(1+b•n)2), ofrece un valor confiable para valores cercanos a 0,1 (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003). La derivada de esta función representa la tangente a la curva en un punto, lo que sería indicativo de un inventario bastante completo cuanto más cercana a 0 al término del monitoreo.

Este procedimiento permite comprobar si el número de observaciones realizadas es suficiente para registrar las especies existentes en un lugar.

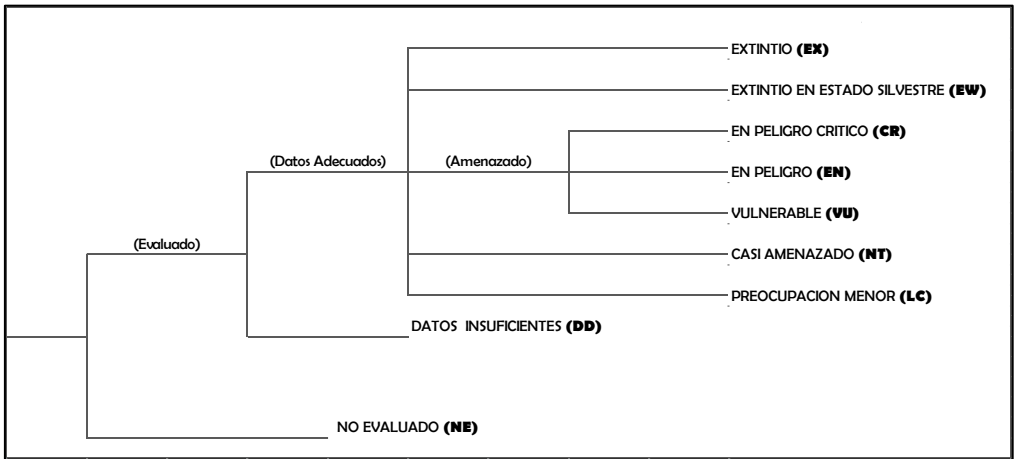
Estado de conservación de las especies

Con la información faunística proveniente de los levantamientos de terreno, se procedió a establecer las categorías de conservación, según la Ley de Caza N° 19.473; según los criterios de la IUCN (Red List of Threatened Species); y según el Reglamento de Clasificación de Especies D.S. N° 13/2013 (RCE); estos reconocen las siguientes categorías:

- **Criterios ley de caza**

B: especie catalogada como beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria.
S: especie catalogada con densidades poblacionales reducidas.
E: especie catalogada como benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales.
P: especie catalogada como en Peligro de Extinción.
V: especie catalogada en estado de conservación Vulnerable.
R: especie catalogada como Rara.
I: especie catalogada como Escasamente o Inadecuadamente Conocida.

- **Criterio IUCN**



- **Reglamento de clasificación de especies**

CR: En peligro crítico
DD: Datos insuficientes
EN: En Peligro
EW: Extinta en estado silvestre
EX: Extinta
FP: Fuera de Peligro
IC: Insuficientemente Conocida
LC: Preocupación menor
NT: Casi amenazada
R: Rara
VU: Vulnerable

Identificación de biotopos

Las comunidades de aves y mamíferos marinos son una componente biológica asociada a un amplio ámbito de hogar, razón por la cual su presencia no se restringe a una localidad determinada. Sin embargo, ambas componentes utilizan determinados sitios donde desarrollar algunas actividades específicas. En el caso de las aves, estos sitios están determinados mayoritariamente por la estructura florística, mosaico vegetal particular, o tipología del sustrato; lo cual forma microsistemas que son utilizados por las comunidades de aves para el desarrollo de actividades de descanso, alimentación, refugio, entre otras. De esta manera el tipo de especies vegetales presentes, la tipología del sustrato y/o las asociaciones bióticas y abióticas existentes, definen la presencia de biotopos; tales como Bosque, Matorral costero, Dunas litorales, litoral marino, Margen de playa de arena, entre otras.

En esta sección se pone especial énfasis en la descripción de las algas que dominan los biotopos costeros, con el fin de contar con información eventuales disminuciones o sustituciones de conjuntos algales complejos compuestos por algas pardas o rojas que tienen dentro de sus funciones estructurar hábitats, por algas de menor complejidad estructural como algas verdes de rápido crecimiento (ver secciones 5.2.1.2 y 5.4.1).

Estos microsistemas se categorizan bajo el concepto de biotopos, razón por la cual se definen los diferentes biotopos en cada una de las unidades de muestreo consideradas. El monitoreo al considerar un área ampliada de

muestreo, trabaja sobre la premisa que un ave identificada en un tipo de biotopo, presenta un alto potencial de frecuentar un mismo biotopo lejano. De esta manera la metodología empleada no solo contempla el recuento de aves en un solo sector, sino que considera un área mayor de monitoreo generando un levantamiento de la información en lugares de similares características, los cuales contienen especies potenciales de visitar el área de concesión acuícola.

Para una adecuada identificación de los hábitat de las especies se realizó una identificación de biotopos asociados a los ensambles de aves; y al levantamiento de la Información lograda en la prospección de terreno, además se realizó una exhaustiva revisión de la bibliografía existente, con el objeto de constatar de manera fundada, la disponibilidad de hábitat que pueden ofrecer la zona de influencia (ZI) del centro Piloto, en relación a la fauna marina y costera que vive o visita esta zona geográfica. Lo anterior cobra especial relevancia ya que constituye una herramienta esencial en la determinación de los potenciales impactos o alteraciones que un proyecto tipo generará en la estructura comunitaria del sector, en términos de una eventual destrucción o pérdida de hábitat, fragmentación del mismo y/o pérdida de la riqueza especifica en la fauna registrada.

Levantamiento de información mamíferos marinos

Se identificaron todos los ejemplares de mamíferos marinos mediante observaciones desde puntos de observación terrestre y transectas marítimas, coincidente con la establecida para el monitoreo de aves. Se registraron todos los individuos, considerando, dentro de lo posible, el sexo, estado de madurez y número de individuos por especie.

La identificación de biotopos, estimación de indicadores ecológicos, cálculos de abundancia así como la utilización de modelos multivariados y estados de conservación de las especies registradas, se realizó con el mismo marco metodológico que el detallado en la sección anterior, correspondiente al acápite de avifauna.

Para la clasificación y nomenclatura de las especies se utilizaron las guías de mamíferos de Muñoz & Yáñez (2009) e Iriarte (2009). La información es representada de forma gráfica en imágenes georeferenciadas ligadas al sistema de información geográfica (SIG).

Resultados

Caracterización de sectores de monitoreo. Sector norte Archipiélago de Chiloé

Se generó una descripción ecológica en función a los diferentes biotopos existentes, en las inmediaciones del lugar de área de operación del centro salmoacuícola piloto. A continuación se entrega una diagnosis general de la estructura biológica presente en las unidades de muestreo.

El sistema intermareal del sector analizado, se describe por dos biotopos en particular. El primero de ellos caracterizado por una extensa franja de playa de arena y escaza presencia de sustrato rocoso (macizos rocosos), en la que se observa la presencia de vegetación dispersa, constituidas mayoritariamente por *Nolana paradoxa*, *Carex pumila*, *Ambrosia chamissonis*, *Calystegia soldanella*, *Polygonum maritinum*, *Rumex sp.*, entre otras. Lo anterior corresponde a los registros logrados en las estaciones E2, E4, E5, E6, EC1, EC2 y EC3 (**Figura 113**, **Figura 114**, **Figura 115** y **Figura 116**). En segundo biotopo registrado corresponde a una porción de intermareal rocoso (Macizos rocosos) de baja pendiente y gran extensión intermareal (Estación costera E1), caracterizada por la presencia Rodophytas de los generos Mazzaella y Ahnfeltia; y Chlorophytas del genero Ulva (**Figura 117** y **Figura 117**). A este mismo biotopo se suma la estación costera E3, caracterizada por una playa de bolones de gran tamaño y la dominancia (en términos de su cobertura) de *ulva sp.* (**Figura 118**).

Figura 113. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E2. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Pradera y Matorral.

Figura 114. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E4. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Pradera y Matorral.

Figura 115. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E5. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Matorral Costero y Zona Rural.

Figura 116. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E6. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Matorral Costero y Zona Rural.

Figura 117. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E1. Intermareal: Detalle de litoral rocoso. Supramareal: Detalle de Pradera y Matorral.

Figura 118. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E3. Intermareal: Detalle de litoral rocoso. Supramareal: Detalle de Matorral Costero.

Referente al sistema supramareal, se observa un alto grado de intervención antrópica del borde costero, con la presencia de caminos, predios destinados a la agricultura y ganadería en pequeña escala, junto a residencias habitacionales. Los biotopos registrados en este estrato son de Matorral

costero, Pradera y Zonas Rurales. El biotopo Matorral costero registra una gran cobertura de *Ulex europaeus* (Espinillo) leguminosa de origen europeo introducida en la isla de Chiloe y considerada como plaga en la localidad estudiada. Adicionalmente se observa la presencia de un estrato arbustivo compuesto por *Chusquea quila* (Quila), *Tepualia stipularis* (Tepú) y *Aristotelia chilensis*(Maqui),*Fuchsia magellanica* (Chilco) y otras mirtáceas. En este estrato se observa además la presencia de helechos y musgos que también forman parte de este intrincado ecosistema, destacando las especies *Gunnera tinctoria* (Pangue), *Blechnum chilense* (Costilla de Vaca), *Lophosoria quadripinnata* (Añpe), entre otras.

El Biotopo de Pradera, se caracteriza como un mosaico con extensas áreas cubiertas por pastizales (gramíneas) para la actividad ganadera, aledaña a plantaciones de utilización agrícola. Estas áreas están rodeadas por vegetación boscosa secundaria con árboles de crecimiento rápido, en especial de la familia Myrtaceas y Proteaceas (arrayan, Peta y Fuinque); dichas formaciones se encuentran mejor desarrolladas en quebradas con poca intervención antrópica. En esta estructura se observa además un estrato arbustivo caracterizado por Quila (*Chusquea quila*).

Se identifica el biotopo de zona rural y agrícola, caracterizado por la presencia de residencias habitacionales, tendido eléctrico y caminos. Su gran cercanía y su estructura diferencial respecto del resto del margen de costa, le otorga especial interés desde la perspectiva de su alto potencial como contenedor de especies diferentes, susceptibles a visitar la ZI con diferentes tipos de uso (Estaciones E5 y E6).

Por otra parte se distingue un biotopo de Litoral Marino, correspondiente a la franja de mar directamente expuesta a la costa (**Figura 119**).

Figura 119. Litoral Marino, visto desde la transecta marítima implementada.

La prospección de terreno durante la realización del presente estudio; tanto del margen de costa constituido por las estaciones costeras intermareales y supramareales del sector; así como el litoral marino constituido por la porción de mar de mayor lejanía a la costa; no registró puntos de gran abundancia de avifauna y mamíferos marinos (específicamente loberas) los cuales pudiesen vincularse con el proyecto en cuestión; razón por la cual no se incluyeron sitios de interés ecológico en la presente prospección de las componentes consideradas.

Caracterización de Biotopos y Comunidades de Aves. Sector norte Archipiélago de Chiloé

El sector monitoreado comprendió una extensión lineal de aproximadamente 9,04 km costa analizada y a una trayectoria de navegación de 16.84 Km; en donde se caracterizó un borde costero bastante homogéneo, compuesto por extensos márgenes de playa de arena y piedras; macizos rocosos, matorral costero, Praderas vinculadas a la actividad ganadera y/o agrícola; y zonas rurales; colindantes con un cuerpo de agua o litoral marino. La **Figura 120** presenta un registro fotográfico de todos los biotopos observados.

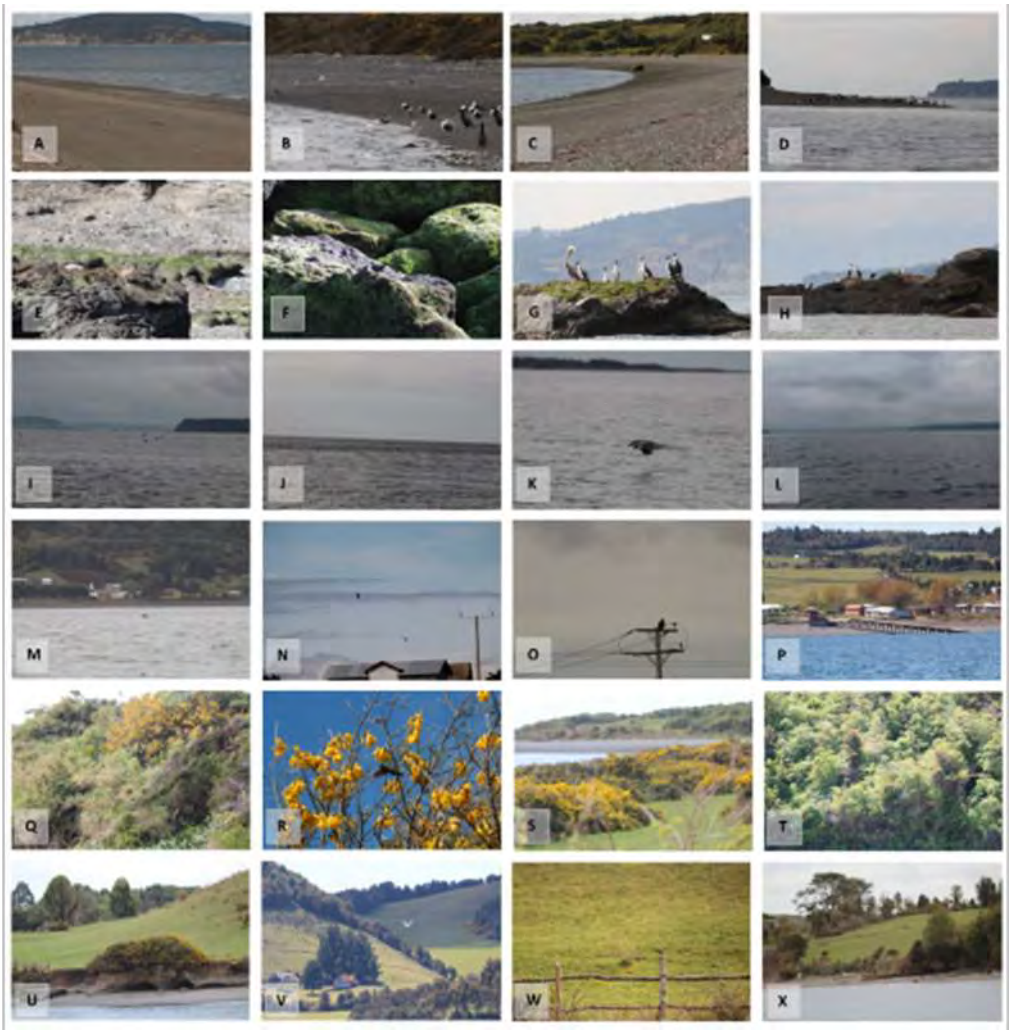


Figura 120. Panorámica de algunos sitios circunscritos dentro del Área de monitoreo General. Donde A, B, C, D: Playa Arena o Piedras (PA); E, F, G, H: Litoral Rocoso (LR); I, J, K, L: Litoral Marino (LM); M, N, O P: Zona Rural (ZR); Q, R, S, T: Matorral costero (MC); U, V, W, X: Pradera (P).

Según la disposición de los elementos estructurales del paisaje presente en las zonas de influencia (ZI), y las distintas estructuras de hábitat distinguibles como unidades posibles de ser colonizadas o usadas por especies potenciales, es posible separar el espacio en 6 biotopos distintos. Son estos biotopos o sitios similares en estructuras los que pudiesen contener comunidades de aves diferentes o con potencial dispersión al interior de la ZI del centro piloto, independientemente estén o no representados en la Zona de influencia (**Tabla 98**).

Los biotopos identificados fueron:

- Playa de Arena (PA)

Extensión del borde costero con presencia de una extensa franja de playas de arena que ofrecen un determinado ítem dietario para un grupo característico de aves. Limita con el mar en la zona de rompiente y con el supramareal como límite terrestre superior.

- Litoral rocoso (LR):

Extensión del borde costero con presencia de roca expuesta directamente al bordemar. Constituido por un estrato intermareal que ofrece un determinado ítem dietario para un grupo característico de aves.

- Litoral marino (LM)

Franja de mar directamente expuesta a la costa, la cual puede ser hábitat de un exclusivo grupo de aves y mamíferos marinos, o visitado por otras provenientes de mar adentro o desde tierra.

- Zona Urbana (ZU)

Sitios constituidos por predios agrarios y/o de residencia, producto de su actividad este micro sistema contiene una gran cantidad de especies alóctonas o adventicias, que visitan el borde costero estudiado. Constituye un sitio particular respecto del resto de biotopos mencionados.

- Pradera (P)

Estrato herbáceo de pequeño tamaño generalmente con una altura bajo los de 0,5 m. Constituido mayoritariamente por gramíneas, se diferencia del matorral costero por su mayor extensión y por la ausencia o menor abundancia de un estrato arbustivo de mediano tamaño.

- Matorral costero (MC)

Matorral costero, asociado al sector supramareal del ambiente costero. Sistema conformando por formaciones vegetacionales abiertas, de arbusto bajo y matorral, en general dispuesto en parches según la pendiente y exposición.

Tabla 98. Listado de especies de aves registradas en el área total de estudio y con detalle del usos de biotopos por especie. Dónde: ZR: Zona Urbana; P: Pradera; PA: Playa de arena y Piedras; LR: Litoral rocoso; MC: Matorral costero; LM: Litoral Marino.

Orden	Especie	Nombre Común	ZR	P	PA	LR	MC	LM
Passeriformes								
	Cinclodes patagonicus chilensis	Churrete común			X	X		
	Zonotrichia capensis	Chincol					X	
	Diuca diuca	Diuca	X				X	
	Phrygilus patagonicus	Cometocino patagonico					X	
	Tachycineta meyeni	Golondrina chilena	X	X	X		X	
	Sicalis luteola	Chirihue					X	
	Turdus falcklandii magellanicus	Zorzal					X	
Suliformes								
	Phalacrocorax brasilianus	Cormoran Yeco			X	X		X
	Phalacrocorax magellanicus	Cormoran de las Rocas				X		X
	Phalacrocorax atriceps	Cormoran Antártico			X	X		X
	Sula variegata	Piquero			X			X
Charadriiformes								
	Larus dominicanus	Gaviota dominicana	X		X	X		X
	Chroicocephalus maculipennis	Gaviota cahuil			X	X		X
	Sterna hirundinacea	Gaviotin Sudamericano						X
	Haematopus ater	Pilpilen negro			X	X		
	Haematopus palliatus palliatus	Pilpilen común			X	X		
	Vanellus chilensis	Queltehue		X	X		X	
	Numenius phaeopus	Zarapito			X	X		
	Stercorarius Chilensis	Salteador Chileno						X
	Calidris bairdii	Playero de Baird				X		
Pelecaniformes								
	Pelecanus thagus	Pelicano			X	X		X
	Nycticorax nycticorax	Huairavo				X		
	Theristicus melanopis	Bandurria		X				
Procellariiformes								
	Macronectes giganteus	Petrel Gigante antártico						X
	Fulmarus glacialoides	Petrel plateado						X
	Puffinus griseus	Fardela negra						X
	Oceanites oceanicus	Golondrina de Mar						X
	Pelecanoides garnotii	Yunco						X
	Thalassarche melanophrys	Albatros de ceja negra						X
Cathartiformes								
	Cathartes aura	Jote cabeza colorada	X		X		X	
	Coragyps atratus	Jote cabeza negra	X		X		X	

Falconiformes								
	Caracara plancus	Traro					X	
	Milvago chimango	Tiuque		X	X		X	
	Falco sparverius cinnamominus	Cernicalo	X				X	
Anseniformes								
	Cygnus melancoryphus	Cisne cuello negro						X
	Anas flavirostris flavirostris	Pato Jergon chico			X			
	Tachyeres pteneres	Quetru			X	X		X
Sphenisciformes								
	Spheniscus magellanicus	Pingüino de magallanes						X
Apodiformes								
	Sephanoides sephaniodes	Picaflor					X	
Psittaciformes								
	Enicognathus leptorhynchus	Cotorra Choroy					X	

El sector seleccionado, correspondiente a la zona de influencia del centro de cultivo piloto, corresponde únicamente al biotopo Litoral Marino, sin embargo el presente análisis suma los biotopos Playa de arena (PA) y Litoral Rocoso (LR), producto de su mayor cercanía y la alta susceptibilidad de las especies presentes en estos biotopos, en el uso del litoral marino como espacio de tránsito, alimentación o descanso.

Considerando que el centro de cultivo piloto no contempla instalaciones en tierra, el resto de los biotopos tabulados se consideran de menor relevancia producto que la avifauna que allí habita no utiliza el ambiente marino como espacio disponible ya que son más bien especies estrictas del ambiente terrestre, solo acercándose a la porción supramareal o intermareal de la franja litoral.

En síntesis, en la zona de influencia se logró identificar 3 biotopos (LM, LR y PA) identificados en las distintas prospecciones a sectores periféricos considerados como sitios potenciales de albergar fauna posible de desplazarse al interior de las zonas de influencia (ZI). Las distintas asociaciones que se efectúan entre especies y los biotopos descritos permiten conjeturar sobre situaciones de frecuencia de uso y variables de atracción, residencia y dependencia dado el grado de especialidad o selección de hábitat de las aves, entre otros análisis de relevancia para contrastar con los potenciales usos de la ZI.

Playa de Arena (PA): Biotopo de gran cercanía a la Zona de influencia, registrado tanto en la porción de costa frente a la concesión acuícola como en el resto del borde de costa prospectado. Se registró el 42.5% de las

especies totales registradas, lo cual corresponde a 17 taxa, integrantes de los órdenes Paseriformes (Churrete, Golondrina), Suliformes (Cormoranes, Piqueros), Charadriiformes (Gaviotas, Pilpilenes, Queltehues, Zarapitos), Pelecaniformes (Pelicano), Cathartiformes (Jotes), Falconiformes (Tiuques) y Anseniformes (Quetru, Patos Jergon). Las actividades asociadas a cada registro correspondieron mayoritariamente a Descanso y Alimentación.

Litoral marino (LM): Corresponde la Zona de influencia del centro de cultivo piloto, caracterizada por la franja o porción de mar orientada paralelamente a la costa y delimitada hasta el límite de detección instrumental, otorgado por la distancia visible del equipo binocular. En este hábitat singular se registró el 45% de las especies avistadas en la totalidad del área estudiada. Entre ellas distinguen el grupo Charadriiformes (Gaviotas, gaviotines y salteadores), Suliformes (cormoranes y piqueros), Pelecaniformes (Pelicanos), Procellariiformes (Petreles, Fárdelas, Albatros, yuncos, entre otros), Anseniformes (Quetru, Cisnes) y Sphenisciformes (Pingüinos). Cabe destacar las actividades de alimentación, acicalamiento y tránsito (en el mayor de los casos), siendo una constante que todas estas especies utilizan amplias zonas geográficas en el desarrollo de cada actividad.

Litoral rocoso (LR): Biotopo de gran cercanía a la Zona de influencia, registrado mayoritariamente en la porción de costa frente a la concesión (centro piloto). Extensión del borde costero con presencia de roca expuesta directamente al bordemar. Este biotopo particular registro el 32.5% de las especies avistadas en la totalidad del área estudiada. Se registraron integrantes del Orden Passeriformes (Churretes), Suliformes (Cormoranes), Charadriiformes (Gaviotas, Pilpilenes, Zarapitos y Playeros), Pelecaniformes (Pelicanos, Huairavos) y Anseniformes (Quetru).

Abundancia y Distribución de la Avifauna. Sector norte Archipiélago de Chiloé

El sector registró un total de 40 especies, correspondientes a 11 Órdenes taxonómicos diferentes. Durante la campaña de monitoreo la abundancia media total, para cada uno de las unidades muestrales analizadas, fluctúo entre 18 y los 129 individuos, en las estaciones costeras; mientras que la transecta marítima registró un valor medio de 84 y 161 individuos, en los sectores control y piloto, respectivamente. Referente a la riqueza específica (número de especies por estación y/o transecta), se observó una fluctuación de 11 y 17 especies entre las unidades muestrales (**Figura 121**).

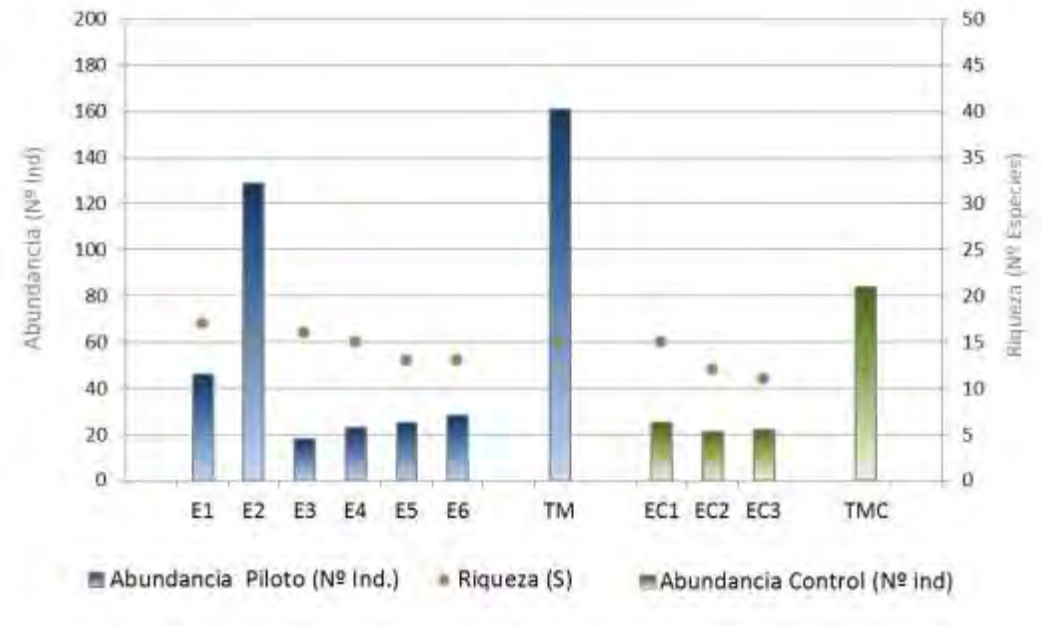


Figura 121. Abundancia y Riqueza total, estimada para las unidades de monitoreo costeras y marítimas. En azul: Unidades asignadas al centro piloto. En Verde: unidades asignadas al sector control.

En la **Tabla 99** se indican los valores promedios de abundancia total por especie y su desviación estándar asociada a seis réplicas de conteo realizadas, correspondientes a tres días de conteo y dos jornadas por día (AM, PM).

Tabla 99. Abundancia promedio, desviación estándar y riqueza específica en cada unidad de monitoreo. Donde X: Abundancia Media, S: Desviación Estándar.

Especie	E1		E2		E3		E4		E5		E6		TM		EC 1		EC 2		EC 3		TM C	
	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S
Passeriformes																						
Cinclodes patagonicus chilensis	2,58	0,12	0,00	0,00	1,17	0,24	1,92	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,12	0,00	0,00
Zonotrichia capensis	0,00	0,00	0,00	0,00	1,42	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diuca diuca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,24	0,83	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Phrygilus patagonicus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tachycineta meyeni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,47	1,25	0,35	2,83	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	2,42	0,12	0,00	0,00	3,25	2,47	0,00	0,00
Sicalis luteola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Turdus falcklandii magellanicus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suliformes																						
Phalacrocorax brasilianus	1,67	0,71	9,00	2,59	0,67	0,47	0,42	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58	1,30	0,42	0,12	0,33	0,47	2,08	0,12	0,50	0,71
Phalacrocorax magellanicus	0,17	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,24	0,00	0,00	1,13	0,18	1,08	0,12	0,00	0,00
Phalacrocorax atriceps	19,08	0,35	54,67	12,02	1,58	1,06	1,33	1,41	1,42	0,59	1,67	0,94	19,67	2,12	0,17	0,24	0,71	0,06	0,00	0,00	8,33	0,47
Sula variegata	0,00	0,00	0,42	0,12	0,00	0,00	0,17	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Charadriiformes																						
Larus dominicanus	6,00	1,89	25,75	0,59	6,17	1,89	6,67	0,24	5,42	2,00	5,83	0,71	32,67	14,85	4,4	0,53	7,75	8,84	7,00	2,12	29,75	10,96
Chroicocephalus maculipennis	2,67	2,36	6,50	3,77	0,50	0,71	0,00	0,00	6,17	0,94	10,50	2,59	3,08	2,47	8,1	2,71	0,17	0,24	2,63	0,18	2,17	1,18
Sterna hirundinacea	0,00	0,00	0,67	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,42	0,82	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	1,06
Haematopus ater	0,33	0,47	0,33	0,47	0,00	0,00	0,33	0,47	0,92	1,30	0,67	0,94	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Haematopus palliatus palliatus	1,50	0,24	4,58	0,59	0,25	0,35	0,33	0,47	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vanellus chilensis	2,25	0,82	1,75	0,35	0,83	1,18	4,17	3,06	0,67	0,47	1,25	0,59	0,00	0,00	2,4	1,30	2,04	0,29	2,08	2,00	0,00	0,00
Numenius phaeopus	1,42	1,30	0,67	0,47	0,00	0,00	0,50	0,00	0,58	0,35	0,33	0,00	0,00	0,00	0,2	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stercorarius Chilensis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	0,71	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00
Calidris bairdii	0,83	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pelecaniformes																						
Pelecanus thagus	4,42	2,71	2,17	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	1,06	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	2,47
Nycticorax nycticorax	0,17	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Theristicus melanopis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,47	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	1,3	0,94	0,00	0,00	0,75	0,35	0,00	0,00
Procellariiformes																						
Macronectes giganteus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	2,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fulmarus glacialoides	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,82	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Puffinus griseus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	76,67	25,93	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,88	2,65
Oceanites oceanicus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	1,41	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,18
Pelecanoides garnotii	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	0,47
Thalassarche melanophrys	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,12	0,0	0,00	0,50	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00

Continuación Tabla 99. Abundancia promedio, desviación estándar y riqueza específica en cada unidad de monitoreo. Donde X: Abundancia Media, S: Desviación Estándar.

Cathartiformes											
Cathartes aura	0,42 ± 0,35	0,58 ± 0,12	0,17 ± 0,24	0,50 ± 0,71	0,17 ± 0,24	0,67 ± 0,94	0,00 ± 0,00	1,7 ± 0,77	2,71 ± 1,47	1,00 ± 1,41	0,00 ± 0,00
Coragyps atratus	0,00 ± 0,00	0,50 ± 0,24	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,33 ± 0,47	0,00 ± 0,00	0,0 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Falconiformes											
Caracara plancus	0,17 ± 0,24	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,2 ± 0,24	0,83 ± 0,94	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Milvago chimango	0,58 ± 0,12	0,83 ± 0,94	1,17 ± 0,47	0,00 ± 0,00	2,92 ± 0,12	1,33 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,8 ± 0,24	0,42 ± 0,12	0,63 ± 0,88	0,00 ± 0,00
Falco sparverius cinnamominus	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,33 ± 0,47	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	1,0 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Anseniformes											
Cygnus melancoryphus	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,17 ± 0,24	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,8 ± 1,06	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Anas flavirostris flavirostris	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,33 ± 1,41	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,0 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Tachyeres pteneres	1,83 ± 0,24	20,67 ± 2,83	1,00 ± 0,47	2,17 ± 1,18	1,00 ± 1,41	1,83 ± 0,24	0,17 ± 0,24	0,7 ± 0,47	0,58 ± 0,82	1,54 ± 0,41	1,42 ± 0,12
Sphenisciformes											
Spheniscus magellanicus	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	8,25 ± 7,19	0,0 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	26,54 ± 6,66
Apodiformes											
Sephanoides sephaniodes	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,92 ± 0,59	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,0 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Psittaciformes											
Enicognathus leptorhynchus	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,0 ± 0,00	4,00 ± 5,66	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Riqueza (S)	**17**	**15**	**16**	**15**	**13**	**13**	**15**	**15**	**12**	**11**	**12**
Abundancia Total (ind.)	**46**	**129**	**18**	**23**	**25**	**28**	**161**	**25**	**21**	**22**	**84**

La **Figura 122** grafica la sumatoria de todos los avistamientos promedio, por especie, registrados en el área de estudio (sumatoria de todas las unidades muestrales). La **Figura 123** geo-referencia, de forma gráfica, la distribución espacial de la abundancia y riqueza registrada. Mencionada figura muestra el atributo abundancia de forma proporcional, mediante gráficos de torta, de acuerdo a los aportes de cada grupo taxonómico (Ordenes) respecto del total por estación o unidad de muestreo. De esta manera, se presenta un gradiente de tamaño de cada uno de los gráficos de acuerdo a la mayor o menor abundancia total registrada.

La **Figura 124**, geo-referencia, de forma gráfica, la distribución espacial de la abundancia y riqueza registrada, segregando la información entre la abundancia aportada por especies consideradas "oportunistas" y aquellas fuera de esta categoría, tomando como criterio los antecedentes bibliográficos, presentados en el numeral 5.2.1.5 del presente documento.

La **Tabla 100**, presenta la abundancia relativa, en porcentaje, de las especies que manifiestan un cambio respecto de la abundancia total de cada unidad muestral. Entre estas especies se incluye tanto a las especies oportunistas, como aquellos taxa que presentaron un evidente aumento de abundancia en aquellas estaciones inmediatas al centro de cultivo piloto, respecto del resto de unidades muestrales.

Las especies de mayor abundancia fueron la gaviota dominicana (*L. dominicanus*), la fardela negra (*P. griseus*), la gaviota Cáhuil (*Ch. maculipennis*), el Cormorán antártico (*P. atriceps*) (**Figura 125**).Referente a la frecuencia de avistamiento, son de relevancia la gaviota dominicana (*L. dominicanus*), registrada en la totalidad de las unidades de monitoreo (100%), entendidas estas como 9 estaciones costeras y 2 transectas marítimas; el cormorán antártico y Quetru no volador, especies registradas entre el 80% y 90% de las unidades de monitoreo, durante las jornadas AM y PM respectivamente; el Queltehue (*V. chilensis*) y la gaviota garuma (*L. modestus*), especies registradas entre el 70% y 90% de las unidades de monitoreo, durante las jornadas AM y PM respectivamente.

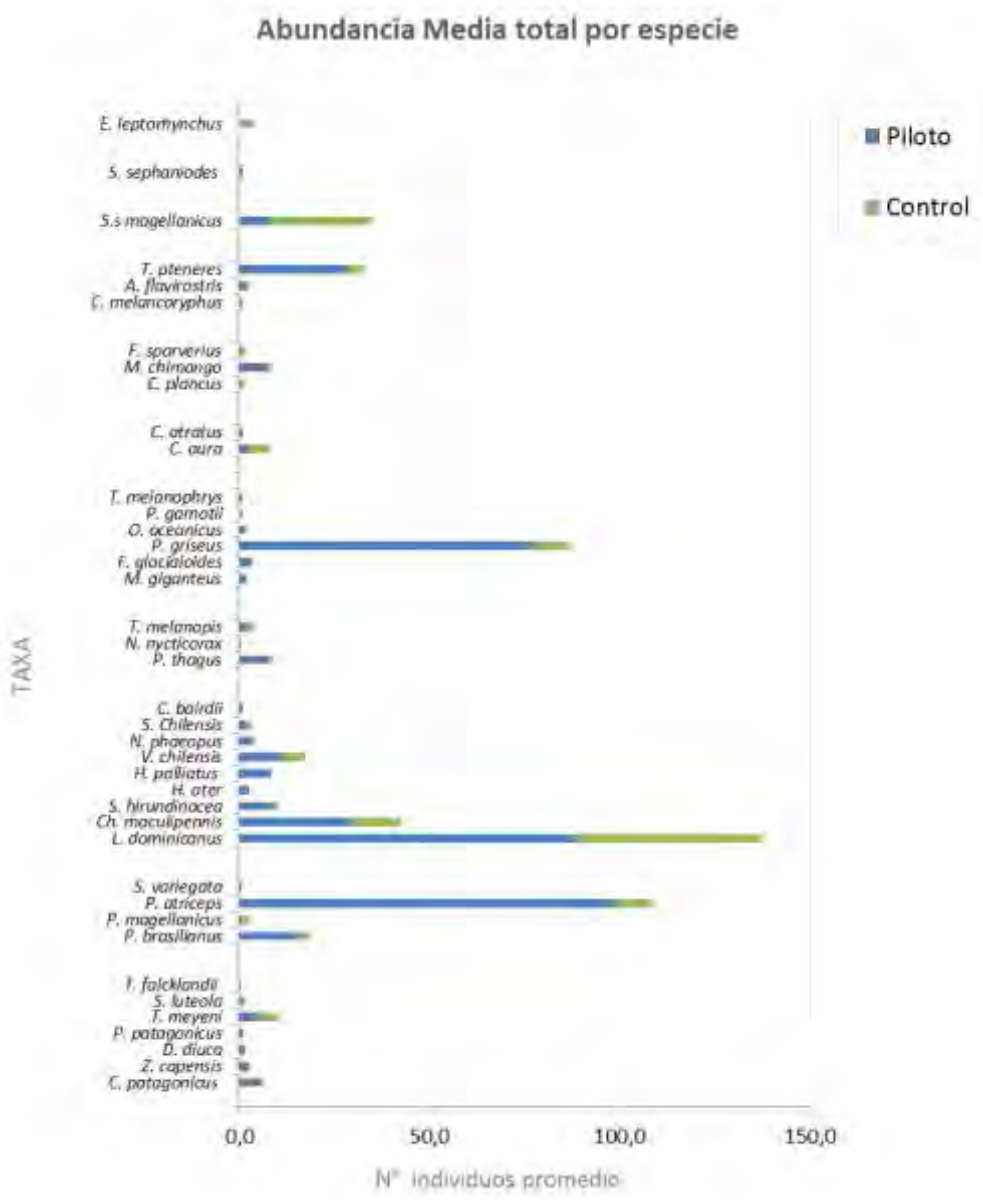


Figura 122. Avistamientos (individuos por especie), registrados en el área de estudio. Sumatoria de todas las unidades de muestreo. En azul: Registros asociados al centro piloto. En Verde: registros asociados al sector control.

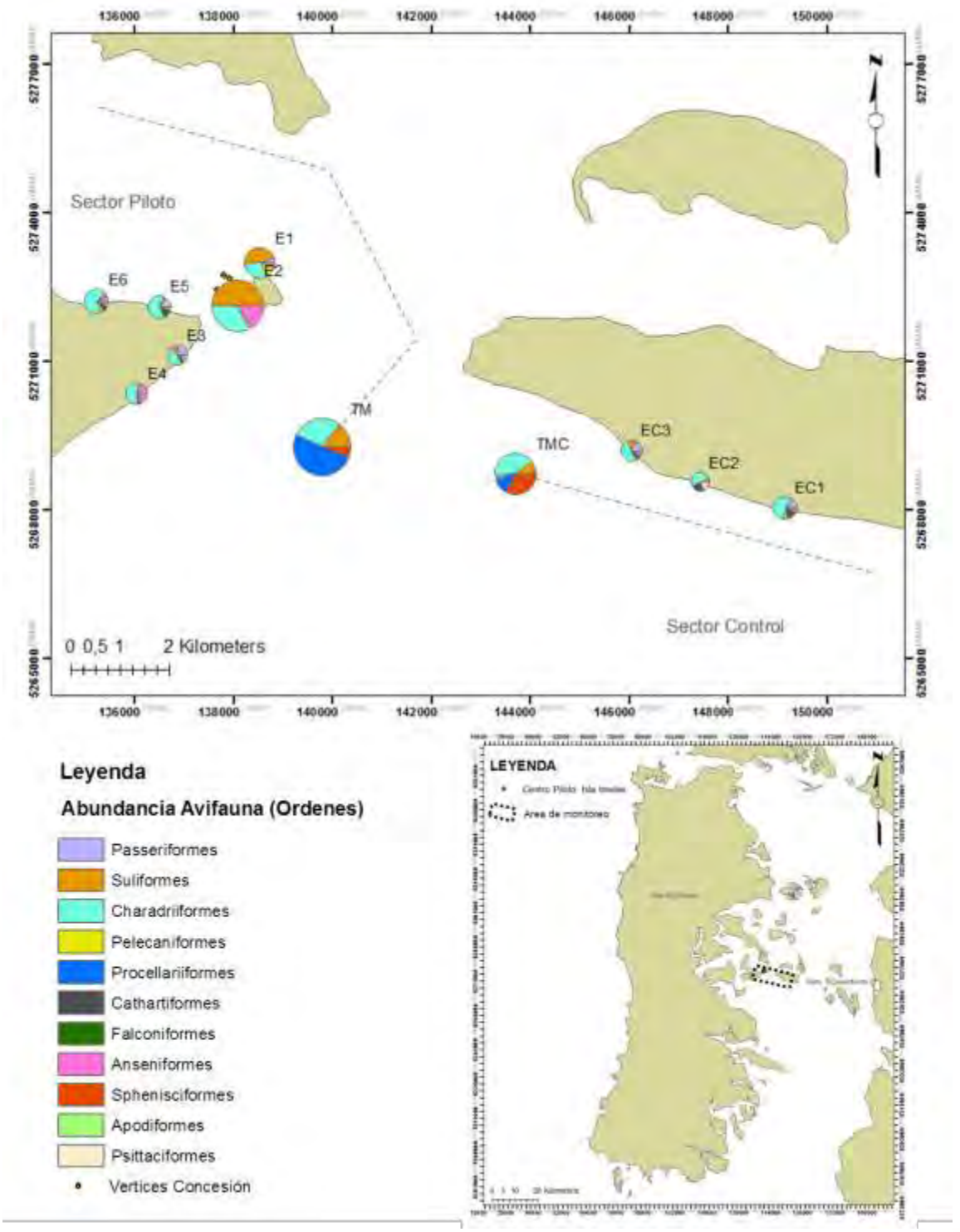


Figura 123. Abundancia total de órdenes taxonómicos, por unidad de muestreo.

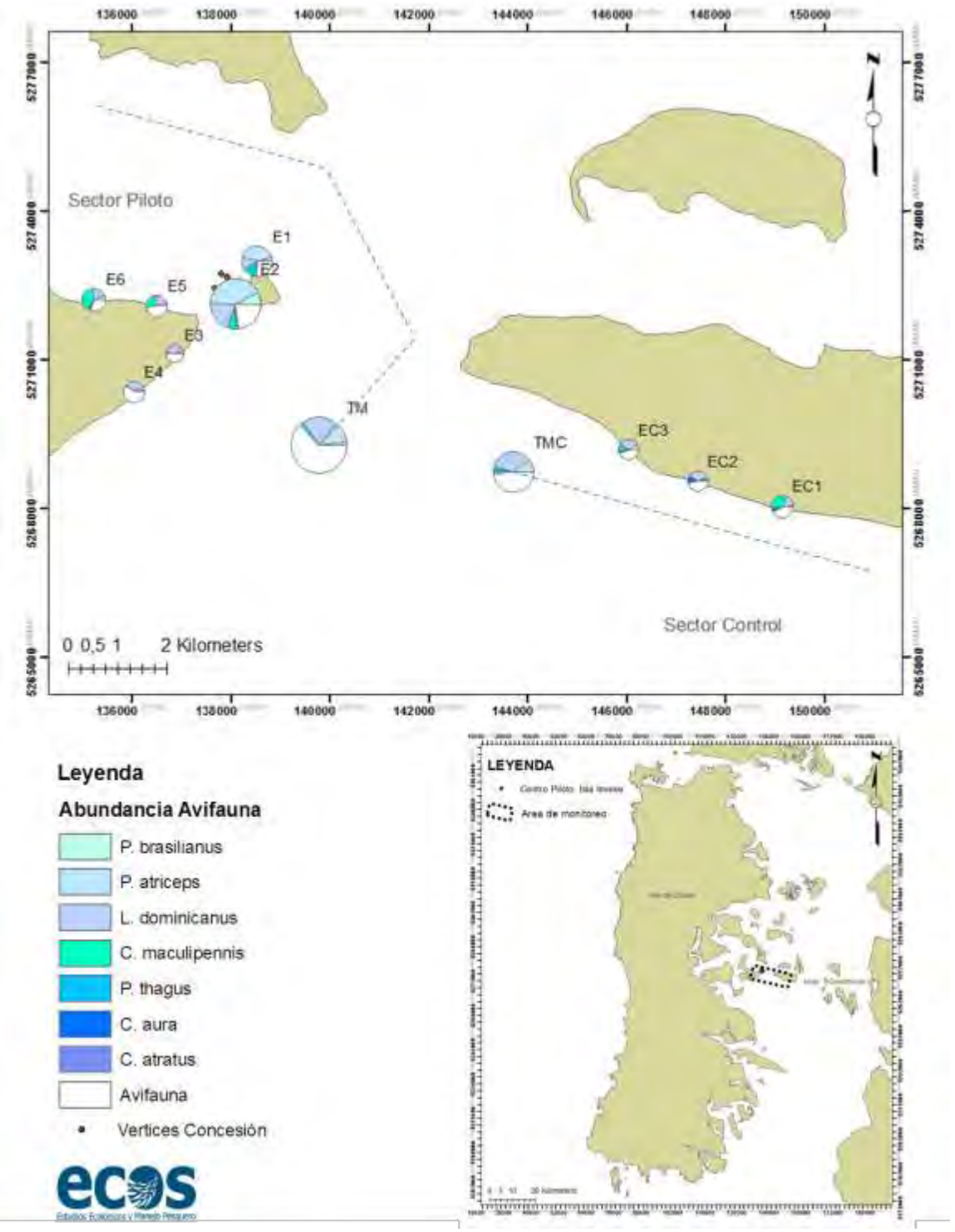


Figura 124. Abundancia total de la avifauna por unidad de monitoreo y especies oportunistas vinculadas a la actividad acuícola según bibliografía.

Tabla 100. Abundancia Total (N) por unidad muestral y abundancia relativa de especies relevantes (%), entendidas estas últimas como especies que manifestaron cambios visibles en abundancia en estaciones cercanas al centro acuícola.

Unidades de Monitoreo	Abundancia Total	Abundancia Especies Relevantes	Abundancia relativa Especies Relevantes (%)
E1	46	36,1	78,3%
E2	129	119,8	92,8%
E3	18	10,1	56,0%
E4	23	11,1	49,1%
E5	25	14,2	57,2%
E6	28	20,8	75,1%
TM	161	59,9	37,1%
EC 1	25	15,4	61,3%
EC 2	21	12,3	57,9%
EC 3	22	14,3	63,5%
TM C	84	43,9	52,3%

Figura 125. Registro fotográfico de las especies más abundantes del área prospectada, donde: A: Fardela negra, B: Gaviota cáhuil, C: Gaviota dominicana, D: Pingüino de Magallanes, E: Quetru no volador, F: Cormoran Antártico.

Variación diaria de la abundancia de avifauna. Sector norte Archipiélago de Chiloé

Según los hábitos reproductivos o de alimentación, las especies pueden tener una mayor actividad en diferentes etapas del día. Para una mejor comprensión del medio en el área de influencia del proyecto, se presentan los resultados recopilados en los recuentos de aves correspondientes a las jornadas de mañana y de media tarde (**Figura 126** y **Tabla 101**).

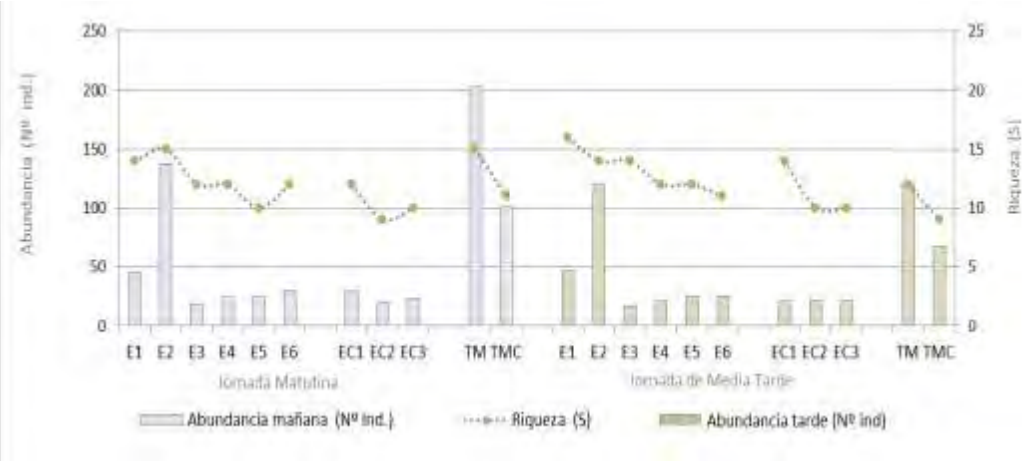


Figura 126. Abundancia y Riqueza de especies por unidad muestreal.

Tabla 101. Abundancia y Riqueza de especies por unidad muestreal, durante las fases de día.

Taxa	Jornada Matutina (AM)											Jornada Media Tarde (PM)										
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	EC1	EC2	EC3	TM	TMC	E1	E2	E3	E4	E5	E6	EC1	EC2	EC3	TM	TMC
Passeriformes																						
Cinclodes patagonicus chilensis	2,5		1,3	2,2					0,5			2,7		1,0	1,7					0,3		
Zonotrichia capensis			2,2			1,0								0,7			1,3					
Diuca diuca					0,8	0,7										0,5	1,0					
Phrygilus patagonicus			1,0											0,5								
Tachycineta meyeni				1,5	2,0		2,5		5,0					0,7	1,0	3,7		2,3		1,5		
Sicalis luteola			0,8				1,0							1,0				0,3				
Turdus falcklandii magellanicus															0,3							
Suliformes																						
Phalacrocorax brasilianus	1,2	10,8	1,0	0,3			0,5		2,0	4,5		2,2	7,2	0,3	0,5			0,3	0,7	2,2	2,7	1,0
Phalacrocorax magellanicus	0,3							1,3	1,0	0,3									1,0	1,2		
Phalacrocorax atriceps	18,8	63,2	0,8	0,3	1,0	2,3		0,8		21,2	8,0	19,3	46,2	2,3	2,3	1,8	1,0	0,3	0,7		18,2	8,7
Sula variegata		0,3		0,3									0,5									
Charadriiformes																						
Larus dominicanus	7,3	26,2	7,5	6,8	6,8	6,3	4,8	1,5	5,5	43,2	37,5	4,7	25,3	4,8	6,5	4,0	5,3	4,0	14,0	8,5	22,2	22,0
Chroicocephalus maculipennis	1,0	3,8			6,8	12,3	10,0		2,8	4,8	3,0	4,3	9,2	1,0		5,5	8,7	6,2	0,3	2,5	1,3	1,3
Sterna hirundinacea		0,5								9,0	1,5		0,8								7,8	
Haematopus ater		0,7		0,7								0,7				1,8	1,3					
Haematopus palliatus palliatus	1,7	5,0	0,5	0,7	1,7							1,3	4,2			1,7						
Vanellus chilensis	1,7	2,0		6,3	1,0	0,8	1,5	2,3	3,5			2,8	1,5	1,7	2,0	0,3	1,7	3,3	1,8	0,7		
Numenius phaeopus	0,5	0,3		0,5	0,3	0,3						2,3	1,0		0,5	0,8	0,3	0,3				
Stercorarius Chilensis										1,8	2,0										0,8	2,0
Calidris bairdii	1,0											0,7										
Pelecaniformes																						
Pelecanus thagus	6,3	0,8								1,5	3,5	2,5	3,5									
Nycticorax nycticorax												0,3										
Theristicus melanopis						1,3	2,0		0,5						0,7		1,3	0,7		1,0		
Procellariiformes																						
Macronectes giganteus										3,2											0,3	
Fulmarus glacialoides										3,8											2,7	
Puffinus griseus										95,0	11,8										58,3	8,0
Oceanites oceanicus										0,3	0,3										2,3	
Pelecanoides garnotii											0,5											1,2
Thalassarche melanophrys								1,0		0,2											0,3	
Cathartiformes																						
Cathartes aura	0,7	0,7				1,3	2,3	3,8				0,2	0,5	0,3	1,0	0,3		1,2	1,7	2,0		
Coragyps atratus		0,3				0,7							0,7									
Falconiformes																						
Caracara plancus								1,5				0,3						0,3	0,2			
Milvago chimango	0,5	0,2	1,5		3,0	1,3	1,0	0,5	1,3			0,7	1,5	0,8		2,8	1,3	0,7	0,3			
Falco sparverius cinnamominus					0,7		1,0											1,0				
Anseniformes																						
Cygnus melancoryphus			0,3				1,5															
Anas flavirostris flavirostris				3,3											1,3							
Tachyeres pteneres	1,7	22,7	0,7	1,3		1,7	1,0		1,3	0,3	1,5	2,0	18,7	1,3	3,0	2,0	2,0	0,3	1,2	1,8		1,3
Sphenisciformes																						
Spheniscus magellanicus										13,3	31,3										3,2	21,8
Apodiformes																						
Sephanoides sephaniodes			1,3											0,5								
Psittaciformes																						
Enicognathus leptorhynchus								8,0														
Riqueza específica (S)	**14**	**15**	**12**	**12**	**10**	**12**	**12**	**9**	**10**	**15**	**11**	**16**	**14**	**14**	**12**	**12**	**11**	**14**	**10**	**10**	**12**	**9**
Abundancia Total (ind.)	**45**	**138**	**19**	**24**	**24**	**30**	**29**	**21**	**23**	**203**	**101**	**47**	**121**	**17**	**21**	**25**	**25**	**21**	**22**	**22**	**120**	**67**

Según los datos recopilados podemos observar una situación bastante similar entre las unidades de tierra y las unidades marinas, en donde se registran abundancias ligeramente mayores durante la jornada matutina. Referente a la riqueza específica, no se observa una tendencia clara entre las diferentes jornadas del día consideradas, evidenciando en las unidades marítimas una mayor riqueza especifica durante la jornada de la tarde, lo cual solo es visible en una sola estación costera (E2), ya que en estas unidades se observa una situación contraria, con un mayor número de taxa registrados durante la jornada de la tarde. Llama la atención la gran homogeneidad en los registros durante los días de monitoreo, así como también durante las diferentes jornadas del día, lo cual constituye un indicador de residencia de estas especies en las proximidades del centro de cultivo.

Índices Ecológicos y Análisis Multivariados de avifauna. Sector norte Archipiélago de Chiloé

La estructura comunitaria de la avifauna, presenta una situación diferencial entre las diferentes unidades de muestreo establecidas. La riqueza específica muestra una fluctuación entre 9 y 17 taxa. En términos generales se detectó un mayor número de especies en el sector piloto, presentando un valor medio de 15±0 y 14±2 especies para las unidades muestrales marítima y costera, respectivamente. Para el sector Control se estimaron 12 taxa, tanto en las unidades de prospección marítima como costeras. Similar situación se observa con los valores de abundancia donde el sector control evidencia una clara mayor presencia de avifauna, respecto del sitio control (**Figura 127**).

Los valores de uniformidad fluctúan entre los 0.59 y 0.88, presentando una marcada condición de equidad en el sitio control, en contraposición al sector piloto en donde se observan valores notoriamente menores para este indicador. Particularmente llama la atención el punto de monitoreo E2 (Estación costera frente al Centro Piloto) donde se estiman los menores valores de uniformidad del área estudiada, correspondientes a 0.59 y 0.64 para las jornadas AM y PM respectivamente (**Tabla 102**). Lo anterior refleja una situación de menor equidad en la distribución numérica de los taxa que integran el ensamble comunitario de la avifauna que reside o visita este sector, situación modulada por la mayor abundancia de *P. atriceps* y *L. dominicanus* respecto del resto de las especies presentes.

Referente a los niveles de diversidad, los mayores valores registrados corresponden a las unidades costeras circunscritas en el sector Control, presentando un valor medio de 2.03±0.12; y los menores niveles son detectados en el sector piloto con valores medios de 1.66±0.01 y 1.66± 0.02 para la transecta marítima y unidades costeras. El menor valor registrado corresponde a la estación E2 caracterizada por una diversidad de 1.61, lo cual se encuentra modulado mayoritariamente por la baja uniformidad registrada en este punto. El índice de diversidad de Margalef, como era de esperar, coincide con la variación de la riqueza de especies, presentando los valores más altos en la estación E3.

En la **Tabla 102**, se indican los principales índices ecológicos estimados para cada una de las áreas monitoreadas. La Figura 16 grafica parte de ellos.

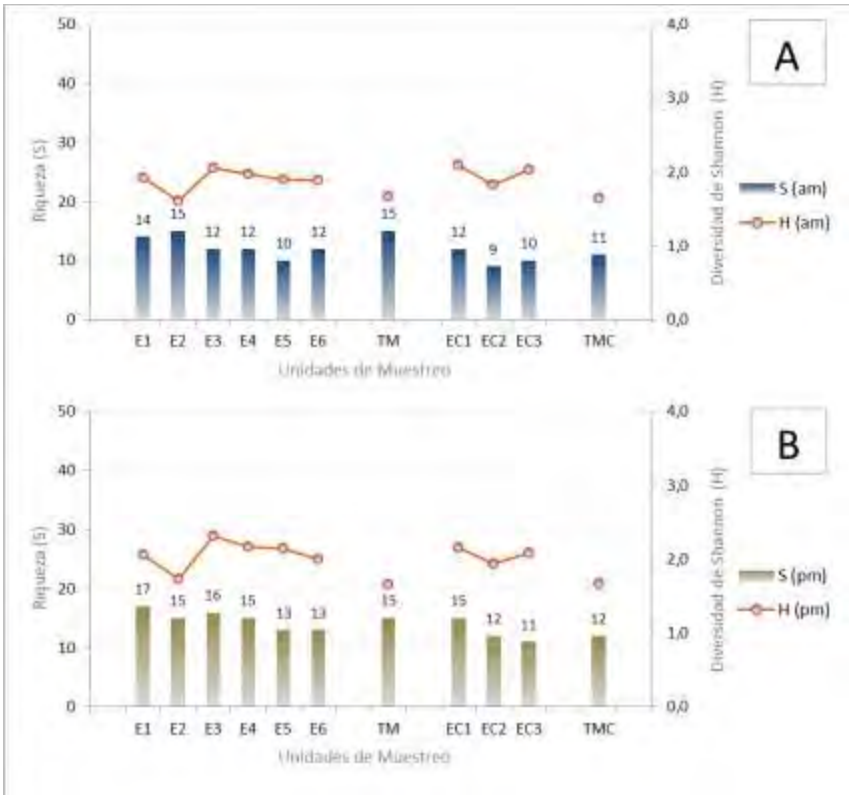


Figura 127. Valores medios de Riqueza específica (S) y Diversidad de Shannon (H).Donde: A: Jornada Matutina (AM) y B: Jornada de Media tarde (PM).

Tabla 102. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo.

Unidad	Sector	Jornada	S	N	d	J'	H'(loge)	D
Transecta Marítima	Control	AM	11	101	2,17	0,69	1,65	0,25
		PM	12	84	2,48	0,67	1,67	0,24
	Piloto	AM	15	203	2,64	0,62	1,67	0,28
		PM	15	161	2,75	0,61	1,66	0,28
E1	Piloto	AM	14	45	3,41	0,73	1,92	0,21
		PM	17	46	4,18	0,73	2,06	0,19
E2	Piloto	AM	15	138	2,84	0,59	1,61	0,28
		PM	15	129	2,88	0,64	1,73	0,25
E3	Piloto	AM	12	19	3,74	0,83	2,06	0,15
		PM	16	18	5,19	0,84	2,32	0,11
E4	Piloto	AM	12	24	3,45	0,80	1,98	0,15
		PM	15	23	4,49	0,80	2,17	0,12
E5	Piloto	AM	10	24	2,83	0,83	1,90	0,16
		PM	13	25	3,74	0,84	2,15	0,11
E6	Piloto	AM	12	30	3,23	0,76	1,90	0,20
		PM	13	28	3,61	0,78	2,00	0,18
EC1	Control	AM	12	29	3,27	0,84	2,10	0,14
		PM	15	25	4,34	0,80	2,16	0,13
EC2	Control	AM	9	21	2,65	0,83	1,83	0,18
		PM	12	21	3,60	0,78	1,94	0,16
EC3	Control	AM	10	23	2,86	0,88	2,04	0,12
		PM	11	22	3,21	0,87	2,09	0,12
Piloto. Promedio Transecta Marítima			**15**	**182**	**2,70**	**0,61**	**1,66**	**0,28**
Piloto. Desviacion Estándar			0,00	29,70	0,08	0,00	0,01	0,00
Piloto. Coeficiente de variación (%)			0,0%	16,3%	3,1%	0,5%	0,5%	0,8%
Control. Promedio Transecta Marítima			**12**	**93**	**2,33**	**0,68**	**1,66**	**0,25**
Control. Desviacion Estándar			0,71	12,02	0,22	0,01	0,02	0,01
Control. Coeficiente de variación (%)			6,1%	13,0%	9,5%	1,5%	1,1%	2,4%
Piloto. Promedio Estaciones Costeras			**14**	**46**	**3,63**	**0,76**	**1,98**	**0,18**
Piloto. Desviacion Estándar			2,02	41,98	0,71	0,08	0,19	0,05
Piloto. Coeficiente de variación (%)			14,7%	91,8%	19,6%	10,4%	9,8%	30,7%
Control. Promedio Estaciones Costeras			**12**	**24**	**3,32**	**0,84**	**2,03**	**0,14**
Control. Desviacion Estándar			2,07	3,08	0,60	0,04	0,12	0,02
Control. Coeficiente de variación (%)			18,0%	13,1%	18,0%	4,9%	6,0%	16,8%

En la **Tabla 103**, se indican los índices ecológicos de uniformidad y dominancia, tomando en consideración la sumatoria de las especies que manifestaron cambios importantes de abundancia en las cercanías del centro acuícola, como un único ítem en el cálculo de cada indicador, para las diferentes unidades de muestreo. Mencionada tabla, evidencia un aumento en la dominancia y una disminución de la uniformidad. Lo relevante de este ordenamiento de la información es que se radicalizan las diferencias existentes entre las unidades de muestreo, haciendo aún más clara la dominancia de especies de hábitos alimenticios oportunistas en las estaciones inmediatas al centro de cultivo piloto.

Tabla 103. Abundancia (N) e Índices de Uniformidad de Pielou (J') y Dominancia de Simpson (D); Tomando en consideración la sumatoria de las especies que manifestaron cambios visibles en abundancia en estaciones cercanas al centro acuícola como un único ítems en el cálculo de cada indicador, para las diferentes unidades de muestreo.

Unidad	Sector	Jornada	N	J'	D
Transecta Marítima	Control	AM	101	0,58	0,39
		PM	84	0,59	0,38
	Piloto	AM	203	0,54	0,36
		PM	161	0,54	0,37
E1	Piloto	AM	45	0,38	0,67
		PM	46	0,39	0,61
E2	Piloto	AM	138	0,16	0,87
		PM	129	0,18	0,86
E3	Piloto	AM	19	0,74	0,27
		PM	18	0,68	0,30
E4	Piloto	AM	24	0,78	0,20
		PM	23	0,67	0,26
E5	Piloto	AM	24	0,65	0,37
		PM	25	0,67	0,34
E6	Piloto	AM	30	0,40	0,66
		PM	28	0,49	0,56
EC1	Control	AM	29	0,64	0,41
		PM	25	0,61	0,38
EC2	Control	AM	21	0,81	0,22
		PM	21	0,67	0,35
EC3	Control	AM	23	0,73	0,29
		PM	22	0,63	0,41
Piloto. Promedio Transecta Marítima			**182**	**0,54**	**0,36**
Piloto. Desviacion Estándar			29,70	0,00	0,00
Piloto. Coeficiente de variación (%)			16,3%	0,1%	0,5%
Control. Promedio Transecta Marítima			**93**	**0,58**	**0,38**
Control. Desviacion Estándar			12,02	0,00	0,00
Control. Coeficiente de variación (%)			13,0%	0,6%	1,2%
Piloto. Promedio Estaciones Costeras			**46**	**0,52**	**0,50**
Piloto. Desviacion Estándar			41,98	0,21	0,24
Piloto. Coeficiente de variación (%)			91,8%	41,4%	47,7%
Control. Promedio Estaciones Costeras			**24**	**0,68**	**0,34**
Control. Desviacion Estándar			3,08	0,07	0,07
Control. Coeficiente de variación (%)			13,1%	10,8%	21,4%

Los análisis multivariados de ordenación y clasificación muestran una situación similar (**Figura 128** y **Figura 129**). En ambos análisis se observa una gran similitud entre las jornadas Am y Pm de una misma unidad muestral, reflejando agrupaciones con niveles de semejanza sobre el 80%. En términos generales se observa la conformación de cuatro conglomerados o grupos de estaciones de mayor afinidad. El primero de ellos, constituido por las unidades de muestreo marítimas (control y Piloto), muestran un nivel de asociación con porcentajes de similitud cercanos al 70%, agrupación que se une al resto de las estaciones con un bajo nivel de semejanza (30%). Se observa un segundo conglomerado constituido por la estación EC 2 (Unidad costera, sitio Control) la cual se individualiza y se agrega al resto de las unidades de monitoreo con un bajo nivel de similitud, correspondiente al 40%. El tercer conglomerado se integra por las estaciones costeras E1 y E2, posicionadas en isla Imelev, frente al centro piloto. Ambas unidades de monitoreo presentan una semejanza cercana al 60%, asociándose al cuarto conglomerado con un nivel de similitud del 45%. El cuarto conglomerado se constituye por las estaciones circunscritas en el sector Piloto de mayor lejanía al centro de cultivo (E3, E4, E5 y E6) junto a las estaciones del sector control EC1 y EC3. Este conglomerado se conforma a su vez por la agrupación de las estaciones EC3, EC1, E5 y E6 con un porcentaje de similitud cercano al 60%. A este grupo se asocian las unidades E3 y E4 con un porcentaje cercano al 45%.

El criterio de agrupación de cada unidad de muestral corresponde al tipo de especies registradas en cada sector y su abundancia asociada. La estructura variable entre las unidades de muestreo marítimas y costeras dice relación con el tipo de biotopo presente en cada una de ellas, evidenciando con ello la estrecha relación de la avifauna con los biotopos definidos. Paralelamente se observa una estructura diferencial de las estaciones cercanas al centro de cultivo piloto, respecto del resto de unidades costeras.

El análisis de ordenación N-MDS presenta una situación similar a la ya expuesta. El nivel de stress asociado al análisis n-MDS es de 0.12, lo que da cuenta de un moderado ajuste del modelo a la data lograda.

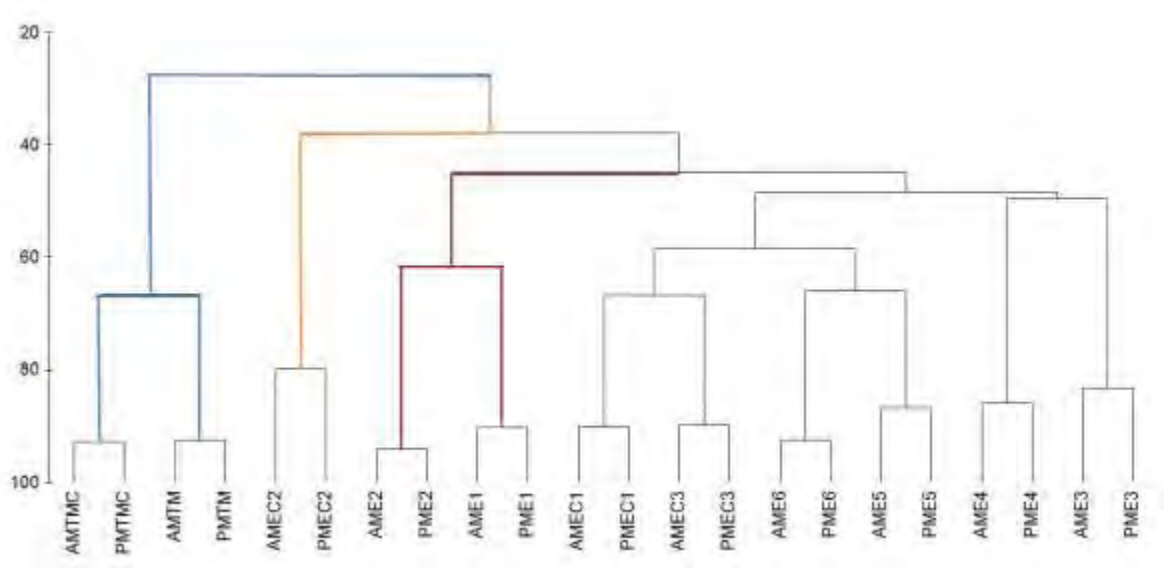


Figura 128. Dendograma de Agregación respecto a las estaciones de monitoreo terrestres y transecta marítima, en función al índice de Bray-Curtis y a la abundancia por especie como atributo.

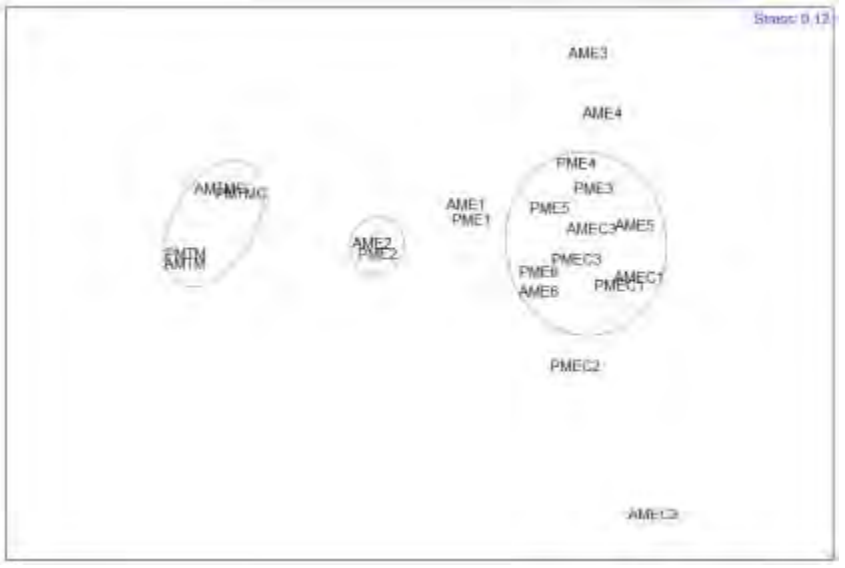


Figura 129. N-MDS de las estaciones de monitoreo terrestres y transecta marítima (TM), en función al índice de Bray-Curtis y a la abundancia por especie como atributo.

Análisis de representatividad muestral. Sector norte Archipiélago de Chiloé

Se realizó una evaluación de la calidad de monitoreo en base al promedio de aparición de nuevas especies. Disponiendo el número de nuevas especies observadas a lo largo del monitoreo de forma acumulada, la tendencia es a describir una curva que comienza con una pendiente elevada y se suaviza al avanzar la campaña. Esto se produce, en primer lugar, por el registro de la mayor parte de las especies comunes en el área y tiempo del monitoreo, incorporando paulatinamente especies más raras, con distribución dispersa o que ingresan al área desde otros ámbitos. Cuando la pendiente de esta curva, teóricamente, alcanza el cero tendríamos el máximo número de especies que podemos encontrar en el área con la metodología utilizada y durante la época en que se llevó a cabo el muestreo.

Como la incorporación de los datos al monitoreo puede ser irregular, dando lugar a diferentes patrones de curvas, es necesario un proceso de normalizado previo mediante una aleatorización de las entradas (100 iteraciones), obteniendo una curva de acuerdo al promedio estadístico de la adición de especies al aumentar el esfuerzo de monitoreo (Colwell &Coddington, 1994). Una vez aleatorizadas las entradas, se utilizó la ecuación de Clench (adaptación de Michaelis-Menten) para establecer la función que mejor define a esta curva.

Esta función es ajustada con una estimación no lineal con el algoritmo de Simplex & Quasi-Newton, representada gráficamente, por unidad de monitoreo (**Figura 130**). Los puntos indican las muestras aleatorizadas y la línea continua corresponde a la función ajustada a esos puntos.

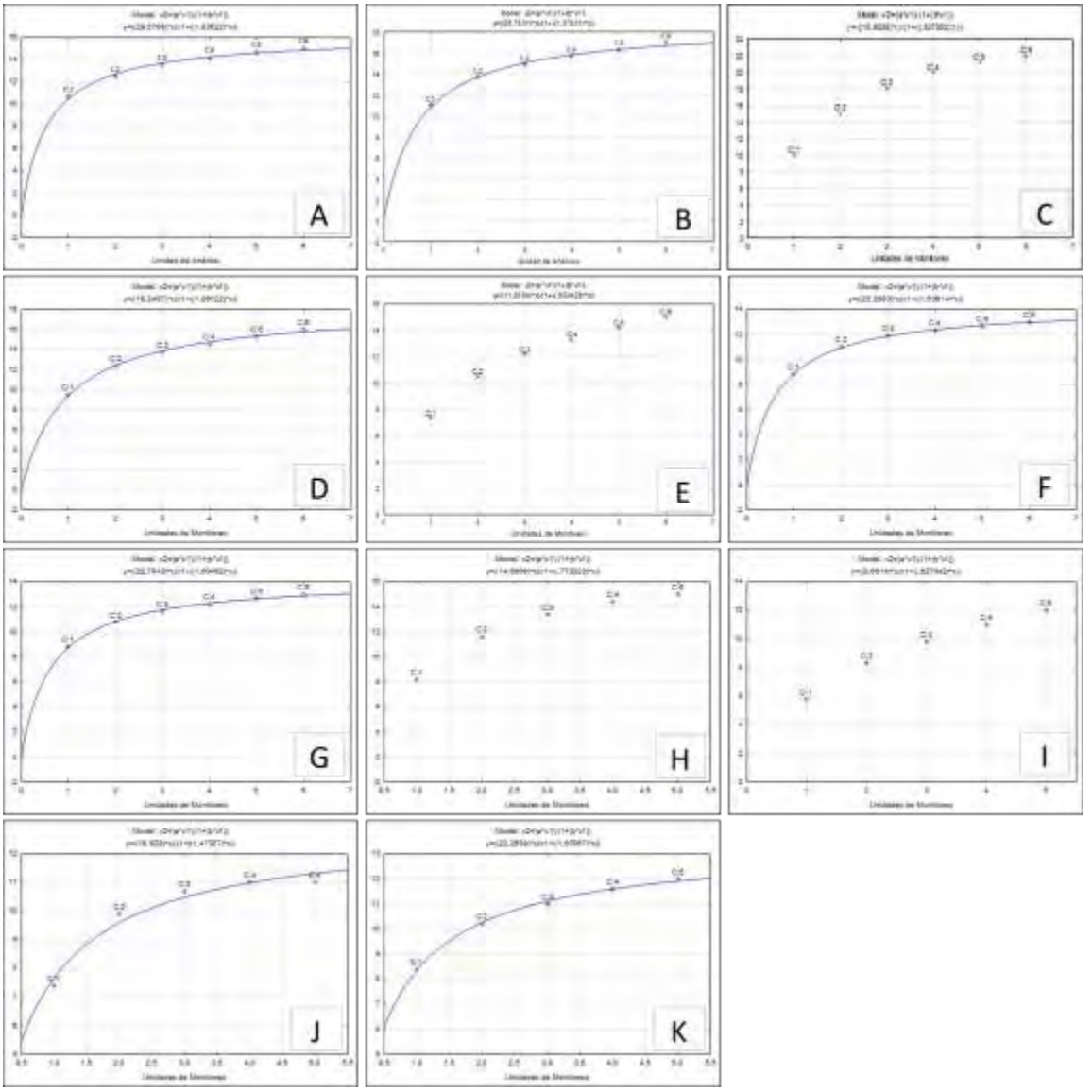


Figura 130. Curva aleatorizada de acumulación de especies (puntos) y función de Clench ajustada (línea); por unidad de monitoreo. Donde A: Transecta Marítima Sector Piloto; B: Estación E1; C: Estación E2; D: Estación E3; E: Estación E4; F: Estación E5; G: Estación E6; H: Estación EC1; I: Estación EC2; J: Estación EC3; K: Transecta Marítima sector control.

La **Tabla 104** presenta los coeficientes de determinación R^2 y la derivada de la función (d'), calculados para cada unidad de monitoreo considerada. En caso del factor de determinación, se observan valores cercanos a 1, lo que indica un buen ajuste del modelo. En caso de la derivada de la función (d'), se considera un valor cercano a 0,1 como un buen indicador, situación que

se cumple en todos los casos y permite considerarlos como indicador fiable de que el inventario realizado ha sido bastante completo. Los valores de las constantes a y b para la función de Clench, así como el número teórico de especies son presentados en la **Tabla 104**. La estimación de la proporción de fauna registrada en la mayoría de los casos presenta porcentajes sobre el 80%, existiendo en tres casos porcentajes cercanos al 75%.

Tabla 104. Coeficientes de determinación R2, constantes (a y b), derivada de esta función (d') y proporción de fauna registrada sobre la teórica; para las diferentes unidades de muestreo.

Unidades de monitoreo	r^2	a	b	d'	Riqueza Registrada	Número Teórico	% Registrado
E1	0,99580	25,783	1,378	0,127	17	18,7104	90,86%
E2	0,999611	15,604	0,537	0,183	22	29,0378	75,76%
E3	0,997740	19,350	1,061	0,127	16	18,2335	87,75%
E4	0,999039	11,805	0,630	0,123	15	18,726	80,10%
E5	0,999396	23,398	1,639	0,093	13	14,2748	91,07%
E6	0,997440	22,784	1,605	0,093	13	14,1965	91,57%
TM	0,993438	29,677	1,835	0,103	15	16,1707	92,76%
EC1	0,999394	14,690	0,772	0,187	15	19,0277	78,83%
EC2	0,997765	8,602	0,528	0,147	12	16,2962	73,64%
EC3	0,983337	18,928	1,473	0,124	11	12,8476	85,62%
TMC	0,998208	22,264	1,671	0,125	12	13,3263	90,05%

Resultados monitoreo de mamíferos marinos sector norte del archipiélago de Chiloé

Las actividades de monitoreo de mamíferos marinos se realizaron en fechas y horarios coincidentes a las del conteo de aves. Se implementaron unidades de observación costeras y marítimas, idénticas a las unidades de observación utilizadas en el monitoreo de aves. (**Tabla 105** y **Figura 131**). Todos los conteos fueron realizados durante las jornadas de mañana (AM) y media Tarde (PM).

El área de estudio registró tres especies mamíferos marinos, correspondientes al Lobo Común (*Otaria flavescens*), especie de mamífero pinnípedo de la familia de los otáridos;Delfín chileno (*Cephalorhynchus eutropia*) y Delfín

austral (*Lagenorhynchus australis*), cetáceos odontocetos de la familia Delphinidae.

El lobo marino común se distribuye desde Arica (18°27´S) hasta el Estrecho de Magallanes (Acevedo & Aguayo 2008), Cabo de Hornos (Aguayo & Maturana 1973, Sielfeld *et al*. 1997) e incluyendo algunas islas cercanas al litoral y a las Diego Ramírez (Schlatter & Riveros 1997).

El delfín chileno es la única especie de cetáceo endémica de Chile, habita principalmente dos áreas distintivas; La primera de ellas corresponde a los canales y fiordos entre la isla de Chiloé y el cabo de Hornos; mientras que la segunda corresponde a la costa expuesta, bahías y especialmente estuarios al norte de Chiloé hasta Valparaíso (Goodall 1994). Se considera una especie costera ya que la mayoría de los avistamientos se han realizado cerca de ésta, sin embargo, existe muy poco esfuerzo de observación en aguas oceánicas (Goodall 1994).

El registro más septentrional se encuentra frente a las aguas de Concón, Valparaíso (33ºS) (Aguayo *et al*. 1998) y el más austral en Seno Grandi, Isla Navarino (55º15'S) (Norris 1968). Existen pocos registros publicados del delfín chileno provenientes al norte de los 37° de latitud sur y sólo cuatro del extremo norte de su distribución. Un avistamiento de un número no determinado de delfines en las cercanías de Valparaíso (33°02'S) en 1866, dos individuos cazados en una colecta científica en Valparaíso en 1878, un cráneo hallado en San Antonio (33°37'S) el 15 de agosto de 1953 y un delfín enmallado en faenas de pesca cerca de San Antonio el 28 de junio de 1984 (Goodall *et al*. 1988). Capella (1999) comunica dos avistamientos en el límite norte de su distribución. Un avistamiento de dos delfines frente a Laguna Verde (33°06'S) y uno de cinco delfines en la desembocadura del Estero El Yali (33°45'S).

El delfín austral es considerado como especie semi-endémica, cuya distribución está restringida a Chile y Argentina. En Chile se encuentra en el litoral costero desde la desembocadura del río Aconcagua (aprox. 32o30'S) hasta el Cabo de Hornos, pero preferentemente al sur de los 40º y especialmente en los canales Patagónicos y Fueguinos (Goodall *et al*, 1994).

El registro de mamíferos marinos se realizó prácticamente en toda el área de monitoreo, con una mayor frecuencia de registros de *O. flavescens*, una frecuencia moderada de *L. australis* y una escaza aparición de *C. eutropia*. Las actividades que las especies desarrollaban al momento de su registro fueron

"tránsito" y "descanso". Los ejemplares fueron registrados en los biotopos Litoral Marino con un total variable de ejemplares por localidad y jornada del día.

La **Tabla 105** detalla la posición y abundancia asociadas a cada registro. La **Figura 131** proporciona algunos registros fotográficos logrados durante la prospección de terreno.

Referente a los mustélidos, la prospección del territorio colindante a la zona de influencia, no registró la presencia directa de nutrias (*Lontra spp*) ni tampoco indicios indirectos de su presencia (huellas, madrigueras, raspaderos, fecas).

La baja frecuencia de registros, respecto del número de estaciones, no permite el cálculo de indicadores ecológicos o la elaboración de gráficas de clasificación, ordenación. La **Figura 132** geo-referencia, de forma gráfica, la distribución espacial de la abundancia y riqueza registrada para la componente mamíferos marinos. Mencionada figura muestra el atributo abundancia de forma proporcional, mediante gráficos de torta, de acuerdo a los aportes de cada especie, en cada punto de registro. De esta manera, se presenta un gradiente de tamaño de cada uno de los gráficos de acuerdo a la mayor o menor abundancia total registrada.

Los resultados arrojan una mayor frecuencia de registros en el sector Piloto respecto del sector control.

Tabla 105. Registro de especies y ejemplares de mamíferos marinos en el área de estudio, con detalle del uso de biotopo. Dónde: LM: Litoral Marino; B: Estructuras flotantes asociadas a un centro de cultivo de salmón (Boya).

Taxa	Nombre Común	Puntos de Registro	Cordenadas (UTM)		Biotopo	Monitoreo 2015		
			E	N		Nº Ejemplares	Jornada	Actividad
Otaria flavescens	Lobo comun	EC1	640905	5275495	LM	2	AM	Descanso
		TMC	636368	5276272	LM	1	AM	Transito
			632944	5281024	LM	1	AM	Transito
			633239	5278884	LM	2	AM	Transito
		TM	631319	5282623	LM	3	AM	Transito
			629711	5282923	LM	1	AM	Transito
			631755	5283294	B	1	AM	Transito
		E4	628004	5278740	LM	1	AM	Descanso
		E6	627329	5280654	LM	1	PM	Descanso
Lagenorhynchus australis	Delfín Austral	EC1	640905	5275495	LM	4	AM	Descanso
		E4	628004	5278740	LM	3	AM	Transito
		TM	632034	5277851	LM	3	AM	Transito
Cephalorhynchus eutropia	Delfin Chileno	E3	628883	5279457	LM	2	PM	Descanso

Figura 131. Registro gráfico de mamíferos marinos registrados en el área de estudio, Donde: A: Delfín Chileno; B: Delfín Austral; C-D: Lobo Común.

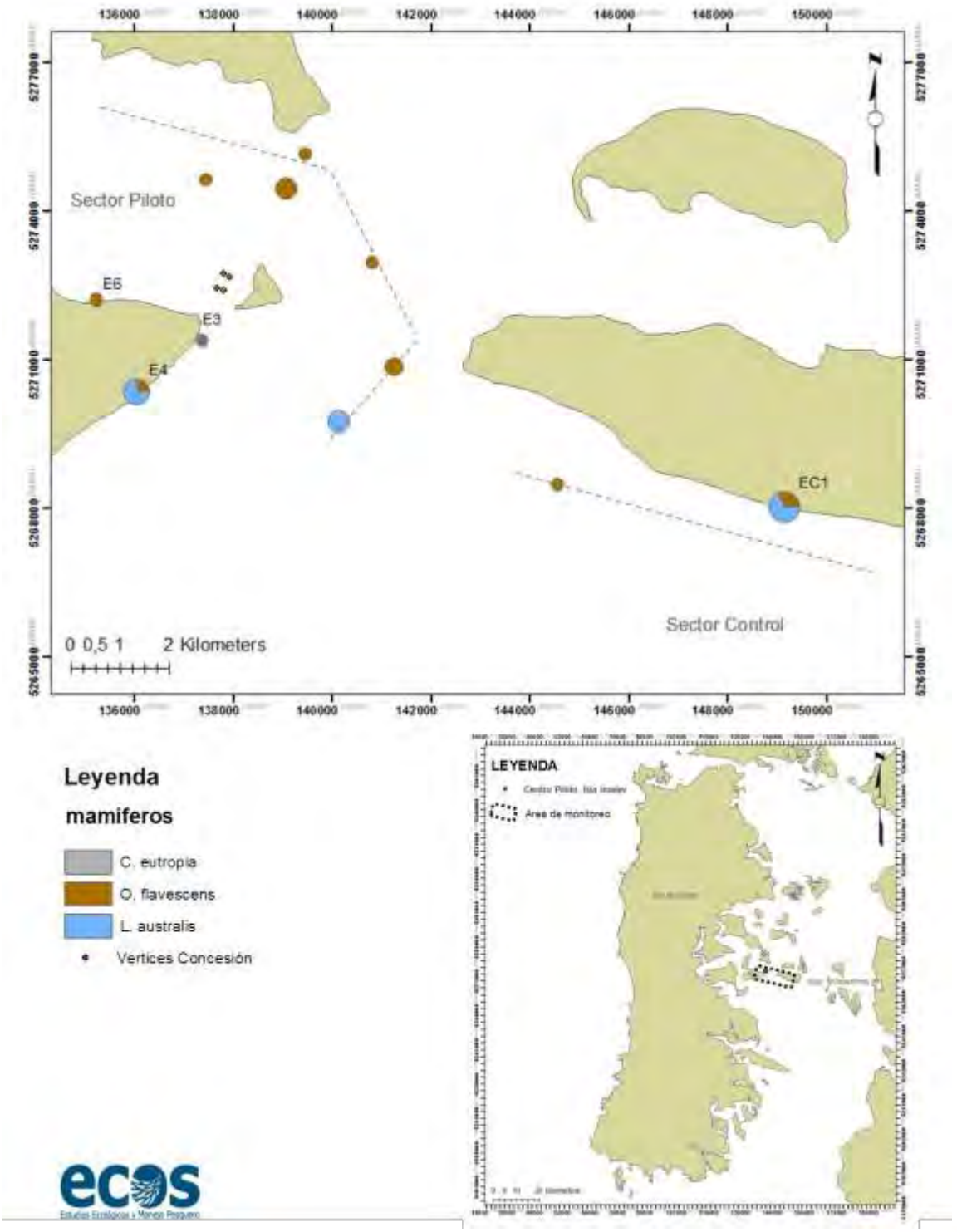


Figura 132. Abundancia de las especies de mamíferos marinos registradas en el área de estudio, según metodologías y tipo de objetivos descritos.

Caracterización de sectores de monitoreo. Sector sur Archipiélago de Chiloé

El sistema intermareal del sector analizado, se describe por dos biotopos en particular. El primero de ellos caracterizado por una extensa franja de playa de arena y escaza presencia de sustrato rocoso (macizos rocosos), en la que se observa la presencia de vegetación dispersa, constituidas mayoritariamente por *Carex pumila*, *Ambrosia chamissonis*, *Polygonum maritinum*, *Rumex sp.*, entre otras. Lo anterior corresponde a los registros logrados en las estaciones E1, E3, E4, EC1, EC2 y EC3 (**Figura 133**, **Figura 135**, **Figura 136** y **Figura 137**). En segundo biotopo registrado corresponde a una porción de intermareal rocoso (Macizos rocosos) de baja pendiente y poca extensión intermareal (Estación costera E2), caracterizada por la presencia Rodophytas del genero Mazzaella y Chlorophytas del genero Ulva (**Figura 134**).

Figura 133. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E2. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas y litoral rocoso (roqueríos). Supramareal: Detalle de Pradera y Matorral.

Figura 134. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E2. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas y Litoral Rocoso (Bolones). Supramareal: Detalle de Matorral costero.

Figura 135. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E3. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Matorral Costero y Zona Rural.

Figura 136. Borde costero del área general de monitoreo. Estación E4. Intermareal: Detalle de margen de playa de arenas. Supramareal: Detalle de Matorral Costero y Zona Rural.

Figura 137. Borde costero del área general de monitoreo, sector control. Estaciones EC1, EC2 y EC3. Intermareal: Detalle de playa de arena y Litoral rocoso (Bolones). Supramareal: Detalle de Matorral costero.

Referente al sistema supramareal, se observa un alto grado de intervención antrópica del borde costero, con la presencia de caminos, predios destinados a la agricultura y ganadería en pequeña escala, junto a residencias habitacionales. Los biotopos registrados en este estrato son de Matorral costero, Pradera y Zonas Rurales. El biotopo Matorral costero registra una gran cobertura de *Ulex europaeus* (Espinillo) leguminosa de origen europeo introducida en la isla de Chiloé y considerada como plaga en la localidad estudiada. Adicionalmente se observa la presencia de un estrato arbustivo compuesto por *Chusquea quila* (Quila), *Tepualia stipularis* (Tepú),*Aristotelia chilensis* (Maqui), *Fuchsia magellanica* (Chilco) y otras mirtáceas. En este estrato se observa además la presencia de helechos y musgos que también forman parte de este intrincado ecosistema, destacando las especies *Gunnera tinctoria* (Pangue) y *Blechnum chilense* (Costilla de Vaca).

El Biotopo de Pradera, se caracteriza como un mosaico con extensas áreas cubiertas por pastizales (gramíneas) para la actividad ganadera, aledaña a plantaciones de utilización agrícola. Estas áreas están rodeadas por vegetación boscosa secundaria con árboles de crecimiento rápido, en especial de la familia Myrtaceas y Proteaceas (arrayan, Peta y Fuinque); dichas formaciones se encuentran mejor desarrolladas en quebradas con poca intervención antrópica. En esta estructura se observa además un estrato arbustivo caracterizado por Quila (*Chusquea quila*).

Se identifica el biotopo de Zona Rural y agrícola, caracterizado por la presencia de residencias habitacionales, tendido eléctrico y caminos. Su gran cercanía y su estructura diferencial respecto del resto del margen de costa, le otorga especial interés desde la perspectiva de su alto potencial como contenedor de especies diferentes, susceptibles a visitar la ZI con diferentes tipos de uso (Estaciones E4 y E3).

Por otra parte se distingue un biotopo de Litoral Marino, correspondiente a la franja de mar directamente expuesta a la costa (**Figura 138**).

Figura 138. Litoral Marino, visto desde la transecta marítima implementada. Sector Sur.

La prospección de terreno durante la realización del presente estudio, tanto del margen de costa constituido por las estaciones costeras intermareales y supramareales del sector; así como el litoral marino constituido por la porción de mar de mayor lejanía a la costa; no registró puntos de gran abundancia de avifauna y mamíferos marinos (específicamente loberas) los cuales pudiesen vincularse con el proyecto en cuestión; razón por la cual no se incluyeron sitios de interés ecológico en la presente prospección de las componentes consideradas.

Caracterización de Biotopos y Comunidades de Aves. Sector sur Archipiélago de Chiloé

El sector monitoreado comprendió una extensión lineal de aproximadamente 8,82 km costa analizada y a una trayectoria de navegación de 11.76 Km; en donde se caracterizó un borde costero bastante homogéneo, compuesto por extensos márgenes de playa de arena y piedras; macizos rocosos, matorral costero, Praderas vinculadas a la actividad ganadera y/o agrícola; y zonas rurales; colindantes con un cuerpo de agua o litoral marino. La **Figura 139**, proporciona un registro gráfico de los biotopos registrados.

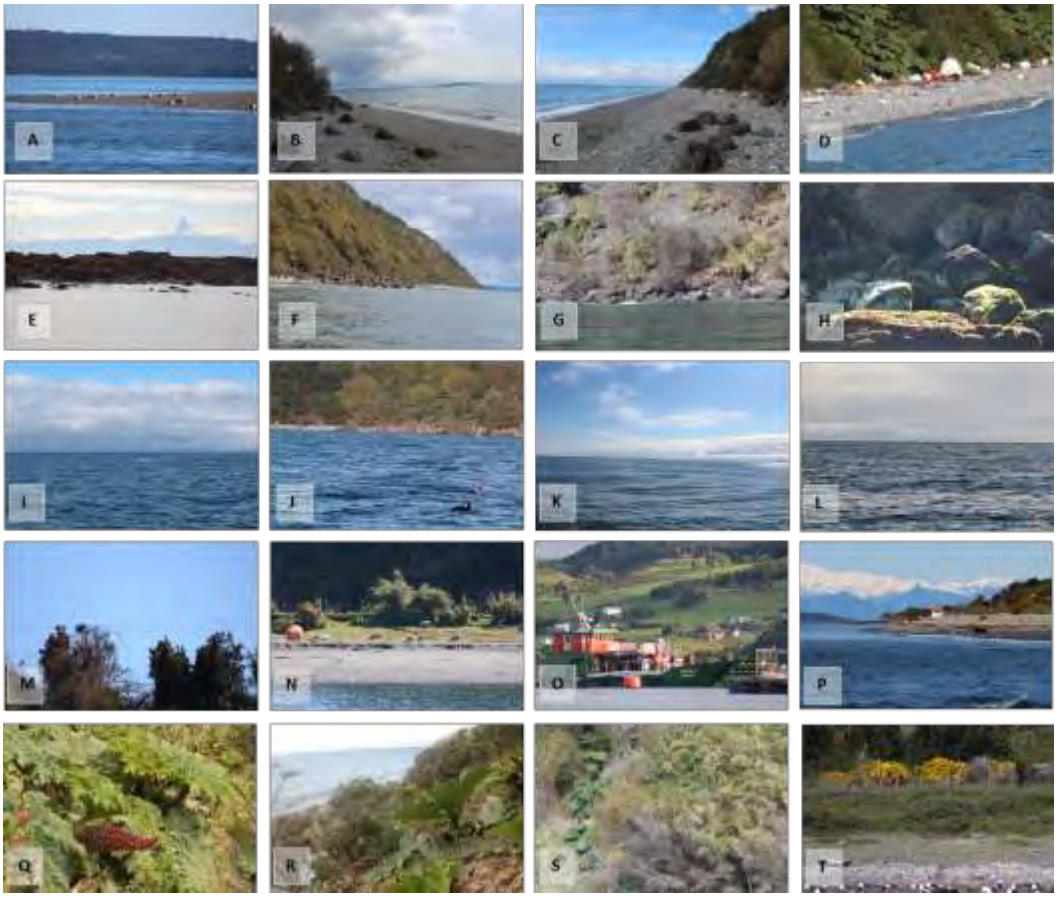


Figura 139. Panorámica de algunos sitios circunscritos dentro del Área de monitoreo general. Donde A, B, C, D: Playa Arena o Piedras (PA); E, F, G, H: Litoral Rocoso (LR); I, J, K, L: Litoral Marino (LM); M, N, O P: Zona Rural (ZR); Q, R, S, T: Matorral costero (MC); N, O: Pradera (P).

Según la disposición de los elementos estructurales del paisaje presente en las zonas de influencia (ZI), y las distintas estructuras de hábitat distinguibles como unidades posibles de ser colonizadas o usadas por especies potenciales, es posible separar el espacio en 6 biotopos distintos. Son estos biotopos o sitios similares en estructuras los que pudiesen contener comunidades de aves diferentes o con potencial dispersión al interior de la ZI del centro piloto, independientemente estén o no representados en la Zona de influencia (**Tabla 106**).

Los biotopos identificados fueron idénticos a aquellos definidos para el sector norte, razón por la cual la definición de los mismos corresponde a aquella ya expuesta en el acápite correspondiente.

El sector seleccionado, correspondiente a la zona de influencia del centro de cultivo piloto, corresponde únicamente al biotopo Litoral Marino, sin embargo el presente análisis suma los biotopos Playa de arena (PA) y Litoral Rocoso (LR), producto de su mayor cercanía y la alta susceptibilidad de las especies presentes en estos biotopos, en el uso del litoral marino como espacio de tránsito, alimentación o descanso.

Considerando que el centro de cultivo piloto no contempla instalaciones en tierra, el resto de los biotopos tabulados se consideran de menor relevancia producto que la avifauna que allí habita no utiliza el ambiente marino como espacio disponible ya que son más bien especies estrictas del ambiente terrestre, solo acercándose a la porción supramareal o intermareal de la franja litoral.

En síntesis, en la zona de influencia se logró identificar 3 biotopos (LM, LR y PA) identificados en las distintas prospecciones a sectores periféricos considerados como sitios potenciales de albergar fauna posible de desplazarse al interior de las zonas de influencia (ZI). Las distintas asociaciones que se efectúan entre especies y los biotopos descritos permiten conjeturar sobre situaciones de frecuencia de uso y variables de atracción, residencia y dependencia dado el grado de especialidad o selección de hábitat de las aves, entre otros análisis de relevancia para contrastar con los potenciales usos de la ZI.

- **Playa de Arena (PA):** Biotopo de gran cercanía a la Zona de influencia, registrado tanto en la porción de costa frente a la concesión acuícola como en el resto del borde de costa prospectado. Se registró el 48.6% de las especies totales registradas, lo cual corresponde a 18 taxa, integrantes de los órdenes Paseriformes (Churrete, Golondrina), Suliformes (Cormoranes), Charadriiformes (Gaviotas, Pilpilenes, Queltehues, Zarapitos), Pelecaniformes (Pelicano), Cathartiformes (Jotes), Falconiformes (Tiuques) y Anseniformes (Patos). Las actividades asociadas a cada registro correspondieron mayoritariamente a Descanso y Alimentación.

Tabla 106. Listado de especies de aves registradas en el área total de estudio y con detalle del usos de biotopos por especie. Sector Sur. Dónde: ZR: Zona Urbana; P: Pradera; PA: Playa de arena y Piedras; LR: Litoral rocoso; MC: Matorral costero; LM: Litoral Marino.

Orden	Especie	Nombre Común	ZR	P	PA	LR	MC	LM
Passeriformes								
	Cinclodes patagonicus chilensis	Churrete común			X	X		
	Zonotrichia capensis	Chincol					X	
	Sicalis luteola	Chirihue	X				X	
	Phrygilus patagonicus	Cometocino patagonico					X	
	Tachycineta meyeni	Golondrina chilena	X	X	X		X	
	Troglodytes aedon chilensis	Chercan					X	
Suliformes								
	Phalacrocorax brasilianus	Cormoran Yeco			X	X		X
	Phalacrocorax magellanicus	Cormoran de las Rocas				X		X
	Phalacrocorax atriceps	Cormoran Antártico			X	X		X
Charadriiformes								
	Larus dominicanus	Gaviota dominicana	X		X	X		X
	Chroicocephalus maculipennis	Gaviota cahuil			X	X		X
	Leucophaeus scoresbii	Gaviota austral			X			X
	Sterna hirundinacea	Gaviotin Sudamericano						X
	Haematopus ater	Pilpilen negro			X	X		
	Haematopus palliatus palliatus	Pilpilen común			X	X		
	Vanellus chilensis	Queltehue		X	X		X	
	Numenius phaeopus	Zarapito			X	X		
	Stercorarius Chilensis	Salteador Chileno						X
	Arenaria interpres	Playero vuelvepiedras	X					
Pelecaniformes								
	Pelecanus thagus	Pelicano			X	X		X
	Theristicus melanopis	Bandurria		X				
Procellariiformes								
	Macronectes giganteus	Petrel Gigante antártico						X
	Fulmarus glacialoides	Petrel plateado						X
	Puffinus griseus	Fardela negra						X
	Oceanites oceanicus	Golondrina de Mar						X
	Pelecanoides garnotii	Yunco						X
	Thalassarche melanophrys	Albatros de ceja negra						X
Cathartiformes								
	Cathartes aura	Jote cabeza colorada	X		X		X	
	Coragyps atratus	Jote cabeza negra	X		X		X	

Falconiformes								
	Caracara plancus	Traro					X	
	Milvago chimango	Tiuque		X	X		X	
	Falco sparverius cinnamominus	Cernicalo	X				X	
Anseniformes								
	Chloephaga hybrida	Caranca			X			
	Anas flavirostris flavirostris	Pato Jergon chico			X			
	Tachyeres pteneres	Quetru			X	X		X
Sphenisciformes								
	Spheniscus magellanicus	Pingüino de magallanes						X
Apodiformes								
	Sephanoides sephaniodes	Picaflor					X	

- **Litoral marino (LM):** Corresponde la Zona de influencia del centro de cultivo piloto, caracterizada por la franja o porción de mar orientada paralelamente a la costa y delimitada hasta el límite de detección instrumental, otorgado por la distancia visible del equipo binocular. En este hábitat singular se registró el 45.9% de las especies avistadas en la totalidad del área estudiada. Entre ellas distinguen el grupo Charadriiformes (Gaviotas, gaviotines y salteadores), Suliformes (cormoranes), Pelecaniformes (Pelicanos), Procellariiformes (Petreles, Fárdelas, Albatros), Anseniformes (Quetru) y Sphenisciformes (Pingüinos). Cabe destacar las actividades de alimentación, acicalamiento y tránsito (en el mayor de los casos), siendo una constante que todas estas especies utilizan amplias zonas geográficas en el desarrollo de cada actividad.

- **Litoral rocoso (LR):** Biotopo de gran cercanía a la Zona de influencia, registrado mayoritariamente en la porción de costa frente a la concesión (centro piloto). Extensión del borde costero con presencia de roca expuesta directamente al bordemar. Este biotopo particular registro el 29.7% de las especies avistadas en la totalidad del área estudiada. Se registraron integrantes del Orden Passeriformes (Churretes), Suliformes (Cormoranes), Charadriiformes (Gaviotas, Pilpilenes, Zarapitos), Pelecaniformes (Pelicanos) y Anseniformes (Quetru).

El sector registró un total de 37 especies, correspondientes a 10 Órdenes taxonómicos diferentes. Durante la campaña de monitoreo la abundancia media total, para cada uno de las unidades muestrales analizadas, fluctúo entre 28 y los 192 individuos, en las estaciones costeras; mientras que la

transecta marítima registró un valor medio de 79 y 210 individuos, en los sectores control y piloto, respectivamente. Referente a la riqueza específica (número de especies por estación y/o transecta), se observó una fluctuación de 13 y 20 especies entre las unidades muestrales (**Figura 140**).

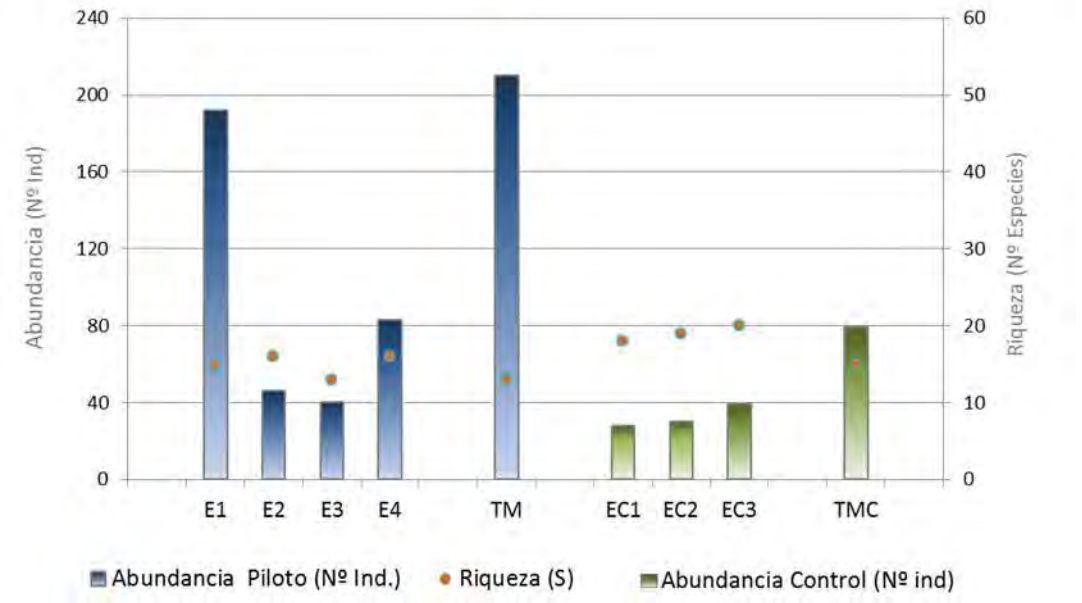


Figura 140. Abundancia y Riqueza total, estimada para las unidades de monitoreo costeras y marítimas. En azul: Unidades asignadas al centro piloto Sur. En Verde: unidades asignadas al sector control Sur.

En la **Tabla 107** se indican los valores promedios de abundancia total por especie y su desviación estándar asociada a seis réplicas de conteo realizadas, correspondientes a tres días de conteo y dos jornadas por día (AM, PM). La **Figura 141**, grafica la sumatoria de todos los avistamientos promedio, por especie, registrados en el área de estudio (sumatoria de todas las unidades muestrales). La **Figura 142**, geo-referencia, de forma gráfica, la distribución espacial de la abundancia y riqueza registrada. Mencionada figura muestra el atributo abundancia de forma proporcional, mediante gráficos de torta, de acuerdo a los aportes de cada grupo taxonómico (Ordenes) respecto del total por estación o unidad de muestreo. De esta manera, se presenta un gradiente de tamaño de cada uno de los gráficos de acuerdo a la mayor o menor abundancia total registrada. La **Figura 143**, geo-referencia, de forma gráfica, la distribución espacial de la abundancia y riqueza registrada, segregando la

información entre la abundancia aportada por especies consideradas "oportunistas" y aquellas fuera de esta categoría, tomando como criterio los antecedentes bibliográficos, presentados en el numeral 5.1.1.5 del presente documento.

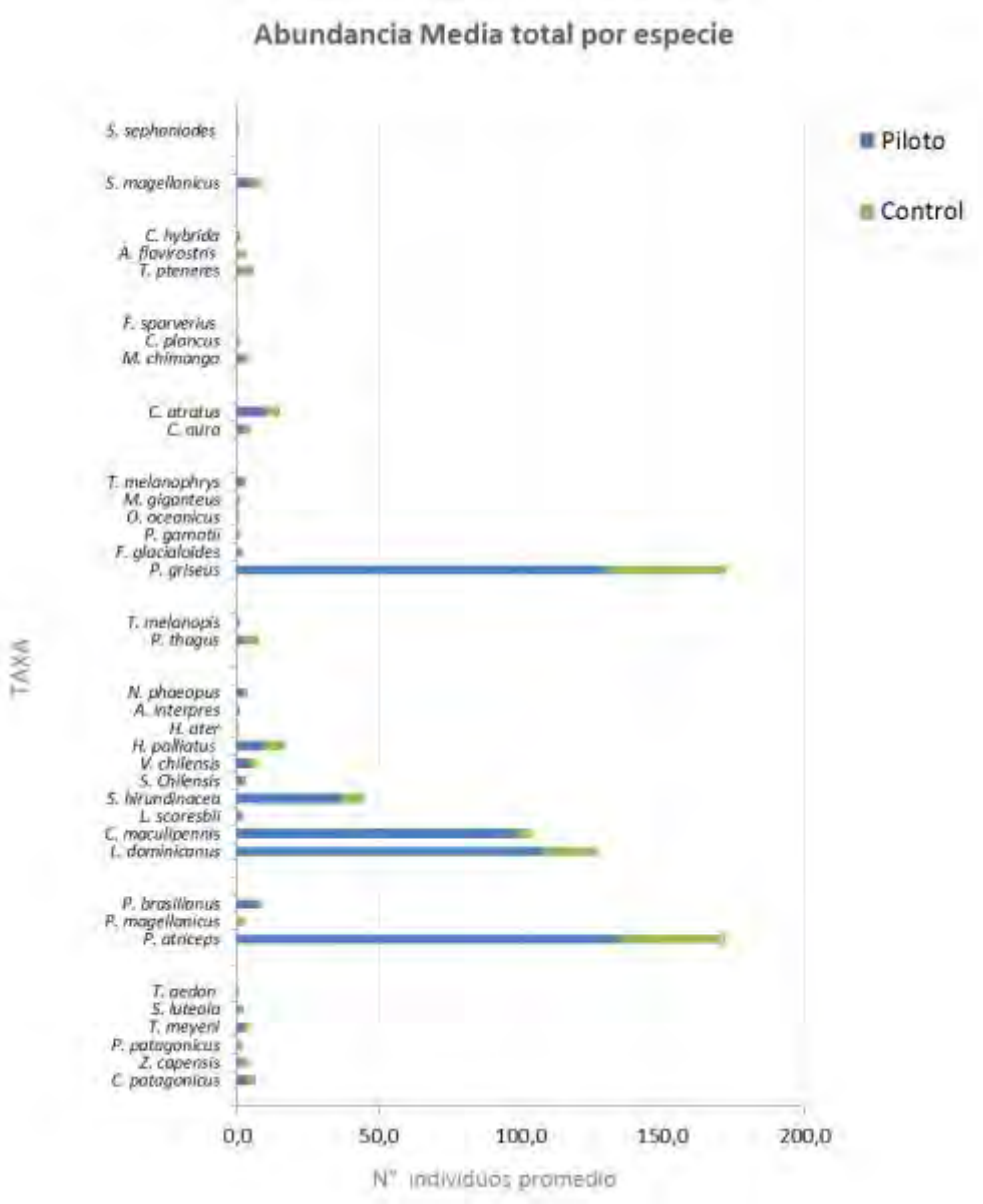


Figura 141. Avistamientos (individuos por especie), registrados en el área de estudio. Sumatoria de todas las unidades de muestreo. En azul: Registros asociados al centro piloto Sur. En Verde: registros asociados al sector control Sur.

Tabla 107. Abundancia promedio, desviación estándar y riqueza específica en cada unidad de monitoreo. Sector Sur. Donde X: Abundancia Media, S: Desviación Estándar.

Especie	E1		E2		E3		E4		TM		EC 1		EC 2		EC 3		TM C	
	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S	X	S
Passeriformes																		
Cinclodes patagonicus chilensis	0,00	0,00	1,83	0,71	1,83	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,47	1,33	0,00	1,08	0,35	0,00	0,00
Zonotrichia capensis	0,00	0,00	1,17	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,94	1,17	0,71	1,17	0,71	0,00	0,00
Phrygilus patagonicus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,67	0,94	0,50	0,24	0,00	0,00
Tachycineta meyeni	0,00	0,00	1,50	1,65	0,00	0,00	0,83	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Sicalis luteola	0,00	0,00	0,67	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,12	0,00	0,00
Troglodytes aedon chilensis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suliformes																		
Phalacrocorax atriceps	86,00	62,46	14,83	16,26	0,00	0,00	3,25	3,42	31,17	3,06	7,33	3,77	3,58	0,35	10,33	10,14	15,50	5,89
Phalacrocorax magellanicus	0,17	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,12	1,17	0,71	1,00	0,94	0,00	0,00
Phalacrocorax brasilianus	5,00	7,07	0,17	0,24	0,00	0,00	0,58	0,59	1,17	1,18	0,00	0,00	0,67	0,94	0,75	0,59	0,50	0,71
Charadriiformes																		
Larus dominicanus	32,75	8,60	10,33	8,01	3,50	0,24	22,00	1,41	39,25	11,90	5,25	0,12	4,42	0,82	3,17	0,24	6,25	3,65
Chroicocephalus maculipennis	27,50	10,37	1,67	0,47	22,83	30,41	38,75	12,61	7,83	0,24	2,50	1,18	0,75	1,06	1,00	0,00	0,67	0,47
Leucophaeus scoresbii	1,00	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	1,18	0,00	0,00
Sterna hirundinacea	26,33	12,96	6,00	4,71	0,50	0,71	1,33	0,94	2,33	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	7,33	3,30
Stercorarius Chilensis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,42	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	1,41
Vanellus chilensis	1,00	0,47	0,75	1,06	0,83	0,24	1,75	1,30	0,00	0,00	0,83	1,18	1,83	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Haematopus palliatus palliatus	5,08	3,42	2,50	0,24	0,00	0,00	1,83	0,24	0,00	0,00	1,50	0,71	3,67	1,41	2,33	0,47	0,00	0,00
Haematopus ater	0,00	0,00	0,50	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arenaria interpres	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Numenius phaeopus	0,17	0,24	1,00	0,47	0,33	0,47	0,67	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,71	1,33	0,00	0,00	0,00
Pelecaniformes																		
Pelecanus thagus	1,67	1,41	0,00	0,00	0,17	0,24	0,08	0,12	0,50	0,71	0,17	0,24	0,83	1,18	3,75	3,89	0,67	0,94
Theristicus melanopis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,47	0,00	0,00	0,08	0,12	0,00	0,00	0,42	0,59	0,50	0,71	0,00	0,00
Procellariiformes																		
Puffinus griseus	3,50	4,95	0,00	0,00	0,00	0,00	8,25	5,54	###	52,80	1,17	0,24	0,00	0,00	2,92	1,06	38,33	13,91
Fulmarus glacialoides	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,24	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00
Pelecanoides garnotii	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,59
Oceanites oceanicus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00
Macronectes giganteus	0,00	0,00	0,17	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,47
Thalassarche melanophrys	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	0,24

Continuación Tabla 107. Abundancia promedio, desviación estándar y riqueza específica en cada unidad de monitoreo. Sector Sur. Donde X: Abundancia Media, S: Desviación Estándar.

Cathartiformes									
Cathartes aura	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	1,33 ± 0,47	1,00 ± 1,41	0,00 ± 0,00	1,00 ± 0,47	0,00 ± 0,00	1,17 ± 1,65	0,00 ± 0,00
Coragyps atratus	0,83 ± 1,18	2,17 ± 2,12	6,00 ± 4,24	1,00 ± 1,41	0,00 ± 0,00	0,67 ± 0,94	1,67 ± 0,00	2,83 ± 4,01	0,00 ± 0,00
Falconiformes									
Milvago chimango	0,17 ± 0,24	0,67 ± 0,47	0,83 ± 0,24	0,33 ± 0,47	0,00 ± 0,00	0,83 ± 0,24	0,50 ± 0,71	0,83 ± 0,24	0,00 ± 0,00
Caracara plancus	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,50 ± 0,24	0,67 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Falco sparverius cinnamominus	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,33 ± 0,47	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Anseniformes									
Tachyeres pteneres	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,67 ± 0,94	0,00 ± 0,00	2,17 ± 0,24	1,00 ± 1,41	1,67 ± 0,47	0,17 ± 0,24
Anas flavirostris flavirostris	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,17 ± 0,24	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Chloephaga hybrida	1,00 ± 1,41	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Sphenisciformes									
Spheniscus magellanicus	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	4,83 ± 4,48	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	3,50 ± 1,65
Apodiformes									
Sephanoides sephaniodes	0,00 ± 0,00	0,33 ± 0,47	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Riqueza (S)	**15**	**16**	**13**	**16**	**13**	**18**	**19**	**20**	**15**
Abundancia Total (ind.)	**192**	**46**	**40**	**83**	**210**	**28**	**30**	**39**	**79**

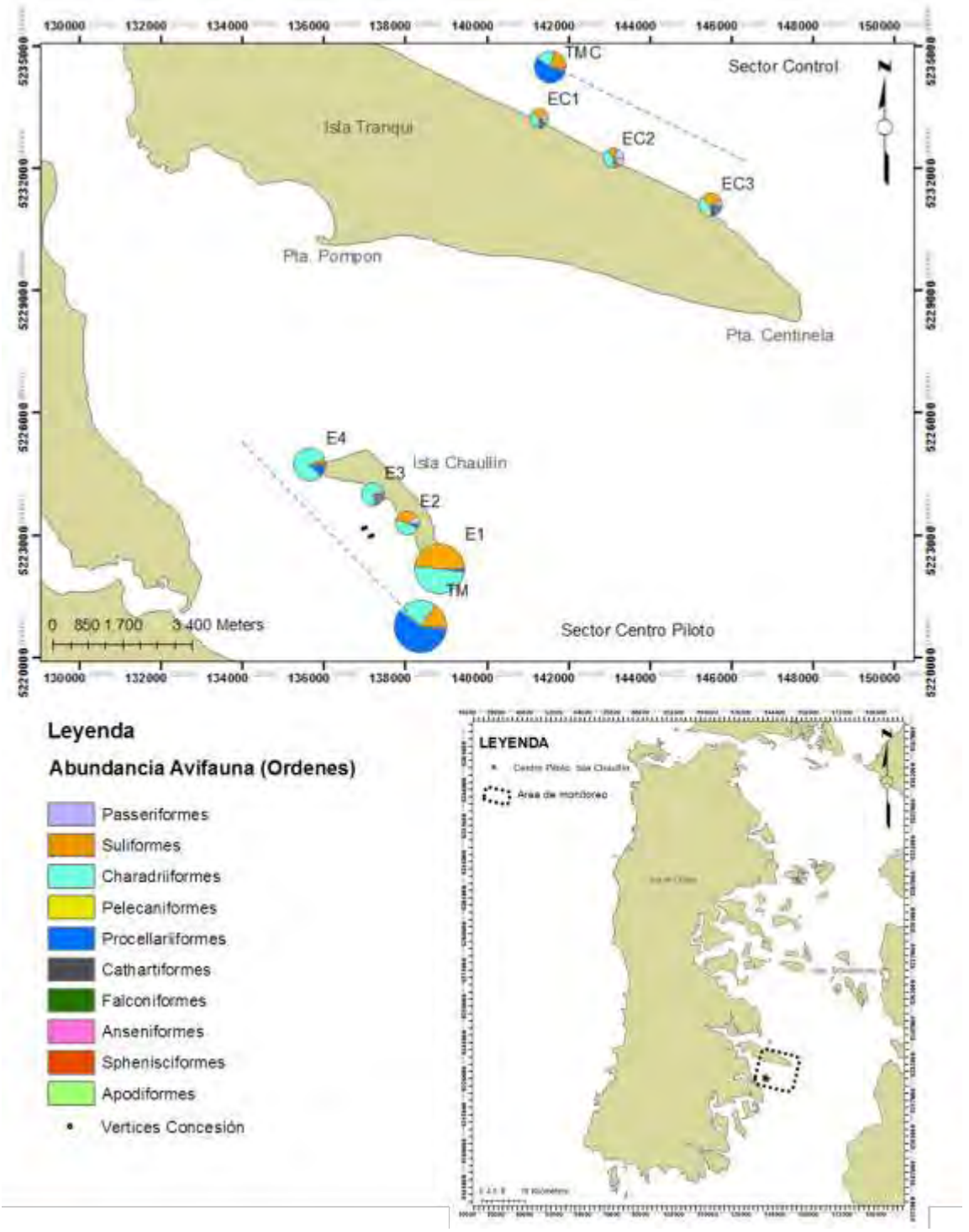


Figura 142. Abundancia total de órdenes taxonómicos, por unidad de muestreo. Sector Sur.

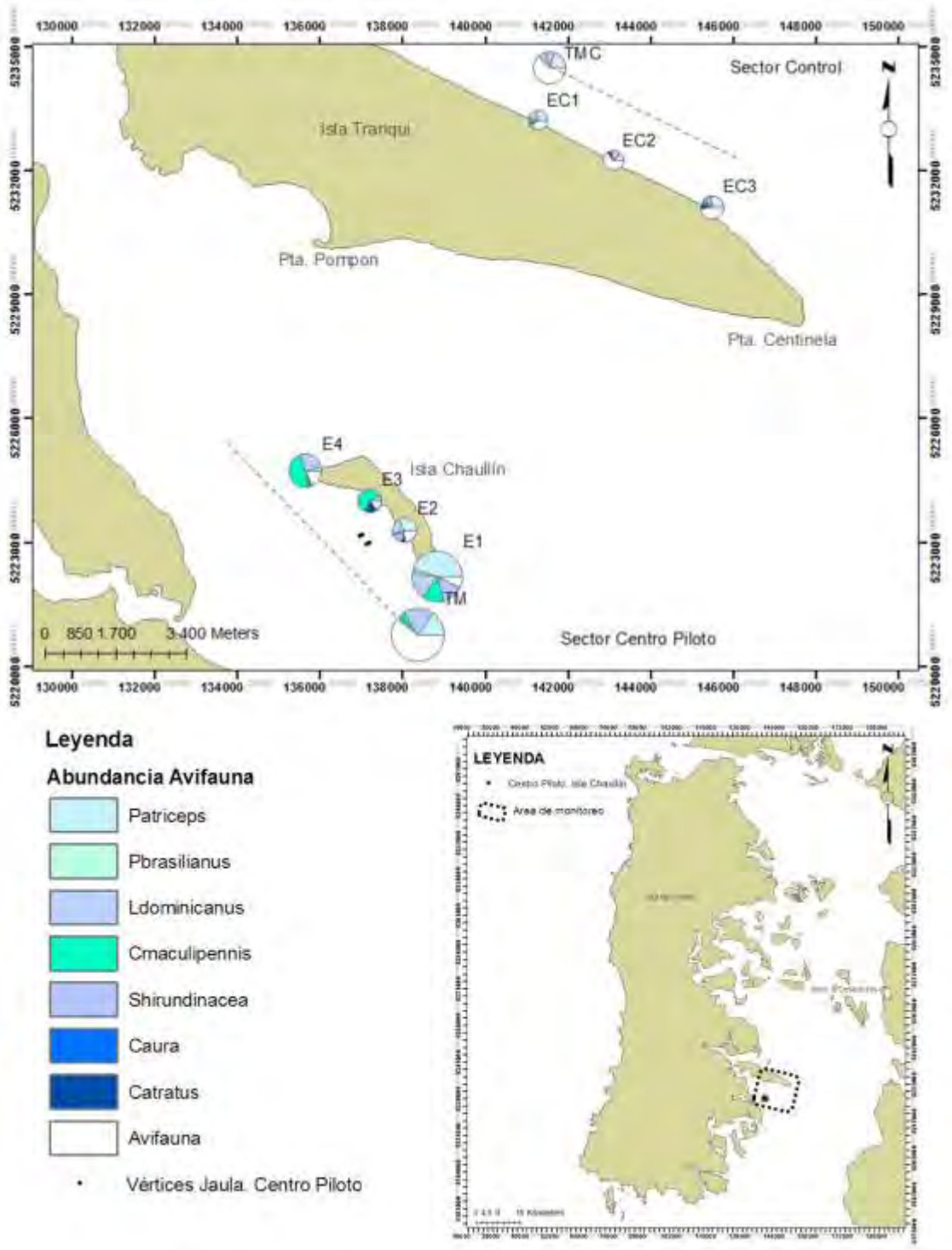


Figura 143. Abundancia total de la avifauna por unidad de monitoreo y especies oportunistas vinculadas a la actividad acuícola según bibliografía. Sector Sur.

La **Tabla 108**, presenta la abundancia relativa, en porcentaje, de las especies que evidenciaron un cambio importante de abundancia en las estaciones cercanas a los centros acuícolas respecto de la abundancia total. Como especie sensible se incluye tanto a las especies oportunistas antes mencionadas, como aquellos taxa que presentaron un evidente aumento de abundancia en aquellas estaciones inmediatas al centro de cultivo piloto, respecto del resto de unidades muestrales.

La **Figura 144**, muestra algunos registros fotográficos de las especies más abundantes, logrados durante la prospección de terreno.

Tabla 108. Abundancia Total (N) por unidad muestral y abundancia relativa de especies relevantes (%), entendidas estas últimas como especies que manifestaron cambios visibles en abundancia en estaciones cercanas al centro acuícola.

Unidades de Monitoreo	Abundancia Total	Abundancia Especies Relevantes	Abundancia relativa Especies Relevantes (%)
E1	192	180,1	93,7%
E2	46	35,2	76,0%
E3	40	34,3	86,6%
E4	83	68,0	82,4%
TM	210	82,3	39,2%
EC 1	28	16,9	61,1%
EC 2	30	11,9	39,7%
EC 3	39	24,0	61,9%
TM C	79	30,9	39,1%

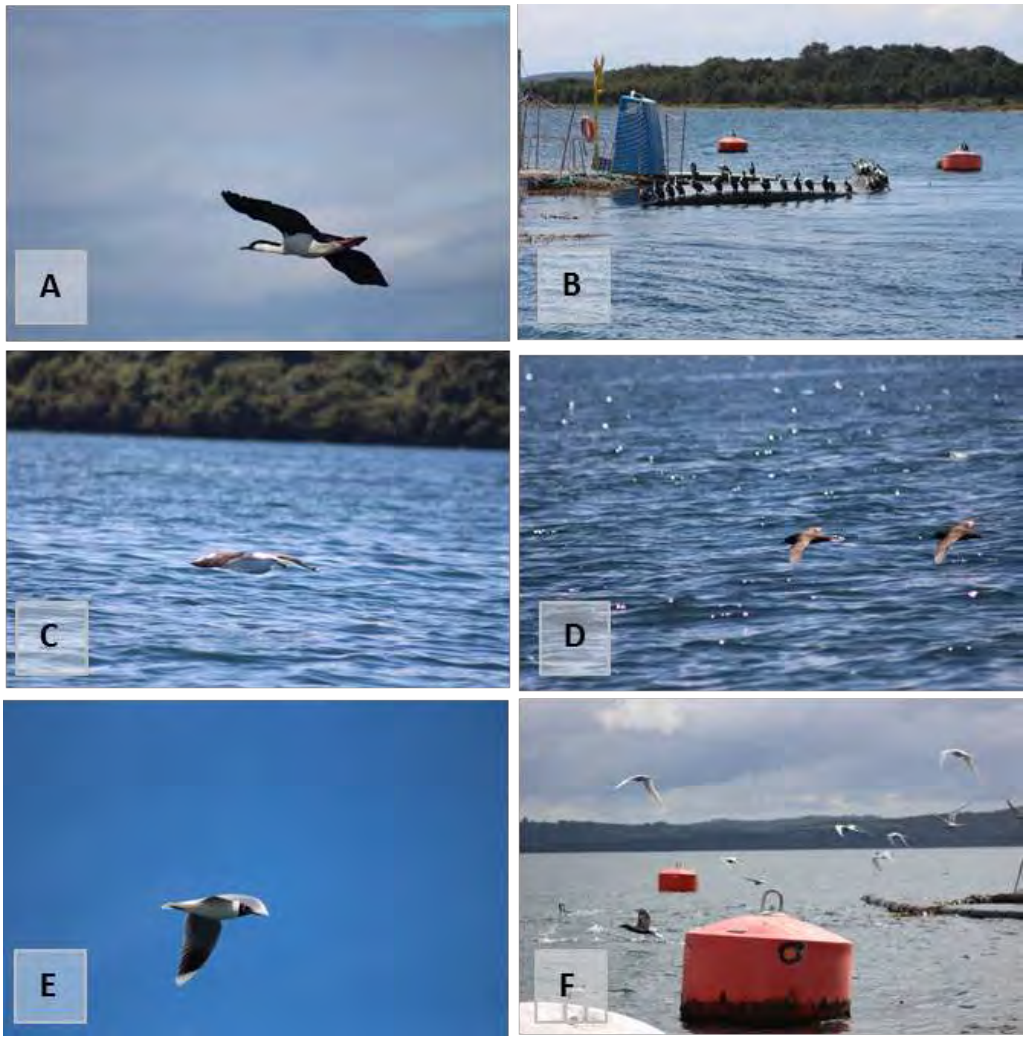


Figura 144. Registro gráfico de las especies más abundantes del área prospectada. Sector Sur. Donde: A-B: Cormorán Antártico, C: Gaviota dominicana, D: Fardela negra, E: Gaviota cáhuil, F: Gaviotín sudamericano.

Variación diaria de la abundancia de avifauna. Sector sur Archipiélago de Chiloé

Según los hábitos reproductivos o de alimentación, las especies pueden tener una mayor actividad en diferentes etapas del día. Para una mejor comprensión del medio en el área de influencia del proyecto, se presentan los resultados recopilados en los recuentos de aves correspondientes a las jornadas de mañana y tarde (**Tabla 109** y**Figura 145**).

Tabla 109. Abundancia y Riqueza de especies por unidad muestreal, durante las fases de día. Sector sur archipiélago de Chiloé.

Taxa	Jornada Matutina (AM)									Jornada Media Tarde (PM)								
	E1	E2	E3	E4	EC1	EC2	EC3	TM	TMC	E1	E2	E3	E4	EC1	EC2	EC3	TM	TMC
Passeriformes																		
Cinclodes patagonicus chilensis		2,3	2,3		1,0	1,3	1,3				1,3	1,3		0,3	1,3	0,8		
Zonotrichia capensis		0,3			1,3	1,7	0,7				2,0				0,7	1,7		
Phrygilus patagonicus					0,7	1,3	0,7							0,7		0,3		
Tachycineta meyeni		0,3				1,7					2,7		1,7		2,3			
Sicalis luteola		1,0			1,0		0,5				0,3			1,0		0,7		
Troglodytes aedon chilensis			1,0															
Suliformes																		
Phalacrocorax atriceps	41,8	26,3		5,7	10,0	3,3	17,5	29,0	11,3	130	3,3		0,8	4,7	3,8	3,2	33,3	19,7
Phalacrocorax magellanicus					0,5	0,7	1,7			0,3				0,3	1,7	0,3		
Phalacrocorax brasilianus	10,0	0,3		1,0			1,2	0,3	1,0				0,2		1,3	0,3	2,0	
Charadriiformes																		
Larus dominicanus	38,8	16,0	3,3	21,0	5,2	3,8	3,3	47,7	8,8	26,7	4,7	3,7	23,0	5,3	5,0	3,0	30,8	3,7
Chroicocephalus maculipennis	20,2	2,0	44,3	29,8	1,7	1,5	1,0	8,0	0,3	34,8	1,3	1,3	47,7	3,3		1,0	7,7	1,0
Leucophaeus scoresbii	2,0															1,7		
Sterna hirundinacea	35,5	9,3	1,0	2,0			1,0	1,3	9,7	17,2	2,7		0,7			1,0	3,3	5,0
Stercorarius Chilensis								1,5	2,7								1,3	0,7
Vanellus chilensis	1,3		0,7	2,7		2,0				0,7	1,5	1,0	0,8	1,7	1,7			
Haematopus palliatus palliatus	7,5	2,7		2,0	2,0	4,7	2,0			2,7	2,3		1,7	1,0	2,7	2,7		
Haematopus ater											1,0							
Arenaria interpres			1,3															
Numenius phaeopus		1,3	0,7				1,3			0,3	0,7		1,3		1,0	1,3		
Pelecaniformes																		
Pelecanus thagus	2,7		0,3				6,5			0,7			0,2	0,3	1,7	1,0	1,0	1,3
Theristicus melanopis			0,7												0,8	1,0	0,2	
Procellariiformes																		
Puffinus griseus	7,0			4,3	1,0		2,2	156	48,2				12,2	1,3		3,7	80,8	28,5
Fulmarus glacialoides				0,3				1,0	0,7								1,0	0,7
Pelecanoides garnotii									0,7									0,7
Oceanites oceanicus									1,5									0,7
Macronectes giganteus		0,3						0,3	1,3									0,7
Thalassarche melanophrys								3,0	1,3								0,5	1,0
Cathartiformes																		
Cathartes aura			1,0	2,0	0,7							1,7		1,3		2,3		
Coragyps atratus		0,7	3,0			1,7				1,7	3,7	9,0	2,0	1,3	1,7	5,7		
Falconiformes																		
Milvago chimango	0,3	1,0	0,7	0,7	0,7	1,0	0,7				0,3	1,0	0,0	1,0		1,0		
Caracara plancus					0,3	0,7								0,7	0,7			
Falco sparverius cinnamominus					0,7													
Anseniformes																		
Tachyeres pteneres					2,0	2,0	1,3						1,3	2,3		2,0		0,3
Anas flavirostris flavirostris						3,0									3,3			
Chloephaga hybrida	2,0																	
Sphenisciformes																		
Spheniscus magellanicus								8,0	4,7								1,7	2,3
Apodiformes																		
Sephanoides sephaniodes											0,7							
Riqueza específica (S)	**12**	**14**	**13**	**11**	**15**	**15**	**16**	**11**	**13**	**10**	**15**	**7**	**14**	**16**	**15**	**20**	**12**	**14**
Abundancia Total (ind.)	**169**	**64**	**60**	**72**	**29**	**30**	**43**	**256**	**92**	**215**	**29**	**19**	**94**	**27**	**30**	**35**	**164**	**66**

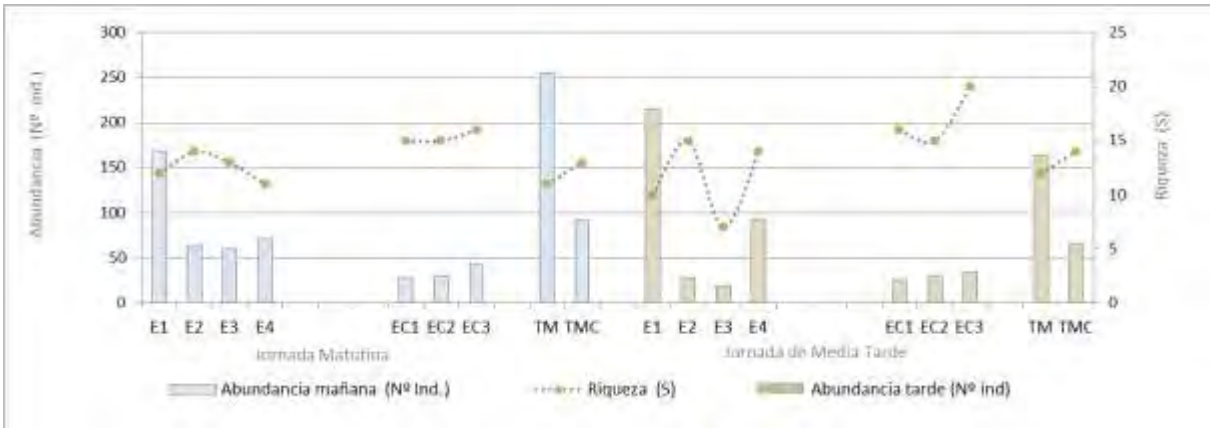


Figura 145. Abundancia y Riqueza de especies por unidad muestreal, durante las fases de día. Sector sur archipiélago de Chiloé.

Según los datos recopilados podemos observar una situación bastante similar entre las unidades de tierra y las unidades marinas, en donde se registran abundancias ligeramente mayores durante la jornada matutina. Sin embargo las estaciones costeras E1 y E4 presentan una situación contraria, asociada a una mayor abundancia en la jornada de tarde.

Referente a la riqueza específica, no se observa una tendencia clara entre las diferentes jornadas del día consideradas. Llama la atención la gran homogeneidad en los registros durante los días de monitoreo, así como también durante las diferentes jornadas del día, lo cual constituye un indicador de residencia de estas especies en las proximidades del centro de cultivo.

Índices Ecológicos y Análisis Multivariados de avifauna. Sector sur archipiélago de Chiloé

La estructura comunitaria de la avifauna, presenta una situación diferencial entre las diferentes unidades de muestreo establecidas. La riqueza específica muestra una fluctuación entre 7 y 20 taxa. En términos generales se detectó un mayor número de especies en el sector Control, presentando un valor medio de 14±1 y 16±2 especies para las unidades muestrales marítima y costera, respectivamente. Para el sector Piloto se estimaron 12 taxa, tanto en las unidades de prospección marítima como costeras. Referente a los

valores de abundancia se observa que el sector piloto evidencia una clara mayor presencia de avifauna, respecto del sitio control.

Los valores de uniformidad fluctúan entre los 0.46 y 0.95, presentando una marcada condición de equidad en el sitio control, en contraposición al sector piloto en donde se observan valores notoriamente menores para este indicador. Particularmente llama la atención los puntos de monitoreo E1, E3 y E4 (Estaciones costeras posicionadas frente al Centro de cultivo), así como también la unidad marítima de este sector; donde se estiman los menores valores de uniformidad del área estudiada correspondientes a 0.52, 0.46, 0.56 y 0.51 respectivamente (**Tabla 110**). Lo anterior refleja una situación de menor equidad en la distribución numérica de los taxa que integran el ensamble comunitario de la avifauna que reside o visita este sector, situación modulada por la mayor abundancia de *P. atriceps*, *L. dominicanus*, *Chroicocephalus maculipennis* y *Puffinus griseus*, respecto del resto de las especies presentes.

Referente a los niveles de diversidad, los mayores valores registrados corresponden a las unidades costeras circunscritas en el sector Control, presentando un valor medio de 2.43±0.24; y los menores niveles son detectados en el sector piloto con valores medios de 1.33±0.15 y 1.65±0.42 para la transecta marítima y unidades costeras. El menor valor registrado corresponde a la estación E3 caracterizada por una diversidad de 1.18, lo cual se encuentra modulado mayoritariamente por la baja uniformidad registrada en este punto. El índice de diversidad de Margalef, como era de esperar, coincide con la variación de la riqueza de especies, presentando los valores más altos en la estación EC3.

En la **Tabla 110**, se indican los principales índices ecológicos estimados para cada una de las áreas monitoreadas. **Figura 146** grafica parte de ellos.

Tabla 110. Índices de Diversidad Específica (S), Abundancia (N), Diversidad de Margalef (d), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad de Shannon (H') y Dominancia de Simpson (D); Para las diferentes unidades de muestreo. Sector Sur.

Unidad	Sector	Jornada	S	N	d	J'	H'(loge)	D
Transecta Marítima	Control	AM	13	92	2,65	0,64	1,64	0,31
		PM	14	66	3,10	0,63	1,66	0,27
	Piloto	AM	11	256	1,80	0,51	1,23	0,42
		PM	12	164	2,16	0,58	1,44	0,32
E1	Piloto	AM	12	169	2,14	0,77	1,92	0,18
		PM	10	215	1,68	0,52	1,21	0,41
E2	Piloto	AM	14	64	3,13	0,65	1,72	0,25
		PM	15	29	4,18	0,92	2,49	0,06
E3	Piloto	AM	13	60	2,93	0,46	1,18	0,54
		PM	7	19	2,04	0,81	1,57	0,25
E4	Piloto	AM	11	72	2,34	0,69	1,65	0,26
		PM	13	94	2,64	0,56	1,44	0,33
EC1	Control	AM	15	29	4,17	0,80	2,18	0,15
		PM	16	27	4,57	0,88	2,44	0,08
EC2	Control	AM	15	30	4,10	0,95	2,56	0,06
		PM	15	30	4,13	0,94	2,54	0,06
EC3	Control	AM	16	43	3,99	0,76	2,12	0,19
		PM	20	35	5,36	0,91	2,74	0,05
Piloto. Promedio Transecta Marítima			**12**	**210**	**1,98**	**0,55**	**1,33**	**0,37**
Piloto. Desviacion Estándar			0,71	65,05	0,25	0,05	0,15	0,07
Piloto. Coeficiente de variación (%)			6,1%	31,0%	12,6%	8,5%	11,0%	18,7%
Control. Promedio Transecta Marítima			**14**	**79**	**2,88**	**0,63**	**1,65**	**0,29**
Control. Desviacion Estándar			0,71	18,38	0,32	0,01	0,01	0,02
Control. Coeficiente de variación (%)			5,2%	23,3%	11,0%	1,2%	0,8%	7,5%
Piloto. Promedio Estaciones Costeras			**12**	**90**	**2,63**	**0,67**	**1,65**	**0,28**
Piloto. Desviacion Estándar			2,53	68,18	0,78	0,16	0,42	0,15
Piloto. Coeficiente de variación (%)			21,3%	75,6%	29,8%	23,0%	25,6%	51,2%
Control. Promedio Estaciones Costeras			**16**	**32**	**4,39**	**0,87**	**2,43**	**0,10**
Control. Desviacion Estándar			1,94	5,85	0,51	0,07	0,24	0,06
Control. Coeficiente de variación (%)			12,0%	18,1%	11,7%	8,5%	9,8%	59,2%

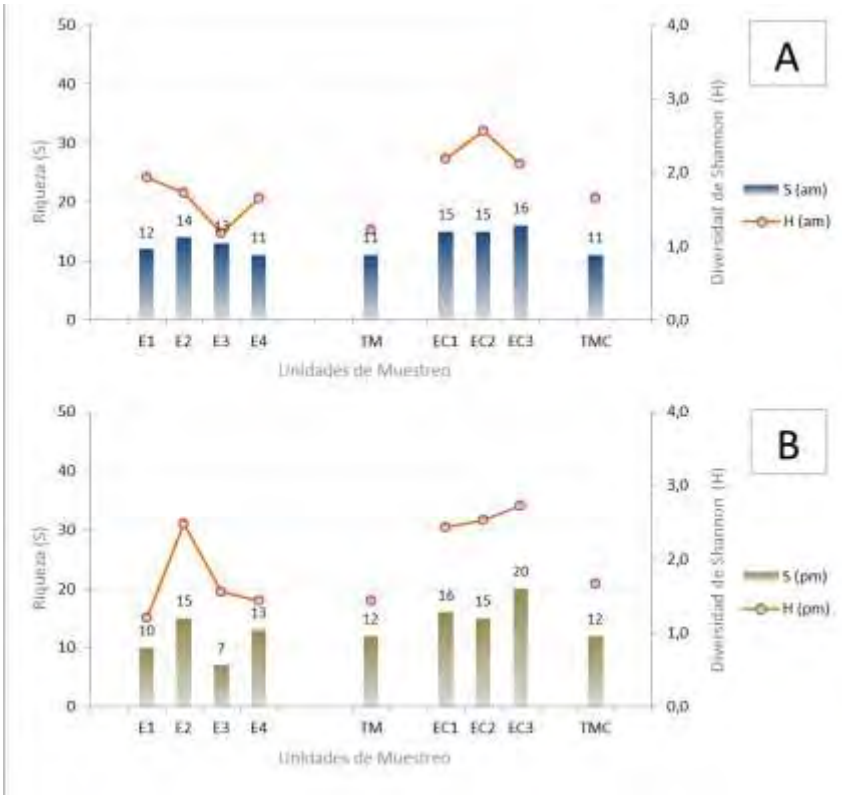


Figura 146. Valores medios de Riqueza específica (S) y Diversidad de Shannon (H). Donde: A: Jornada Matutina (AM) y B: Jornada de Media tarde (PM). Sector Sur.

Los análisis multivariados de ordenación y clasificación muestran una situación similar (**Figura 147** y **Figura 148**). En ambos análisis se observa una gran similitud entre las jornadas AM y PM de una misma unidad muestral, reflejando agrupaciones con niveles de semejanza sobre el 70%. En términos generales se observa la conformación de cuatro conglomerados o grupos de estaciones de mayor afinidad. El primero de ellos, constituido por las unidades de muestreo marítimas (control y piloto), muestran un nivel de asociación con porcentajes de similitud cercanos al 70%, agrupación que se une al resto de las estaciones con un bajo nivel de semejanza (45%). Se observa un segundo conglomerado constituido por la estación E3 (Unidad costera, sitio piloto) la cual se individualiza y se segrega del resto de las unidades de monitoreo con un bajo nivel de similitud, correspondiente al 40%. El tercer conglomerado se integra por las estaciones costeras del sector control (EC1, EC2 y EC3) y la estación costera E2, posicionadas en isla Chaullin, frente al centro piloto. Ambas unidades de monitoreo presentan

una semejanza cercana al 55%, asociándose al tercer conglomerado con un nivel de similitud del 40%. El cuarto conglomerado se constituye por las estaciones circunscritas en el sector piloto cercanas al centro de cultivo (E1 y E4). Este conglomerado se asocia a las unidades marítimas (primer grupo) con un porcentaje cercano al 45%.

El criterio de agrupación de cada unidad de muestral corresponde al tipo de especies registradas en cada sector y su abundancia asociada. La estructura variable entre las unidades de muestreo marítimas y costeras dice relación con el tipo de biotopo presente en cada una de ellas, evidenciando con ello la estrecha relación de la avifauna con los biotopos definidos. Paralelamente se observa una estructura diferencial de las estaciones cercanas al centro de cultivo piloto, respecto del resto de unidades costeras.

El análisis de ordenación N-MDS presenta una situación similar a la ya expuesta. El nivel de stress asociado al análisis N-MDS es de 0.1, lo que da cuenta de un moderado ajuste del modelo a la data lograda.

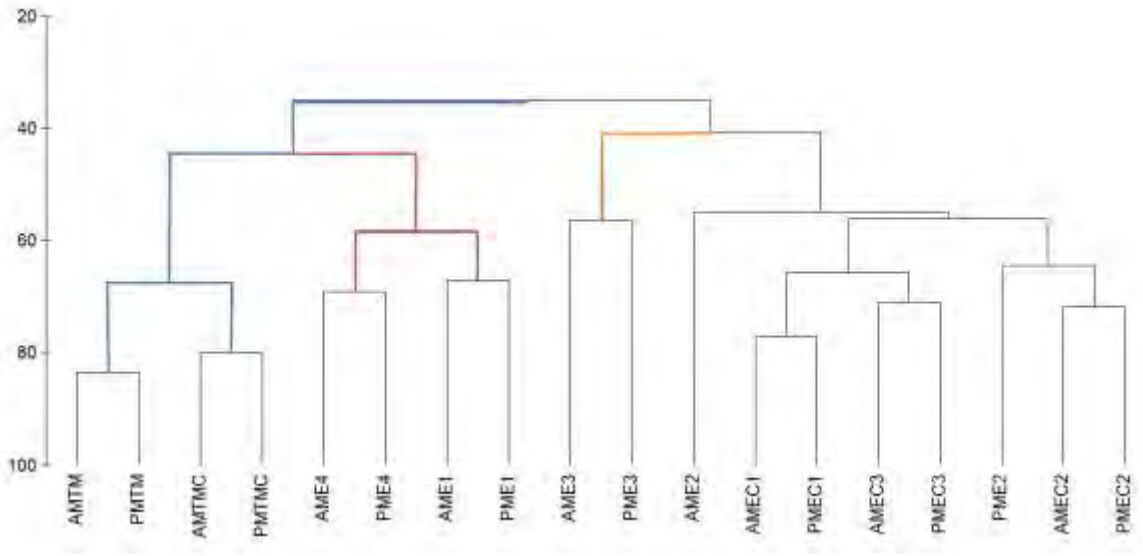


Figura 147. Dendograma de Agregación respecto a las estaciones de monitoreo terrestres y transecta marítima, en función al índice de Bray-Curtis y a la abundancia por especie como atributo. Sector sur archipiélago de Chiloé.

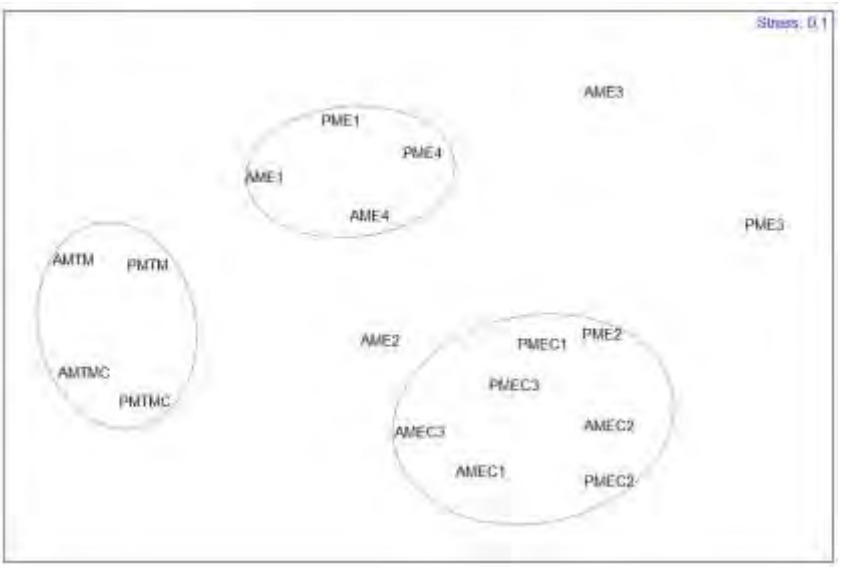


Figura 148. N-MDS de las estaciones de monitoreo terrestres y transecta marítima (TM), en función al índice de Bray-Curtis y a la abundancia por especie como atributo. Sector sur archipiélago de Chiloé.

Análisis de representatividad muestral. Sector surarchipiélago de Chiloé

Siguiendo el mismo marco metodológico y conceptual que aquel descrito para la sección del monitoreo del sector norte del archipiélago de Chiloé, se realizó una evaluación de la calidad de monitoreo en base al promedio de aparición de nuevas especies (**Figura 149**).

La **Tabla 111** presenta los coeficientes de determinación R2 y la derivada de la función (d'), calculados para cada unidad de monitoreo considerada. En caso del factor de determinación, se observan valores cercanos a 1, lo que indica un buen ajuste del modelo. En caso de la derivada de la función (d'), se considera un valor cercano a 0,1 como un buen indicador, situación que se cumple en todos los casos y permite considerarlos como indicador fiable de que el inventario realizado ha sido bastante completo. Los valores de las constantes a y b para la función de Clench, así como el número teórico de especies son presentados en la **Tabla 111**.

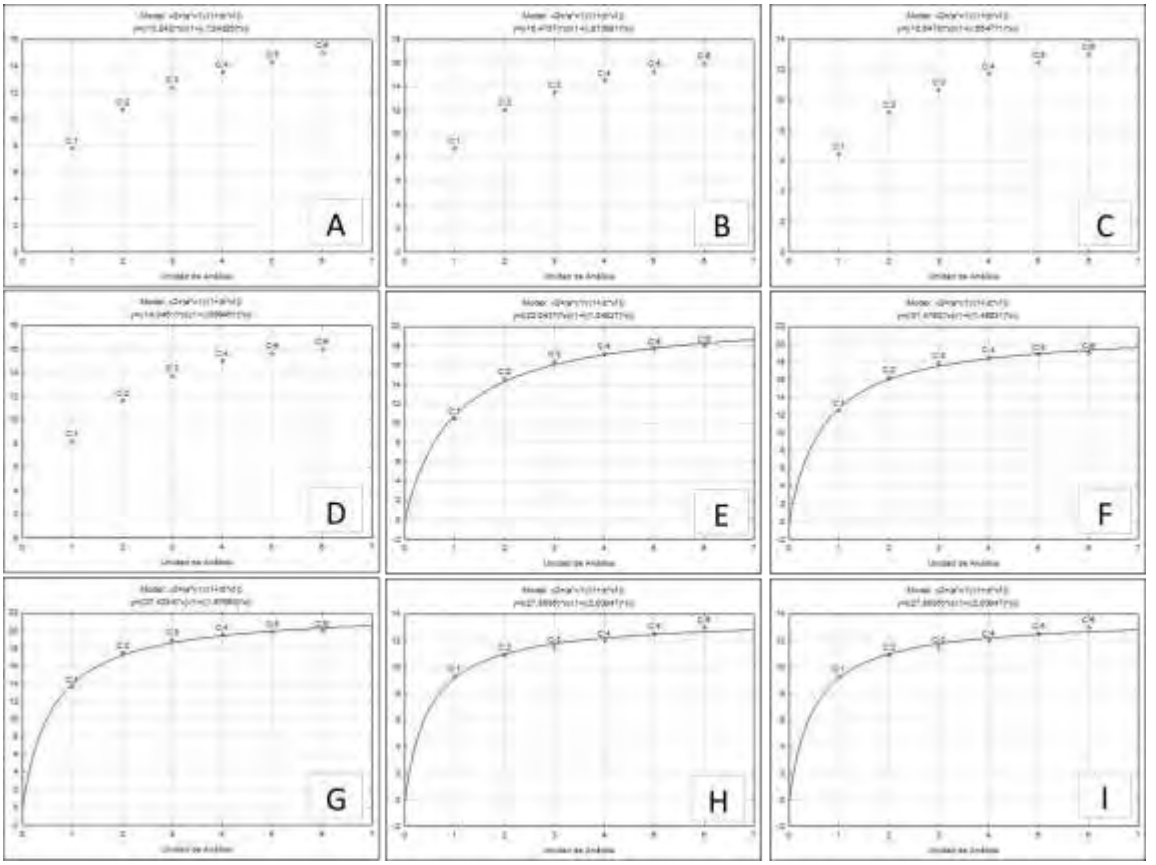


Figura 149. Curva aleatorizada de acumulación de especies (puntos) y función de Clench ajustada (línea); por unidad de monitoreo. Donde A: Estación E1; B: Estación E2; C: Estación E3; D: Estación E4; E: Estación EC1; F: Estación EC2; G: Estación EC3; H: Transecta Marítima sector Piloto, I: Transecta Marítima sector control.

La estimación de la proporción de fauna registrada en la mayoría de los casos presenta porcentajes sobre el 80% (**Tabla 111**).

Tabla 111. Coeficientes de determinación R2, constantes (a y b), derivada de esta función (d') y proporción de fauna registrada sobre la teórica; para las diferentes unidades de muestreo. Sector sur archipiélago de Chiloé.

Unidades de monitoreo	r^2	a	b	d'	Riqueza Registrada	Número Teórico	% Registrado
E1	0,99905	13,242	0,724	0,124	15	18,2819	82%
E2	0,999107	16,476	0,873	0,130	16	18,8643	85%
E3	0,999741	10,648	0,655	0,108	13	16,2615	80%
E4	0,998614	14,046	0,698	0,135	16	20,1104	80%
TM	0,985007	27,810	2,030	0,084	13	13,6961	95%
EC1	0,995952	22,044	1,040	0,147	18	21,1903	85%
EC2	0,993975	31,479	1,462	0,144	19	21,5271	88%
EC3	0,992530	37,428	1,676	0,145	20	22,3369	90%
TMC	0,985007	27,810	2,030	0,084	13	13,6961	95%

Resultados monitoreo de mamíferos marinos sector sur del archipiélago de Chiloé

Las actividades de monitoreo de mamíferos marinos se realizaron en fechas y horarios coincidentes a las del conteo de aves. Se implementaron unidades de observación costeras y marítimas, idénticas a las unidades de observación utilizadas en el monitoreo de aves (**Figura 112** y **Tabla 97**). Todos los conteos fueron realizados durante las jornadas de mañana (AM) y tarde (PM).

El área de estudio registró dos especies mamíferos marinos, correspondientes al lobo común (*Otaria flavescens*) y al delfín austral (*Lagenorhynchus australis*). La distribución geográfica de las especies presentes, así como el contexto y significancia de su registro, se detalla en los resultados de mamíferos marinos en el sector norte del Archipiélago de Chiloé (Centro Imelev).

El registro de mamíferos marinos se realizó prácticamente en toda el área de monitoreo, con una mayor frecuencia de registros de *O. flavescens* y una escaza aparición de *L. australis*. Las actividades que las especies desarrollaban al momento de su registro fueron "tránsito" y "descanso". Los ejemplares fueron registrados en los biotopos Litoral Marino con un total variable de ejemplares por localidad y jornada del día.

La **Tabla 112** detalla la posición y abundancia asociadas a cada registro. La **Figura 150** proporciona algunos registros fotográficos logrados durante la prospección de terreno. Referente a los mustélidos, la prospección del territorio colindante a la zona de influencia, no registró la presencia directa de nutrias (*Lontra spp*) ni tampoco indicios indirectos de su presencia (huellas, madrigueras, raspaderos, fecas).

La baja frecuencia de registros, respecto del número de estaciones, no permite el cálculo de indicadores ecológicos o la elaboración de gráficas de clasificación, ordenación. La **Figura 151** geo-referencia, de forma gráfica, la distribución espacial de la abundancia y riqueza registrada para la componente mamíferos marinos. Mencionada figura muestra también el atributo abundancia de forma proporcional, mediante gráficos de torta, de acuerdo a los aportes de cada especie, en cada punto de registro. De esta manera, se presenta un gradiente de tamaño de cada uno de los gráficos de acuerdo a la mayor o menor abundancia total registrada.

Los resultados arrojan para la especie *O. flavescens* una mayor frecuencia de registros en el sector piloto respecto del sector control. Situación contraria se obtiene para la especie *L. australis*, donde la mayor abundancia y frecuencia de registros correspondió al sector control.

Tabla 112. Registro de especies y ejemplares de mamíferos marinos en el área de estudio, con detalle del uso de biotopo. LM: Litoral Marino sector sur del archipiélago de Chiloé.

Taxa	Nombre Común	Puntos de Registro	Cordenadas (UTM)		Biotopo	Monitoreo 2015		
			E	N		Nº Ejemplares	Jornada	Actividad
Otaria flavescens	Lobo comun	E1	627382	5230542	LM	1	AM	Descanso
					LM	0,3	PM	Transito
		E4	624382	5233332	LM	0,3	AM	Transito
					LM	0,7	PM	Transito
		TMC	633236	5241057	LM	1	AM	Transito
		EC1	630593	5241378	LM	0,7	AM	Transito
		EC2	632343	5240282	LM	0,7	AM	Transito
					LM	0,3	PM	Descanso
		EC3	634639	5238977	LM	0,3	AM	Descanso
Lagenorhynchus australis	Delfín Austral	E3	625887	5232482	LM	1	AM	Transito
		EC2	632343	5240282	LM	3,7	PM	Descanso

Figura 150. Registro gráfico de mamíferos marinos registrados en el área de estudio, Donde: A-B-C: Delfín Austral; D: Lobo Común.

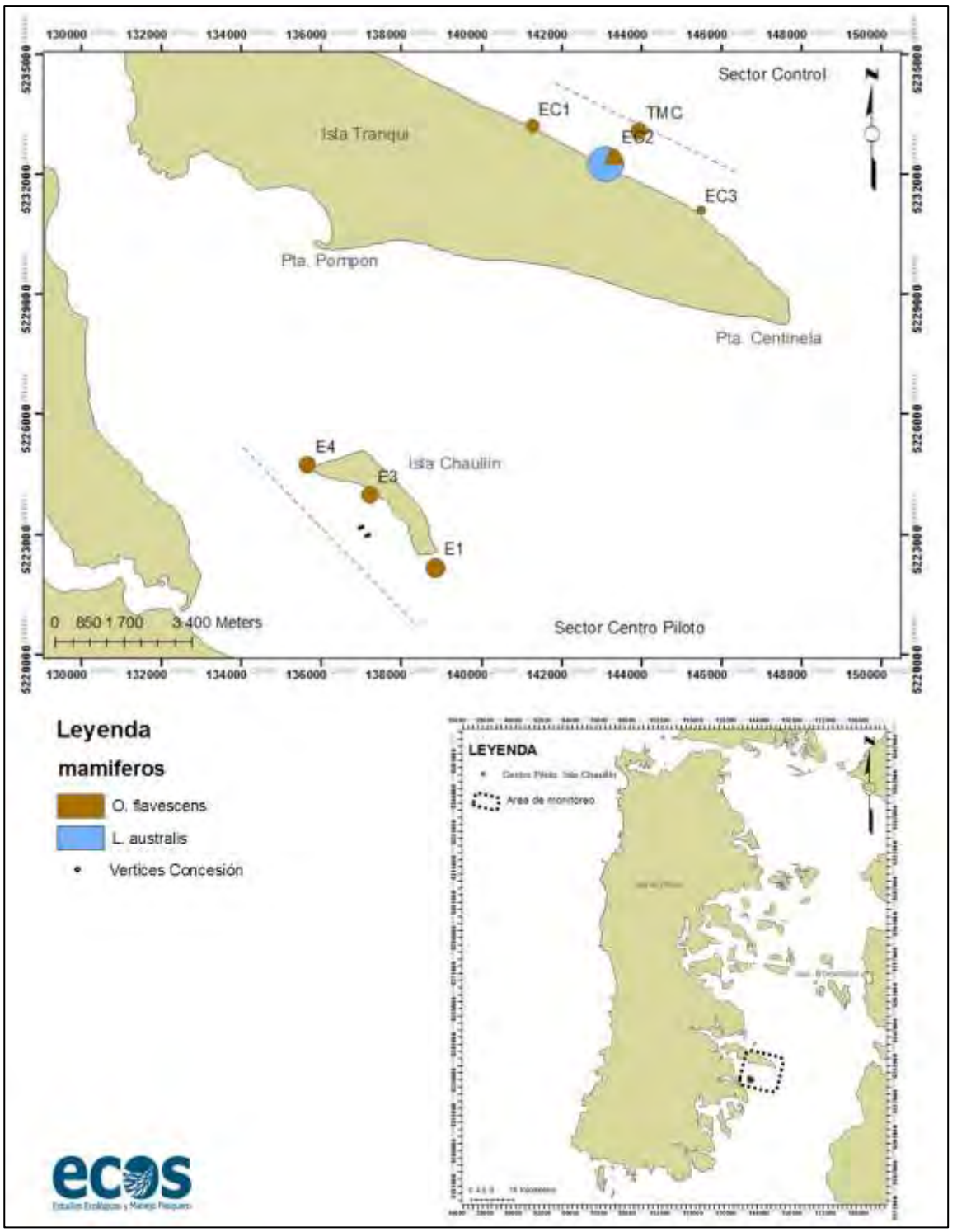


Figura 151. Abundancia de las especies de mamíferos marinos registradas en el área de estudio, según metodologías y tipo de objetivos descritos. Sector

Estado de conservación fauna marina. Ambos sectores monitoreados

En la **Tabla 113**, se indican las especies de aves y mamíferos registrados durante el conjunto del monitoreo respecto a su carácter, ubicación y estado de conservación según la Ley de Caza, la Lista Roja de la IUCN y el Reglamento de Clasificación de especies (RCE) de acuerdo a sus nueve procesos de clasificación (D.S. Nº 13/2013). De manera complementaria se detalla el registro de las especies presentes en alguno o ambos centros de cultivo, ya sea en actividades de tránsito (sobrevolando las instalaciones del centro), descanso (sobre estructuras flotantes), alimentación, entre otras.

Tabla 113. Listado de especies registradas y su estado de conservación (sectores monitoreados en la zona norte y sur del archipiélago de Chiloé).

ORDEN	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	Estado de Conservación			Origen	Registro en Centro Piloto Norte	Registro en Centro Piloto Sur
			Reglamento Ley de Caza (1998)	IUCN ver. 3.1	RCE (DS.13/2013)			
AVES								
Passeriformes								
	Phrygilus patagonicus	Cometocino patagonico	---	LC	---	Nativo	✓	
	Cinclodes patagonicus chilensis	Churrete común	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Troglodytes aedon chilensis	Chercan	---	LC	---	Nativo		✓
	Sicalis luteola	Chirihue	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Zonotrichia capensis	Chincol	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Diuca diuca	Diuca	---	LC	---	Nativo	✓	
	Tachycineta meyeni	Golondrina chilena	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Turdus falcklandii magellanicus	Zorzal	---	LC	---	Nativo	✓	
Suliformes								
	Phalacrocorax magellanicus	*Cormorán de las Rocas*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Phalacrocorax brasilianus	*Cormoran Yeco*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Phalacrocorax articeps	*Cormorán antártico*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Sula variegata	*Piquero*	I	LC	IC	Nativo	✓	
Charadriiformes								
	Larus dominicanus	*Gaviota dominicana*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Chroicocephalus maculipennis	*Gaviota Cahuil*	---	---	---	Nativo	✓	✓
	Leucophaeus scoresbii	*Gaviota austral*	---	LC	---	Nativo		✓
	Sterna hirundinacea	*Gaviotin Sudamericano*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Haematopus ater	*Pilpilen negro*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Haematopus palliatus palliatus	*Pilpilen común*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Vanellus chilensis	*Queltehue*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Arenaria interpres	*Playero vuelvepiedras*	---	LC	---	Nativo		✓
	Calidris bairdii	*Playero de Baird*	---	LC	---	Nativo	✓	
	Stercorarius chilensis	*Salteador chileno*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Numenius phaeopus	*Zarapito*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
Pelecaniformes								
	Pelecanus thagus	*Pelicano*	---	**NT**	---	Nativo	✓	✓
	Nycticorax nycticorax	*Huairavo*	---	LC	---	Nativo	✓	
	Theristicus melanopis	*Bandurria*	F	LC	FP	Nativo	✓	✓
Falconiformes								
	Milvago chimango	*Tiuque*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Caracara plancus	*Traro*	---	LC	---	Nativo	✓	
	Falco sparverius cinnamominus	*Cernícalo*	---	LC	---	Nativo	✓	

Continuación Listado de especies registradas y su estado de conservación (sectores monitoreados en la zona norte y sur del archipiélago de Chiloé).

Procellariiformes								
	Thalassarche melanophrys	*Abatros Ceja Negra*	---	**NT**	---	Nativo	✓	✓
	Fulmarus glacialoides	*Petrel plateado*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Puffinus griseus	*Fardela negra*	---	**NT**	---	Nativo	✓	✓
	Macronectes giganteus	*Petrel Gigante antártico*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Oceanites oceanicus	*Golindrina de Mar*	---	LC	---	Nativo	✓	
	Pelecanoides garnotii	*Yunco*	**V**	**EN**	**V**	Nativo		
Cathartiformes								
	Coragyps atratus	*Jote cabeza negra*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
	Cathartes aura	*Jote cabeza colorada*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
Apodiformes								
	Sephanoides sephaniodes	*Picaflor*	---	LC	---	Nativo	✓	✓
Anseriformes								
	Tachyeres pteneres	*Quetro no volador*	**---**	LC	**---**	Nativo	✓	✓
	Chloephaga hybrida	*Caranca*	**---**	LC	**---**	Nativo		✓
	Cygnus melancoryphus	*Cisne cuello negro*	**P**	LC	**EN (VIII-X)**	Nativo	✓	
	Anas flavirostris flavirostris	*Pato jergón chico*	---	LC	---	Nativo	✓	
Sphenisciformes								
	Spheniscus magellanicus	*Pingüino de magallanes*	---	**NT**	---	Nativo	✓	✓
Psittaciformes								
	Enicognathus leptorhynchus	*Cotorra, Choroy*	**V**	LC	**VU(VIII-X)**	Nativo		
MAMIFEROS								
Carnivora (Otariidae)								
	Otaria flavescens	*Lobo común*	---	LC	FP	Nativo	✓	✓
Cetacea (Delphinidae)								
	Cephalorhynchus eutropia	*Delfín chileno*	---	**NT**	**VU(X al norte)**	Nativo	✓	
	Lagenorhynchus australis	*Delfín austral*	---	DD	**VU**	Nativo	✓	

IUCN: V: Vulnerable; R: Rara; I: Inadecuadamente conocida; P: En Peligro; LC: De menor consideración; NT: Cerca de amenaza; EN: En Peligro; DD: Insuficientemente conocida.

RCE: CR = En peligro crítico; DD = Datos insuficientes; EN = En Peligro; EW= Extinta en estado silvestre; EX = Extinta; FP = Fuera de Peligro; IC = Insuficientemente Conocida; LC = Preocupación menor; NT = Casi amenazada; R = Rara; VU = Vulnerable.

LEY de CAZA: P= especie catalogada como en Peligro de Extinción; V= especie catalogada en estado de conservación Vulnerable; R= especie catalogada como Rara; I= especie catalogada como Escasamente o Inadecuadamente Conocida; F= especie catalogada como Fuera de Peligro.

El presente estudio registró la presencia de 47 especies, entre aves y mamíferos marinos, de ellas 9 taxa están asociados a alguna categoría de conservación con algún grado de sensibilidad, de acuerdo a los criterios considerados en la **Tabla 113**.

Las especies *Pelecanus thagus* (Pelicano), *T. melanophrys* (Albatros de ceja negra), *Puffinus griseus* (Fardela negra) y *Spheniscus magellanicus* (Pingüino de Magallanes), se encuentran catalogadas como "Cerca de amenaza" (NT), de acuerdo a los criterios de la IUCN en su versión 3.1. Sin embargo estas especies no se asocian a criterios de conservación sensibles de acuerdo a la ley de caza y el reglamento de clasificación de especies (RCE).

Pelecanoides garnotii(Yunco) se cataloga como especie Vulnerable, según la ley de caza y el reglamento de clasificación de especies; mientras que según la IUCN en su versión 3.1, se cataloga como especie En Peligro. La especie presenta una distribución, en Chile, desde Arica a Corral (Valdivia), con un

hábitat ligado a la corriente de Humboldt e islas cercanas a la costa. En Chile nidifica en islas, congregándose en grandes colonias de nidificación entre Arica y la región del Biobío.

Cygnus melancoryphus (Cisne de cuello negro) se cataloga como especie En Peligro, según la ley de caza y el reglamento de clasificación de especies; mientras que según la IUCN en su versión 3.1, se cataloga como especie de menor consideración (LC). Presenta una distribución, en Chile, desde Coquimbo a Cabo de Hornos, con una distribución accidental en Atacama e Isla Robinson Crusoe. La especie preferentemente se asocia a un hábitat ligado a lagos, lagunas, desembocadura de ríos. En Chile nidifica en sectores de pajonales vinculados a lagunas o lagos.

Enicognathus leptorhynchus (Choroy) se cataloga como especie Vulnerable, según la ley de caza y el reglamento de clasificación de especies; mientras que según la IUCN en su versión 3.1, se cataloga como especie de menor consideración (LC). Su distribución en Chile corresponde al Valle de Aconcagua hasta la isla de Chiloé, con una distribución ocasional hasta Aysén.

El delfín chileno (*C. eutropia*), se encuentra catalogado como "Cerca de amenaza" (NT), de acuerdo a los criterios de la IUCN en su versión 3.1.; y en calidad de especie "Vulnerable" (V) según el Reglamento de Clasificación de especies (RCE). La especie habita en dos áreas distintas, la costa abierta, bahías y estuarios desde Chiloé hacia el Norte, donde se han observado las mayores agregaciones de delfines (Goodall *et al*. 1988); y la región de canales entre Chiloé y Cabo de Hornos (Goodall 1994). Se considera una especie costera ya que la mayoría de los avistamientos se han realizado cerca de ésta, sin embargo, existe muy poco esfuerzo de observación en aguas oceánicas (Goodall 1994). A pesar de la extensión del área de distribución, esta se cree que es fragmentada y en parches, siendo más frecuente al sur de Valdivia (Goodall 1994).

El delfín austral (*Lagenorhynchus australis*), se encuentra catalogado en situación de "Insuficientemente conocida" (DD) de acuerdo a los criterios de la IUCN en su versión 3.1 y en calidad de especie "Vulnerable" (VU) según el Reglamento de Clasificación de especies (RCE). Este cetáceo encontrado alrededor de la costa de Chile, también es conocido como delfín nariz de botella del sur y ha sido perseguido y utilizado como carnada por los pescadores artesanales de la zona austral, tanto en Magallanes como en Tierra del Fuego meridional se han arponeado para ser usado como cebo de

cangrejo desde los años 70, lo que provocó una fuerte reducción de sus poblaciones.

De acuerdo a los criterios de la IUCN en su versión 3.1., los demás taxa registrados en el área de estudio son considerados como LC (de menor consideración), por lo tanto su presencia adquiere una menor relevancia en la zona de influencia del proyecto. Por otra parte el artículo Nº6 del título II de la Ley de Caza Nº4.601, sustituida por la ley Nº19.473 y sus modificaciones al reglamento por el decreto supremo Nº5 de 1998; y Nº65 de noviembre de 2013 (con fecha del 7 de enero de 2014, según contraloría); no presentan una situación o condición de conservación para el resto de las especies registradas en el presente monitoreo.

Comparación de niveles de diversidad y composición de la avifauna entre sectores de monitoreo piloto

Escalamiento multidimensional no métrico (Comparación entre sectores)

El NMDS permitió ordenar en un espacio de dos dimensiones las estaciones de sectores piloto monitoreados (**Figura 152**), la configuración resultante se clasifico como útil, generando un valor de estrés de 0,1, es decir que la representación multivariada se ajusta a la matriz de datos originales.

En el N-MDS se observó que las estaciones de monitoreo de cada sector piloto monitoreado no se agrupan formando grupos distintos.

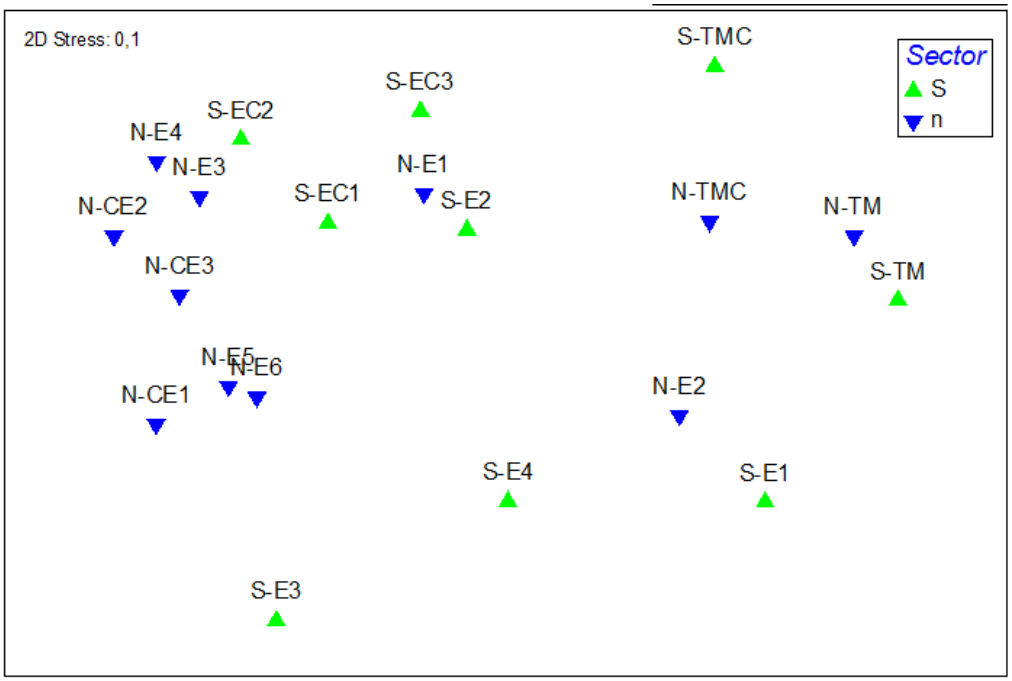


Figura 152. Análisis de ordenación no paramétrica (NMDS) de las estaciones de muestreo avifauna. Factor Sector Piloto. TM: Transecta marina; C: Control, E: Estación en tierra.

Análisis de similitud

Las conclusiones derivadas del análisis de ordenación fueron validadas con la prueba ANOSIM, cuyos resultados son entregados en la **Tabla 114.** La prueba indicó la ausencia de grupos.

Tabla 114. Resultados de análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para validad diferencias significativas entre sectores de muestreo piloto.

Prueba Global	
Valor del estadístico R	0,095
Nivel de significancia estadística obtenido (%)	9,9
Nivel de significancia estadística de rechazo (%)	5
Número de permutaciones realizadas (R')	999
Frecuencia de R'>R	98

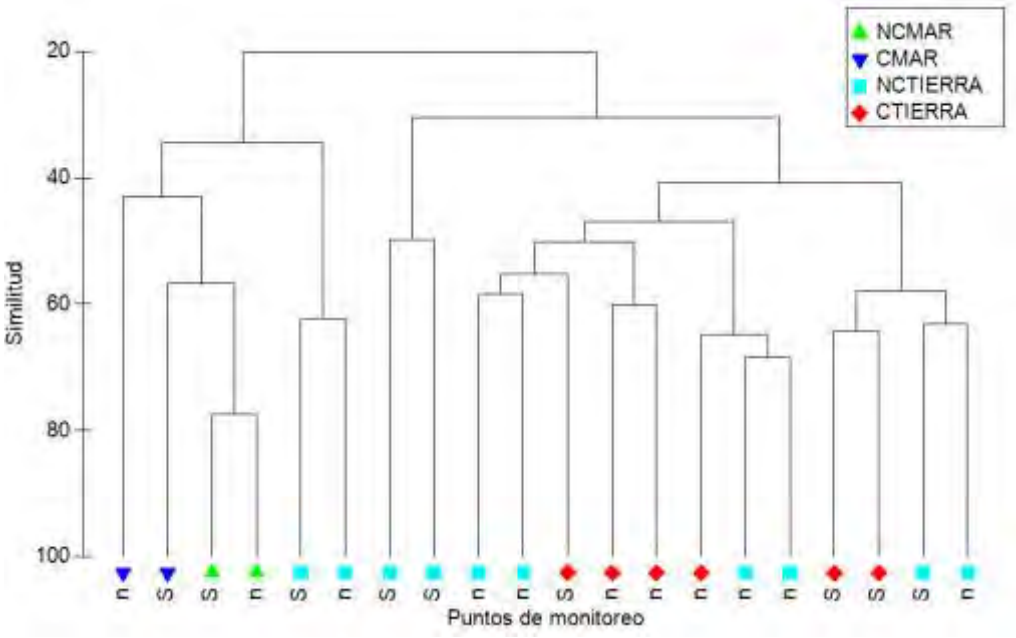


Figura 153. Análisis cluster composición avifauna entre sectores y puntos de monitores. N: Sector Norte; S: Sector Sur; C: Estaciones control, NC: Estaciones asociadas al centro de cultivo, Mar: Transecta marina, Tierra, Punto en tierra.

Al examinar el análisis cluster se observan que independiente del sector de monitoreo las estaciones orientadas a monitorear los biotopos en tierra son similares, por su parte un segundo grupo conformado principalmente por las estaciones afectadas en mar presentan similitudes en la avifauna en torno al 40% (**Figura 153**). Estos valores fueron validados a través de un ANOSIM cuyos resultados indican que se observan diferencias entre puntos de monitoreo Transectas Marinas vs Puntos en tierra (E) (R: 0,55 ; p: 1,5).

5.4.4. Protocolo de monitoreo para evaluar la modificación de la estructura comunitaria por efecto de la actividad acuícola

5.4.4.1. Antecedentes

La acuicultura en Chile ha crecido enormemente durante las últimas décadas, registrándose para el año 1990 cosechas de 71.000 toneladas para el total de los centros de cultivo en el país, y llegando a sobrepasar el millón de toneladas el año 2012 (SERNAPESCA 2013).

En términos del impacto provocado por la actividad acuícola en el ambiente natural circundante, se señala que estos han afectado tanto a la columna de agua como a los sedimentos y a las especies que integran las comunidades que allí habitan (Buschmann 2001; Tett, 2008; Buschmann *et al*., 2009).

Los numerosos efectos negativos sobre los ecosistemas intervenidos, se han generado a través de 3 procesos generales: la utilización de recursos, el proceso de transformación y, el desarrollo del producto final (Buschmann 2001, Figueroa & Calfucura 2008). Dentro de los numerosos efectos generados, está la extracción masiva de organismos usados como alimento en la acuicultura, principalmente peces para generar aceite y harina (Figueroa & Calfucura 2008). Por otro lado, está la contaminación de ambientes producto de alimentos no consumidos y desechos generados por parte de los recursos cultivados, alterando tanto los sedimentos como la columna de agua (Soto & Norambuena 2004, Buschmann *et al*. 2006). En este sentido, la mayor proporción del nitrógeno que es liberado al medio ambiente acuático procedente de la excreción de los salmones en cautiverio permanece disuelto en la columna de agua dando origen a un mayor crecimiento de microalgas (Troell *et al*. 1997), por otra parte el aumento de la materia orgánica en los sedimentos marinos, ocasionado por los restos de alimento y heces que precipitan al fondo ha llevado, al igual que en los fondos de aguas continentales, a condiciones de reducción del contenido de oxígeno y procesos de eutroficación.

En Chile, con el fin de determinar el área de impacto de la actividad de acuicultura, se han utilizado modelos de dispersión de sólidos (Depomod) y dispersión de alimento y material fecal (Ecuación de Gowen) en sistemas de producción máxima de 4.000 toneladas, entregando resultados que indican que fuera de los 300 a 350 metros a la redonda podemos encontrar áreas libres de impacto. Al analizar la información de las INFAS de 830 centros de la X región entre los años 2007 y 2013, se logró determinar que el 95% de

los centros generaron un área de impacto menor a 500 metros(Vidal *et al*. 2015). Por otro lado, a nivel internacional los estudios indican que las estaciones de referencia deberían estar ubicadas entre 300m y 1.000m de distancia respecto de los módulos de producción (Borja *et al* 2009; SEPA 2008; Carroll *et al* 2003, Fernández 2001).

En base a estos antecedentes se implementó un monitoreo piloto orientado en la evaluación y seguimiento de la biodiversidad asociada a centros de salmonicultura. Los resultados preliminares muestran alteraciones evidentes en la estructura comunitaria de las componentes de avifauna y comunidades bentónicas, donde además es posible identificar especies indicadoras a la perturbación y que generan un tipo de respuesta esperado, concordante con los antecedentes revisados en la búsqueda bibliográfica.

En el caso de las componentes del fitoplancton y mamíferos marinos, el monitoreo propuesto no logra evidenciar alteraciones, lo que es esperado ya que estos gruposrequieren de un análisis con una escala de espacio y tiempo mayor. Empero, la información levantada revela la necesidad de implementar un monitoreo de esta variables para construir una base de información que permita abordar análisis integrales en escala de espacio y tiempo mayores a los establecidos por el presente monitoreo.

El presente documento constituye un marco metodológico para la evaluación y seguimiento de acciones modificadoras en la estructura comunitaria por efecto de la actividad acuícola, en específico de la salmonicultura, con énfasis en la dinámica de los grupos de especies claves definidas en el desarrollo de los objetivos del proyecto.

Antecedentes macrofauna bentónica de fondos blandos

Actualmente los Informes Ambientales (INFAS) están definidos en el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA), como un informe que debe contener los antecedentes ambientales de un centro de cultivo en un período determinado (RAMA, Art 2 letra p) y tienen como objetivo detectar la evolución de la calidad ambiental del fondo marino asociado a las concesiones de acuicultura, según parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento en estaciones de muestreo y referencia.

En virtud de los antecedentes, de acuerdo a la normativa vigente los efectos biológicos de la producción acuícola en el ambiente se miden de acuerdo al análisis de macrofauna bentónica en aquellos centros de cultivo ubicados en sectores con sustrato blando; y la presencia de Beggiatoa, para centros de cultivo ubicados en sectores con sustrato duro o semiduro con profundidades

menores a 60 metros (Res Ex 3612, Art 15 letra e ii), mediante la grabación subacuática por todo el perímetro de los módulos de cultivo seleccionados. (Res Ex 3612, Art 16 letra h).

Los límites de aceptabilidad indicados en la Res. Ex. 3612/2009 son los siguientes:

Tabla 115. Límites de Aceptabilidad condición aeróbica (Res Ex. 3612/2009)

Variable	Límite aceptabilidad condición aeróbica
Materia Orgánica	≤ 9%
pH	≥ 7,1
Eh (Redox)	≥ 50 mV
Oxígeno disuelto (1 m fondo)	≥ 2,5 mg/L
Registro visual	Ausencia de cubiertas de microorganismos visibles y/o burbujas de gas
CPS	Condición anaeróbica se constatará si se incumplen los límites de aceptabilidad de cualquiera de las variables en a lo menos el 30% de las estaciones determinadas para el sector solicitado o modificación
INFA	Condición anaeróbica se constatará si se incumplen los límites de aceptabilidad de cualquiera de las variables en a lo menos 3 de las 8 estaciones (o 2 de 6 en concesión menor a 6 hectáreas). Para oxígeno disuelto, en al menos 30% de perfiles

Referente a los centros de cultivo ubicados en sectores con sustrato blando la metodología está enfocada a la evaluación de resultados de 8 estaciones con 3 réplicas en la zona de impacto del cultivo cercanos a él o los dos módulos de cultivo con máxima biomasa acumulada durante el año calendario o ciclo productivo, según corresponda (Res. Ex. 3612,Art 16 letra b), además en cada centro de cultivo se deben establecer dos estaciones de

referencia para el muestreo bentónico (Res Ex 3612, Art 16 letra e). El criterio de selección existente se basa en la posición de las 8 estaciones "alrededor del módulo", quedando las estaciones de referencia sin ningún criterio establecido.

Respecto a la ubicación de las unidades de monitoreo, la Res. Ex. 3612 indica que las coordenadas de las estaciones de muestreo, de las estaciones de referencia y de los vértices de los módulos de cultivo, deben ser determinados al momento del muestreo con un Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS) que tenga una precisión mínima de 10 metros.

Reviste especial interés la generalidad en el criterio de selección de puntos de monitoreo, ya que si bien es cierto que durante las faenas de obtención del material biológico en terreno existe una necesidad práctica vinculada a las condiciones climáticas y de mar, debiese implementarse una planificación clara respecto de una estructura inicial, que puede estar sujeta a variaciones de acuerdo a las condiciones de terreno, dentro de un marco permitido. Esta estructura debiese además incluir la variable oceanográfica, modelación Depomod, entre otras consideraciones a momento de planificar el levantamiento de información. La estandarización de los protocolos permite la comparación y contrastación de los resultados de manera más fidedigna e idónea.

La información levantada durante este proyectodeja en evidencia la visible sensibilidad de la componente biológica, haciendo hincapié en la importancia de incluir estudios estandarizados durante el desarrollo de las CPS e INFAS, u otro programa de carácter complementario.

Antecedentes monitoreo de aves y mamíferos marinos

Actualmente los Informes Ambientales (INFAS) como los estudios asociados a la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) no contemplan estas componentes biológicas. Solo en el sistema de evaluación ambiental, particularmente en las declaraciones de impacto ambiental ligadas a proyecto de relocalización de concesiones acuícolas; se solicita un estudio de diversidad marina en el cual se incluyen las componentes aves y mamíferos marinos. Los antecedentes disponibles indican que la solicitud por parte de la autoridad sectorial a incluir la componente Aves y Mamíferos comienza el 2013, la cual es incluida como un anexo a la información general, que hasta la fecha no se ha reglamentado bajo una metodología estándar.

La información levantada durante la ejecución del presente proyectodeja en evidencia la manifiesta sensibilidad de las aves, por lo que se hace hincapié

en la importancia de incluir estudios estandarizados durante el desarrollo de las CPS e INFAS, u otro programa de carácter complementario.

Es importante mencionar que en la organización del monitoreo de aves y mamíferos, se contempla como punto objetivo, la descripción de biotopos cercanos al centro que se desea evaluar. Como parte de esta descripción y considerando que las macroalgas pueden ser una componente importante que puede sufrir modificaciones por perturbaciones provenientes de la industria acuícola, se propone que en la descripción de biotopos se haga especial énfasis en la identificación de las algas que están dominando los biotopos costeros,ya que esto puede ser una aporte más en los análisis generales de la información, debiendo poner atención en la existencia de algas invasoras y/o colonizadoras como *Codium fragile*o el reemplazo de algas complejas (Laminariales, fucales o Rodófitas del grupo que genéricamente se catalogan como lugas) por algas verdes filamentosas o algas rojas de baja complejidad estructural.

5.4.4.2. Insumos humanos y materiales para el desarrollo del monitoreo

a) Componente macrofauna

Personal idóneo

El levantamiento de información en terreno debe ser realizado por un biólogo Marino o profesional afín, especialista en comunidades bentónicas. En chile al no existir una certificación formal en esta especialidad vinculada a institutos o universidades, se recomienda que el profesional tenga experiencia comprobable, de al menos 2 años, en la componente biológica objetivo, ya sea a través de publicaciones científicas, estudios de investigación estatal o estudios ligados a lineamientos base del sistema de evaluación ambiental, entre otros.

Materiales para la toma de muestras de la componente Macrofauna

- Draga 0,1 m2 peso entre 40 y 50 kg
- Winche
- Set de tamices de 1mm y 0,5 mm
- Formalina
- Pinzas
- Pizeta

- Rótulos
- Recipientes y/o bolsas con cierre hermético para deposita sedimento retenido en tamiz
- GPS
- Planillas de terreno
- Lápiz
- Contenedor para almacenar las muestras

Materiales y equipos para análisis de muestras en laboratorio

- Lupa estereoscópica con un requisito mínimo de aumento de 90X
- Microscopio estándar con aumentos de 5x, 10x, 40x y 100x.
- Material de disección
- Claves taxonómicas, según bibliografía
- Alcohol
- Formalina
- Balanza analítica con un requisito mínimo de 4 cifras significativas.

b) Componente Aves y mamíferos marinos

Personal idóneo

El levantamiento de información en terreno debe ser realizado por un biólogo marino o profesional afín, especialista en aves y mamíferos marinos. En chile al no existir una certificación formal en esta especialidad vinculada a institutos o universidades, se recomienda que el profesional tenga experiencia comprobable, de almenos 2 años, en las componentes biológicas objetivo, ya sea a través de publicaciones científicas, estudios en estas categorías ligado a lineamiento base en el sistema de evaluación ambiental, entre otros.

Materiales

- Embarcación
- Binoculares
- Cámara fotográfica
- GPS
- Contador manual
- Planillas de terreno
- Lápiz
- Especialista con experiencia comprobable

5.4.4.3. Criterios para el posicionamiento de estaciones de muestreo y referencia

a) Componente macrofauna

Después de analizar la información reglamentaria, los antecedentes bibliográficos y los resultados preliminares del monitoreo piloto del presente proyecto. Para caracterizar las condiciones del fondo en el área de interés y conocer su comportamiento a lo largo del gradiente de impacto, se propone, el establecimiento de 10 estaciones de monitoreo con 3 réplicas por estación. En cada una de ellas se deberán realizar análisis de Materia Orgánica, Granulometría, pH, Potencial Redox y Macrofauna Bentónica, con el fin analizar sus relaciones. Estas estaciones serán posicionadas en tres ejes separados en un ángulo aproximado de 120°. En cada eje se deben fijar tres estaciones (una para cada zona): Zona 1: lo más cercano al módulo hasta 50 metros, Zona 2: entre 50 y 200 metros del centro, Zona 3: entre 200 y 600 metros del centro. La **Figura 154** presenta una zonificación esquemática del área de influencia, mientras que la **Figura 155** presenta un esquema de la distribución de los ejes y posicionamiento de las estaciones de monitoreo para cada zona.

Por otro lado, la estación de referencia debe estar ubicada a una distancia mínima de 1000 metros medidos desde el centro, en contra de la dirección de corriente más predominante establecida en la CPS. Se recomienda que la estación de referencia sea definida por la Autoridad, considerando el factor (en lo posible) de no estar cercana a otra fuente contaminante, en este sentido una alternativa podría ser la generación de una red de estaciones de referencia que se evalúen de forma paralela al monitoreo propio del INFA.

Para la ubicación de las estaciones de monitoreo se deberán considerar los siguientes elementos:

- Las estaciones de muestreo deberán situarse, siguiendo un gradiente de distancia respecto de los módulos del centro de cultivo. De esta forma se establecerán estaciones dentro de la concesión acuícola, en las inmediaciones de la misma, así como en lugares de mayor lejanía.
- Las estaciones de muestreo y referencia deben presentar profundidades y características de sedimentos similares.
- Las estaciones de referencia no deben ser influenciadas, en lo posible, por otra fuente de contaminación.
- La disposición de la estación de referencia debe tomar en consideración (cuando existan) las características oceanográficas de

la zona de estudio (corrientes principales, flujos de marea, otras fuentes de contaminación, entre otros aspectos).

- Cada estación debe georeferenciarse en coordenadas UTM y geográficas, referidas al Datum WGS 84 y en la zona correspondiente según la longitud (huso 18 o 19).
- El criterio de selección referente al número de unidades de muestreo consideradas, así como la distancia de cada una respecto del área de concesión, se detalla según componente ambiental considerada.

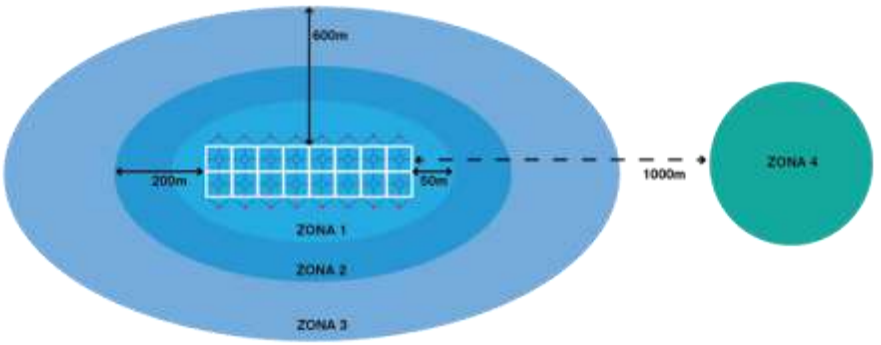


Figura 154. Zonificación esquemática del área de influencia.

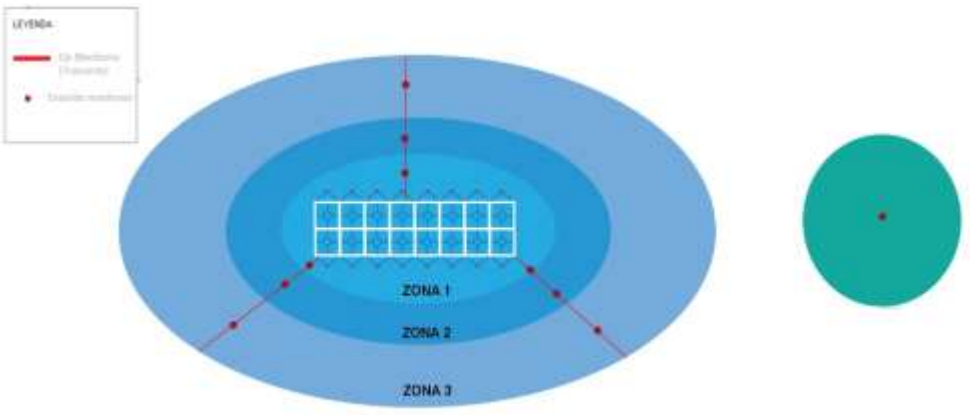


Figura 155. Esquema de distribución de ejes y estaciones de muestreo para ambiente submareal blando.

b) Componente Aves y mamíferos marinos

En función de las particularidades del área de monitoreo, se definen límites geográficos dentro de los cuales se dispondrán las estaciones. Es pertinente considerar la existencia de sitios de importancia ecológica cercanos al área de instalación u operación del proyecto objetivo, especialmente si tienen alguna condición legal de protección o si están definidos como sitios prioritarios en la estrategia regional de biodiversidad.

Estos sitios de interés, son considerados como puntos de alta abundancia, alta diversidad o sitios diferenciales capaces de contener especies distintas a las comúnmente registradas dentro del área total de monitoreo.

Es preciso definir la zona de influencia del proyecto objetivo, de acuerdo a la información técnica que proporcionen los especialistas vinculados a esta área.

Los criterios de decisión en la definición de lejanía o cercanía de un proyecto, respecto a un potencial sitio de interés ecológico; tiene un espectro cualitativo jerárquico, definido por el o los profesionales encargados, los cuales vincularán los alcances operacionales del proyecto en virtud de la ontogenia y etología de las componentes ambientales evaluadas (aves y mamíferos).

La selección de los sitios de interés debe realizarse de acuerdo a una revisión bibliográfica constituyendo de esta manera una selección *a priori*, la cual se contrastará con la información de terreno. En segunda instancia se levantará información durante la prospección del terreno en donde se caracterizará toda el área de estudio de acuerdo a los siguientes criterios o factores para la selección:

- Condiciones geomorfológicas específicas del área de estudio.
- Potenciales focos de atracción de aves existentes en el borde costero, tales como Caletas de Pescadores Artesanales, Puertos, Ductos, Desagües, islotes, estuarios, humedales, basurales, entre otros.
- Potenciales focos de atracción de mamíferos marinos existentes en la porción de costa analizada, tales como islotes, requeríos, puertos, caletas de pescadores, zonas de pesca, entre otros.
- Existencia de biotopos diferenciales considerados como sitios potenciales de albergar fauna posible de desplazarse al interior de la zona de influencia.

- Estado actual del conocimiento sobre la composición, estructura y organización ecológica de las comunidades animales del área.

Adicionalmente a la definición del número y posición de sitios de interés ecológico, se definirán unidades de monitoreo diferentes para la evaluación del área de influencia del proyecto objetivo.

En proyectos marino costeros, se definirán 2 unidades de monitoreo diferentes. La primera unidad de monitoreo corresponde a estaciones costeras o puntos de observación en tierra. Se definirán de forma a priori entre 5 y 7 estaciones de observación costera, quedando sujeto el número final a las características particulares del sector y/o proyecto en particular. La posición de cada estación de monitoreo o punto de avistamiento se establecerá de manera equidistante, aproximadamente cada 500 metros, lo que presentará ciertas variaciones de acuerdo a las características particulares del terreno. De esta manera quedara una estación de monitoreo frente al centro, con tres estaciones a cada lado distanciadas a 500 m, 1000 m y 1500 m respecto del centro de cultivo o concesión evaluada (**Figura 156**).

La segunda unidad de monitoreo consistirá en la implementación de una transecta marítima que abarque al menos el 500% del margen de costa que utiliza el proyecto objetivo, con un óptimo del 1000%. De esta forma el margen de costa utilizado por al proyecto objetivo, corresponderá al 20% o 10% del área total monitoreada. Ej: si se trata de una concesión acuícola cuyos vértices paralelos a la costa presentan una distancia de 300 m; la transecta marítima debiese presentar una extensión igual o mayor a 1,5 km; con un óptimo de 3 km.

Se recomienda que la disposición de la transecta sea dispuesta, en lo posible, manteniendo un gradiente de distancia respecto del centro, es decir que el comienzo de ella comienza muy cercana al centro y que el fin de la misma quede en el punto más alejado.

De esta forma el sector de monitoreo se caracterizará de acuerdo a unidades muestrales terrestres (estaciones costeras), unidades marítimas (transecta marina) y sitios de interés ecológico (estaciones costeras o marinas según corresponda). De no existir porción de tierra o sitios de interés ecológico, solo se consideran las unidades posibles. Así mismo si la porción de tierra no presenta una extensión suficiente, se implementa un menor número de estaciones costeras, siguiendo el mismo esquema que el antes expuesto.

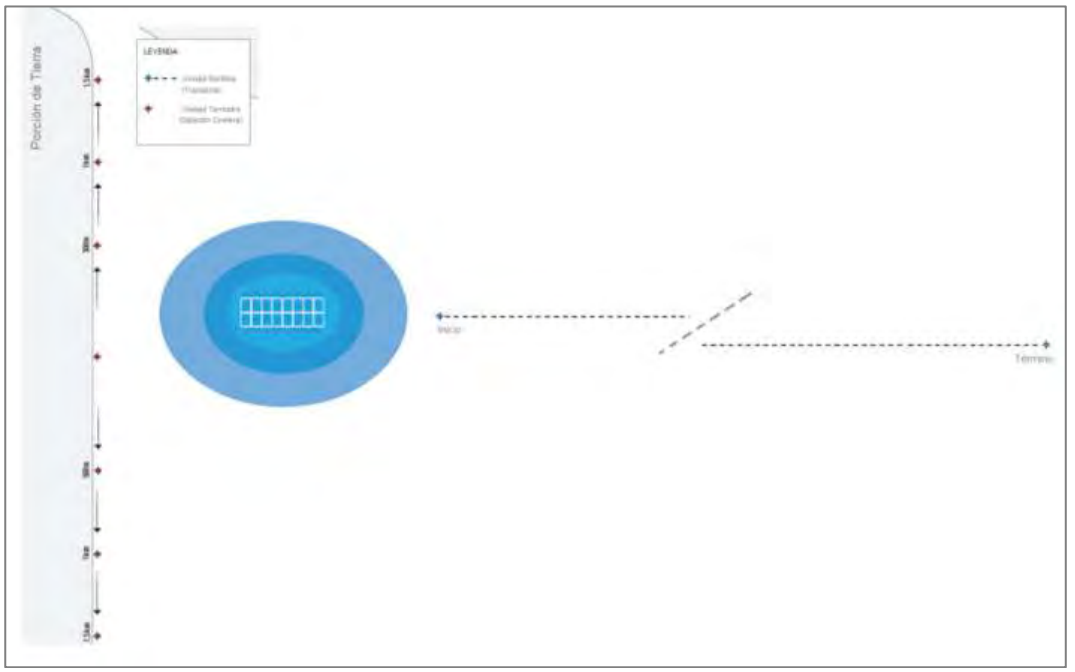


Figura 156. Esquema de distribución de estaciones de muestreo para comunidades de aves y mamíferos marinos.

5.4.4.4. Procedimiento de terreno y laboratorio

a) Componente macrofauna

Procedimiento obtención muestras en terreno

Las muestras de sedimentos, deberán ser obtenidas con una draga de 0,1m^2 de mordida, con mecanismo de abertura en la parte superior (para la toma de muestras destinadas a los análisis fisicoquímicos del sedimento), la cual deberá tener un peso entre 40 y 50 kg con el fin de lograr una penetración adecuada. Para este fin se utilizará un huinche oceanográfico equipado con un motor con el fin de controlar el descenso. Para esto el cable o cabo debe mantenerse vertical para garantizar que la draga toque y se entierre en el fondo de manera óptima.

Una vez la draga cerrada en la embarcación se debe trabajar con el máximo cuidado con el fin de no perder parte de la muestra. La draga debe ser lavada entre estaciones de monitoreo.

Tratamiento de las muestras

Se debe tratar de minimizar los pasos entre la toma de muestra y el análisis de la muestra, para esto se recomienda el tamizaje en terreno, en lo posible a bordo de la embarcación, para esto se recomienda utilizar un tamiz de 1 mm. El tamaño del tamiz deberá ser de mínimo 30 x 30 cm y un alto de 20 cm con el fin de evitar la colmatación, los organismos grandes deberán ser colectados inmediatamente con el fin de evitar su deterioro. Cada réplica debe ser separada y almacenada separadamente.

Si no es posible el tamizaje a bordo de la embarcación, se debe realizar en tierra en no más de 24 horas de tomada la muestra. En el proceso de tamizaje, se debe evitar el uso de agua a presión con el fin de no dañar los organismos, para esto se recomienda tamizar sobre un contenedor agitando el tamiz suavemente sobre este. Se debe evitar el uso de cucharas o herramientas de arrastre para colectar la muestra tamizada, en su reemplazo se recomienda el uso de pizetas o la ayuda de agua desde debajo de tamiz con el fin de concentrar la muestra en un extremo de este, para luego depositar en el recipiente final con preservante (formalina 4%).

La rotulación debe realizarse con etiquetas resistentes al agua, debiendo asegurar una correcta cadena de custodia en el transporte, con responsables en cada etapa del proceso. Estas etiquetas deben incluir a lo menos, Estación, Replica, Fecha, Hora y Procedencia de la muestra.

Fijación de las muestras

La muestra se debe fijar in situ con formalina al 4% diluida en agua de mar para su posterior determinación en el laboratorio (Res Ex 3612, Art 28 letra b.ii).

En laboratorio los organismos se deben separar del sedimento ya tamizado, almacenando el material biológico en solución preservante etanol al 70% (Res. Ex. 3612, Art 28 letra c.ii), diluido en agua destilada.

Análisis de muestras en laboratorio

Los organismos se deben separar bajo lupa, de las partículas de detrito y agrupar los organismos por taxón, para posteriormente determinar hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

El material biológico separado debe ordenarse por phylum, orden, familia, género y especie (en lo posible). El estado del material biológico recolectado además de la suficiencia de las claves taxonómicas existentes modulará la

especificidad taxonómica en la identificación, sugiriendo como requisito mínimo una identificación a nivel de familia en los casos más complejos. Se considera de carácter obligatorio que la determinación sea, como mínimo, a nivel de género en taxa que agrupan especies indicadoras como Annelidos Capitellidae, Oweniidae, Cirratulidae, Nepthyidae y Lumbrineridae; Moluscos Mytilidae, Veneridae, Nassariidae, Nuculidae; y Artrópodos Phoxocephalidae; todos ellos de gran relevancia de acuerdo a los resultados levantados en el presente proyecto.

La separación de las muestras puede ser realizada por personal técnico capacitado en el reconocimiento de los principales grupos taxonómicos mediante el uso de lupa estereoscópica. Se debe identificar el responsable de esta actividad en las planillas de laboratorio.

Por su parte la identificación taxonómica debe ser realizada por profesionales de una carrera relacionada con las ciencias del mar, ecológicas o ambientales, capacitados en la identificación de especies mediante el uso de lupa estereoscópica, microscopio y claves taxonómicas, que le permitan llegar al menor nivel taxonómico posible (género en las familias indicadas en el párrafo anterior). Se debe identificar el responsable de esta actividad en las planillas de laboratorio.

Se deberá contar la totalidad de los individuos contenidos en cada muestra. No se recomienda la generación de alícuotas de conteo.

Una vez determinados los organismos, después de un drenado de 5 minutos, se deben pesar en una balanza analítica de a lo menos 4 cifras significativas, pesando cada taxón por separado, incluyendo los exoesqueletos. Con ello se obtiene el peso húmedo alcohólico expresado en gramos.

b) Componente aves y mamíferos marinos

Levantamiento de la información

En cada unidad muestral seleccionada, se realizarán recuentos de aves y mamíferos, durante las jornadas de mañana y tarde, entendida la primera como una jornada entre las 7:00 – 11:30 am; y la segunda entre las 13:00 – 17:30 pm. El protocolo considera al menos dos días de conteos (réplicas).

- Recuento por punto de conteo terrestre: Cada estación costera corresponderá a un punto fijo de monitoreo, se realizará un recuento según Imberti (2005), es decir sobre una circunferencia de 360º, preferentemente sin límite de distancia (lo cual quedará sujeto a las

características de cada sector y proyecto). Con ello se le otorga una mayor valoración a los registros de diversidad, maximizando este indicador por sobre el dato de abundancia. La información se estructurará de acuerdo a planillas de conteo tipo, previamente confeccionadas. El recuento tendrá una duración de 10 minutos por punto. Se Tabulan todas las especies presentes mediante registro directo (observación) o indirecto (audición, presencia de fecas, huellas, madrigueras).

- Recuento por Transecta: El método consiste en desplazarse por un trayecto o línea de determinada longitud a través de uno o varios hábitats. Es importante que el observador atraviese el trayecto a velocidad constante y moderada. Detectar especies durante un desplazamiento es un reto para las habilidades del observador, de tal modo que el método es sensible a sesgos en función de su experiencia y calidad, y a factores que afectan la detección de las especies objetivo. Los recuentos de trayecto en línea pueden tomar diversas formas (Bibby *et al.*, 1992).

- Si la avifauna del lugar es escaza y con bajas abundancias se recomienda realizar el conteo de transectos de línea sin estimación de distancias de acuerdo a las recomendaciones de Imberti (2005). Si la avifauna del lugar es abundante se recomienda realizar el conteo de transectos de línea en una franja de ancho fijo (w) a ambos lados de la línea (embarcación), contando únicamente las especies que ingresan a la franja, de acuerdo a las recomendaciones de Bibby *et al*. (1992).

- Los puntos de alta abundancia de mamíferos marinos o avifauna, tales como requeríos, islotes, entre otros; se realizará un recuento mediante registros gráficos (fotografía) desde los cuales se contara cada ejemplar con la ayuda de software gráficos (Photoshop, entre otros).

- Se recogerá información relativa a la diversidad y abundancia de cada especie, adicionalmente se registrará la actividad que cada ejemplar realiza a momento de su registro, así como también el biotopo en donde esta fue registrada. A continuación se detallan las actividades y biotopos más frecuentes en un proyecto costero marino.

Actividades: Transito, descanso, acicalamiento, alimentación, nidificación, refugio.
Biotopos frecuentes: Playa de arena, Litoral rocoso, Litoral marino, dunas litorales, Matorral costero, Bosque, Estuario, Humedal, Zona Urbana, Pradera, Acantilado, entre otros.

Cada biotopo se describirá según las especies estructuradoras o más abundantes, o en función de su característica geológica, geográfica, hídrica, según corresponda. Ej: un biotopo de bosque se describirá según la asociación de las especies más abundantes, mientras que un biotopo playa de arena será definido por su granulometría, pendiente y exposición al oleaje. Así mismo un biotopo de litoral rocoso, se definirá de acuerdo a la zonación de su componente algal e invertebrados mayores, debiendo poner atención especial en la existencia de algas invasoras y/o colonizadoras como *Codium fragile*o el posible reemplazo de algas complejas (Laminariales, fucales o Rodófitas del grupo que genéricamente se catalogan como lugas) por algas verdes filamentosas o algas rojas de baja complejidad estructural.

Cada biotopo definido será fotografiado de manera panorámica. Adicionalmente se fotografiará en detalle cada especie estructuradora, tomando en consideración al menos 2 o 3 ejemplares más conspicuos y/o más frecuentes.

5.4.4.5. Procedimiento de Análisis de Datos

a) Componente macrofauna

Estadística descriptiva de comunidades

Abundancia por réplica: Correspondiente a la abundancia numérica de cada especie de cada réplica, obtenidas de cada estación muestreada.

De acuerdo a Clarke & Warwick (2001), los datos biológicos disponibles deberán ser organizados en una matriz de p filas, representando las taxa, y n columnas, representando las estaciones de muestreo, donde el atributo será la abundancia numérica. Esta matriz será la base para los cálculos y análisis de tipo univariado, gráficos y multivariados.

Análisis univariado de las comunidades

Indicadores ecológicos: Se deben estimar los siguientes índices ecológicos a partir de la abundancia calculada para cada unidad de monitoreo:

- Diversidad de Shannon (H')
- Riqueza especifica (S)
- Uniformidad (J')
- Índice de Dominancia de Simpson (D)

Análisis gráfico

El método de las curvas ABC es una técnica empleada para evaluar las condiciones ambientales de una comunidad bentónica sin tener que disponer de datos históricos del área (Warwick 1986).

El método consiste en comparar en un mismo gráfico las curvas de abundancia y biomasa; jerarquizando las especies según el orden de importancia en el eje x (escala logarítmica) con el porcentaje de dominancia y biomasa acumulado en el eje Y. Si las dos curvas se superponen indicaría una comunidad moderadamente alterada, si la curva de biomasa se ubica sobre la de abundancia indicaría una comunidad no alterada y de lo contrario, si la curva de abundancia se ubica sobre la biomasa indicaría una comunidad alterada.El estadístico W representa el área de diferencia entre las dos curvas, un valor negativo de este indica que la curva de la biomasa esta por debajo de la curva de abundancia y sugiere una comunidad alterada. Se calcula según lo propuesto por Warwick & Clarke (1994):

$$W=\sum_{i=1}^{S}(B_i - A_i) \,/\, [50(S-1)]$$

Donde:

S = Cambio en el número total de especies,

A = Abundancia total en cada muestra i y

B = Biomasa total en cada muestra i.

b) Componente Aves y mamíferos marinos

El presente protocolo hace referencia al levantamiento del atributo abundancia para cada taxa registrado, en una unidad de monitoreo dada, por un espacio de tiempo definido.

Desde esta perspectiva el estudio de aves y mamíferos no constituye un censo poblacional, sino más bien corresponde a un recuento de especies que reside o transita por la zona de estudio, durante un tiempo determinado.

A continuación se detalla la data mínima requerida para el procesamiento de la información:

Cálculos de Abundancia

Sobre los resultados del monitoreo en base a las planillas de terreno, se debe generar una matriz de taxa por estación, para los dos días de recuento en las jornadas de mañana y tarde, así como también una matriz de abundancia media por estación (promedio de los registros logrados durante dos días en dos jornadas). Se deberá incluir una matriz de las especies presentes y el biotopo en donde fueron registradas. La confección de tablas y gráficas se lograrán con la ayuda del software Excel, en cualquiera de sus versiones.

Indicadores ecológicos

Se estimarán los siguientes índices ecológicos a partir de la abundancia media calculada para cada unidad de monitoreo:

a. Diversidad de Shannon (H')
b. Riqueza especifica (S)
c. Uniformidad (J')
d. Índice de Dominancia de Simpson (D)

Análisis de Ordenación y Clasificación

Con la finalidad de establecer un parámetro de comparación entre cada punto de monitoreo, se recomienda realizar análisis multivariados de Clasificación (conglomerados) y de Ordenación (Escalamiento No Métrico Multidimensional).

Estados de conservación de las especies

Con la información faunística proveniente de los levantamientos de terreno, se procede a establecer las categorías de conservación, según la Ley de Caza N° 19.473; según los criterios de la IUCN (Red List of Threatened Species); y según el Reglamento de Clasificación de Especies D.S. N° 13/2013 (RCE).

Se recomienda adjuntar mapas esquemáticos a datum WGS 84, con la representación de los lugares de avistamiento y su georeferenciación.

5.4.4.6. Evaluación del impacto medido en la macrofauna bentónica

Mageau *et al.* (1995) propone que la salud del ecosistema puede cuantificarse en base al vigor, organización, resistencia y resiliencia al disturbio. Considerando esto y para unificar los resultados del monitoreo de la componentemacrofauna y obtener un estimado del impacto que permite analizar su evolución en el tiempo, se propone la utilización del método denominado Criterios Relevantes Integrados (CRI) (Buroz, 1990) que se basaen un análisis multicriterio, partiendo de la idea de que un impacto ambiental se puede estimar a partir del análisis de criterios con valoración ambiental cualitativa.

El método considera la valoración cualitativa de 5 criterios en base al conocimiento del fenómeno a analizar, estos son:

a) Intensidad (I):
b) Extensión (E):
c) Duración (D):
d) Reversibilidad (Rv):
e) Riesgo (Ri):

La valoración para las variables intensidad, extensión, duración, reversibilidad y riesgo se determinan con base, en una escala de 1 a 10, tal como se expresa en la tabla.

En la **Tabla 116** se entrega una propuesta para determinar los criterios de puntuación que se deben considerar para cada variable. La tabla construida es una modificación de Buroz (1990), basándose en antecedentes propios de la actividad de producción de salmones.

Las consideraciones para determinar la puntuación de cada criterio son las siguientes:

Intensidad: Es la cuantificación de la fuerza, peso o rigor con que se manifiesta el proceso o impacto puesto en marcha.

Se debe determinar a partir del porcentaje de muestras que provienen de los puntos de muestreo ubicados a menos de 600 m del centro, mediante la utilización del índice de Warwick calculado a partir de las curvas de abundancia y dominancia.

Las consideraciones de puntuación son las siguientes: Si más del 50 % de las muestras se encuentran alteradas y/o moderadamente alteradas, se debiese considerar una intensidad alta. En tanto, si el porcentaje de muestras alteradas y/o moderadamente alteradas está entre 30 % y 50 %, se debe considerar intensidad media y finalmente si el porcentaje de muestras alteradas y/o moderadamente alteradas es inferior al 30 %, se debe considerar intensidad baja (**Tabla 116**).

Extensión: Es la influencia espacial o superficie afectada por la acción antrópica. Es decir, Medida del ámbito espacial o superficie donde ocurre la afectación.

Se debe considerar la distancia de influencia respecto del centro y para ello, se debe entender por influencia la existencia de muestras en situación alterada o medianamente alteradas de acuerdo al índice de warwick obtenido para cada muestra.

Las consideraciones de puntuación son las siguientes: Si se observan muestras alteradas o medianamente alteradas en un gradiente de distancia superior a 600 m, observando inclusive grados de alteración en la estación de referencia ubicada a más de 1000 m, se debe considerar una extensión generalizada, independiente si esta situación pueda estar generándose por la influencia parcial o total de otros centros de cultivo cercanos u otras fuentes de perturbación antrópica. Si la estación de referencia aparece como no alterada, se debe considerar una extensión extensiva y si solamente se observan estaciones alteradas o medianamente alteradas a menos de 50 m medidos desde el centro, se debe considerar una extensión puntual (**Tabla 116**).

Duración: Lapso o tiempo que dura la perturbación. Período durante el cual se sienten las repercusiones del proyecto o número de años que dura la acción que genera el impacto.

Las consideraciones de puntuación son las siguientes: En este caso se considerará como duración, el tiempo del ciclo productivo y los ciclos sucesivos que se han realizado en la concesión. Se recomienda ver esto caso a caso, en razón del historial productivo de cada concesión. Si el tiempo de producción ha sido igual o menor a 2 años en forma continua, se considerará una duración corta. En tanto, si la producción continua ha sido mayor a dos años, pero menor que 5 años, se considerará una duración media y si la producción ha sido continua por más de 5 años, se considerará una duración larga (**Tabla 116**). Para definir la fecha inicial de producción, se debe considerar que la concesión haya experimentado un periodo de descanso mínimo de un año.

Reversibilidad: Esla posibilidad o dificultad para retornar a la situación actual, podría considerarse como la capacidad de resiliencia de la comunidad.

Esta variable es la más difícil de definir bajo un fundamento técnico claro. En Chile no existen estudios que orienten a determinar la capacidad de resiliencia de las comunidades bentónicas frente a los efectos de la acuicultura y a nivel internacional la información tampoco es clara. No obstante, trabajos de la comunidad europea indican que las comunidades bentónicas se recuperan rápidamente, ya que los impactos son muy puntuales, por tanto al momento de detener la incorporación de desechos, se produce prontamente el reasentamiento larval de las especies. Empero, este supuesto aplica para zonas con cargas de uno o pocos centros de producción y no para zonas cuyos espacios estén altamente utilizados para la producción, en estos casos se desconoce la capacidad de resiliencia y pasa a ser una gran interrogante (Tett, 2008). Este segundo caso es el más similar a la situación chilena, específicamente lo que sucede en la ecorregión Chiloense.

Las consideraciones de puntuación son las siguientes: En base a lo explicado y con el objeto de entregar al análisis un valor de esta variable, se considera por defecto el valor de reversibilidad medio, es decir una capacidad de recuperación de largo plazo (11 a 20 años), esto considerando también que los sectores actualmente utilizados se someten a descansos muy acotados o inexistentes que impiden la recuperación (**Tabla 116**).

Riesgo: Es laprobabilidad de que el efecto ocurra, en este caso se considerará por defecto que esta variable es de un nivel alto, ya que estudios nacionales (Buschmann & Pizarro 2001, Buschmann & Fortt 2005,Buschmann *et al.* 2008a, 2008c, 2009, 2013) e internacionales (Cook *et al.*, 2008) indican que prácticamente en el 100% de los casos es

posibleobservar modificaciones que pueden ir de modificaciones leves y a espacios muy acotados a modificaciones severas que pueden abarcar espacios generalizados (**Tabla 116**).

Tabla 116. Escala de clasificación de impactos. Modificada de Buroz (1990).

INTENSIDAD		
Niveles	**Porcentaje de Comunidades bentónicas alteradas (Según Índice W)**	**Puntuación**
Alta	> 50 %	6 – 10
Media	entre 30% y 50%	3 – 5
Baja	< 30 %	1 – 2
EXTENSIÓN		
Niveles	**Distancia de perturbación respecto del centro**	**Puntuación**
Generalizada	> 600 m	6 – 10
Extensiva	< 600m	3 – 5
Puntual	< 50 m	1 – 2
DURACIÓN		
Niveles	**t de producción**	**Puntuación**
Larga	(>5años)	6 – 10
Media	(2>5 años)	3 – 5
Corta	(<2 años)	1 – 2
REVERSIBILIDAD		
Niveles	**t de resiliencia**	**Puntuación**
Irreversible	baja capacidad o irrecuperable	6 – 10
Medianamente	reversible de 11 a 20 años, largo plazo	3 – 5
Reversible	a corto plazo < de 10 años	1 – 2
RIESGO		
Niveles	% Estimación de riesgo de ocurrencia	**Puntuación**
Alto	(>50%)	6 – 10
Medio	(10 a 50%)	3 – 5
Bajo	(<10%)	1 – 2

A partir del análisis de cada variable, se propone una ponderación estándar para los indicadores (**Tabla 117**), intensidad, extensión y duración poseen los valores de ponderación más altos, porque son lo que mayor variación muestran a partir del protocolo de monitoreo propuesto. En tanto el

indicador de riesgo es de gran importancia, se le otorga una ponderación intermedia, ya que se basa en antecedentes que han sido reportados por una cantidad importante de autores y finalmente el indicador de reversibilidad es el de menor ponderación, debido a la incertidumbre de su determinación.

Tabla 117. Criterios de evaluación y ponderaciónasignada

Indicador	Peso (%)
Intensidad	25
Extensión	25
Duración	25
Reversibilidad	10
Riesgo	15

Una vez definidas las puntuaciones para cada criterio, se debe calcular el Valor del Impacto Ambiental (VIA) según:

$$VIA = I \times W_i + E \times W_e + D \times W_d + Rv \times W_{Rv} + Ri \times W_{Ri}$$

Donde:

I: Intensidad
W_i: Peso de intensidad
E: Extensión
W_e: Peso de extensión
D: Duración
W_d: Peso de duración
Rv: Reversibilidad
W_{Rv}: Peso de reversibilidad
Ri: Riesgo
W_{Ri}: Peso de riesgo

Una vez calculado el VIA para el centro, se debe clasificar según **Tabla 118**.

Tabla 118. Jerarquización de impactos según valor de VIA

Categoría del impacto	VIA
Muy alta	VIA >8
Alta	6 < VIA ≤ 8
Moderada	4 < VIA ≤ 6
Baja	VIA ≤ 4

5.4.4.7. Periodicidad de monitoreo

Una primera recomendación es la realización de un monitoreo inicial de las matrices biológicas propuestas (macrofauna y aves), el cual debiese ser integrado en la elaboración de la CPS. En tanto la implementación de los monitoreos de seguimiento, se propone que sean incorporados en los INFA, que establecen la realización de un monitoreo cerca de dos meses antes de iniciarse la cosecha, considerando esta fecha como de máxima perturbación y en concordancia con los requerimientos establecidos para la categoría en que se encuentre dicho centro (RAMA, Art 19).

Otro alcance importante es la periodicidad para la realización de INFA, para ello es recomendable equilibrar de la mejor manera el costo y beneficio de la acción de monitoreo. En este sentido se propone considerar los lineamientos del Estandar Noruego de monitoreo (NS-9410), que establece distintas periodicidades de acuerdo al nivel de impacto (Holmer *et al.*, 2008). Si bien la regulación Noruega establece 4 niveles de impacto en razón de la capacidad de carga del sistema, actualmente en Chile ello no es posible aún, ya que solo clasifica a los centros por aeróbico y anaeróbico para discriminar condición de impacto y tomar acciones concretas.

En este sentido y con el fin de incoporar el Valor del Impacto Ambiental (VIA) a la toma de desiciones se propone la siguiente periodicidad en función de la condición ambiental y ecológica en torno a la concesión (**Tabla 119**).

Tabla 119. Relaciones entre condición ambiental-ecológica y periodicidad de muestreo.

Categoría	Condición ambiental	(VIA)	Periodicidad de muestreo
1	Aeróbico	Bajo o moderado	Cada 12 meses o al menos 1 vez para cada ciclo productivo
2	Aeróbico	Alto o muy alto	
3	Anaeróbico	Bajo o moderado	Cada 6 meses o al menos 2 veces para cada ciclo productivo
4	Anaeróbico	Alto o muy alto	Cada 4 meses o al menos 3 veces para cada ciclo productivo

5.4.5. Valorización de propuesta preliminar de monitoreo

A partir del monitoreo piloto realizado, se elaboró un presupuesto preliminar para evaluar los componentes propuestos en secciones anteriores.

El presupuesto es separado en dos tablas, una para valorizar los costos de monitoreo en las componentes de aves y mamíferos marinos (**Tabla 120**) y otra para valorizar la componente del bentos (**Tabla 121**).

El presupuesto del monitoreo de aves y mamíferos se presente en tres ítems (costos de terreno, costos de trabajo en gabinete y equipos e insumos) (**Tabla 120**). Cabe mencionar que los equipos e insumos son elementos que generalmente los consultores especializados ya poseen, por lo tanto el presupuesto real de monitoreo disminuye, sustituyéndose los valores de compra por valores de uso de estos elementos.

Tabla 120. Valorización del protocolo de monitoreo de las componentes de aves y mamíferos marinos

Presupuesto Aves y Mamiferos			
Terreno	Costo por día (UF)	Días promedio muestreo	Costo Total (UF)
Especialista Aves y Mamiferos 1	4	6	24
Especialista Aves y Mamiferos 2	4	6	24
Arriendo embarcación	20	6	120
Transporte y viáticos	4,5	6	27
Subtotal terreno			**195**
Gabinete	Costo HH (UF)	Horas promedio analisis de datos	Costo Total (UF)
Elaboración de Informe (Análisis Ecologico de la información)	0,5	160	80
Subtotal gabinete			80
Equipos e insumos			Costo Total (UF)
Camara fotográfica (Reflex-Lente con estabilizador)			40
Binoculares (10x50)			5
Guia Aves			4
GPS			10
Libretas			1
Contador manual			1
Subtotal equipos e insumos			61
Presupuesto Total			336

En cuanto al presupuesto de la componente del bentos (**Tabla 121**), se separó en 4 items (costos de terreno, costos de laboratorio, costos de gabinete y costos de equipos e insumos). Al igual que en las componentes anteriores, los equipos e insumos son elementos que generalmente los consultores especializados ya poseen, por lo tanto el presupuesto real de monitoreo disminuye, sustituyéndose los valores de compra por valores de uso de estos elementos.

Tabla 121. Valorización del protocolo de monitoreo de las componentes del bentos.

Presupuesto Macrofauna			
Terreno	Costo por día (UF)	Días promedio muestreo	Costo Total (UF)
Tecnico de muestreo 1	3	6	18
Tecnico de muestreo 2	3	6	18
Arriendo embarcación	20	6	120
Transporte y viáticos	4,5	6	27
Subtotal terreno			**183**
Laboratorio	Costo HH (UF)	Horas promedio analisis de datos	Costo Total (UF)
Técnico de laboratorio	0,15	3	0,45
Especialista Taxonomia Bentónica	0,25	5	1,25
Subtotal laboratorio			**1,25**
Gabinete	Costo HH (UF)	Horas promedio analisis de datos	Costo Total (UF)
Elaboración de Informe (Analisis Ecologico de la información)	0,5	140	70
Subtotal gabinete			**70**
Equipos e insumos (costos estándar)			Costo Total (UF)
Draga 0,1 m2 peso entre 40 y 50 kg			35
Winche			75
Set de tamices de 1mm y 0,5 mm			7
Formalina			0,5
Pinzas			0,35
Pizeta			0,2
Recipientes y/o bolsas con cierre hermético			0,3
GPS			9,7
Planillas de terreno (resma papel impermeable)			0,4
Lápiz			0,03
Contenedor para almacenar las muestras			1,5
Lupa esteroscopica con un requisito mínimo de aumento de 90X			80
Microscopio estandar con aumentos de 5x, 10x, 40x y 100x.			110
Material de disección			2
Alcohol			0,4
Formalina			0,5
Balanza analítica con un requisito minimo de 3 cifras significativas			45
Subtotal equipos e insumos			367,88
Presupuesto Total			622,13

El valor total del monitoreo de las componentes de aves y mamíferos marinos es de 336 UF, mientras que el valor estimado para el monitoreo de la componente bentónica es de 622 UF. Por tanto, el coste de implementar el protocolo propuesto es de 958 UF.

Análisis FODA

Con la información recopilada durante la ejecución del presente estudio fue posible identificar las siguientes Fortaleza, Oportunidades, Debilidades y Amenazas en relación a la aplicación del Protocolo de Monitoreo propuesto (**Tabla 122**).

Tabla 122 Análisis FODA aplicado al protocolo de monitoreo bentónico.

Fortalezas	Oportunidades
Distribución de las estaciones: El protocolo distribuye las estaciones a lo largo de un gradiente el cual ha sido documentado como eficaz al momento de determinar el impacto de la actividad acuícola sobre el bentos marino. **Entidades Técnicas:** Actualmente en la zona sur de país se cuenta con entidades de muestreo y análisis de datos con las competencias técnicas y humanas para realizar este tipo de muestreo. **Componente económica:** El protocolo propuesto mantiene las 30 muestrasdefinidas para las INFAs, lo que no implicará mayores costos de análisis	**Ubicación de las estaciones de referencia:** La normativa actual no determina criterios adecuados para la ubicación de las estaciones de monitoreoy referencia. El presente protocolo establece algunos criterios a tomar en cuenta al momento de definir la ubicación de las estaciones, entregando la responsabilidad final a la Autoridad para definir la ubicación de las estaciones de referencia, tal vez desarrollando una red de estaciones de referencia. **Especies indicadoras:** El protocolo permitirá definir nuevos géneros y/o especies indicadoras, sumadas a las ya definidas en la actual normativa (Familias Capitellidae, Oweniidae, Cirratulidae y Nassaridae), p.e bivalvos, crustáceos. **Metodologías de análisis:** Con la información recopilada es posible aplicar las siguientes metodologías, que pueden ser más eficaces al momento de determinar cambios en los fondos marinos y por lo tanto anticiparse a condiciones

	anaeróbicas del fondo marino. También aporta información para la toma de decisiones, ya sea orientada a la limitación de descargas de nutrientes o a la periodicidad con la que se realizan los monitoreos. • Curvas ABC • Criterios Relevantes Integrados (CRI) • BQI
Debilidades	**Amenazas**
Operatividad toma de muestras: Debido a las estructuras de los módulos de cultivo (tensores) en algunos casos no es posible tomar muestras a distancias menores a 50 m de los módulos de cultivo. **Bentos fondo Duro:** El protocolo de muestreo no permite identificar el efecto de la actividad acuícola sobre el bentos de fondo duro. **Posibilidad de aplicar el indicador AMBI a la data levantada por el monitoreo propuesto:** La aplicación de esta metodología implica un análisis taxonómico exhaustivo (nivel de especie) lo que en términos de tiempo no permitiría cumplir con los plazos de entrega de informes (implica más Horas Hombre). Actualmente las Entidades de muestreo cuentan por lo general con un analista de macrofauna el cual es supervisado por un jefe de laboratorio, los cuales no poseen las	**Datos actuales:** Debido a que la ubicación de las estaciones de referencia queda a criterio de la entidad de muestreo, la cual puede cambiar de un INFA a otro, es posible que se están generando datos de variables ambientales poco comparables. El análisis de la base de datos INFA muestra ubicaciones poco comprensibles de la estación de las estaciones de referencia, en algunos casos incluso más cercanas a las estaciones de monitoreo. **Límites de aceptabilidad (Centros Anaeróbicos):** A pesar que la macrofauna bentónica es un parámetro a incluir tanto en la CPS como en las INFAS, no se considera al momento de determinar condición anaeróbica (límites de aceptabilidad).

capacidades técnicas para determinar la totalidad de grupos taxonómicos presentes en las muestras a nivel de especie. De hecho la mayor cantidad de la data contenida en los INFAs tiene una resolución taxonómica de familia. En este sentido proponemos como alternativa la implementación del índice BQI Familia que ha sido validado en cuanto a su poder a este nivel de resolución taxonómica y además permitiría analizar la data desde su origen.	

5.5. Objetivo específico 3.5.

Proponer medidas de mitigación, reparación y/o compensación de los posibles impactos que produzca la acuicultura en la biodiversidad acuática del entorno donde se desarrolla. Además se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos específicos 1,2 y 3.

5.5.1. Recopilación de medidas de mitigación, reparación y compensación utilizadas en la actualidad en Chile

5.5.1.1. Marco Legal de Medidas de mitigación, reparación y compensación

Medidas de mitigación

Según lo indicado en el Artículo 98 del Reglamento del Sistema de Evaluación Ambiental (RSEA) "*las medidas de mitigación tienen por finalidad evitar o disminuir los efectos adversos del proyecto o actividad, cualquiera sea su fase de ejecución y se expresarán en un Plan de Medidas de Mitigación Ambiental que deberá considerar, al menos, una de las siguientes medidas":*

- *Las que impidan o eviten completamente el efecto adverso significativo, mediante la no ejecución de una obra o acción, o de alguna de sus partes.*
- *Las que minimizan o disminuyen el efecto adverso significativo, mediante una adecuada limitación o reducción de la extensión, magnitud o duración de la obra o acción, o de alguna de sus partes.*
- *Las que minimizan o disminuyen el efecto adverso significativo mediante medidas tecnológicas y/o de gestión consideradas en el diseño".*

Medidas de reparación

De acuerdo al Artículo 99, *"las medidas de reparación tienen por finalidad reponer uno o más de los componentes o elementos del medio ambiente a*

una calidad similar a la que tenían con anterioridad al impacto sobre dicho componente o elemento o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas".

Medidas de compensación

Mientras que el artículo 100, que define a las medidas de compensación ambiental señala *"las medidas de compensación tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado, que no sea posible mitigar o reparar. Dichas medidas incluirán, entre otras, la sustitución de los recursos naturales o elementos del medio ambiente afectados por otros de similares características, clase, naturaleza, calidad y función".*

En este sentido, el titular del proyecto podrá realizar negociaciones antes del ingreso al proceso de evaluación, negociaciones con los interesados con el objeto de acordar medidas de compensación o mitigación ambiental individualizando en tal caso a las personas con quienes se estableció la negociación, así como el contenido y resultado de la misma (Artículo 17 RSEA).

Los planes de mitigación, reparación y compensación describirán y justificarán las medidas que se adoptarán para eliminar, minimizar, reparar, restaurar o compensar los efectos ambientales adversos del proyecto. En este sentido la ausencia de esta información se considera como información relevante y esencial para su evaluación pudiendo dar término anticipado al proceso de evaluación ambiental en caso de ausencia de dicha información (Artículo 36 del RSEA; Articulo 16 de la Ley 19.300). Sin embargo, estos planes solo forman parte de los contenidos mínimos de los Estudios de Impacto Ambiental (Artículo 18. letra i), no de las Declaraciones de Impacto Ambiental.

Por su parte, para las Declaraciones de Impacto Ambiental (Artículo 19 a.7. del RSEA), solo consideran en la descripción de la fase de cierre si la hubiere, en la cual se deberá indicar las partes, obras y acciones asociadas y en caso de corresponder, deberá describir las actividades, obras y acciones para:

- Desmantelar o asegurar la estabilidad de la infraestructura utilizada por el proyecto o actividad;
- Restaurar la geoforma o morfología, vegetación y cualquier otro componente ambiental que haya sido afectado durante la ejecución del proyecto o actividad;
- Prevenir futuras emisiones desde la ubicación del proyecto o actividad, para evitar la afectación del ecosistema incluido el aire, suelo y agua; y
- La mantención, conservación y supervisión que sean necesarias.

5.5.1.2. Análisis de la Información contenida en el Sistema de Evaluación Ambiental

En total se consultaron 77 proyectos de acuicultura (Piscicultura y Centros de Cultivo) que ingresaron al Sistema SEIA electrónico entre los años 2000 y 2014 (www.sea.gob.cl) en la Región de los Lagos, el total de proyectos ingresaron bajo la modalidad de "Declaración de Impacto Ambiental" y con carácter de indefinido.

Los antecedentes entregados a la autoridad y que relacionados con acciones de mitigación y reparación están descritos en su mayoría como "Compromisos Voluntarios" del Titular.La mayoría consiste en medidas para evitar o minimizar los efectos nocivos durante el periodo de actividad del cultivo, mientras que las medidas de reparación y/o restauración definen acciones en las etapas de descanso y abandono de la concesión. A continuación se identifican y describen estos mecanismos:

Medidas de mitigación

Paisaje y turismo

En relación al paisaje y turismo, en las Declaraciones de Impacto Ambiental se indica que "Se tendrá especial preocupación por mantener las condiciones sanitarias y el buen estado de las instalaciones para minimizar el efecto que estas producen en el paisaje. Las estructuras como pontón y plataforma de ensilaje, tendrán colores amigables con el entorno (azul o verde) de manera que disminuya su impacto visual negativo. Se mantendrán en constante

vigilancia las estructuras de cultivo para evitar pérdida de materiales como redes, boyas u otros, y se reemplazarán las estructuras en mal estado y, por ende, que presenten contaminación visual".

Eliminación y manejo de desechos

En relación al manejo de desechos, en las Declaraciones de Impacto Ambiental se indica que "Se retiraran periódicamente desperdicios y elementos derivados de la actividad humana tanto en los canales interiores como en los alrededores, que aunque no siendo producida por la empresa, interfiera con el valor paisajístico del sector".

Disminución de la depredación

En relación a la depredación, en las Declaraciones de Impacto Ambiental se indica que, "Para evitar daños o pérdidas causadas por la acción de mamíferos marinos y avesy el enmallamiento de éstos, se utilizaran redes de tipo cajón que cubren todo el perímetro de las jaulas desde los pasillos exteriores hasta una distancia mínima de 10 m por el costado y 14 m de fondo. Con esta pequeña apertura y grosor de hilo se evitará que el mamífero se enrede y muera asfixiado. En caso de suceder un enmallamiento de lobos marinos, se intentará liberar al individuo enredado, levantando la red lobera hasta la superficie y eventualmente cortando el hilo de la red, la que luego será reparada".

Respecto a las aves,"Se considera la utilización de redes cobertoras que se extienden tensas y se fijan a las barandas de las jaulas con la ayuda de ganchos. Si llegase a suceder que un ave quede atrapada en una malla de cultivo los operarios serán los encargados de liberarla tratando de que la manipulación genere el menor estrés posible".

Del proceso de Alimentación

En relación al proceso de alimentación, en las Declaraciones de Impacto Ambiental se indica que, "Se utilizarán cámaras submarinas para optimizar la alimentación".

Disminución de Uso de Antibióticos

En relación a la disminución del uso de antibióticos, en las Declaraciones de Impacto Ambiental se indica que, "Con el fin de resguardar la calidad de los recursos naturales renovables en lo relativo a la generación de resistencia a antibióticos y a otros efectos que pueda generar el uso de antibióticos a través de su dispersión y depósito en el medio marino, se llevaran a cabo prácticas tendientes a minimizar el uso de antibióticos, mejorando la respuesta inmune de los peces, mediante la disminución de los factores de estrés".

Se pondrá especial énfasis a un suministro estratégico de alimento medicado y al control de la ingesta de los peces y a la minimización de su disposición en el medio ambiente acuático, como por ejemplo: El suministro del alimento medicado se efectuará sólo con condiciones de corriente y climáticas propicias para la alimentación. Con el uso de antibióticos inyectables se espera reducir el aporte de alimento no consumido (normal y medicado) al entorno, ya que dicho método supone una mayor eficiencia en la incorporación del medicamento en el pez. Con esta medida se espera reducir considerablemente el uso de los antibióticos en el centro de cultivo y sus potenciales efectos al entorno.

Medidas de reparación y/o restauración

Periodo de Descanso

Posterior a la cosecha se proporcionara descanso al lugar con el fin de ayudar a la recuperación de la fauna bentónica; el periodo de descanso estará determinado por la agrupación de concesiones en la que se encuentra el proyecto, si transcurrido este período no se presentan las condiciones esperadas, se cesarán las actividades por el tiempo que sea necesario hasta que las condiciones sean favorables, en función de los resultados de los muestreos, análisis y monitoreos obtenidos bajo el área de cultivo.

Etapa de Abandono

En la mayoría de la documentación consultada se indica que "Se retirará al término de su vida útil o a la cesación de las actividades del centro, todo tipo

de soportes no degradables o de degradación lenta que hubieren sido utilizados como sistemas de anclaje al fondo, con excepción de las estructuras de concreto utilizadas para el anclaje.

5.5.2. Elaboración de propuesta de medidas de mitigación, reparación y compensación

Entre las medidas de mitigación,reparación y compensación se proponen algunas de corto plazo y otras de mayor envergadura, cuya implementación y efectos se visualizan a más largo plazo. Entre las medidas de corto plazo están aquellas destinadas a reducir los efectos como la depredación y el desequilibrio que sobre los ecosistemas costeros ocasionan los escapes de peces, así como el proceso de eliminación y manejo de desechos. Entre las medidas de largo plazo se encuentra la introducción y desarrollo de la Acuicultura Multitrófica Integrada (AMTI), la mejora de la calidad del alimento y la ejecución de procesos de zonificación que permitan la localización de los cultivos en zonas donde los efectos sobre la biodiversidad sean compensados mediante la implementación de áreas protegidas destinadas a la conservación de los ecosistemas, sus procesos bio-ecológicos y sus comunidades relacionadas. Dichas medidas de mitigación buscan dar respuesta a los principales efectos influyentes identificados en el marco de este proyecto como son: 1) la creación de hábitats artificiales, debido a la presencia de sustratos exógenos que constituyen un nicho para la colonización de organismos y mantención de presas potenciales para otras especies, 2) la invasión de espacios naturales por actividad humana, que alteran y reducen los hábitats, por tráfico de embarcaciones, generación de ruidos y utilización de espacios, 3) la disminución de la calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos, deterioro de la columna de agua y el fondo marino y 4) el escape de especies de cultivo al medio natural, asilvestramiento de especies exóticas provenientes de sistemas de cultivo, que provocan una disminución de especies nativas por competencia y depredación con un aumento de especies exóticas.

A continuación se describen las medidas de mitigación, identificando sus principales implicancias y resultados esperados. Se incorpora información sobre los costos de implementación en los casos que dicha información se encontró disponible.

Medidas de mitigación de corto plazo

Disminución de los escapes de salmones

Entre las medidas inmediatas estarían aquéllas destinadas a reducir a corto plazo los efectos como la depredación y el desequilibrio que sobre los ecosistemas costeros ocasionan en la salmonicultura los escapes de peces. Los escapes de salmones han representado uno de los mayores problemas para la salmonicultura (Sepúlveda *et al.* 2013, Arismendi *et al.* 2014). Las medidas que se han llevado a cabo para disminuir estos escapes, tanto en la salmonicultura marina como continental, benefician de manera indirecta a las distintas especies de fauna. Esto porque, como ya fue mencionado en los capítulos anteriores, los salmones escapados disminuyen la diversidad y abundancia de fauna nativa a través de la competencia y depredación.

Las medidas de mitigación se centran en evitar las acciones que generan los escapes de salmones. En este contexto, los escapes de salmones en cultivo marino se asocian a factores tanto externos al centro de cultivo, relacionados al robo, condiciones climáticas y presencia de depredadores; como internos derivados de la manipulación rutinaria de los peces y la mantención de las estructura de cultivo (Sepúlveda *et al.* 2009; Sepúlveda *et al.* 2013). El manejo rutinario de los peces también afectaría al escape en centros dulceacuícolas. De acuerdo a estos antecedentes se han propuesto modificaciones al Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA), con el fin de prevenir los escapes de salmonídeos, mediante la certificación de los módulos y los fondeos de los centros de cultivo intensivos de peces. Los costos monetarios asociados a la instalación de sistemas de anclaje y fondeo van a depender de la profundidad y las corrientes. Sin embargo, el valor aproximado de la instalación debería bordear los 250 millones de pesos.

Disminución de la depredación

Oliva *et al.* (2005), señala que los centros de cultivos de salmones en el sur de Chile representan una nueva reserva de presas para lobos y aves marinas sin embargo, debido a las medidas de protección, (básicamente uso de redes loberas), el efecto de los depredadores es bajo. Por otra parte, en la literatura internacional, existen trabajos que describen de forma más detallada diferentes medidas y dispositivos de mitigación que son usados para evitar la depredación por parte de las aves. Quick *et al.* (2004), en su

estudio basado en encuestas sobre el control de los depredadores en centros salmoacuícolas de Escocia, realiza una recopilación y describe 19 medidas de control anti-depredador utilizados en estos centros. De estos métodos anti-depredador, al menos 4 correspondieron a medidas de control orientadas a disuadir especies de aves, principalmente cormoranes, garzas y pequeñas aves terrestres, mientras que otras 9 medidas fueron utilizadas tanto para disuadir aves como también a carnívoros depredadores (Quick *et al.* 2004). Entre estas medidas de control destacan diferentes diseños de redes anti-depredador (e.g., submarinas, cónicas, de cortina, superiores, entre otros.), pequeños explosivos utilizados para asustar a las aves a través del ruido, espantapájaros y disparos de armas de fuego (Quick *et al.* 2004). Las redes anti-depredador submarinas, muchas diseñadas para evitar el ataque de pinnípedos, han sido objeto de controversia debido a los efectos colaterales en aves buceadoras (i.e., enredos accidentales y muerte por ahogo), aunque probablemente este efecto colateral sería de magnitud menor en comparación a las mortalidades deliberadas o autorizadas (control letal) (Carss 1993b, 1994). Por su parte, las redes superiores (i.e., Top nets), son utilizadas para cubrir la sección superior abierta de estanques o jaulas de cultivo (Quick *et al.* 2004). Alternativamente, secciones de cables (e.g., alambres) también pueden ser utilizados para cubrir la porción aérea inmediata que hay en los centros de cultivo. Además de alambres, los "cables" también podrían corresponder a secciones de cordones, cuerdas o cintas, especialmente en el caso de pisciculturas continentales que utilizan grandes estanques, artificiales o naturales (Natural England, 2011). Redes superiores y cables pueden excluir o disuadir a las aves piscívoras de acceder a los cultivos y, debido a su durabilidad, puede proporcionar una opción fiable a largo plazo para eliminar o reducir el riesgo de depredación. Las pisciculturas en el continente pueden ser completamente cercadas con redes y así excluir a todas las aves. Por el contrario, los cables pueden disuadir a las aves pero es poco probable que puedan excluirlas por completo. Sin embargo, los cables pueden ser eficaces en la reducción de depredación de peces, particularmente cuando las aves tienen acceso a otras zonas de alimentación ubicadas en las inmediaciones del centro de cultivo (Natural England, 2011).

Respecto de los costos de implementación de este tipo de medidas de mitigación, no se logró recabar información más detallada. No obstante, Natural England (2011), señala que los costos y los aspectos prácticos pueden limitar la aplicabilidad de algunas técnicas de control anti-depredador. En la práctica, es probable que estructuras de exclusión total (i.e., cercado con redes superiores) sean más elaboradas y costosas, por lo

que estarán más restringidas a la protección de pequeñas porciones de cultivos, especialmente de peces con mayor valor comercial. Contrariamente, los cables pueden ser implementados de forma relativamente más económica y probablemente pueden utilizarse de forma más amplia y generalizada (Natural England, 2011).

A nuestro conocimiento, la única medida de mitigación aplicada en forma directa para la protección de estas especies es la obligatoriedad del uso de redes loberas de 10 pulgadas en la salmonicultura marina, de modo de evitar el enmalle de animales, especialmente de lobos marinos. Aunque esta medida ha logrado ser efectiva en la disminución de los enmalles de animales adultos, aún se registra mortalidad de algunos individuos, especialmente de juveniles (Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata 2008).

Las redes loberas son hoy utilizadas en la totalidad de los centros de cultivo de salmonicultura marina. De acuerdo a un estudio realizado por Oliva *et al*. (2003) el costo de inversión en redes loberas es de US $704.126 (un promedio de US $47.000 por centro). A partir de estos valores, estos autores estimaron un costo de inversión en redes loberas de US $0,61/m2. Asimismo, Oliva *et al.* (2003) relacionaron la inversión en redes loberas con su producción anual, estimando entre US $7 y US $14 por t producida al año en redes nuevas.

Eliminación y manejo de desechos

A raíz de la crisis provocada por el virus ISA, la salmonicultura ha debido emplear una serie de medidas sanitarias para evitar nuevas situaciones como la registrada en esa oportunidad. Entre estas medidas destacan: (1) la mayor limpieza de las áreas circundantes a los centros de cultivo, evitando la eliminación de desechos en el borde costero; (2) la eliminación en forma diaria o cada dos días de la mortalidad de salmones que quedan en el fondo de las balsas jaulas y que, de acuerdo a lo mencionado por los propios salmonicultores, ejercían una atracción para los lobos marinos; (3) el evitar el almacenamiento de mortalidad de salmones en balsas-jaulas aledañas a los centros, y que también ejercían una atracción de lobos marinos.

Medidas de mitigación de largo plazo

Acuicultura Multitrófica Integrada (AMTI)

Para disminuir los efectos provocados por los enormes volúmenes de salmones en cautiverio que se manejan en la acuicultura intensiva, cuyos aportes en términos de nitrógeno y fósforo bajo la forma de compuestos solubles y partículas afectan, tanto a la columna de agua como a los fondos, con efectos finales de eutroficación en las inmediaciones donde estas actividades se llevan a cabo, se ha sugerido principalmente la implementación de la Acuicultura Multitrófica Integrada.

La Acuicultura Multitrófica Integrada ó AMTI (en inglés: Integrated Multi-Trophic Aquaculture - IMTA), es un enfoque acuícola que integra el cultivo de macroalgas con especies provenientes de niveles tróficos superiores, por ejemplo: depredadores (e.g. peces), filtradores (e.g. moluscos bivalvos), y Herbívoros (e.g. erizos de mar) (Chopin 2006, Chopin *et al.* 2010). Las macroalgas son productores primarios que aprovechan los nutrientes provenientes del AMTI, actuando a la vez como biofiltro y especie de cultivo (Neori *et al.* 2008, Buschmann *et al*. 2013).

Estos cultivos consideran el concepto de balance ecosistémico al utilizar especies en niveles tróficos múltiples. Es decir, integran el cultivo de productores primarios, filtradores y carnívoros en un área común determinada, donde es posible que estos diferentes componentes reciclen ellos mismos los desechos producidos por los otros integrantes del sistema minimizando, en consecuencia, los efectos ambientales negativos.

Una de las etapas más complejas a escala industrial del AMTI es la selección de especies y la adecuada proporción de cada una para lograr un sistema productivo eficiente y equilibrado (Troell *et al.* 2009). El aprovechamiento eficiente del flujo de energía por parte de las especies provenientes de los distintos niveles tróficos crea un sistema equilibrado de producción acuícola, mejorando la producción acuícola y la calidad de las aguas, y funciona tanto en sistemas de producción piscícola con circuito cerrado o abierto (Yokoyam & Ishishi 2010). La diversificación acuícola que ofrece el AMTI como alternativa al monocultivo, es una vía práctica hacia la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica y, como consecuencia, tiene una mejor aceptación social (Buschmann *et al.* 2013).

Estudios avanzados en AMTI se realizan desde hace tres décadas en Canadá, Chile, Sudáfrica, Israel y China (Chopin *et al*. 2008; Barrington *et al*. 2009), y recientemente se ha implementado en otros países con tradición pesquera (e.g. Escocia-Reino Unido, Irlanda, España, Portugal, Francia, Turquía, Noruega, Japón, Corea, Tailandia, EE.UU. y México).

En Chile, la AMTI representa una opción real de diversificación acuícola, que combina tres tipos de acuicultura: (a) de alimentación (e.g. peces, crustáceos, moluscos ramoneadores), (b) de extracción orgánica (e.g. invertebrados filtradores y suspensívoros), y (c) de extracción inorgánica que involucra a las macroalgas (Buschmann *et al*. 1996, 2006a, 2006b, Chopin *et al.* 2012). En Chile, las macroalgas en el AMTI se utilizan para reducir el impacto ambiental de la salmonicultura intensiva (Buschmann & Pizarro 2001, Buschmann & Fortt 2005, Buschmann *et al.* 2008a, 2008c, 2009, 2013). También se han integrado cultivos de trucha, ostras y algas marinas. Actualmente se combina macroalgas, abalón y salmón en aguas abiertas. En China y en otros países asiáticos existen eficientes ejemplos de cultivos de macroalgas integrados con peces, moluscos y crustáceos. En Israel existen al menos tres granjas marinas en las que se practica AMTI.

Un ejemplo de cómo el enfoque AMTI puede reducir el impacto de la acuicultura de salmónidos es presentado en Buschmann *et al.* (2009). Un cultivo de salmón que produce 1.500 toneladas anuales (producción bruta), que ocupa un área de aproximada de 0,8 hectáreas, y que tiene un índice de conversión de 1,1, produce aproximadamente 65,9 toneladas de nitrógeno disuelto. Para absorber estos nutrientes disponibles se estima que es necesario cultivar entre 50 a 60 hectáreas de alga roja *Gracilaria chilensis* y algas pardas *Macrocystis pyrifera* en un sistema ubicado corriente abajo del cultivo de salmón. De acuerdo a estos autores se podría reducir hasta un 80% de la cantidad de nitrógeno que entra en el ecosistema por el cultivo de salmón.

Desde la década de 1990 se vienen desarrollando los principales criterios, referencias y orientaciones para realizar AMTI a escala industrial. El proceso AMTI, agrega valor económico a todos los componentes del cultivo, y además ofrece bienes y servicios para el medio ambiente marino y la sociedad (Buschmann *et al.* 2013, Chopin 2015). Así, AMTI es definida actualmente como "una práctica responsable para obtener simultáneamente productos marinos diversificados y con efectos de bio-mitigación en el impacto ambiental de la actividad acuícola" (Chopin 2015). Esta alternativa productiva, con especies y espacios que interactúan, es flexible porque

permite varias combinaciones aplicables en piscicultura en tierra con sistemas cerrados o abiertos, en cultivos de mar abierto o en los ubicados cerca de la costa. En la bahía de New Brunswick, Canadá, una empresa acuícola integró el cultivo de salmón con choritos y macroalgas, promoviendo sus productos y destacando que fueron desarrollados bajo el concepto de la acuicultura sostenible (Ridley 2007a, 2007b).

Recientemente se han analizado comparativamente los costos productivos y potenciales beneficios de la comercialización de especies marinas provenientes de monocultivos con las criadas con sistemas y procesos AMTI (Chopin 2015). Por ejemplo, el monocultivo de choritos elimina nitrógeno al medioambiente, que es capturado por macroalgas con valor comercial cuando son integradas al sistema acuícola (Holdt & Edwards 2014). Esta explotación del nitrógeno residual en el AMTI representa una solución más eficiente a través de "ingeniería ecológica" (Chopin *et al.* 2008, Troell *et al.* 2009). La AMTI, representa la "revolución turquesa", por su aporte de racionalidad productiva para optimizar los cultivos y también por sus efectos de bio-mitigación del medio marino (Chopin *et al.* 2010, Ogden 2013).

Para efectuar una estimación aproximada del aumento del costo que representaría la implementación de AMTI en Chile se cuenta con mucha experiencia y buena tecnología lograda en el desarrollo de dos rubros muy importantes: cultivo de salmones y choritos (Barra, 2015). A esto habría que agregar todo el conocimiento obtenido en el cultivo de macroalgas como *Macrocystis pyriferay Gracilaria chilensis* y de gasterópodos introducidos, como la ostra del Pacífico y los abalones. Las primeras experiencias realizadas en Chile consistieron en el desarrollo de sistemas que usaban agua de mar en cultivos intensivos de truchas (*Onkorhynchus mykiss*), de cuyas instalaciones los efluentes fueron usados para cultivar ostras (*Crassostrea gigas*) y el alga productora de agar *Gracilaria chilensis*, iniciativas que permitían reducir significativamente el nitrógeno y el fósforo derivado como desechos de estas instalaciones (Barrington *et al.* 2009). Actualmente, existen algunos cultivos de algas y peces, donde el alga *Gracilaria chilensis* y *Macrocystis pyrifera* son co-cultivadas con salmones (Troell *et al.*1997). La investigación ha demostrado que la productividad en biomasa de *Gracilaria chilensis* aumenta cerca de un 30% cuando crece con el salmón y la calidad del agar de esta alga es mejor (Buschmann *et al.* 2005). La Gracilaria es usada para el cultivo de abalones y para la extracción de agar. Todas estas especies podrían ser usadas en sistemas AMTI debido a su valor económico, nicho de mercado ya establecido, y la adaptación de éstas para crecer en condiciones del clima austral. Sin embargo, no existen

cifras claras, en términos absolutos, referentes al costo que la implementación de AMTI pudiera representar. Por este motivo es preciso recurrir a modelos experimentales que se han llevado a efecto en otros países.

En una simulación de un sistema de salmón-mejillón realizado en la costa oeste de Escocia, Bahía Fundy, se demostró que el valor de esta integración es dependiente de la mayor productividad de los mejillones que se cultivan en combinación con el salmón. En las simulaciones de rentabilidad de AMTI mejillones/sistemas de producción de algas/salmón, comparadas con un monocultivo de salmón, bajo una serie de escenarios, se observó un aumento del 24% en la rentabilidad de los sistemas de co-cultivo en comparación con aquélla del monocultivo. Se demostró también que en el AMTI, los cultivos adicionales permitieron neutralizar pérdidas financieras cuando el cultivo primario presentó pérdidas en el peor de los escenarios.

En una encuesta realizada a los consumidores de productos del mar de Nueva York se observó que el 38% de éstos estaría dispuesto a pagar un 10% extra por mejillones producidos por AMTI, si llevaban un etiquetado adecuado (Hughes & Kelly, sin fecha).

También se han intentado análisis económicos completos de AMTI, donde se han tomado en cuenta tanto los costos y beneficios financieros directos como los costos externos y beneficios indirectos. Al aplicar el diferencial Drivers-Pressure-State-Impact-Response (Δ DPSIR), enfoque metodológico para una comparación ecológica y económica entre monocultivo de abalón y el AMTI abalón-algas se observó que, desde una perspectiva privada, al adoptar la configuración AMTI se aumentaron las ganancias entre 1,4% a 5% con respecto a aquéllas que se obtenían con el monocultivo (Nobre *et al.*, 2010). Entre los beneficios externos obtenidos con el AMTI el valor colectivo fue sustancialmente mayor que la ganancia neta en los beneficios financieros directos. El beneficio global de la adopción AMTI tanto para la sociedad como para medio ambiente en este caso, se estimó entre US $ 1,1 y US $ 3,0 millones de dólares por año, aún incluidos el aumento representado por los gastos de implementación del AMTI.

En otro modelo de presupuesto ensayado para determinar la viabilidad financiera de un sistema AMTI en comparación con el monocultivo de salmón, que se basó en datos reales de un proyecto piloto de salmón-mejillones-algas en el este de Canadá se obtuvo que durante un período de 10 años a una tasa de descuento del 5%, el valor actual neto (VAN) del

sistema AMTI (US $ 3.296.037) fue 24% más alto que el VAN de la operación monocultivo (US $ 2.664.112) (Ridler *et al.* 2007). En otras palabras, estos resultados reflejaron que el uso de los residuos de un cultivo usado como alimento para otro podría aumentar notoriamente las ganancias. En el análisis de sensibilidad, para determinar la vulnerabilidad de ambos sistemas a las fluctuaciones de precios y pérdida de producción, teniendo en cuenta el riesgo económico asociado con las condiciones del mercado, se supuso una disminución inmediata del 12% para todos los precios de los productos para el período de 10 años. En estas condiciones, el sistema AMTI generó un margen de beneficio del 3,2% mientras que el sistema de monocultivo de salmón generó sólo un margen de 0,3%.

Tempranamente se investigó la rentabilidad financiera de un sistema AMTI salmón-mejillones a partir de datos de línea base de mejillón escocés y la acuicultura del salmón, mediante el análisis de tres sistemas diferentes en un horizonte temporal de 20 años: monocultivo de salmón, monocultivo de mejillón y cultivo de salmón-mejillón integrado. El VAN del sistema integrado (£ 1.425 millones) fue mayor que el sistema de monocultivo del salmón (£ 0.922 millones) y del mejillón (£ 0.353 millones), con tasas de producción de mejillones 20% más altas en el sistema integrado (Whitmarsh *et al.* 2006).

Mejora en la calidad del alimento de salmones

Las medidas de mitigación posibles, asociadas a la salmonicultura, se basan principalmente en la reducción del importe de nutrientes mediante la mejora en la calidad del alimento proporcionado a los peces (Trushenski *et al.* 2006). Cambios en su reformulación permitirían reducir el contenido en nitrógeno y fósforo (Trushenski *et al.* 2006), sin embargo el costo de esta reformulación del alimento y de las materias primas utilizadas puede resultar alto.

Medidas de compensación

Investigación, zonificación y áreas marinas protegidas (AMP)

Se proponen medidas de compensación por medio de un proceso de zonificación de sectores que presentan una alta biodiversidad de especies marinas. Por ejemplo, para el caso de los peces, es necesario de realizar estudios que determinen los ensambles de peces en una escala tanto espacial como temporal. Este tipo de estudios toma relevancia en ambientes como los canales y fiordos de la región de Aysén y Magallanes, debido a que estas regiones presentan una alta heterogeneidad ambiental marina, que se ve reflejada en la marcada variación de la salinidad y sedimentación entre los canales de la zona continental y oceánica (Silva & Calvete 2002; Sievers & Silva 2006). Según Hüne & Ojeda (2012), los peces que habitan en estos ambientes exhiben un patrón longitudinal de estructuración, en cuanto a la composición de especies entre los canales de la zona continental y oceánica. Este tipo de estructuración espacial se debe tomar en cuenta al momento desarrollar planes de manejo que involucren la zonificación de sectores y el establecimiento de áreas aptas para la acuicultura (AAA).

Como se indicó en capítulos anteriores, gran parte del potencial de impactos de la acuicultura surge de los desechos y el exceso de alimento no consumido que pueden acumularse bajo las jaulas. Estos problemas se pueden minimizar mediante la localización de los centros de cultivo en zonas más profundas, con buena circulación de agua, así como también controlando la densidad de peces dentro de las jaulas por debajo de la capacidad de carga del cuerpo de agua, para esto es fundamental la aplicación de modelos que permitan estimar la densidad máxima en la que la calidad del agua se pueda mantener de manera sostenible. Otra forma es seleccionar sitios o áreas donde predominen el material más fino (fango), los cuales se adaptan naturalmente al aporte de desechos y exceso de alimento no consumido. Esta acción puede reducir la modificación del hábitat y permitiría proteger la biodiversidad de los hábitats más sensibles.

Se requiere mayor información sobre el efecto estacional de las variables oceanográficas y cómo estos procesos influyen en las características de los ensambles y comunidades de peces y en los patrones de distribución, desplazamiento y uso de hábitat de aves y mamíferos marinos. En este contexto, el diseño de una propuesta de zonificación de sectores con alta biodiversidad de especies nativas requiere una mirada a mediano y largo plazo para poder incluir el componente espacial y temporal de las

comunidades, por medio de muestreos estacionales que abarquen la mayor parte de estas regiones e incluyendo las variables oceanográficas. Una mejor comprensión de estas interacciones, permitirá el diseño de planes de zonificación para una conservación efectiva de la biodiversidad de peces nativos de Chile.

Como el sur de Chile es uno de los sectores que concentra las áreas de más alta diversidad acuática del país y es a la vez el territorio donde se encuentra el mayor número de centros de cultivo del país, se hace imperiosa la necesidad de establecer Áreas Marinas Protegidas (AMP), en los sectores más cercanos que sea posible a los centros de cultivos, áreas que, a modo de control, permitan comparar la condición de estas comunidades menos intervenidas con aquélla que presentan los fondos marinos y dulceacuícolas como producto de las actividades de acuicultura, para investigar y establecer el modo más adecuado de conservarlos y/o recuperarlos. En el caso de la región de Magallanes donde el nivel de desarrollo de la actividad acuícola aún es incipiente, esta recomendación cobra suma relevancia para desarrollar la actividad de manera sustentable y que los efectos sobre la biodiversidad sean mitigados.

A modo de resumen la **Tabla 123**, presenta una evaluación de las diversas medidas de mitigación propuestas en cuanto a su costo, efectividad y factibilidad de implementación. Para todas las medidas propuestas se hace necesario mantener un monitoreo científico permanente orientado hacia la toma de muestras, no solo bajo las instalaciones de acuicultura y sectores aledaños contiguos, sino que también en sectores más alejados, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio. Sólo de esta manera se podrá verificar a través del tiempo la efectividad de las medidas adoptadas con el objeto de evitar, minimizar, reparar y compensar los efectos de la actividad acuícola sobre la biodiversidad. En este sentido, el protocolo de monitoreo propuesto en el presente trabajo es capaz de mensurar la magnitud y la amplitud espacial de la acción de cambio que genera la actividad acuícola en la estructura comunitaria.

Tabla 123. Evaluación de propuesta de medidas de mitigación y compensación de los efectos de la acuicultura. Clave: A: Alto, M: Medio y B: Bajo. Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica.

Escala temporal	Medida	Costo	Efectividad	Factibilidad
Largo plazo	AMTI	A	A	M
	Mejora en la calidad del alimento	A	A	B
	Investigación, zonificación y AMPS	A	A	A
Corto plazo	Disminución de escapes	B	M	A
	Disminución de depredadores	B	M	A
	Eliminación y manejo de desechos	B	A	A

5.5.3. Elaboración de propuesta de compensación

Levantamiento de información

De acuerdo a lo planteado para la determinación de las compensaciones se aplicó la metodología de valoración contingente que permite el levantamiento de la disponibilidad a pagar de las personas por un cierto nivel de bien o servicio ambiental o por un cambio en el nivel de provisión del mismo.

En este caso, el bien o servicio ambiental considerado se refiere a los efectos de la salmonicultura sobre la biodiversidad, el cual se ha expresado de tres formas principales que corresponden a: (i) la disminución de los espacios costeros para otros usos, (ii) la modificación de la estructura comunitaria y (iii) la disminución de los recursos pesqueros locales.

Por disminución de espacios para otros usos se entiende el efecto que tiene la ocupación de la columna de agua por la salmonicultura disminuyen los espacios disponibles para especies silvestres, así como para usos alternativos

humanos tales como: turísticos, espirituales, de conservación, de investigación y pesqueros (caladeros). Por otra parte, se entiende la modificación de la estructura comunitaria, como la disminución de especies sensibles del bentos, aves herbívoras e insectívoras, delfines, algas pardas y rojas y peces costeros. Igualmente, esto incluye el aumento de aves buceadoras piscícolas y carroñeras, lobos marinos, especies tolerantes del bentos y algas verdes. Por último, la disminución de recursos pesqueros se refiere a la baja de los stocks locales.

Así, en base a estos impactos, se definió un contexto bajo el cual las personas declararon su disponibilidad a pagar (DAP) por un cambio en el nivel de provisión de estos servicios ambientales. La definición de este contexto corresponde a explicitar o explicar el mercado hipotético bajo el cual se podrán expresar las preferencias de las personas en relación al bien o servicio ambiental en cuestión.

Tal como se puede ver en el ejemplar de la encuesta utilizada (Anexo 6) el mercado hipotético se describió de la siguiente manera:

"Más de una tercera parte de la población mundial vive en zonas costeras y se beneficia directamente de ella, como por ejemplo de la extracción de pescados, mariscos, y otros recursos que son materias primas. Así mismo, la diversidad de especies y el entorno marino permite desarrollar usos relacionados con la recreación, el turismo, la educación y la apreciación del paisaje.

La acción de la salmonicultura ha generado una serie de impactos ambientales como se ha detallado con anterioridad. Esto gracias a que los marcos regulatorios permiten tales prácticas, por lo tanto el enmendar tales repercusiones les corresponden a todos los chilenos. Por lo que sería necesario aplicar una serie de medidas estratégicas que permitirán disminuir tales impactos, como por ejemplo, la disminución de la cantidad de jaulas y el desarrollo de cultivos en mar afuera.

A partir del análisis de los efectos generados por la acuicultura, se ha estimado que, si una jaula de cultivo posee una superficie de 1.000 m2 se requiere de un área marina aproximada de 200 veces más grande para poder procesar los desechos orgánicos generados a partir de la alimentación y las fecas de los salmones. Este espacio comprende el espacio físico y la flora y fauna que allí habitan. Además, en la medida en que las especies que ahí habitan, reutilizan estos desechos, se altera temporal o

permanentemente, afectando la cantidad de individuos de las especies, sus interacciones y su entorno. Esto a su vez limita los otros el uso de estos recursos para otras actividades como la pesca y el turismo, entre otras.

En el barrio salmonero adyacente a Achao, para el año 2013 existían 46 centros de cultivo que cubren un Área de 663 ha. por lo que el área del ecosistema marino necesario para procesar los desechos de estas áreas de cultivo es aproximadamente de 132.600 ha. Por tanto, en este caso la limitación de otros beneficios, que proporcionan las distintas especies que ahí habitan (pesca, turismo, entre otros), se ve altamente prohibida o limitada.

Dos décadas atrás, en el 1993, los centros de cultivos alcanzaron 37 cubriendo 425 ha. y el área necesaria para paliar el impacto alcanzó hasta 85 mil ha, generando así un impacto medio sobre él las diferentes especies y su entorno natural.

En el año 1983 se tenían 27 centros de cultivo cubriendo un área total de 24 ha. y, debido a la contaminación producida por el cultivo de salmón se generó un impacto que abarcó una superficie total de 48 mil ha., afectando a las especies locales y su entorno, siendo este un bajo impacto.

Nótese así que el impacto generado en el año 2013 es 27 veces mayor al de la situación en el año 1983.

Así, basado en el planteamiento de esta condición actual y pasada, la encuesta y el encuestador buscaron determinar la máxima disponibilidad a pagar de los encuestados para disminuir el nivel de impacto desde el nivel actual (alto impacto al 2013) a un nivel bajo (año 1983).

Adicionalmente, las formas de pago fueron incluidas en la encuesta con el fin de contar con la percepción y preferencias de las personas respecto de éstas.

Resumen de ladata de la encuesta e identificación de encuestas válida y no-válidas

Se realizaron un total de 137 encuestas en las localidades de Curaco de Vélez y Dalcahue, haciendo referencia a los efectos del cultivo de salmones en el canal de Dalcahue como ejemplo para toda la zona de estudio (**Figura 157**).

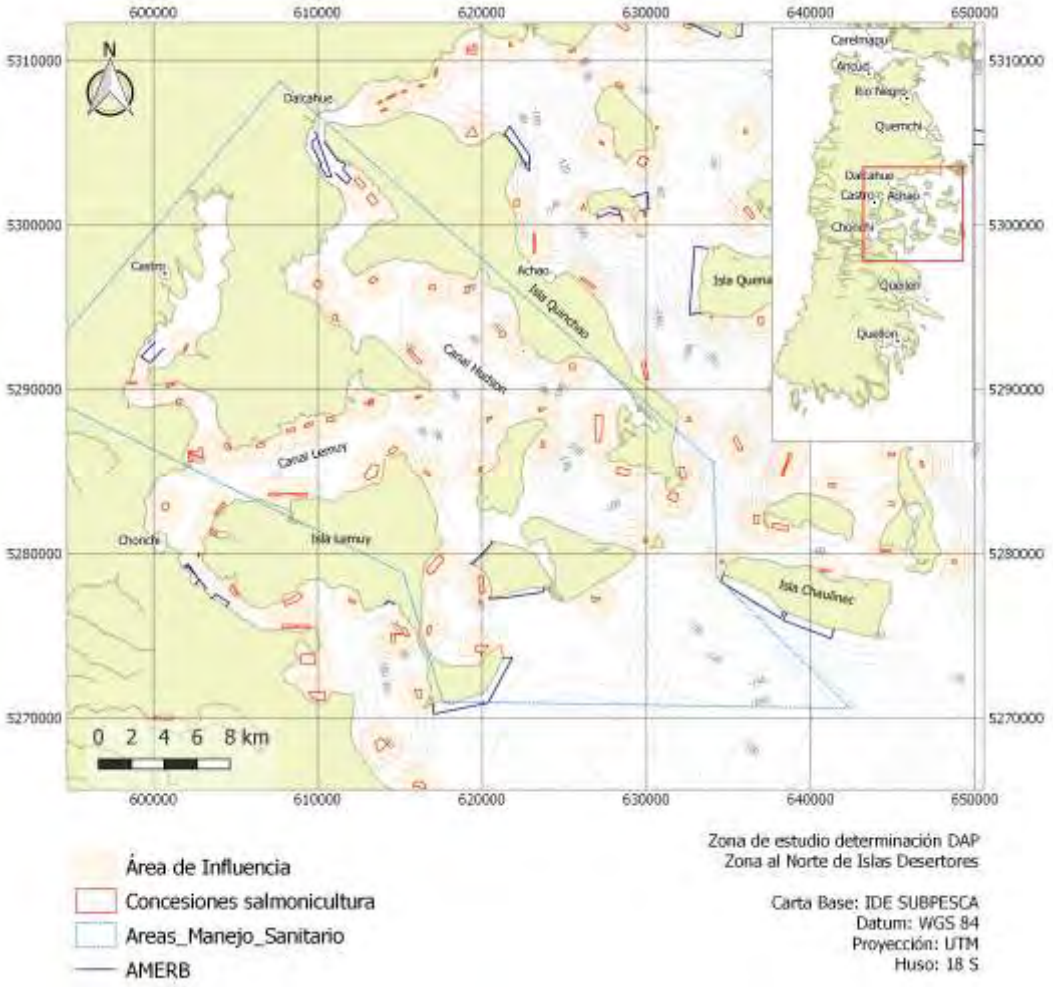


Figura 157. Zona de estudio para la determinación del DAP para la disminución de los efectos del cultivo de salmón

El 69% de los encuestados entregaron respuestas que indican su disponibilidad a pagar por recuperar la zona afectada por la salmonicultura

en algún grado que permita el desarrollo de la actividad sin un efecto importante sobre servicios ambientales considerados (espacios costeros, recursos pesquero y estructura comunitaria acuática) **Figura 158** (a). La **Figura 158** (b) indica que del total de encuestados dispuestos a pagar el 80% declaro hacer uso del entorno acuático de la zona de estudio y el 20% no hace uso del mismo.

Figura 158. Número y proporción de encuestados dispuestos y nodispuestos a pagar (Fuente: elaborado a partir resultados encuesta).

La **Tabla 124** a continuación muestra que el uso más frecuente declarado por los encuestados dispuestos a pagar, son la contemplación y recreación con 51% de total de usos, seguido por fuente alimento con un 29% del total.

Tabla 124 Tipos de usos declarados por los encuestados dispuestos a pagar.

Usos del bien dispuestos a pagar	%
Fuente de alimento	29
Obtención de materiales	4
Bienestar físico	1
Contemplación y recreación	51

En blanco	14

De los encuestados dispuestos a pagar pero que no hacen uso del entorno bajo estudio, la mayoría (89%) no declaró una justificación para ello y sólo el 11% de éstos encuestados respondió como justificación la contaminación del entorno acuático.

La **Figura 159** muestra la distribución de acuerdo al uso del entorno acuático de los encuestados no dispuestos a pagar por un una mejora del entorno acuático en la zona de estudio.

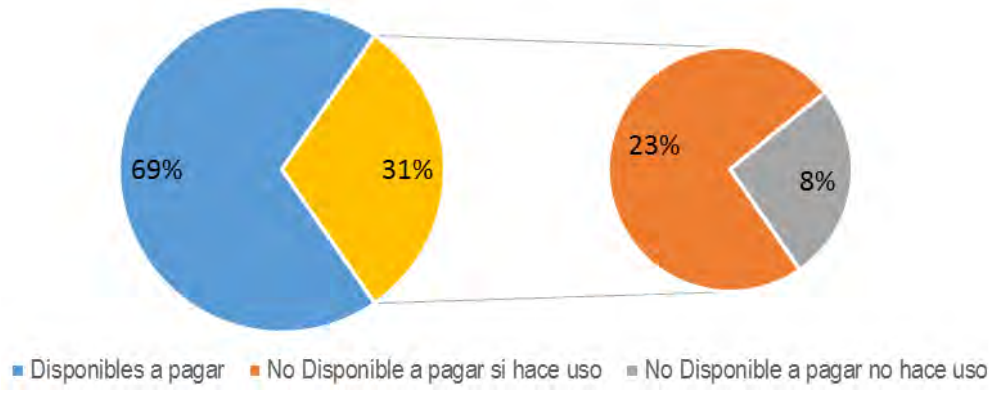


Figura 159. Distribución en base a uso de los encuestados no dispuesto a pagar

La **Figura 160**, indica que de aquellos encuestados no dispuestos a pagar, pero que si hacen uso del bien, las justificación más recurrente es que este problema es responsabilidad de las empresas, seguido por quienes no tienen dinero o pocos ingresos y que este pago cosa del estado.

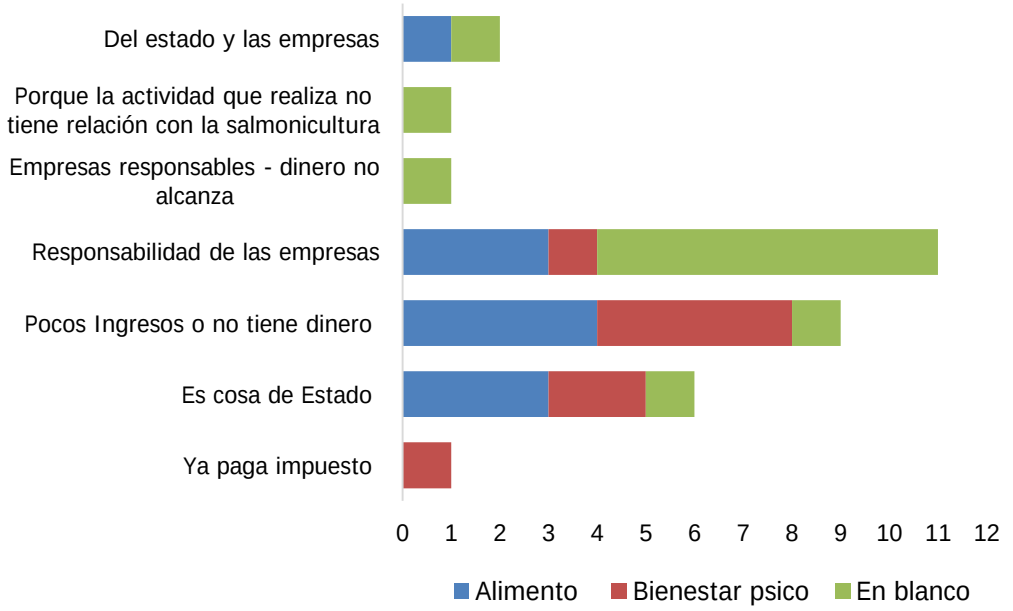


Figura 160. Justificación para no pago y usos declarados por aquellos encuestados no dispuestos a pagar

La **Tabla 125** presenta las principales justificaciones para no pagar de aquellos encuestados no dispuestos a pagar y que no hacen uso del entorno. Estas se refieren principalmente a que "Esto es cosa del estado" en 36% o a que tienen pocos ingresos o no tienen dinero (27%).

Tabla 125. Justificación de no pago para encuestados no dispuestos a pagar. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las encuestas.

Porque no está dispuesto a pagar	N°
Es cosa del Estado	36
Pocos Ingresos o no tiene dinero	27
Desacuerdo con el proyecto	18
La responsabilidad es empresarial	9
Los responsables se deben hacer cargo: empresas y quienes autorizan los centros de cultivo	9

El 16% de los encuestados (i.e., 22 personas) declaró tener alguna relación con la salmonicultura. De estos encuestados relacionados con el cultivo de

salmones el 72% está dispuesto a pagar y el 28% restante declara no estar dispuesto a pagar.

La visión de los encuestados sobre el cultivo de salmones se sintetiza en **Tabla 126**, indicando que el aspecto más favorable considerado es que una fuente laboral con 83% de los respondientes indicado esta característica. El resto de los aspectos favorables giran en torno a lo económico, la oferta de pescado y actividades complementarias.

Tabla 126. Aspectos favorables de la salmonicultura de acuerdo a los encuestados. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las encuestas.

Aspectos favorables	%
Fuente laboral	83
Económica	2
Oferta de pescado	3
Turismo	1
Bienestar	1
En blanco	10

La **Tabla 127**, indica que el 72% de los encuestados considera que losaspectos más desfavorables del cultivo de salmones son la contaminación y el daño al ecosistema. El 25% de los respondientes no contestó esta pregunta.

Tabla 127. Aspectos desfavorables de la salmonicultura declarados por los encuestados. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las encuestas.

Aspectos desfavorables	Nº respondientes
Contaminación y daño al ecosistema	72
Situación laboral precaria	1
En blanco	25
Otras	2

La **Tabla 128**, presenta una lista de profesiones u oficios declarados por los encuestados(as) no relacionados con la salmonicultura.

Tabla 128. Profesiones u oficios de los encuestados sin relación con la salmonicultura. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las encuestas.

Profesión u oficio	Frecuencia
Agricultor	13
Artesano	11
Asesor del hogar	8
Profesor o asistente de profesor	9
Comerciante e independiente	22
Dueña de casa	15
Pescador o buzo	3
Acuicultura	4
Cesante, estudiante o jubilado	4
Área de la salud	2
Oficinista	7
Mecánico o chofer	5
Otros (topógrafo, carpintero, obrero)	12
Total	**115**

La **Figura 161**, indica queel 65% de los encuestados dispuestos a pagar entregaron respuestas válidas y que sólo un 4% de los encuestados dispuestos a pagar entregaron respuestas no-válidas o protesta.

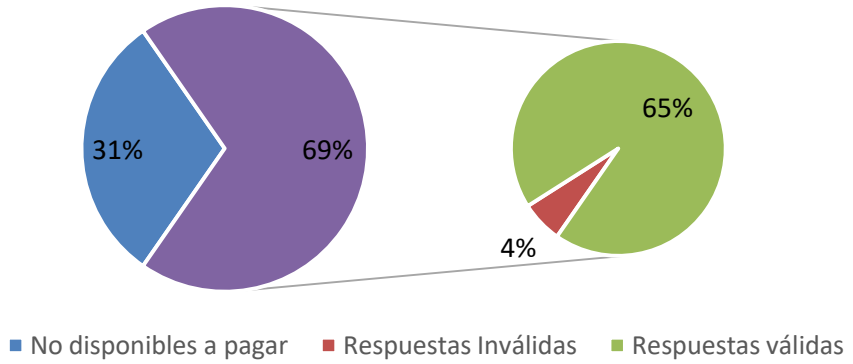


Figura 161. Distribución de respuestas válidas y no-válidas o protesta de los encuestados dispuestos a pagar.

Por lo tanto, el total de respuesta válidas y no-válidas o protesta de la muestra corresponde al 65% (89) y 35% (48) de todos los encuestados. En la **Figura 162** se puede observar el total de respuestas válidas las que corresponden a un 65%.

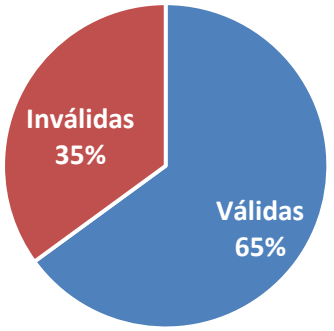


Figura 162. Encuestas válidas e inválidas-protesta de la muestra considerada

Finalmente, respecto de la forma de pago (**Figura 163**) la mayoría de los encuestados están de acuerdo con pagos voluntarios y sólo el 18% con pago mediante impuesto. El 31% de los encuestados no respondió esta pregunta.

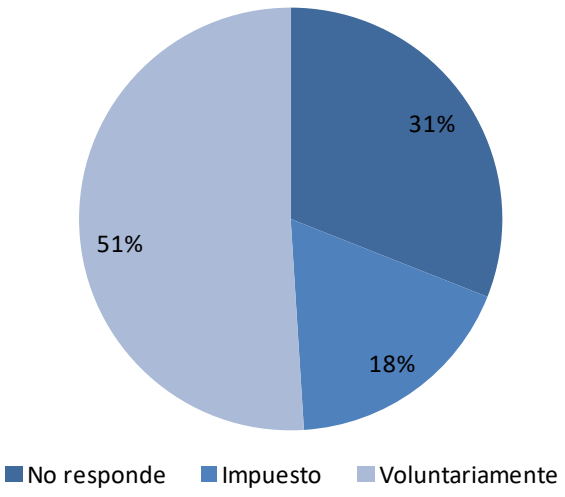


Figura 163. Formas de pago declaradas por los encuestados.

Determinación de los límites admisibles del DAP

La determinación de los límites admisibles para el DAP se realizó en cada encuesta, al momento de hacer que el encuestado realizara un contraste de su máxima disponibilidad a pagar por el cambio de propuesta en la calidad del entorno ambiental con el rango de ingresos declarados por el mismo. En este proceso el encuestado(a) fue asistido por el encuestador quien traduce la repuesta del máximo DAP a porcentaje de valor máximo del rango de ingresos declarados por el encuestado.

Estimación de la media y la mediana de la DAP

Los resultados de la aplicación del estimador de Kaplan-Meier para la estimación de la media y la mediana se presentan en la **Tabla 129** a continuación. Como se puede observar en la **Tabla 129**, la estimación incluye el cálculo del intervalo de confianza al 95%.

Tabla 129. Resultados de la estimación de la media y la mediana del DAP ($/mes) de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

Media				Mediana			
Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%		Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%	
		Límite inferior	Límite superior			Límite inferior	Límite superior
9.311,46	2.809,45	3.804,94	14.817,98	3500	1.178,51	1.190, 12	5.809,88

Prueba para la estructura de las respuestas de DAP

A continuación se presentan las funciones de densidad de la probabilidad del DAP ($/mes-encuestado) en función del rango de ingreso medio y rango de escolaridad declarados por los encuestados. Como se puede observar en la **Figura 164**, las funciones de densidad de probabilidad muestran un comportamiento de la DAP acorde con la teoría económica del bienestar, respecto del rango de ingreso declarado, al mostrar un incremento en la mediana de la DAP al aumentar el ingreso medio de los encuestados.

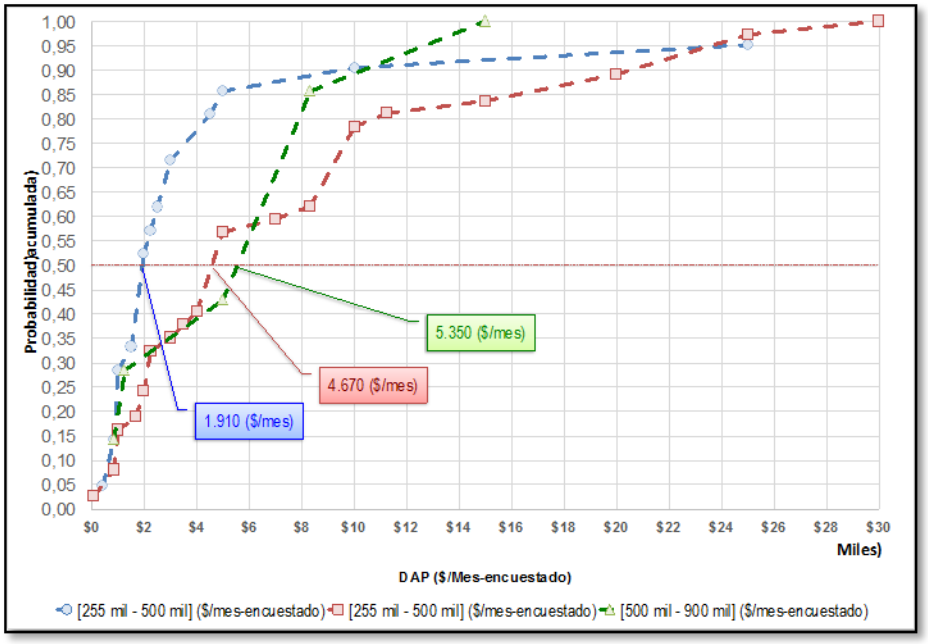


Figura 164. Función de densidad de la probabilidad del DAP ($/mes) por rango de ingreso medio. Fuente: elaborado en base datos de la encuesta.

Para el caso de variable escolaridad, la **Figura 165** presenta la función de densidad de probabilidades para cada uno de los rangos de escolaridad considerados en la muestra. Como se ve en la **Figura 165**, no existe un comportamiento claro de la disponibilidad a pagar con el aumento en los años de escolaridad, sobre todo en los niveles más altos de educación.

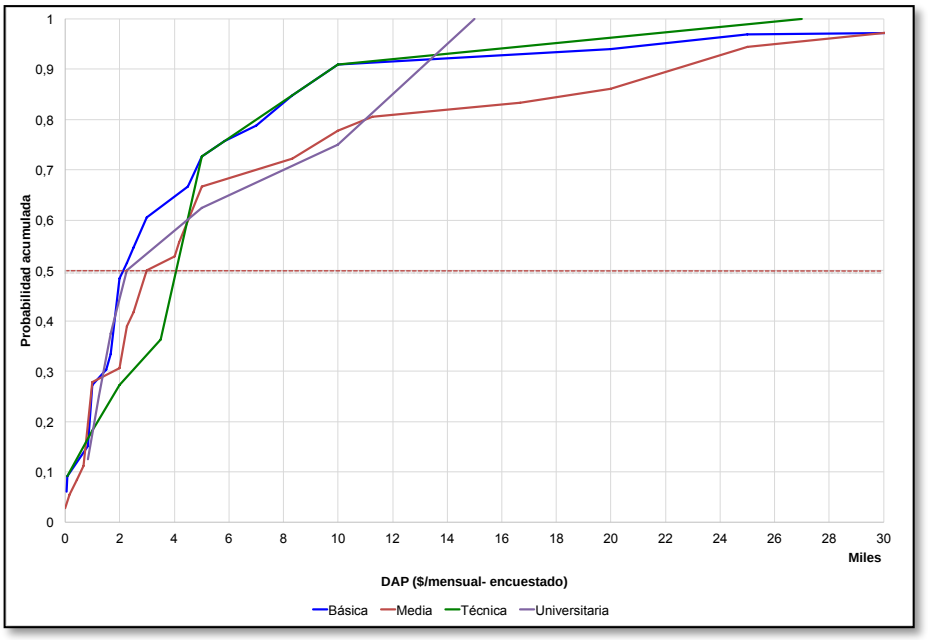


Figura 165. Función de densidad de la probabilidad del DAP ($/mes) por rango de escolaridad. Fuente: elaborada en base a resultados encuesta.

Lo anterior permite concluir que la relación entre el DAP y los ingresos medios de los encuestados es la que se debe usar a continuación para el cálculo de la función de oferta. La **Tabla 130**, muestra los estimados de DAP realizados en base a los datos de la encuesta aplicando por un parte la estimación de la mediana del DAP en base al histograma de la densidad de probabilidad de ocurrencia de este valor en base a los resultados obtenidos, tal como se refleja en la **Figura 164** y **Figura 165** Además, siguiendo la recomendación de Pearce (2002) se estimaron también valores de la mediana en base al método de Kaplan-Meier para distribuciones no-paramétricas.

Tabla 130. Mediana de DAP ($/mes-encuestado) estimados por histograma y mediante estimador de Kaplan-Meier, por rango de ingreso medio declarado por el encuestado

Rango Ingreso	Mediana DAP ($/mes-encuestado)	
(Valor medio $/mes)	Base Histograma	Base Kaplan-Meier
165.000	1.910	2.500
362.500	4.670	4.000
700.000	5.350	5.000

Especificación de la función de oferta o de disponibilidad a pagar

Para la especificación de la función de oferta o de disponibilidad a pagar se utilizan los datos de la **Tabla 130**, a partir de la cual se probaron dos regresiones log-linear, una para los DAP estimados en base al histograma y el otro en base al DAP calculado a partir del estimado de Kaplan-Meier.

Las regresiones lineales estimadas indicaron que los ajustes no son suficientes para contar con un modelo estadísticamente representativo. Los ajustes de las regresiones log-linear indicaron que la regresión en base a histogramas tampoco permite el ajuste de un modelo estadísticamente significativo. Sin embargo, los ajuste para un modelo log-linear en base a los DAP estimados a partir de Kaplan-Meier si indicaron un modelo estadísticamente significativo tal como se muestra en la **Figura 166**.

Esta función de oferta permite el cálculo de la disponibilidad a pagar en valores mensuales ($/mes) de un persona para llevar la bien ambiental o servicio ambiental asociado a la salmonicultura, desde la situación actual (i.e. 2013) en que hay alta intervención e impacto a una situación de bajo impacto como la que existía en la zona de estudio en 1983.

La función de oferta arriba entregada, fue estimada sólo a partir de tres pares de datos, correspondientes a las medianas de los DAP para cada correspondiente nivel de ingresos declarados en la encuesta. Indudablemente, este bajo número de datos influye en la bondad de los ajustes para la especificación del modelo de oferta. En el futuro se podría considerar una mayor apertura de los rangos de ingresos medios a declarar de tal forma de contar con un mayor número de estimadores finales.

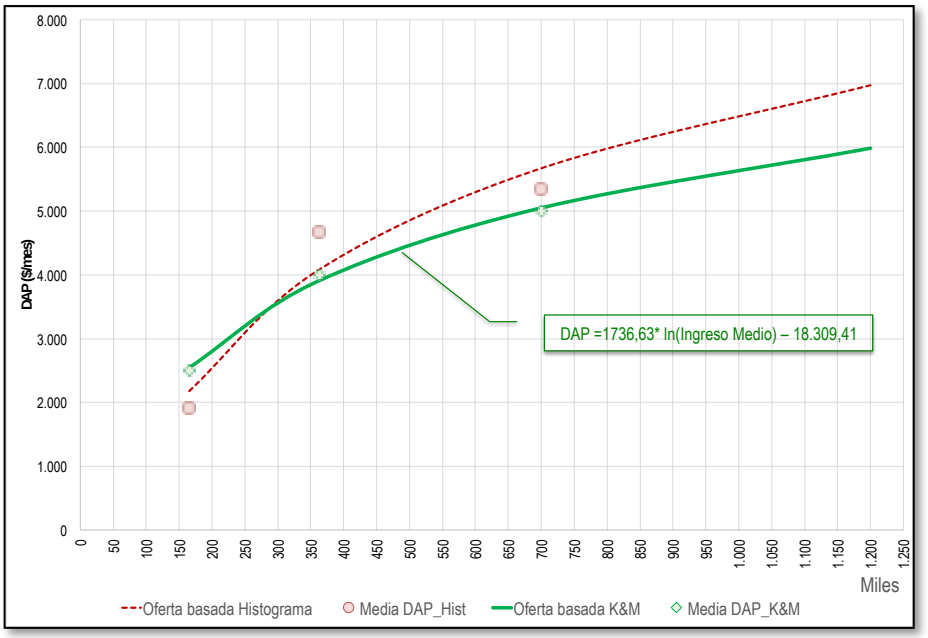


Figura 166. Especificación de funciones de oferta para DAP ($/mes-encuestado) para el ingreso medio declarado por los encuestados.

5.5.4. Propuesta para el cálculo de compensación

De acuerdo a la literatura sobre valoración contingente de bienes y servicios ambientales (Azqueta 1994, Riera 1994 y Pearce 2002, entre otros) es posible aproximar valor de compensación por la pérdida de bienes y servicios ambientales al valor de la máxima disponibilidad a pagar que las personas declaran estar dispuestos a realizar para pasar de una situación de baja provisión de este bien o servicio ambiental, a otra de mayor provisión del mismo. El valor así estimado corresponde a un valor unitario para cada persona.

En el caso de ilustración aquí presentado, inicialmente se estimó que la mediana del DAP para la muestra fue de 3.500 $/mes. Esto es, aquel valor para el cual exactamente un 50% de la muestra tiene menores DAP y el otro 50% de la muestra tiene mayores DAP. Por tanto, se puede considerar como el valor representativo que los encuestados (muestra) están dispuestos a pagar mensualmente por generar un cambio que permita retroceder diez años para llegar a la situación ambiental de 1983.

Bajo esta interpretación, este es el valor que los encuestados le dan a la mejora en la provisión del bien o servicio ambiental en consideración, por

tanto este sería el valor mínimo que estaría dispuestos a recibir en compensación por una pérdida equivalente de este bien o servicio ambiental.

De esta manera, el valor total de compensación a considerar correspondería, al menos, a este valor de la mediana del DAP multiplicado por el total de individuos en muestra, lo que daría aproximadamente 479.500 $/mes para los 137 encuestados y 8.750.000 $/mes para los habitantes económicamente activos de la comuna de Curaco de Vélez (2.500 personas).

Si consideramos la función de oferta en base a los ingresos medios de los encuestados (**Figura 166**), y construyendo una pequeña función stepwise (**Figura 167**) para las medias de los rangos de ingresos considerados se puede hacer un estimado de las compensaciones considerando la estructura de ingresos de los encuestados obtenida mediante la encuesta.

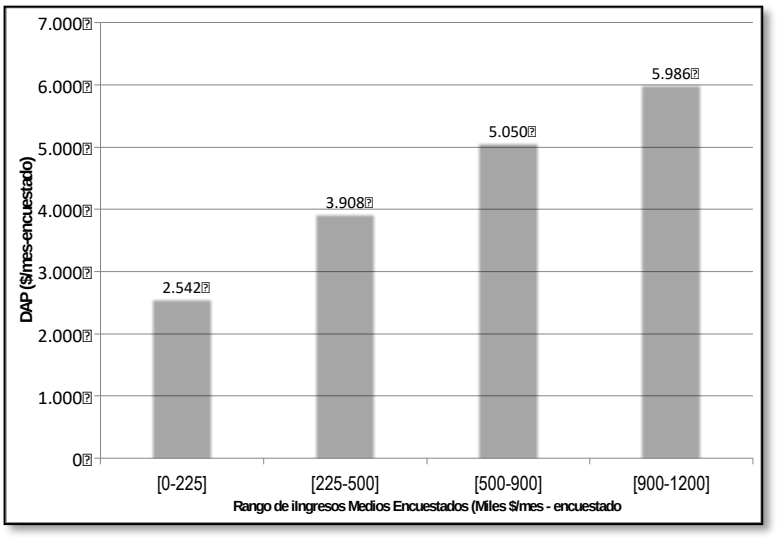


Figura 167. DAP ($/mes-encuestado) por rango de ingresos medios declarados, estimadas a partir de la función de oferta.

De los resultados de la encuesta se obtuvo que la participación por rango de ingreso medio en la muestra es de 31,8%; 56,1%; 16,6% y 1,5% para los rangos [0–225 mil], [225-500 mil], [500-900 mil] y [900-1.200 mil], respectivamente.

A partir de lo anterior se estima que el valor mensual de compensación para la muestra sería de 496.823 $/mes y de 9.066.113 $/mes para la población económicamente activa de la Comuna de Curaco de Vélez, considerando nuevamente 2.500 personas.

Finalmente, la metodología considerada para esta propuesta de compensaciones es aquella aplicada para la consecución de este objetivo 3.5, no obstante lo anterior y modo de guía, la **Figura 168**, presenta el procedimiento general seguido para obtener estos resultados.

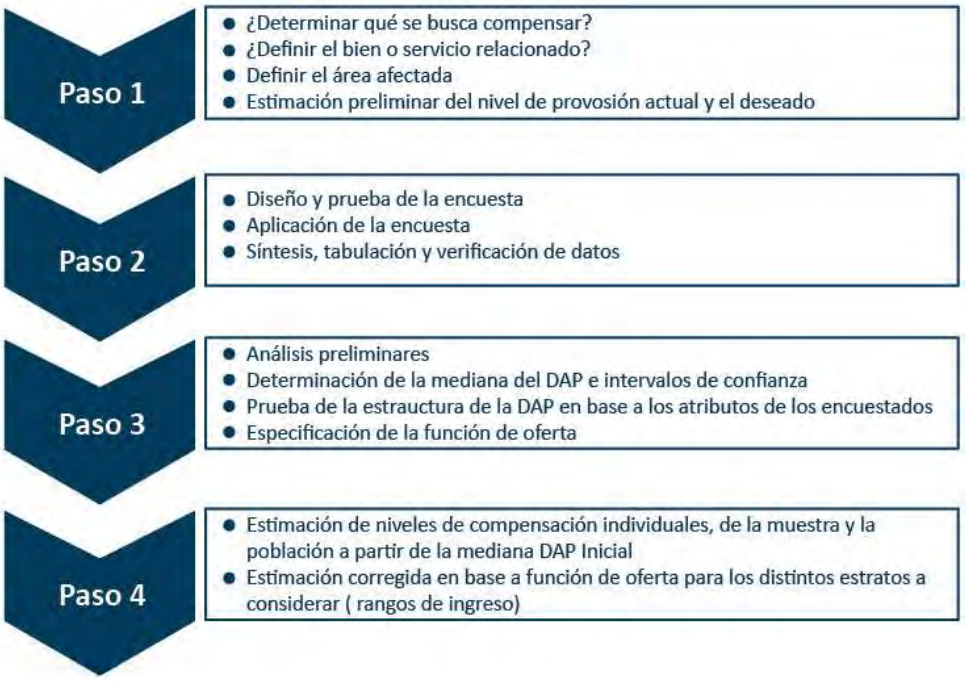


Figura 168. Procedimiento metodológico general para la propuesta de compensaciones.

A través de los resultados aquí descritos se propone un método para el cálculo de compensaciones monetarias para los efectos de la acuicultura sobre la biodiversidad. En este sentido, es necesario recalcar que dichos montos pueden considerarse la base para proyectos de inversión que permitan generar efectos positivos alternativos y equivalentes a los efectos adversos producidos por la actividad acuícola.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

6.1. Objetivo Específico 3.1.

Realizar una recopilación de antecedentes de los diversos grupos de flora y fauna marina y continental que reporten efectos producto de las actividades de acuicultura, como también, de aquellos sectores considerados "sensibles" desde el punto de vista de la biodiversidad.

Un total de 516 fuentes fueron consultadas para identificar efectos reportados por actividades de acuicultura en seis grupos de flora y fauna. La amplitud temporal de la literatura consultada data de la década de 1960 hasta la actualidad y el 54,7 % de esta información corresponde a literatura internacional (**Figura 169**).

La búsqueda de antecedentes que permitieran identificar efectos de las distintas actividades acuícolas en la biodiversidad, en general no fue directo, por lo que debieron analizarse documentos que abordaban otras temáticas que tangencialmente eran de utilidad para el objetivo. Así, el 43,2% de las fuentes abordaba otras temáticas y 56,8 tuvo una relación entre la productividad acuícola y la biodiversidad (**Figura 170**). No obstante de estos últimos, gran parte de los antecedentes se enfocaba a como algunas especies o grupos de especies interfieren en la producción acuícola y no a los efectos que la actividad tiene en la biodiversidad.

De los documentos que abordan en forma directa los efectos de la acuicultura en el ambiente se deben destacar los trabajos de Buschmann *et al*. 1996 donde se realiza una revisión de estrategias alternativas de producción para el cultivo marino en Chile; Buschmann (2001), que aborda el estado del arte de la investigación referente al impacto ambiental de la acuicultura en Chile y el mundo; Buschmann *et al*. (2006) donde se realiza una revisión de los impactos del cultivo de salmones en ecosistemas costeros de Chile y Buschmann *et al*. (2009) que realizan una revisión y análisis de las regulaciones que rigen la salmonicultura y describe propuestas de bio-remediación del impacto medioambiental producido.

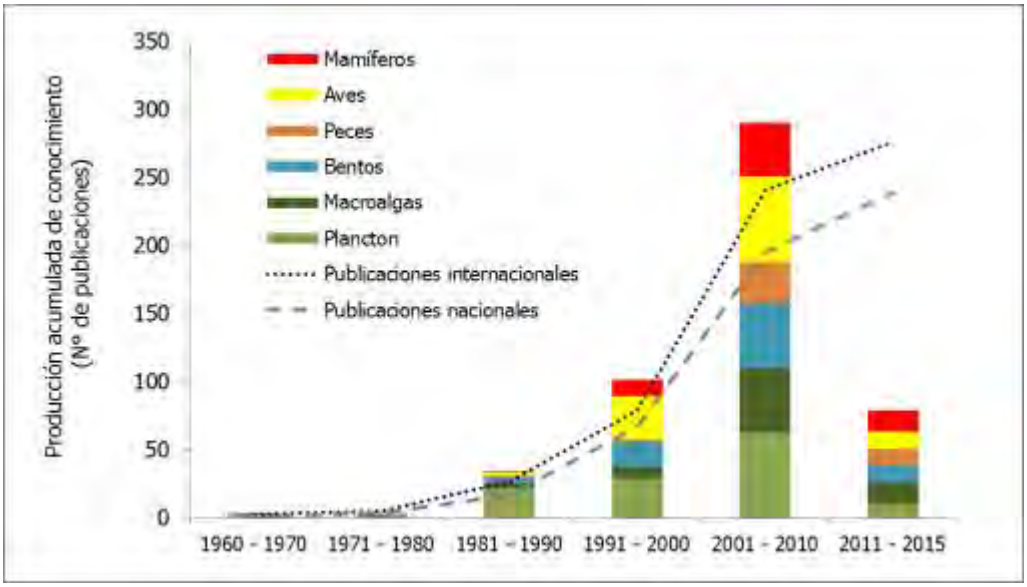


Figura 169. Histograma de referencias por década y por grupo. Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica por grupo taxonómico.

Respecto de los sectores sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad, se consideró como una primera aproximación las áreas que se encuentran protegidas por alguna figura legal, junto con aquellas que han sido relevadas como sitios prioritarios dentro de la Estrategia Nacional de Biodiversidad (CONAMA, 2003).

En relación a lo anterior, a nivel nacional se cuenta con la protección de 15.215.830 há bajo las figuras legales de Parques Marinos, Reservas Marinas y Áreas Marinas Costeras Protegidas. No obstante, el parque Motu Motiro Hiva, ubicado en torno a los islotes de Salas y Gómez, aporta el 99,5 % del total de las áreas marinas protegidas, al excluir esta área del análisis, obtenemos que en Chile existan solo 82.948 há bajo alguna figura legal de protección.

Sumado a lo anterior, la información recopilada muestra una dicotomía en la ecorregión Chiloense, donde existe el mayor uso a nivel nacional destinado a la actividad acuícola. Así de 34.422 há de cultivos autorizados por la SUBPESCA, a nivel país, la mayor parte se concentra en la ecorregión Chiloense (26.670 há). En tanto, las áreas de protección abarcan un total de 17.601 há, pero el Santuario de la Naturaleza Estero Quitralco, comprende el 92 % del total de las áreas protegidas de esta zona, quedando gran parte de esta ecorregión sin protección legal para la preservación y/o conservación de la biodiversidad. Aun cuando en esta se han registrado altos niveles de productividad primaria, incluso mayores que los detectados en áreas más al

norte en la Corriente de Humboltd (Hucke-Gaete 2004), convirtiéndolo en un sistema altamente productivo que alberga una compleja red trófica, permitiendo la existencia de zonas de crianza, reproducción, alimentación y tránsito de diversos organismos.

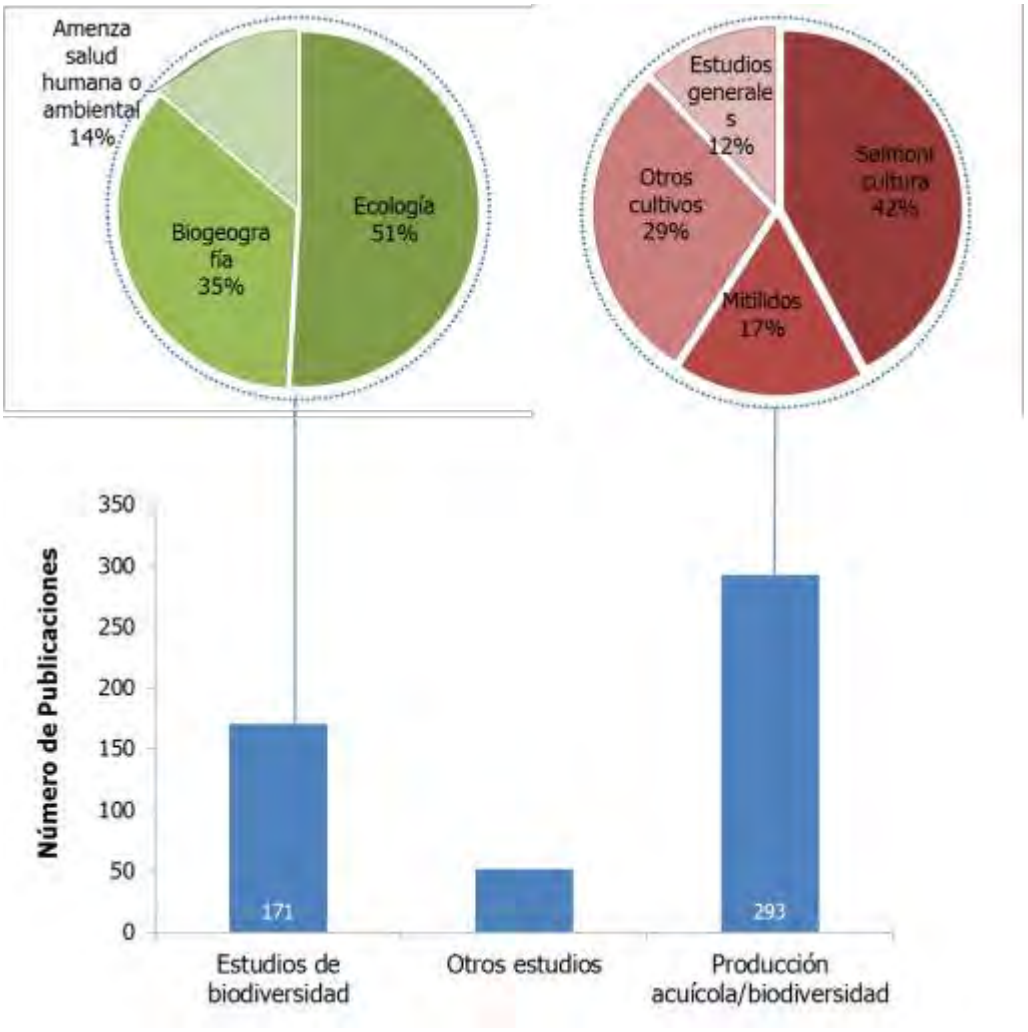


Figura 170. Referencias utilizadas para la revisión bibliográfica, organizadas por tema.Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica por grupo taxonómico.

Sumado a lo anterior, el ecosistema de la ecorregión Chiloense además de ser considerado como altamente frágil por su condición salobre, ha sido reconocido por una alta variedad de bienes y servicios ecosistémicos, que dan sustento a una importante actividad pesquera, al desarrollo acuícola y al

turismo, además de presentar gran relevancia para la conservación de la biodiversidad (Miethke & Gálvez 2009).

En razón de lo indicado, es esperable encontrar en esta zona la mayor interferencia, a nivel país, entre la actividad acuícola y la biodiversidad. Por otro lado, los antecedentes dejan de manifiesto que existe una falta de protección legal de áreas que son importantes para la biodiversidad y que además proporcionan servicios ecosistémicos claves que de no protegerse podrían poner en riesgo otras actividades de alto impacto socioeconómico, como son la pesca y el turismo.

Entre los esfuerzos por revertir la situación descrita, se encuentran dos propuestas de AMCP-MU, una de ellos a emplazarse en el sector de Pitipalena-Añihue (Acuerdo N°3/2014, Consejo de Ministros Para la Sustentabilidad, Ministerio del Medio Ambiente) y el otro en Bahia Tic Toc-Golfo del Corcovado (Acuerdo N°4/2014, Consejo de Ministros Para la Sustentabilidad, Ministerio del Medio Ambiente). Dichas áreas sumarían un total de 123.000 nuevas há de conservación marina que buscan proteger distintas especies de aves y mamíferos marinos, además de corales de agua fría, peces como el puye y la sardina austral, y algas como el pelillo y la luga roja, todas especies sobre las cuales se han identificado efectos provocados por acuicultura, principalmente por la salmonicultura.

6.2. Objetivo Específico 3.2.

Determinar grupos o especies de flora y fauna marina y continental que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura.

La acuicultura es considerada una alternativa para aumentar la oferta de productos marinos debido a la sobreexplotación y disminución de las principales pesquerías en el mundo (Goldburg y Naylor 2005). Sin embargo, la intensificación del cultivo de especies introducidas genera una serie de amenazas sobre la biodiversidad tanto marina como continental.

Las actividades de acuicultura se concentran en Chile en las regiones X, XI, y XII del sur del país. Secundariamente ocupan un lugar importante las regiones IV y VIII, aunque con una gravitación que en términos comparativos de producción es mucho menor. De todas estas regiones se requiere efectuar estudios y monitoreos científicos de continuidad para estudiar los efectos que sobre las especies marinas y dulceacuícolas produce tanto la salmonicultura,

que se desarrolla en aguas continentales y marinas de la X y XI Región, como también de los cultivos de mitílidos que se concentran en la X Región y de los invertebrados y algas que se realizan en el resto del país.

6.2.1. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen el plancton

Respecto de la revisión de la matriz planctónica, se puede evidenciar que las actividades acuícolas pueden tener importantes efectos sobre la biota local planctónica y de fondos. Se han identificado alteraciones principalmente ligadas a la eutrofización, cambios en el balance de los nutrientes, aumento en la deposición de material particulado sobre los fondos; y reducción en el oxígeno disuelto. Sin embargo existen falencias importantes en la información disponible que permita evaluar tanto estos efectos como los potencialmente producidos por metales pesados, antibióticos y otros agentes químicos utilizados en la acuicultura. Debido a estas falencias es imperativo conducir investigaciones centradas en dilucidar cómo estas alteraciones podrían potencialmente afectar a las comunidades y diversidad del fitoplancton, perifiton y zooplancton.

En la salmonicultura, los efectos sobre las comunidades fitoplanctónicas aún son poco conocidos y continúan siendo controversiales. Los mayores efectos que se conocen son los que tienen su causa en la introducción de grandes cantidades de nutrientes a las capas superficiales del mar por medio del alimento dado a los peces.

Las investigaciones realizadas en el tema del efecto de los nutrientes provenientes de la acuicultura sobre las comunidades fitoplanctónicas indican que existen dos factores determinantes: la concentración inicial de nutrientes presentes en el área, previo al inicio de las actividades acuícolas, y el tipo de circulación que existe en el área afectada. Si la concentración original de los nutrientes es alta, las comunidades son poco afectadas, mientras que si se introducen granjas de peces en áreas oligotróficas los efectos de éstas serán mayores. Asimismo si existe una circulación y mezcla vigorosa de las aguas superficiales, los nutrientes adicionales tendrán un efecto menor al ser rápidamente distribuidos sobre una mayor proporción de la columna de agua, lo que contribuirá al crecimiento de diatomeas sobre grupos flagelados del fitoplancton, siempre y cuando exista un exceso en las concentraciones de sílice.

El problema de los compuestos tóxicos utilizados como anti-incrustantes disolubles sobre el fitoplancton ha sido poco explorado. Dado esto es necesario fomentar los estudios científicos en esta área.

Los efectos de otros compuestos con potencial bioactivo como antibióticos y hormonas utilizados en la industria salmonicultora, no han sido estudiados debido a que se desconocen los químicos utilizados por la industria y su forma de administración. Dado esto es necesario fomentar los estudios científicos en esta área.

Según la información disponible, el efecto que pueden tener las actividades salmonicultoras sobre el perifiton podría ser significativo dada la sedimentación de gran parte de los nutrientes fosforados hacia el fondo marino. Sin embargo la información existente es muy escasa por lo que es necesario conducir investigaciones específicas tendientes a esclarecer este punto ya que existe una gran deficiencia en esta área.

Referente a la componente zooplanctónica, no existe un efecto claro y directo de la salmoniculturasobre el zooplancton.Sin embargo algunos compuestos químicos bioactivos pueden tener un efecto indirecto sobre estas comunidades. Dado esto, el uso de compuestos bioactivos debiera reducirse en la industria salmonicultora, existiendo en la actualidad numerosos esfuerzos estatales de gobiernos como el noruego y escocés, organizaciones no gubernamentales y entes privados. Existe una falencia importante en la información disponible sobre los efectos de la salmonicultura y especialmente de los compuestos bioactivos sobre el ambiente y comunidades planctónicas. Es necesario resolver este vacío de información para poder tomar las medidas pertinentes a evitar daños potencialmente graves al ambiente por este tipo de actividades.

En cuanto a los cultivos de mitílidos, se ha indicado que pueden tener un efecto significativo sobre las comunidades fitoplanctónicas, reduciendo su abundancia y forzando cambios en sus componentes principales, sin embargo la solución a estos problemas es de difícil implementación, sin afectar la productividad de las concesiones acuícolas.

Referente a la componente zooplanctonica, los efectos de la miticultura son directos e indirectos, y principalmente debidos a la actividad trófica de los animales en cultivo. La reducción del zooplancton por parte del cultivo de mitílidos en gran escala y extensión podría eventualmente causar efectos negativos en peces y sus larvas que se alimentan de zooplancton. Debido a esto es necesario estudiar los efectos de la mitilicultura a nivel nacional y buscar soluciones que permitan el desarrollo sustentable de estas actividades productivas.

En general los cultivos de mitílidos son considerados relativamente benignos al ambiente, sin embargo el crecimiento en tamaño y densidad, registrados en años recientes en las costas chilenas debe modificar esta aserción e impulsar al estudio de los efectos ambientales de estos cultivos intensivos.

6.2.2. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies macroalgales

En cuanto al cultivo de macroalgas, no se considera que generen un problema, más bien podrían ser beneficiosos al utilizarlas en forma productiva para la disminución de nutrientes originados en actividades antrópicas que podrían causar problemas de contaminación costera y floraciones de fitoplancton.

El uso de algas como sistemas para la captura y retención de metales pesados también resulta interesante para áreas con este tipo de contaminación persistente.

Las características alelopáticas de los extractos de macroalgas también abren posibilidades en la investigación sobre su posible uso para interferir con las etapas tempranas de la formación de floraciones algales nocivas.

Respecto de las macroalgas, son escasos los registros bibliográficos nacionales e internacionales que describan, evalúen o monitoreen los efectos de la acuicultura sobre la vegetación marina o viceversa. No obstante, algunos estudios consideran a las macroalgas como un componente importante del ensamble de bioincrustantes marinos (Biofouling) que habitan las infraestructuras acuícolas en el mar. Entre las macroalgas que conforman este ensamble es posible encontrar algunas especies exóticas que tienen un alto potencial invasor con impactos en el ecosistema que son desconocidos, particularmente en nuestro país. La basura flotante que produce la acuicultura es un factor de dispersión de biota vegetal pobremente estudiada, y una vía para la expansión geográfica de especies naturales y exóticas. Por otra parte, los impactos ecológicos de las especies exóticas introducidas para acuicultura tienden a ser ignorados, y sus potenciales efectos en el ecosistema conllevan problemas de bioseguridad y bioética pobremente discutidos. Finalmente, la acuicultura multitrófica integrada parece ser una solución factible para mitigar los impactos ambientales de esta actividad productiva, y es en estos sistemas acuícolas donde las macroalgas juegan un rol fundamental como depuradores biológicos marinos.

6.2.3. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies que componen la comunidad bentónica

Análisis y discusión de la literatura

Los efectos sobre los fondos que han sido detectados derivan de las mismas instalaciones de cultivo, que han introducido alteraciones en los ecosistemas que han sido intervenidos para realizar estas actividades. Entre los principales efectos están la acumulación de materia orgánica y de productos tóxicos que se utilizan especialmente en la salmonicultura, con un consecuente desequilibrio entre las especies de la macroinfauna que integran las comunidades bentónicas y una probable gestación y transferencia de enfermedades. Estos efectos han desembocado en la actualidad en la estimación y declaración de sitios de cultivo cuyos fondos marinos se encuentran en condiciones anaeróbicas, para separarlos de aquéllos aeróbicos en que esta condición es aún, un poco mejor.

En los sectores marinos más perturbados por la acumulación de materia orgánica se ha podido observar la presencia de especies oportunistas como los poliquetos *Capitella capitata* y especies del género *Polydora*, que permitirían considerarlas como las menos afectadas por problemas de contaminación. En segundo término, los gasterópodos del género *Nassarius* presentan un buen desarrollo en sectores de fondos con sedimentos que presentan una mayor carga orgánica. Esto permitiría considera a las especies de ambos grupos de invertebrados como especies indicadoras de este tipo de ambientes, que podrían ser reconocidas como "centinelas" para monitorear las condiciones donde el desequilibrio de la macroinfauna esté alcanzando niveles mayores.

Análisis y discusión de la información contenida en CPS e INFA

Respecto del efecto en las comunidades bentónicas, es importante mencionar que en la actual normativa chilena, con respecto a la evaluación de la calidad de ambientes acuáticos asociados a centros de cultivo, no es exigida la aplicación de algún índice biótico bentónico en particular que dé cuenta del estado en que se encuentran determinados hábitats sometidos a impactos de actividades antropogénicas, como ocurre en otras partes del mundo (Weisberg et al. 1997; Birk et al. 2012), siendo solo solicitados los índices ecológicos de diversidad (Shannon-Wiener, H'), dominancia (Simpson, D) y uniformidad (Pielou, J') .

Actualmente existen variados índices biológicos, que se basan en la presencia o abundancia de determinadas especies macrobentónicas en respuesta a distintos niveles y categorías de perturbación (e.g. BQI: Rosenberg et al. (2004), Leonardsson et al. (2015); AMBI: Borja et al. (2000); BENTIX: Simboura & Zenetos (2002)), los que presentan cierto grado de sensibilidad/tolerancia frente a cambios en su hábitat. Sin embargo, se han mencionado numerosos cuestionamientos frente a su uso y/o rendimiento, relacionados al origen de la presión, plasticidad geográfica (Green & Chapman, 2011; Keeley et al., 2012), ranking de niveles de sensibilidad/tolerancia a taxa (Carvalho et al., 2006; Labrune et al., 2012), clasificación errónea del estado de la calidad ecológica (Quintino et al., 2006; Bouchet and Sauriau, 2008; Callier et al., 2008), disimilitudes en el poder de discriminación entre índices (Pranovi et al., 2007), limitación de la capacidad de diagnóstico (Sampaio et al., 2011), capacidad de distinción entre presiones naturales y antropogénicas en ambientes estresados naturalmente (Dauvin, 2007;Elliott and Quintino, 2007), variación espacial y temporal del desempeño de índices (Kröncke & Reiss, 2010; Tataranni & Lardicci, 2010; Quintino et al., 2012, Zettler et al. 2013), expertise de taxónomos (Wheeler, 2004; Bevilacqua et al., 2013), pérdida de información y mala interpretación ecológica por síntesis de resultados en un único valor (i.e. valor de índices ecológicos) (Green and Chapman, 2011).

En Chile, son escasos los estudios que han aplicado índices bióticos para evaluar el estado ecológico de hábitats marinos sometidos a diversos estresores, entre los que se encuentran Cañete et al. (2000) para la Bahía de Quintero, en la Ecorregión Chile Central, y Quiroga et al. (2013) y Pino et al. (2015) para la Ecorregión Chiloense, siendo estos últimos relacionados a actividades de la industria acuicultora, aplicando AMBI y M-AMBI, los cuales han sido considerados los índices más apropiados por Borja et al. (2015), para mensurar los efectos generados por presión de la acuicultura.

No obstante, su aplicación se ha cuestionado por diversos investigadores, principalmente en base a la utilización de juicio experto para asignar valores de sensibilidad/tolerancia, y el empleo de la misma para aplicar el índice en zonas geográficas con diversos gradientes ambientales.

La utilización de una única lista de valores de sensibilidad/tolerancia de especies, para cualquier zona geográfica no sería apropiada (Rosenberg et al. 2004; Labrune et al. 2006, Grémare et al. 2009), considerando que el nivel de tolerancia de una especie varía entre áreas geográficas en respuesta a los diversos gradientes ambientales (Rosenberg et al. 2004; Zettler et al. 2013; Schiele et al. 2016). Un índice empleando valores fijos puede no satisfacer a

una región geográfica con alta variabilidad ambiental (Schiele et al. 2016), como por ejemplo, la zona del Mar Interior de Chiloé.

Los valores estáticos que emplea el AMBI difieren de los diversos valores de sensibilidad que genera el BQI para una misma especie, pudiendo este último responder a diversos tipos de estresores, a la condición de especies crípticas o a especies con conductas adaptativas (e.g. el caso de especies indiferentes a presiones) (Schiele et al. 2016). Frente a este último caso, Leonardsson et al. (2015) ha indicado que el AMBI sería inapropiado cuando existen especies indiferentes que dominan muestras bentónicas, al tener asignado un valor de sensibilidad fijo, como por ejemplo, cuando especies indiferentes tolerantes dominan muestras de áreas perturbadas. En este caso, el BQI indicaría una zona perturbada, mientras que el AMBI indicaría una zona no perturbada. De manera similar, también se ha visto que el AMBI ha clasificado como sensible a una especie significativamente más dominante en áreas perturbadas que en áreas no perturbadas, adicionando además la falta de conocimiento sobre la respuesta de la especie frente a enriquecimiento orgánico, necesario para asignar un valor de sensibilidad mediante juico experto, resaltando la objetividad y versatilidad del BQI (Labrune et al. 2006). Este mal rendimiento del AMBI, respecto a la asignación mediante juicio experto del grupo ecológico en base a su sensibilidad/tolerancia, también ha sido señalado por otros autores para diversas presiones (Muniz et al. 2005; Albayrak et al, 2006), incluso aún enfocándose en impactos por enriquecimiento de materia orgánica (Sampaio et al. 2011). Lo anterior implica una mala discriminación entre áreas no impactadas con áreas impactadas (Labrune et al. 2006) y mala clasificación de estaciones (Marin-Guirao et al. 2005; Muniz et al. 2005; Quintino et al. 2006), llegando en algunos casos a sobreestimar el estado ecológico (Simboura & Argyrou 2010). Finalmente, también se han indicado sesgos en la aplicación del AMBI frente a gradientes de salinidad, implicando mala clasificación de sitios degradados, es decir, considerándolos en buen estado cuando no lo están (Gillett et al. 2015), inexistencia de correlación con variabilidad de materia orgánica (Muxika et al. 2005) y mala sensibilidad frente a cambios en la comunidad por disminución de oxigeno (Zettler et al. 2007).

Lo anterior permite cuestionar lo expuesto por Borja et al. (2015), quienes concluyen que el AMBI y M-AMBI serían los indicadores más adecuados para evaluar el impacto generado por la acuicultura. No obstante, la valoración global de cada índice evaluado se realizó mediante una metodología arbitraria, involucrando componentes relacionados con su uso, lo que podría estar fuertemente sesgado al análisis relativamente sencillo para emplear AMBI o M-AMBI, mediante un software de uso libre creado específicamente para su

aplicación (http://ambi.azti.es), el que cuenta con una lista de taxa asignados a grupos ecológicos mediante juicio experto (i.e. de manera subjetiva), en base a su sensibilidad/tolerancia al enriquecimiento orgánico. Esto podría estar generando un sobreuso del AMBI y/o M-AMBI, respecto a otros índices de cálculos más complejos, pero que presentarían un mejor rendimiento para detectar zonas perturbadas, como el caso del BQI. De esta forma, los problemas asociados a su uso podrían intensificarse, en la medida que el uso del AMBI y M-AMBI se incrementa (Muniz et al. 2005).

Considerando lo anterior, en el caso de los estudios que han aplicado AMBI en Chile (Quiroga et al. 2013; Pino et al. 2015), estos han clasificado estaciones presentando como mayores contribuyentes a taxa del grupo ecológico II (i.e. especies indiferentes), lo que de acuerdo a lo expuesto en párrafos precedentes, podrían estar indicando la presencia de especies indiferentes tolerantes en un ambiente perturbado, pero clasificado erróneamente como no perturbado, sobreestimando el estado de las estaciones estudiadas producto de la mala asignación de grupo ecológico (i.e. grado de sensibilidad) a especies posiblemente indiferentes o crípticas presentes en la zona de estudio.

En este sentido, algunos índices emplean una clasificación de sensibilidad/tolerancia para taxa de manera subjetiva (e.g. juicio experto) y sin contemplar variaciones espaciales en su clasificación (e.g. AMBI, BENTIX). Esto es de gran importancia, considerando que existen organismos con diversos grados de adaptación evolutiva y plasticidad fisiológica dependiendo de la particularidad ambiental de su hábitat, lo que puede generar clasificaciones erróneas con respecto al grado de sensibilidad/tolerancia, dependiendo de su ubicación geográfica y tipo de estrés (Buhl-Mortensen et al. 2009; Tagliapietra et al. 2009). Por otra parte, a pesar de la utilidad del juicio experto frente a escases de conocimiento ecológico existente, esta herramienta debiera ser considerada como complementaria cuando existe información objetiva que permita clasificar de manera más precisa niveles de sensibilidad de organismos frente a perturbaciones de diversa índole y en variados ambientes. Para responder a estas complicaciones, una alternativa viable y ampliamente utilizada en diversos países (Perus et al. 2007; Josefson et al. 2009; Karakassis et al. 2013) es el Índice de Calidad Bentónica (Rosenberg et al. 2004: BQI por sus siglas en inglés), el cual puede ser aplicado para ambientes con características particulares y empleando una categorización de taxa en base a sus niveles de sensibilidad de manera objetiva (Rosenberg et al. 2004; Leonardsson et al. 2009), acorde a la realidad local.

Así mismo, son variados los estudios que indican altas resoluciones taxonómicas (e.g. nivel de especie/género) para la aplicabilidad de índices bióticos, lo que en muchos casos implica valores de sensibilidad para niveles taxonómicos disímiles en una misma zona (e.g. valores a nivel de especie y phylum agrupados en una misma lista), sin considerar la gran variabilidad ecológica-funcional dentro de un nivel de taxa superior (e.g. phylum, clase, orden). En este caso, considerando los altos tiempos y costos asociados a la identificación de organismos con alta resolución (e.g. género/especie), el BQI familia (Dimitriou et al. 2012, modificado de Leonardsson et al. 2009), viene a ser un índice de alta fidelidad y bajo costo, el que ha sido validado y aplicado en diversas zonas (Karakassis et al 2013; Moraitis et al. 2013; Dimitriou et al. 2015) lo que podría ser más adecuado a la realidad de la información exigida por la institucionalidad nacional y entregada por los organismos técnicos pertinentes.

6.2.4. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de especies ícticas

En Chile, el efecto negativo sobre los peces nativos se ha asociado principalmente a la salmonicultura que afectaría a la ictiofauna nativa por las siguientes causas: (1) El escape de salmones desde los centros de cultivo hacia el medio natural (Buschmann *et al* 2006; Sepúlveda *et al* 2013); (2) El traspaso de antibióticos para salmones desde los centros de cultivo hacia el ambiente (Niklitschek *et al* 2013); y (3) La diseminación de patógenos y enfermedades (Buschmann *et al* 2009). Estas causas han afectado tanto a los peces nativos marinos como dulceacuícolas. Los trabajos asociados a la ictiofauna marina se han centrado en la depredación de los peces nativos por parte de los salmonídeos escapados desde centros de cultivos en el sur de Chile (Soto *et al* 1997; Soto *et al* 2001; Fernández *et al* 2010; Niklitschek *et al* 2011, Niklitschek *et al* 2013), así como a la presencia de infecciones (Sepúlveda *et al* 2004; Buschmann *et al* 2006; Buschmann *et al* 2009) y antibióticos en los peces nativos (Fortt *et al* 2007; Fortt & Buschmann 2007; Niklitschek *et al* 2013). En cambio, los estudios relacionados a los peces dulceacuícolas se han centrado principalmente en la competencia y el impacto sobre la fauna nativa de peces de ríos y lagos del sur de Chile (Soto *et al* 2006; Arismendi *et al* 2009; Penaluna *et al* 2009; Young *et al* 2010; Arismendi *et al* 2012; Correa *et al* 2012; Correa & Hendry 2012). Se destaca también los trabajos realizados en lagos de la patagonia Argentina donde los salmonídeos han sido introducidos ocasionando similares impactos que en los lagos

chilenos (Macchi *et al* 1999; Macchi *et al* 2007; Pascual *et al* 2007; Lattuca *et al* 2008; Pascual *et al* 2009; Vigliano *et al* 2009; Juncos *et al* 2013; Juncos *et al* 2014).

La miticultura es la segunda actividad acuícola con mayor producción en Chile, concentrándose principalmente en la región de los Lagos. Esta actividad se centra en el cultivo del bivalvo *Mytilus chilesis*. Si bien el cultivo de mitílidos es una de las principales actividades acuícolas en la región de los Lagos, son escasos las publicaciones científicas que aborden el efecto de este cultivo intensivo sobre el ecosistema marino en el sur de Chile (Cursach *et al* 2011).

6.2.5. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de aves

En cuanto a las aves marinas, se puede mencionar que en sus relaciones tróficas, son mayoritariamente consumidoras secundarías o terciarías (Ainley 1980), siendo consideradas como depredadores tope en la red trófica marina junto al hombre, pinnípedos, cetáceos y grandes peces carnívoros (Ainley 1980, Boyd *et al*. 2006). En general, la alimentación en aves marinas consiste principalmente en tres tipos de presas: peces pequeños, crustáceos y moluscos (Montevecchi & Myers 1996, Hunt 2001, Shealer 2002). Por su parte, las aves acuáticas continentales, cuya mayor diversidad se encuentra en ambientes continentales como humedales, lagunas someras, esteros, desembocaduras y ríos poco caudalosos, son en su mayoría vegetarianas, insectívoras y/o piscívoras (Rottmann 1995).

En este sentido, la presencia de estructuras ideadas para el mantenimiento de altas densidades de organismos en cautiverio, atrae a diferentes tipos de depredadores tope (Buschmann 2001), entre estos a las aves marinas y, en menor grado, algunas aves de ambientes dulceacuícolas, las que ven a los centros de cultivo como una fuente potencial de alimentos.

Si bien, cada cultivo acuícola tiene características inherentes a cada lugar del mundo en la que se desarrolla, existe el consenso general de que los sistemas de cultivos marinos tienden a tener más problemas con depredadores que aquellos de sistemas dulceacuícolas (Beveridge 1996, Quick *et al*. 2004).

En Chile, los cultivos marinoscon mayores niveles intensivos de producción corresponden a la salmonicultura con 788.000 toneladas cosechadas durante 2013 (75% del total aportado por todo el sector de producción acuícola) y con 858 centros de cultivo operativos dirigidos a la producción de salmónidos. El

cultivo de mitílidos lo secunda con el 23,4% de la cosecha total de la acuicultura y 894 centros mitilicultores (Sernapesca2014). Los centros de cultivo de salmónidos y mitílidos se concentran principalmente al sur de los 40°S (Sernapesca2013, 2014), zona de Chile que alberga cerca del 95% de la extensión de borde costero efectivo del país (Camus 2001). Esta región contiene uno de los sistemas de fiordos más importantes del mundo con aguas estuarinas, frías y prístinas (Acha *et al*. 2004), condiciones ideales para el desarrollo de la salmonicultura (Laird 2001). Para las aves marinas, por su parte, Schlatter (1984) distinguió a los "archipiélagos del sur" como una de las tres principales subdivisiones en la costa chilena, la que presentaría importantes poblaciones reproductivas de especies de origen subantártico, por tanto es esperable una importante interacción entre la actividad acuícola y las poblaciones de aves que residen o transitan por las zonas australes.

6.2.6. Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de mamíferos marinos

A escala mundial, existen dos actividades acuícolas en que se han evidenciado conflictos con distintas especies de mamíferos marinos: (1) el cultivo extensivo de moluscos, dentro del que destaca la mitilicultura, y (2) el cultivo intensivo de peces (Würsig & Gailey 2002). El primero se realiza en aguas costeras, y no requiere de balsas-jaulas o de alimentación suplementaria. Aunque en general no representa un atractivo para los mamíferos marinos, indirectamente puede afectarlos debido a la sobrecarga de nutrientes (especialmente nitrógeno), y por la interferencia sobre el espacio ocupado por los mamíferos marinos para sus distintas actividades.

El cultivo de peces, por otro lado, con una alta densidad de peces cultivados en áreas pequeñas, como son las balsas-jaulas, inevitablemente constituye una atracción para mamíferos costeros oportunistas, aves e incluso peces que normalmente se alimentan de presas similares en la naturaleza (Pemberton & Shaughnessy 1993, Schusterman *et al*. 2003, Quick *et al*. 2004, Lindemann *et al*. 2006). De estos depredadores, los pinípedos (focas, lobos marinos y morsa) son los que ocasionan los mayores problemas para la industria, debido a su conducta plástica de alimentación (Kemper *et al*. 2003), y además porque los animales han aprendido una situación ventajosa donde los peces se encuentran en alta densidad y vulnerables, ocasionando graves perjuicios económicos a la industria (Nelson *et al*. 2006).

En Chile, son pocos los estudios que han evaluado los potenciales efectos de las actividades de acuicultura sobre mamíferos marinos. De las distintas especies de mamíferos marinos que se encuentran en la zona sur del país, se cuenta con mayores antecedentes del lobo marino común debido a la fuerte interacción que presenta con la salmonicultura marina (Oporto & Brieva 1990, Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata *et al*. 2010). La alta concentración de centros de cultivo de engorda de salmones en la X y XI Regiones, en conjunto con la alta abundancia de lobos marinos (Oliva *et al*. 2012), y la capacidad de los lobos marinos de explotar situaciones en donde los salmones se encuentran en alta concentración y de fácil acceso, se han combinado para ocasionar una importante y directa interacción entre esta especie y la salmonicultura (Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata *et al*. 2010). Estos estudios han evaluado el efecto del lobo marino sobre la industria (pérdida de salmones, daños a las redes). Sin embargo, los efectos de la presencia de la salmonicultura sobre la conducta, demografía y ecología de esta especie han sido escasamente abordados.

Por otra parte, la presencia de cetáceos costeros en las regiones descritas, que presentan un ámbito de hogar restringido y desarrollan actividades de crianza y alimentación en áreas protegidas, superponen su "uso de hábitat" con las actividades de acuicultura desarrolladas en la zona sur del país (Oporto *et al*. 1991, Ribeiro *et al*. 2007, Heinrich 2006).

6.2.7. Identificación de áreas sensibles desde el punto de vista de la biodiversidad

Respecto de la definición de sitios sensibles a los impactos de la salmonicultura, cabe consignar que el enfoque de la mayor parte de los trabajos revisados está puesto en la sensibilidad de las especies marinas frente a estos impactos, y por tanto la espacialización de áreas sensibles depende tanto de la distribución geográfica de las especies estudiadas, como también de la selección de las zonas de estudio que utilizan los investigadores de cada grupo. Sin embargo, resulta necesario poner atención a las particulares condiciones oceanográficas del sistema de canales y fiordos, que imponen al territorio una condición de sensibilidad aún mayor a los cambios (Iriarte et al., 2010)

El registro de especies relevantes para definir la sensibilidad de los ecosistemas se concentra por los motivos descritos anteriormente, en determinados sectores, generalmente asociados a iniciativas de conservación,

como son las reservas marinas de Pullinque y Putemún, y las AMCP del fiordo Comau, Pitipalena- Añihué, y Bahía Tictoc (propuesta).

La mayor parte de estos sectores han sido identificados como "Áreas de Alto Valor para la Conservación" mediante la aplicación de un procedimiento análisis espacial sobre información refente a la distribución geográfica de distintos objetos de conservación dentro de la ecorregión Chiloense (Hucke-Gaete *et al.,* 2010), lo que generó un mapeo de grandes áreas sobre las cuales se propone generar medidas de protección.

Si bien no forman parte de estas propuestas, las aguas interiores del archipiélago de Chiloé, albergan una gran cantidad de especies y ecosistemas, relevantes para la conservación, toda vez que en sus costas desembocan numerosos esteros que forman humedales y estuarios, que se han descrito como áreas relevantes para comunidades estructuradoras de hábitat (Outeiro et al., 2015) así como para la alimentación y reproducción de numerosas especies (Henrrich, 2006; Soazo et al, 2009, Viddi et al., 2003; Försterra and Häussermann, 2003; Hucke- Gaete et al., 2003, 2010, 2013)

6.3. Analizar y evaluar la información recopilada en cuanto a los impactos, efectos directos e indirectos, que determinan una alteración de las diferentes especies que conforman la biota acuática.

A partir de la metodología de trabajo, se construyó un sistema teórico con los efectos que genera la actividad acuícola sobre la biodiversidad. En el cual es posible encontrar efectos influyentes, efectos de conflicto, efectos autónomos y efectos respuesta.

Los efectos influyentes no dependen o dependen escasamente de otros efectos. Por lo tanto, estos efectos están modulando, en gran medida, el funcionamiento del sistema.

Los efectos definidos como influyentes son:

- Creación de Hábitat Artificial
- Invasión de espacios naturales por actividad humana
- Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos
- Escape de especies de cultivo al medio natural

En el sistema teórico construido, estos efectos son los más gravitantes en la generación de perturbaciones a la biodiversidad y por tanto son estas las variables que se deben tener en cuenta para la creación y diseño de políticas públicas que propendan a disminuir la acción modificadora de la actividad acuícola en la biodiversidad.

Las medidas de mitigación deben ir orientadas a la eliminación o disminución de la existencia de estos efectos, ya que estos son los que dan origen o potencian la existencia del resto de los efectos adversos que la actividad acuícola genera en la biodiversidad.

Los efectos de conflicto son muy influyentes y muy dependientes, razón por la cual seconsideran de naturaleza inestable; cualquier acción sobre estos repercutirá sobre los otros efectos y tendrá a su vez una repercusión sobre ellas mismas, lo cual amplificará odesactivará el impulso inicial de cambio en ellos. En términos generales estas variables no pueden ser modificadas ni monitoreadas. En el caso del análisis realizado, no so encontraron efectos que tuvieran estas características.

Los efectos autónomos son poco influyentes y poco dependientes, se corresponden con tendenciaspasadas o inercias del sistema o bien están desconectados de él.

Los efectos definidos como autónomos son:

- Dispersión de organismos en basura flotante
- Daño a organismos por presencia de desechos
- Disminución de organismos naturales utilizados como alimento por especies de cultivo
- Eliminación accidental o deliberada de depredadores
- Dispersión de agentes contaminantes al medio natural

Cabe mencionar que el efecto "Dispersión de agentes contaminantes al medio natural" posee un valor que lo acerca a ser dependiente, por tanto la situación particular de este efecto no es manifiesta.

Respecto de la disminución de organismos naturales utilizados como alimento por especies de cultivo, es importante mencionar que si bien se podría entender como una variable que es influyente debido al impacto que genera la extracción de materia prima para alimentar especies de cultivo, se consideró en el análisis como de menor influencia debido a que el modelo se orientó a los efectos que son directamente provocados en torno a la zona de cultivo, por esa razón queda definido como una variable autónoma, que está presente

en el sistema, pero mas bien desconectado de este, ya que no afecta directamente la condición circundante del área de producción.

La modificación forzosa de estos efectos no propiciará cambios importantes del sistema, por tanto no deben ser considerados para efectos de revertir condiciones anómalas que se observen por el devenir de la actividad acuícola.

Finalmente están los efectos respuesta que no se pueden modificar directamente sino a través de los efectos que influencian en el sistema.

Los efectos definidos como respuesta son:

- Colonización de especies exóticas e invasoras
- Modificación de la estructura comunitaria

Estas variables posibilitan la realización de un seguimiento y un monitoreo que permita verificar la efectividad de las medidas mitigatorias que eventualmente puedan ser aplicadas a la actividad acuícola. La existencia de estos efectos no influye o potencia la existencia de los demás, pero tienen la característica de recibir una gran influencia del resto de los efectos provocados por la actividad acuícola. Es decir, estos efectos son provocados directamente por la actividad y potenciados indirectamente por la existencia de otros efectos.

La característica descrita de estos efectos los convierte en elementos claves para ser mensurados, ya que en cierta medida son el reflejo del funcionamiento del sistema.

Para el caso particular de los objetivos del presente trabajo y producto de los resultados de este análisis, se deben seleccionar especies y/o grupos de especies sobre las cuales esté documentado y descrito claramente el efecto de cambio en la estructura comunitaria por existencia de actividad de acuícola.

En virtud de estos resultados, se puede indicar que el análisis realizado se constituye en un herramienta que permite visualizar por un lado, los efectos que deben ser modificados ya sea por la generación de políticas públicas por parte del estado o por acciones de buenas prácticas por parte de los productores y por otro lado los efectos que deben ser monitoreados, para verificar si las medidas diseñadas minimizan la interacción producción acuícola – biodiversidad. Para esto último es propicio buscar las especies y/grupos de especies clave sobre las cuales se esté reportando este efecto, lo que permitirá realizar el monitoreo de ellas y a su vez del sistema completo.

Complementariamente, para entender cómo actúan los mecanismos de generación de impactos por parte de la actividad acuícola y entendiendo que la existencia de estos obedece a una lógica de producción de bienes, se construyó un mapa conceptual basándose en una dinámica de evaluación *ex post* (Walker, 2008).Lo anterior con el fin de visualizar esquemáticamente, como en la medida en que el proceso productivo genera los resultados o efectos esperados de la producción (divisas, alimento, trabajo e investigación), se generan también los resultados o efectos adversos que se han abordado ampliamente durante el desarrollo de este trabajo y que terminan impactando negativamente a la biodiversidad.

A partir de este análisis, se identificaron 3 impactos:

Uno de losimpactos, es **la disminución de espacios costeros para otros usos**, como por ejemplo: Usos turísticos, espirituales, de conservación, de investigación y pesqueros. De modo que en términos conceptuales se aprecia una fuerte pérdida de servicios ecosistémicos en las zonas donde se desarrolla la actividad acuícola. Este impacto es evidente, considerando que dentro de las primeras millas marinas de las regiones de Los Lagos y Aysén, las concesiones acuícolas abarcan un porcentaje importante del área total, limitando espacialmente el aprovechamiento de los otros servicios ecosistémicos antes mencionados y que proporciona esta zona de la costa a las comunidades ribereñas.

Otro impacto potencial es **la disminución de recursos pesqueros,** que sustentan pesquerías que son eminentemente costeras (primeras 5 millas), como pesquerías bentónicas y de peces costeros pelágicos y demersales, que cabe mencionar, son el sustento de una parte importante de la población de las regiones australes del país. Respecto de este impacto es importante mencionar que no existen evidencias claras de su existencia y magnitud, esto debido a que no se cuenta con una base de información confiable que permita diferenciar los impactos propios de la sobrepesca de los eventuales impactos que la producción acuícola genera.

Respecto de lo anterior, se ha intentado relacionar a este impacto la disminución de los volúmenes de desembarques de peces con la utilización de datos del Anuario Estadístico de Pesca que administra el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. Sin embargo, las conclusiones al respecto suelen ser difusas y más orientadas a cambios sociales de los pescadores que a la relación acuicultura-recursos pesqueros (Claude *et al*, 2000).

No obstante lo anterior, existen estudios que proporcionan evidencia de la ocurrencia de este impacto. Por ejemplo se han descrito, en la zona austral, casos de predación de salmones escapados sobre los recursos Sardina

(*Sardinops sagax*), anchovetas (*Engraulis ringens*), motes (*Normanychthys crockery*) y pejerreyes (*Odonthesthes regia*). Así mismo, se asocia una relación de competencia con los predadores naturales de estas especies como son las distintas especies de merluzas (Soto *et al*., 2001)

Finalmente, el último impacto identificado es la **modificación de la estructura comunitaria**, y que se relaciona directamente con un efecto integrado a la biodiversidad y por tanto es el impacto más relevante para los objetivos del presente proyecto.

6.4. Proponer un Plan de Monitoreo y seguimiento de los grupos o especies considerados como sensibles, en virtud de los definido en los objetivos específicos 1, 2 y 3. Además definir un protocolo para el levantamiento de información, el cual deberá ser validado (componentes propuestos) en terreno. Finalmente, se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos antes señalados.

A partir del conocimiento levantado en la revisión bibliográfica, se identificaron especies y/o grupos de especies para cada agrupación taxonómica y se determinó además si la respuesta a la perturbación es de carácter positivo o negativo, entendiendo por positivo la aparición o el dominio de un biotopo por estas especies y por el contrario refiriéndose a negativo en los casos donde la sensibilidad de las especies a la perturbación genera una respuesta de abandono o muerte.

Para 12 especies de distintos taxa, se indicó que es esperable una respuesta positiva frente a la instalación y operación de centros salmoacuícolas, mientras que para 17 especies se indica que es esperable una respuesta negativa (**Tabla 17**). A partir de lo anterior, es esperable observar que en un monitoreo, correctamente diseñado, puedan observarse ambas reacciones, lo que constituiría un modificación de la estructuración habitual de las especies, la cual podría ser mensurable tanto en la amplitud espacial de su impacto como en la magnitud.

Considerando a las especies definidas, se procedió a realizar un proceso de selección y jerarquización orientado al monitoreo de estas componentes en base a factibilidad, costo y sensibilidad, obteniéndose en orden jerárquico a las especies del grupo del bentos, algas, plancton, aves, peces y mamíferos.

Como primera decisión para implementar el monitoreo piloto, se propuso evaluar las primeras 4 componentes, no obstante el grupo de las algas, solamente se abordó a partir de una descripción de los biotopos, tarea circunscrita al monitoreo de aves, con el fin de describir a las especies que mayoritariamente están cubriendo los sustratos. Esto debido a que en este grupo se plantea que el efecto de la salmonicultura, es el de sustituir especies complejas de desarrollo lento como las del grupo de las lesonias y las especies *Durvillaea antartica* y *Macrosystis pyrifera*por algas de desarrollo rápido u oportunista como *Enteromorpha spp*, *Ulva sp*, *Antithamnion sp*, *Ectocarpus spp* y *Graciliaria sp.* Lo cual no es posible observar a través de un monitoreo sin la consideración de la variable del tiempo. No obstante, la descripción propuesta es pertinente ya que puede ser información que apoye la manifestación de perturbaciones en otros grupos.

Además de lo anterior, se incluye el grupo de los mamíferos marinos a la toma de datos, ya que es posible ocupar la misma estrategia de muestreo que se propone para el grupo de las aves, de modo que no requiere de un presupuesto extra la incorporación de esta matriz. Además, esto puede ser relevante ya que la aplicación de un programa de monitoreo periódico permitiría alimentar una base de datos a nivel espacial y temporal que puede, a futuro, permitir análisis de mayor profundidad.

Con el objeto de contrastar la información técnica presentada en el numeral 5.2 del presente documento, correspondiente a los antecedentes bibliográficos; se implementó una metodología analítica orientada en la evaluación espacial de la estructura comunitaria de 5 grandes taxa, a fin de mensurar los cambios previstos, tanto en su magnitud como en su amplitud espacial.

6.4.1. Monitoreo de la matriz fitoplanctónica

Se realizó una prospección de terreno y levantamiento de información biológica en sectores próximos e inmediatos al centro de cultivo, así como en sectores de mayor lejanía del mismo.

En base a estos antecedentes se propuso una estructura de muestreo integrada por 3 transectas orientadas en los ejes Este, SurOeste y NorOeste, para el caso del centro piloto Norte y en los ejes SurEste, SurOeste y NorOeste en el caso del centro piloto sur. Con ello se persiguió disminuir posibles sesgos generados por anomalías de la correntometría informada para cada centro en particular. En cada eje o transecta se dispusieron 5

unidades de muestreo o estaciones desde donde se levantó información planctónica en dos estratos de la columna de agua. Las estaciones se posicionaron de acuerdo a un gradiente de distancia respecto de la jaula de cultivo, ubicando las estaciones sobre cada uno de los tres ejes a 50m, 100m, 150m, 250m y 550m de distancia respecto del mismo. Adicionalmente se seleccionó un punto de referencia, posicionado a 1150 metros de la jaula de cultivo, en dirección de contracorriente. Por último, fue seleccionado un sector control de mayor lejanía respecto de los centros seleccionados, donde se implementaron 3 estaciones de muestreo planctónico, con el objeto contrastar los resultados en el sector próximo a cada centro acuícola.

Referente al sector Norte (Isla Imelev), durante el análisis de las muestras de red se identificaron 53 especies y variedades microalgales, correspondientes a 42 diatomeas, 7 dinoflagelados, 2 silicoflagelados, 1 clorofícea y 1 cianofícea. Las especies más comunes, que se distinguieron por su mayor frecuencia en la muestras de red, fueron las diatomeas *Thalassiosira cf. aestivalis*, *Pseudo-nitzschia cf. australis*, k, *Thalassionema nitzschioides*, *Ditylum brightwellii*, *Diplopsalis lenticula*. El análisis cuantitativo de las muestras de agua arrojo un total de 37 especies y variedades microalgales, correspondientes a 30 diatomeas, 6 dinoflagelados y 1 silicoflagelado. A nivel superficial se registran 34 taxa, correspondientes a 27 diatomeas, 6 dinoflagelados y 1 silicoflagelado. El estrato profundo registra un total de 29 especies, integradas por 24 diatomeas y 5 dinoflagelados. Entre las especies que solo fueron registradas a nivel superficial se encuentran *Chaetoceros didymus*, *Coscinodiscus janischii*, *Lauderia annulata*, *Odontella longicruris*, *Thalassionema frauenfeldii*, *Protoperidinium sp*. y *Dictyocha speculum*. Entre las especies que solo fueron registradas a nivel de 15 metros de profundidad se encuentran *Grammatophora marina*, *Pleurosigma sp*. y *Proboscia alata*.

Referente al sector Sur (Isla Chaullín), durante el análisis de las muestras de red se identificaron 67 especies y variedades microalgales, correspondientes a 51 diatomeas, 14 dinoflagelados y 2 silicoflagelados. Las especies más comunes, que se distinguieron por su mayor frecuencia en la muestras de red, fueron las diatomeas *Thalassiosira rotula*, Thalassiosira *cf. aestivalis, Pseudo-nitzschia cf. australis*, *Chaetoceros radicans* y *Ditylum brightwellii*. El análisis cuantitativo de las muestras de agua arrojo un total de 40 especies y variedades microalgales, correspondientes a 30 diatomeas, 9 dinoflagelados y 1 silicoflagelado. A nivel superficial se registran 40 taxa, correspondientes a 30 diatomeas y 9 dinoflagelados y 1 silicoflagelado. El estrato profundo registra un total de 38 especies, integradas por 29 diatomeas y 9

dinoflagelados. Entre las especies que solo fueron registradas a nivel superficial se encuentran *Skeletonema costatum* y *Dictyocha speculum.*

En ambos sectores prospectados (Imelev y Chaullín), se observó una predominancia de las diatomeas sobre los otros grupos que integran el ensamble fitoplanctónico. Análoga situación se ha reportado para el sector austral de Chile (Iriarte *et al.*, 2001, 2007; Alvez-de-Souza *et al.*, 2008; Valenzuela & Avaria 2009; Avaria *et al.*, 1997).

Entre los taxa identificados se registran especies de origen marino, estuarino, continental y especies ticoplanctónicas, destacando los taxa de aguas marinas durante el período estudio, tanto por su mayor frecuencia de registro, su abundancia, así como por el número de especies que componen este grupo. Lo anterior ha sido reportado también en trabajos de Avaria (2006), Rebolledo *et al*. (2011) y González *et al*. (2010), donde se menciona que en fiordos y canales se encuentran mezclas de diatomeas marinas con estuarinas y de agua dulce, que presentan fluctuaciones interanuales en biomasa y diversidad debido a la variación estacional de la irradiación, que co-varía con la temperatura, precipitaciones y caudales de los ríos.

Para el caso particular del centro de cultivo Norte (Isla Imelev), el taxa de mayor importancia cuantitativa, debido a su alta concentración en las muestras de agua fue la diatomea *Thalassiosira cf. aestivalis* con valores puntuales máximos de 163.900 cél L-1 y 205.300 cél L-1, en la porción superficial de las estaciones 1 y EC2, respectivamente. En segundo lugar se registra la especie *Pseudo-nitzschia cf. australis*, con valores superficiales máximos de 30.200 cél L-1 y 24.100 cél L-1 en la estación de Referencia (REF), a nivel superficial y profundo, respectivamente. En primavera, la estructura base de la red trófica de los fiordos australes está principalmente sustentada por diatomeas formadoras de cadenas debido al aumento de la radiación solar (Iriarte *et al.*, 2001).

Respecto de la distribución espacial de la concentración celular se observan ciertas diferencias entre las estaciones analizadas, a pesar de su proximidad. Diferencias que son más evidentes a nivel superficial. Adicionalmente se observa una variación vertical, con una mayor densidad celular en el estrato superficial de la columna de agua. Las estaciones planctónicas 5 (Transecta SurOeste) y EC2 (Estación sector control), registran la mayor concentración fitoplanctónica del área prospectada.

La estructura comunitaria microfitoplanctónica, para el centro piloto norte, presenta una situación diferencial entre las diferentes unidades de muestreo establecidas. La riqueza específica muestra una fluctuación entre 7 y 16 taxa, a nivel superficial; y entre 4 y 15 taxa en el estrato profundo. En

términos generales se observa una estructura con buenos a moderados índices de riqueza específica y bajos a moderados niveles de uniformidad, lo que da cuenta de una distribución poco equitativa en los aportes de abundancia de cada grupo taxonómico (especie) a la abundancia total microalgal. Referente a los niveles de diversidad, los mayores valores registrados corresponden a las unidades que integran la transecta Este (1, 2, 3 y 4) circunscritas en el sector Piloto norte. Los menores niveles promedio, para este indicador, son detectados en la transecta NorOeste, integrada por las estaciones 10, 11, 12, 13 y 14, así como en el sector control norte, integrado a su vez por las estaciones EC1, EC2 y EC3. El menor valor registrado corresponde a la estación 5 caracterizada por una diversidad de Shannon de 0.5, lo cual se encuentra modulado mayoritariamente por la alta dominancia registrada en este punto, explicada a su vez por la alta concentración celular de *Th. Cf. aestivalis* respecto del resto de taxa que integra la comunidad. El índice de diversidad de Margalef, como era de esperar, coincide con la variación de la riqueza de especies.

Los análisis multivariados de ordenación y clasificación muestran una situación similar, donde la estructura variable entre las unidades de muestreo planctónico dice relación con la variación de la abundancia de *Th. Cf. aestivalis.* El análisis no arroja diferencias evidentes entre las estaciones cercanas al centro de cultivo piloto, respecto del resto de unidades de monitoreo (Referencia y Control). Paralelamente las lecturas fitoplanctónicas realizadas dan cuenta de una gran homogeneidad espacial referente al tipo de especies presente, no detectándose especies particulares o la ausencia de las mismas en los puntos de muestreo cercanos a la jaula o en las proximidades de la misma, respecto de puntos de mayor lejanía.

Para el caso particular del centro de cultivo Sur (Isla Chaullín), el taxa de mayor importancia cuantitativa, debido a su alta concentración en las muestras de agua fue la diatomea *Chaetoceros radicans* con valores puntuales máximos de 34.100 cél L-1 y 28.440 cél L-1, en la porción superficial de las estaciones 1 y REF, respectivamente. En segundo lugar se registran las especies *Thalassiosira rotula* y *Thalassiosira cf. aestivalis*, con valores superficiales máximos de 23.700 cél L-1 y 21.900 cél L-1 en las estaciones 9 y EC2, respectivamente. En menor importancia, respecto de los aportes puntuales a la abundancia total, se registran las especies *Pseudo-nitzschia cf. australis*, *Thalassiosira anguste-lineata* y *Chaetoceros lorenzianus*, con valores máximos que fluctúan entre 6.000 y 13.500 cél L-1, presentando estas una menor frecuencia de aparición en el sector estudiado. El resto de las especies registra valores inferiores a 5.000 cél L-1. Respecto de la distribución espacial de la concentración celular se observa una

variación vertical, con una mayor densidad celular en el estrato superficial de la columna de agua. Las estaciones planctónicas 9 (Transecta NorOeste) y REF (Estación de Referencia), registran la mayor concentración fitoplanctónica del área prospectada.

La estructura comunitaria microfitoplanctónica para el centro piloto sur, presenta una estructura con buenos a moderados índices de riqueza específica y altos a moderados niveles de uniformidad, lo que da cuenta de una distribución más bien equitativa en los aportes de abundancia de cada grupo taxonómico (especie) a la abundancia total microalgal. La riqueza específica muestra una fluctuación entre 10 y 29 taxa, a nivel superficial; y entre 4 y 23 taxa en el estrato profundo. La uniformidad muestra una condición bastante homogénea entre las diferentes unidades de muestreo, indicando una distribución equitativa respecto de los aportes de cada taxa a la abundancia total por estación y estrato de la columna de agua. Referente a los niveles de diversidad, los mayores valores registrados corresponden a las unidades que integran la transecta SurEste (11, 12, 13, 14 y 15) y SurOeste (1, 2, 3, 4, y 5), circunscritas en el sector Piloto, presentando un valor medio de 2.24+0.08 y 1.99+0.21 a nivel superficial y fondo, respectivamente. El menor valor registrado corresponde a la estación 6 caracterizada por una diversidad de Shannon de 1.75 y 1.19, en superficie y fondo respectivamente, lo cual se encuentra modulado mayoritariamente por la menor riqueza especifica detectada en este punto.

Si se analiza cada transecta como una unidad individual se observa que los menores niveles de diversidad de Shannon corresponden a las estaciones inmediatas o de mayor cercanía a la balsa jaula, es el caso de la estación 1 (transecta SurOeste) y estación 6 (Transecta NorOeste). En ambas transectas se observa un leve aumento de la diversidad en la medida que las unidades de monitoreo (estaciones) se alejan de la balsa jaula. Lo anterior esta modulado por la riqueza específica, la cual disminuye proporcionalmente con la proximidad al centro de cultivo. En el caso de la transecta SurEste, este efecto no es evidente, lo cual posiblemente puede deberse a su posición respecto de la correntometría del sector estudiado, razón por la cual esta unidad de muestreo recibe menos interacción con la actividad acuícola.

El índice de diversidad de Margalef, como era de esperar, coincide con la variación de la riqueza de especies, presentando los valores más altos en las estaciones 5 y 10 en superficie y estación 13 en el estrato profundo.

En virtud de la escaza evidencia otorgada en el presente estudio, referente a los efectos de la actividad acuícola en la estructura comunitaria

microfitoplanctonica presente, se recomienda incluir el estudio de esta variable biológica, como una componente complementaria dentro de los requisitos establecidos en las Metodologías para Elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA), normado de acuerdo a la R. EX N° 3411-06. La relevancia de su incorporación radica en la generación de una gran cantidad de información puntual (sumatoria de los estudios asociados a todas las concesiones operativas y aquellas en proceso de calificación), la cual en su conjunto facilitará el análisis holístico, permitiendo conocer la evolución de esta componente biológica en el tiempo, estableciendo frecuencias de registros y concentraciones medias basales en una escala espacial y temporal aún más amplia que las posibilidades asociadas a un único estudio puntual en un área limitada.El análisis de la situación basal del sistema, así como también el seguimiento en el tiempo de las componentes biológicas que lo integran, constituye un mecanismo de prevención corrector, el cual permite identificar las acciones necesarias de mitigación frente a la ocurrencia de impactos ambientales potenciales. Los impactos potenciales se basan en la perturbación del medio, lo que comúnmente se expresa a través de cambios en la biodiversidad.

6.4.2. Monitoreo de la matriz macrobentónica

La capacidad del medio ambiente para dispersar y asimilar los residuos de la actividad de acuiculturaestárelacionadoprincipalmente con la profundidad del agua y la velocidad de las corrientes, aunque la capacidad de asimilación también puede variar según la temporada en relación con factores tales como la temperatura del agua. El recambio de agua producto de las corrientes reduce la sedimentación localizada y la acumulación de materia orgánica, además aumenta el suministro de oxígeno a los sedimentos. Por el contrarioen centros de cultivos que presentan bajas velocidades de corriente es posible encontrar gran carga orgánica en los sedimentos producto de su funcionamiento en las cercanías de las instalaciones, esto puede generar mediante reacciones químicas del sedimentos (sulfatos y sulfuros), cambios en los valores de pH y Potencial Redox como lo observado en las estaciones cercanas al centro de este estudio.

En relación a los parámetros de la columna de agua a un metro del fondo de la zona de estudio sector norte y sector sur, es posible indicar que los valores de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto observados coinciden

con anteriores investigaciones que caracterizaron la columna del agua en el mar interior de Chiloé (Cáceres *et al*. 2008, González *et al*. 2010) y son similares a los registrados en la Caracterización Preliminar de Sitio realizada en agosto de 2009 (CPS 2009) y la Caracterización Preliminar de Sitio realizada en agosto de 2011 (CPS 2011) con motivo del ingreso de la Declaración de Impacto Ambiental "Ampliación de producción del centro de engorda" sectores piloto Norte y Sur respectivamente. Los valores de oxígeno disuelto cumplen con los límites de aceptabilidad indicados por la Autoridad.Los valores de Materia Orgánica registrados en este estudio muestran valores similares a los registrados en las CPS (2009) y CPS (2011) y todos se encuentran bajo el límite de aceptabilidad indicado en la Res. Ex. 3612. Por su parte el pH y Potencial Redox, registraron valores que incumplen con los límites establecidos en la Normativa, en particular en las estaciones que se encuentran entre la Distancia 1 (<50 metros) y la Distancia 2 (hasta 200 metros) de las instalaciones del centro de monitoreo piloto Norte, el centro piloto Sur registro valores de pH que en su mayoría superan los límites indicados.

Al analizar la estructura comunitaria de la fauna registrada en la zona de estudio, se observó que algunos componentes como la composición y distribución específica presentaron características similares a las reportadas por diferentes autores en estudios realizados en la zona sur del país (Valdovinos *et al* 2008; Cárdenas *et al* 2008) y los reportados en la CPS (2009 y 2011), estas caracterizaciones preliminares de sitio se realizaron en base a 16 y 23 estaciones distribuidas en torno a la concesión de acuicultura y en base a los resultados es posible indicar que su composición taxonómica fue similar con dominancia de los moluscos (70%) seguido de poliquetos (20%), sin embargo con valores de abundancia por estación entre 1 y 12 ind/0,1m^2, menores a los registrados en este estudio (min: 3 ind/0,1m^2; max:92 ind/0,1 m^2) para el piloto Norte y para el piloto Sur respectivamente. La tendencia espacial de la abundancia solo es posible compararla en algunas estaciones, como por ejemplo la estación Vértice D (CPS 2009) que se encuentra a 100 metros de las actuales instalaciones y a aproximadamente 70 metros de las estaciones NO2 y NO3, en estas tres estaciones las especies más importantes en términos de abundancia fueron *Nucula pisum*, *Nassarius coppingeri* y *Nassarius gayi*. En general para la CPS-Piloto Norte (2009) estas tres especies fueron las más importantes aportando entre ambas el 42% de la abundancia total de especies registradas, situación similar a lo registrado durante el presente estudio donde estas especies aportaron el 30% de la abundancia total.Por su parte para la CPS-Piloto Sur (2011) las especies *Nucula pisum*, Ostracoda n.d,

Diastylidae n.d *Tindariopsis sulculata* y *Nassarius gayi* aportaron más del 65% del total de organismos registrados. A diferencia a lo reportado para el presente estudio donde los nematodos reportaron grandes abundacias (4910 ind/0,1 m^2), seguido de *Tindariopsis sulculata y Cirrifornia nasuta* (Familia cirratulidae).

Respecto a estos taxa dominantes, los altos niveles de abundancia observados para el Phylum Mollusca, como se indicó anteriormente estuvieron relacionados con la presencia de la especie *Nucula pisum, Venus antiqua, Tindariopsis sulculata, Nassarius coppingeri* y *Nassarius gayi*.

Para la primera especie esta reportado su asociación a estaciones caracterizadas por el predominio de sedimento fino y concentración de materia orgánica total cercana a 2%. Según lo indicado por Gray (1981) moluscos de este género son capaces de tolerar grandes variaciones de salinidad y fondos ricos en materia orgánica, por su parte Sanders (1958) fide Montoya (2009), describe a este género como organismos tróficamente depositívoros. Por su parte *Nassarius coppingeri* y *Nassarius gayii*, además de las especies pertenecientes a las familias Cirratulidae y Capitellidae son indicados en la Res. Ex. 3612/2009 (Subpesca) como indicadoras de ambientes alterados. Además, a partir del proceso de revisión y sistematización de la bibliografía también se reportan como especies indicadoras y corresponden a especies carroñeras que prefiere los sedimentos fangosos o arenosos con un alto contenido de materia orgánica (Zagal y Hermosilla, 2001). Por lo tanto es interesante evaluar a otras especies como por ejemplo *Tinadriosis sulculata, Nucula pisum*, *Venus antiqua* y su relación con el enriquecimiento orgánico de los lugares asociados a los centros de cultivo e incluirlas en la Normativa.

En términos descriptores de la comunidad, se evidenciaron diferencias en los valores de estaciones cercanas a las instalaciones (Distancia 1, 2 y 3), en algunos casos con una disminución en el número de especies, abundancia total y diversidad y la dominancia de algunos moluscos bivalvos y moluscos gastrópodos.Los análisis realizados (Curvas ABC) para evaluar los efectos producidos por la presencia del centro de cultivo piloto sector norte indican que estos generan condiciones principalmente "no alteradas" y "moderadamente alteradas" en aquellas estaciones cercanas a las instalaciones en las Distancia 2 y 3 respectivamente, con excepción de las estaciones SO1-R1 y NO2-R1 que presentaron una condición "Alterada" estaciones en la Distancia 2. En términos generales, los resultados confirmaron la existencia de una diferenciación espacial significativa a lo

largo de un gradiente de contaminación caracterizado por la distancia de las estaciones a los módulos de producción (Distancias 1 a 4) para el sector piloto Norte, en término de algunos atributos comunitarios (especies, abundancia, riqueza, diversidad y uniformidad), generando parches o ensambles de organismos que obedecieron a una distribución en el espacio en términos de las características del sedimento, el que es afectado por las operaciones del centro Piloto Norte (Bioenv: 0,330; pH-Diametro del grano) y centro Piloto Sur (Bioenv 0,431; Oxigeno-MOT-REDOX-Diametro del grano).

Al comparar la composición de la macrofauna entre sectores de monitoreo piloto es posible indicar que existen diferencias significativas entre ellos. Y que al comparar los parámetros comunitarios riqueza, abundancia, diversidad, de las distancias entre sectores solo la riqueza fue mayor en el sector sur para las distancias D1 y D2. Para le resto de los parámetros no se reportaron diferencias entre distancias.

Los resultados indican que las estaciones de referencia (ER) deberían estar ubicadas a más de 600 metros del centro de cultivo dependiendo de las corrientes y deberían ser definidas por la Autoridad con los datos proporcionados en las CPS de cada proyecto.

6.4.3. Monitoreo de matrices de aves, mamíferos marinos y descripción de biotopos con énfasis en la cobertura de algas

Con respecto al monitoreo piloto de aves y mamíferos marinos se contrastaron las premisas existentes y analizaron la magnitud, frecuencia y contexto de las interacciones entre las componentes biológicas consideradas (aves y mamíferos marinos) y la actividad acuícola; implementando una metodología analítica orientada en la evaluación espacial de la estructura comunitaria de cada componente, con relación a las actividades productivas de dos centros de cultivo de salmones tipo, durante la última etapa de su ciclo productivo (cosecha). De esta manera se realizó una prospección de terreno y levantamiento de información biológica en sectores próximos e inmediatos a los centros de cultivo, así como en sectores de mayor lejanía de los mismos. Cabe destacar que la metodología implementada es una adaptación de aquella que actualmente se utiliza en los estudios de diversidad solicitados dentro del proceso de calificación de las declaraciones de impacto ambiental (DIA), asociadas a proyectos de instalación o relocalización de centros de cultivos de salmónidos en las regiones XI y XII. Mencionada metodología se implementa por primera vez en el estudio de biodiversidad titulado Monitoreo de Aves y Mamíferos Marinos (PERT: 210123001, 210123002, 210123003, 210123004) Puerto Williams, Isla Navarino, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena (GAMA, 2013); e incluye unidades de monitoreo costeras y marítimas (transectas marítimas), mediante las cuales se caracterizan las componentes aves y mamíferos marinos en una etapa previa a la operación del proyecto acuícola.

El presente estudio entonces, se desarrolla durante la etapa operación de un centro de cultivo de salmón tipo, con una metodología similar y comparable a aquella que actualmente se utiliza para la caracterización de las mismas componentes en una etapa previa a la construcción de un centro acuícola tipo.

El área de estudio en su totalidad, comprendió la porción de costa de Isla Imelev, Isla Quehui e Isla Chaulinec; así como también en la franja existente frente a isla Chaullín e isla Tranqui, archipiélago de Chiloé X Región de los Lagos; durante una campaña de monitoreo de aves y mamíferos marinos, correspondiente al período primaveral, entendido como el periodo de mayor abundancia y diversidad para la región austral de nuestro país.

El levantamiento de información se estructuró mediante la implementación de unidades de monitoreo ordenadas en función a la distancia respecto de

cada centro acuícola seleccionado, persiguiendo con ello la evaluación de posibles cambios en la estructura comunitaria de las componentes biológicas consideradas. De forma complementaria se monitoreó un sector de mayor lejanía al área de operación de ambos centros productivos, sectores considerados como puntos control e identificados por un sistema litoral de similares características respecto de los primeros, donde no se registró actividad salmoacuícola en las proximidades.

El área de monitoreo consistió en el establecimiento de una zona de influencia, determinada de acuerdo al área establecida para la concesión acuícola; y un área más extensa que aquella en donde actualmente operan ambos centros de cultivo. De esta forma la línea de costa proyectada desde cada concesión acuícola (0,2 Km y 0,26), corresponde a un 2% y 2.9% de la línea total de costa analizada (9,04 km y 8,84 km) y a un 1% y 2,2% de la distancia de navegación prospectada en las unidades marítimas (16.84 Km y 11,76 km), para los sectores norte (Imelev) y sur (Chaullín), respectivamente. En este sentido, el procedimiento en terreno se basó en la prospección general del territorio comprendido dentro de la zona de influencia y áreas ampliadas de muestreo.

En ambos sectores, la caracterización del borde costero permitió determinar que la zona de influencia establecida corresponde al biotopo Litoral Marino, sin embargo el presente análisis suma el biotopo litoral rocoso y playa de arena, producto de su mayor cercanía y la alta susceptibilidad de las especies presentes en este biotopo, en el uso del litoral marino como espacio de tránsito, alimentación o descanso. Considerando que ambos centros acuícolas no contemplan instalaciones en tierra, el resto de los biotopos observados se consideró de menor relevancia producto que la avifauna que allí habita no utiliza el ambiente marino como espacio disponible, ya que son más bien estrictas del ambiente terrestre o dulceacuícola, solo acercándose a la porción supramareal o intermareal de la franja litoral.

La porción de Litoral marino se caracterizó por la franja o porción de mar orientada paralelamente a la costa. En este hábitat singular se registró el 45% y 45,9% de las especies avistadas en la totalidad de las áreas estudiadas, correspondientes a los sectores Norte y Sur, respectivamente. Entre ellas resalta la presencia de los grupos Charadriiformes (Gaviotas, Gaviotines y Salteadores), Suliformes (Cormoranes), Pelecaniformes (Pelicanos), Anseniformes (Quetru), Sphenisciformes (Pingüinos) y Procellariiformes (Fárdelas, Petreles, Albatros y Yuncos). Referente a las actividades en que el grupo de aves se registró practicando, cabe destacar las actividades de alimentación, acicalamiento y tránsito (en el mayor de los

casos), siendo una constante que todas estas especies utilizan amplias zonas geográficas en el desarrollo de cada actividad.

El segundo biotopo registrado corresponde a una porción de litoral rocoso (Macizos rocosos) de baja pendiente y gran extensión intermareal, similar en ambas zonas piloto, en la zona norte donde se implementóel monitoreo piloto, esta franja estuvo cubierta mayoritariamente por Rodophytas del género Mazzaella y Chlorophytas del genero Ulva. Mientras que en el monitoreo piloto implementado en la zona sur, este biotopo estuvo caracterizado por la presencia Rodophytas de los géneros Mazzaella y Ahnfeltia; y Chlorophytas del genero Ulva. Como se puede apreciar en ninguno de los casos se observó la presencia de algas de crecimiento lento, más bien se observaron los géneros de algas esperables en una zona con perturbación antrópica, no obstante es imprescindible mantener esta descripción en posteriores monitoreos para observar modificaciones en la condición de este biotopo, sobre todo respecto de las algas que tienen mayor cobertura sobre él.

En el biotopo mencionado previamente, fue registrado mayoritariamente en la porción de costa frente a ambas concesiones, correspondiendo a las estaciones E1 en el sector Norte y a las estaciones E1 y E2 en el sector Sur. Este biotopo particular registro el 32.5% y 29.7% de las especies avistadas en la totalidad de las áreas estudiadas, correspondientes a los sectores Norte y Sur, respectivamente. Entre ellas resalta la presencia de los grupos Passeriformes (Churretes), Suliformes (Cormoranes), Charadriiformes (Gaviotas, Pilpilenes, Zarapitos y Playeros), Pelecaniformes (Pelicanos, Huairavos) y Anseniformes (Quetru).

El tercer biotopo considerado corresponde a Playa de Arena, de gran cercanía a la zona de influencia, registrado tanto en la porción de costa frente a los centros acuícolas, como en el resto del borde de costa prospectado. Se registró el 42.5% y 48.6% de las especies avistadas en la totalidad de las áreas estudiadas, correspondientes a los sectores Norte y Sur, respectivamente. Entre ellas resalta la presencia de los grupos Paseriformes (Churrete, Golondrina), Suliformes (Cormoranes, Piqueros), Charadriiformes (Gaviotas, Pilpilenes, Queltehues, Zarapitos), Pelecaniformes (Pelicano), Cathartiformes (Jotes), Falconiformes (Tiuques) y Anseniformes (Quetru, Patos Jergón). Las actividades asociadas a cada registro correspondieron mayoritariamente a Descanso y Alimentación.

La totalidad del área prospectada registra 44 especies de aves, 40 fueron registradas en el sector norte y 37 en el sector Sur. De acuerdo a la estructura comunitaria de la avifauna registrada en ambos sectores (Norte y

Sur), las especies de mayor relevancia en términos de su aporte a la abundancia total del sector, fueron la gaviota dominicana (*L. dominicanus*), la fardela negra (*P. griseus*), la gaviota Cáhuil (*Ch. maculipennis*), el Cormoran antártico (*P. atriceps*). En segundo orden de importancia resaltan, para el sector norte, el Pingüino de Magallanes y Quetro no volador. El sector sur por su parte muestra una mayor relevancia del Gaviotín sudamericano.

La fardela negra fue la especie dominante en el biotopo litoral marino, la cual presentó abundancias notoriamente más elevadas que el resto de las especies presentes. Las especies gaviota Cáhuil, gaviota dominicana y Cormorán Antártico por su parte, registraron una alta abundancia en las unidades costeras, particularmente en el biotopo playa de arena.

Referente a la frecuencia de avistamiento, en el sector norte, son de relevancia la gaviota dominicana (*L. dominicanus*), registrada en la totalidad de las unidades de monitoreo (100%), entendidas estas como 9 estaciones costeras y 2 transectas marítimas; el cormorán antártico y Quetru no volador, especies registradas entre el 80% y 90% de las unidades de monitoreo, durante las jornadas AM y PM respectivamente; el Queltehue (*V. chilensis*) y la gaviota garuma (*L. modestus*), especies registradas entre el 70% y 90% de las unidades de monitoreo, durante las jornadas AM y PM respectivamente. Estas especies pese a su menor abundancia, respecto de las primeras, presentan una distribución mucho más homogénea dentro del sistema costero analizado. El sector Sur, mostró una mayor frecuencia de registro en la gaviota dominicana (*L. dominicanus*) y gaviota cahuil (*C. maculipennis*), registradas en la totalidad de las unidades de monitoreo (100%), entendidas estas como 7 estaciones costeras y 2 transectas marítimas; el cormorán antártico y Gaviotín sudamericano, especies registradas entre el 70% y 90% de las unidades de monitoreo, durante las jornadas AM y PM respectivamente.

En virtud al análisis de biotopos, el presente estudio permite identificar, en ambos sectores de monitoreo a 12 especies potenciales, susceptibles de visitar el área de influencia del proyecto, las cuales a su vez integran 6 órdenes taxonómicos mayores (Suliformes, Pelecaniformes, Charadriiformes, Anseniformes, Cathartiformes y Falconiformes). Estos taxa registrados en las diferentes unidades de monitoreo son los siguientes: *Phalacrocorax brasilianus, Phalacrocorax atriceps, Sula variegata, Pelecanus thagus, Larus dominicanus, Chroicocephalus maculipennis, Sterna hirundinacea, Tachyeres pteneres, Cathartes aura, Coragyps atratus, Arenaria interpres y Milvago chimango.* De estos taxa, las especies *Sula variegata*, *Milvago chimango* y

Tachyeres pteneres, solo fueron relevantes en el sector norte, mientras que *Arenaria interpres*, solo fue registrada en el sector sur presentando una fuerte interacción con el centro acuícola.

Referente a la variación de la abundancia o diversidad durante el día, en la componente aves, muestra una situación similar entre las unidades de tierra y las unidades marinas, registrándose abundancias ligeramente mayores durante la jornada matutina. Referente a la riqueza específica, no se observa una tendencia clara entre las diferentes jornadas del día consideradas, evidenciando en las unidades marítimas una mayor riqueza específica durante la jornada de la tarde. Este hecho solo es visible en una sola estación costera (E2), correspondiente al sector norte, ya que en estas unidades se observa una situación contraria, con un mayor número de taxa registrados durante la jornada de la tarde. El sector Sur por su parte también muestra una mayor riqueza en la jornada PM para una mayor cantidad de unidades de muestreo costeras, correspondiendo a las estaciones E2, E4, EC1 y EC3, situación que no se ve reflejada en el resto de unidades terrestres. Llama la atención la gran homogeneidad en los registros durante los días de monitoreo, así como también durante las diferentes jornadas del día, lo cual constituye un indicador de residencia de estas especies en las proximidades del centro de cultivo. Referente a los análisis multivariados de ordenación y clasificación muestran una situación similar a la expuesta, presentando una gran similitud entre las jornadas AM y PM de una misma unidad muestral, reflejando agrupaciones con niveles de semejanza sobre el 80% y 70% en los sectores norte y sur, respectivamente.

En virtud a la distribución espacial de las abundancias por especie, el presente estudio permite identificar a 9 especies tolerantes respecto a la actividad acuícola, las cuales podrían considerarse indicadoras de la acción modificadora de la actividad. Estos taxa registrados en las diferentes unidades de monitoreo son los siguientes: *Phalacrocorax brasilianus, Phalacrocorax atriceps, Pelecanus thagus, Larus dominicanus, Chroicocephalus maculipennis, Tachyeres pteneres, Cathartes aura, Coragyps atratus* y *Arenaria interpres*.

De acuerdo a los indicadores de diversidad, estos describen una estructura comunitaria muy diferente en cada unidad de monitoreo considerada. El sector norte muestra una Riqueza especifica con una fluctuación entre 9 y 17 taxa. En términos generales se detectó un mayor número de especies en el sector Piloto norte, presentando un valor medio de 15±0 y 14±2 especies para las unidades muestrales marítima y costera, respectivamente. Para el

sector Control norte se estimaron 12 taxa, tanto en las unidades de prospección marítima como costeras. Similar situación se observa con los valores de abundancia donde el sector Piloto norte evidencia una clara mayor presencia de avifauna, respecto del sitio control. El sector sur muestra una Riqueza específica asociada a una fluctuación entre 7 y 20 taxa. En términos generales se detectó una situación diferencial respecto del sector norte, con un mayor número de especies en el sector Control sur, respecto del sitio piloto sur, presentando un valor medio de 14±1 y 16±2 especies para las unidades muestrales marítima y costera, respectivamente. Para el sector Piloto sur se estimaron 12 taxa, tanto en las unidades de prospección marítima como costeras. Referente a los valores de abundancia se observa que el sector piloto sur evidencia una clara mayor presencia de avifauna, respecto del sitio control.

Los valores de uniformidad, en el sector norte, fluctúan entre los 0.59 y 0.88, presentando una marcada condición de equidad en el sitio control, en contraposición al sector piloto en donde se observan valores notoriamente menores para este indicador. Particularmente llama la atención el punto de monitoreo E2 (Estación costera frente al Centro Piloto) donde se estiman los menores valores de uniformidad del área estudiada, correspondientes a 0.59 y 0.64 para las jornadas AM y PM respectivamente. Lo anterior refleja una situación de menor equidad en la distribución numérica de los taxa que integran el ensamble comunitario de la avifauna que reside o visita este sector, situación modulada por la mayor abundancia de *P. atriceps* y *L. dominicanus* respecto del resto de las especies presentes.

El sector sur, evidencia una fluctuación de su uniformidad entre los 0.46 y 0.95, presentando una situación similar al sector norte, con una marcada condición de equidad en el sitio control, en contraposición al sector piloto en donde se observan valores notoriamente menores para este indicador. Particularmente llama la atención los puntos de monitoreo E1, E3 y E4 (Estaciones costeras posicionadas frente al centro de cultivo), así como también la unidad marítima de este sector; donde se estiman los menores valores de uniformidad del área estudiada correspondientes a 0.52, 0.46, 0.56 y 0.51 respectivamente. Lo anterior refleja una situación de menor equidad en la distribución numérica de los taxa que integran el ensamble comunitario de la avifauna que reside o visita este sector, situación modulada por la mayor abundancia de *P. atriceps*, *L. dominicanus*, *Chroicocephalus maculipennis* y *Puffinus griseus*, respecto del resto de las especies presentes.

Cabe destacar que la estructura comunitaria muestra la alta abundancia de más de una especie, situación que modula el indicador de uniformidad y dominancia, ya que las abundancias elevadas se equiparan entre si generando una valoración más bien moderada de los indicadores considerados. En otras palabras, el indicador de uniformidad no refleja en su totalidad la disparidad existente en la distribución numérica de los taxa que integran el ensamble comunitario.

Referente a los niveles de diversidad, los mayores valores registrados corresponden a las unidades costeras circunscritas en los sitios Control, presentando un valor medio de 2.03±0.12 y 2.43±0.24, en los sectores norte y sur, respectivamente; y los menores niveles son detectados en las cercanías de los centros acuícolas, con valores medios de 1.66±0.01 y 1.66± 0.02 para la transecta marítima y unidades costeras del sector norte; así como valores medios de 1.33±0.15 y 1.65±0.42 para la transecta marítima y unidades costeras del sector sur. El menor valor registrado corresponde a la estación E2 y E3, en los sectores norte y sur respectivamente, caracterizados por una diversidad de 1.61 y 1.18, lo cual se encuentra modulado mayoritariamente por la baja uniformidad registrada en ambos puntos. El índice de diversidad de Margalef, como era de esperar, coincide con la variación de la riqueza de especies.

Los análisis multivariados de ordenación y clasificación muestran una gran similitud entre las jornadas AM y PM de una misma unidad muestral, reflejando agrupaciones con niveles de semejanza sobre el 80% y 70% en los sectores norte y sur, respectivamente. El sector norte muestra la conformación de cuatro conglomerados o grupos de estaciones de mayor afinidad. El primero de ellos, constituido por las unidades de muestreo marítimas (control y Piloto), muestran un nivel de asociación con porcentajes de similitud cercanos al 70%, agrupación que se une al resto de las estaciones con un bajo nivel de semejanza (30%). Se observa un segundo conglomerado constituido por la estación EC 2 (Unidad costera, sitio Control) la cual se individualiza y se agrega al resto de las unidades de monitoreo con un bajo nivel de similitud, correspondiente al 40%. El tercer conglomerado se integra por las estaciones costeras E1 y E2, posicionadas en isla Imelev, frente al centro piloto norte. Ambas unidades de monitoreo presentan una semejanza cercana al 60%, asociándose al cuarto conglomerado con un nivel de similitud del 45%. El cuarto conglomerado se constituye por las estaciones circunscritas en el sector Piloto norte, de mayor lejanía al centro de cultivo (E3, E4, E5 y E6) junto a las estaciones del sector control EC1 y EC3. Este conglomerado se conforma a su vez por la agrupación de las estaciones EC3, EC1, E5 y E6 con un porcentaje de similitud cercano al 60%.

A este grupo se asocian las unidades E3 y E4 con un porcentaje cercano al 45%.

El sector sur muestra la conformación de cuatro conglomerados o grupos de estaciones de mayor afinidad. El primero de ellos, constituido por las unidades de muestreo marítimas (control y Piloto), muestran un nivel de asociación con porcentajes de similitud cercanos al 70%, agrupación que se une al resto de las estaciones con un bajo nivel de semejanza (45%). Se observa un segundo conglomerado constituido por la estación E3 (Unidad costera, sitio piloto sur) la cual se individualiza y se agrega al resto de las unidades de monitoreo con un bajo nivel de similitud, correspondiente al 40%. El tercer conglomerado se integra por las estaciones costeras del sector Control (EC1, EC2 y EC3) y la estación costera E2, posicionadas en isla Chaullín, frente al centro piloto sur. Ambas unidades de monitoreo presentan una semejanza cercana al 55%, asociándose al tercer conglomerado con un nivel de similitud del 40%. El cuarto conglomerado se constituye por las estaciones circunscritas en los sectores Piloto sur, cercanos al centro de cultivo (E1 y E4). Este conglomerado se asocia a las unidades marítimas (Primer grupo) con un porcentaje cercano al 45%.

El criterio de agrupación de cada unidad de muestral corresponde al tipo de especies registradas en cada sector y su abundancia asociada. La estructura variable entre las unidades de muestreo marítimas y costeras dice relación con el tipo de biotopo presente en cada una de ellas, evidenciando con ello la estrecha relación de la avifauna con los biotopos definidos. Paralelamente se observa una estructura diferencial de las estaciones cercanas a ambos centros de cultivo, respecto del resto de unidades costeras.

En términos comparativos se observa un cambio en la estructura comunitaria entre las unidades de monitoreo próximas a los centros acuícolas, respecto de aquellas de mayor lejanía. En las estaciones costeras próximas al centro de cultivo norte (E1, E2) y centro de cultivo sur (E1) se aprecia una taxocenosis con una alta dominancia de aves marinas buceadoras, de hábitos piscívoras, mayoritariamente integrantes de los géneros Phalacrocorax; aves depredadoras con hábitos carroñeros tales como Larus, Chroicocephalus y Pelecanus; y la presencia, aunque en menor abundancia que las primeras, de especies carroñeras tales como *Coragyps atratus*, *Cathartes aura*. En el caso particular del centro ubicado en isla Imelev (sector norte) se registra el caso de *Tachyeres pteneres*, taxa de hábitos omnívoros. En el caso particular del centro ubicado en isla Chaullín (sector sur) se registra el caso de *Sterna hirundinacea*, ave marina de hábitos piscívoras.

Las estaciones de mayor lejanía al centro piloto, evidencian una mayor similitud con aquellas circunscritas en el sector control, todas caracterizadas por una menor abundancia total de ejemplares, junto a menores aportes de los géneros antes mencionados. Llama la atención además la gran homogeneidad en los registros durante los días de monitoreo, así como también durante las diferentes jornadas del día, lo cual constituye un indicador de residencia de estas especies en las proximidades del centro de cultivo.

La agregación de avifauna en sitios inmediatos a los centros acuícolas deriva de las extensas agregaciones de peces escapados y nativos en las cercanías de piscifactorías flotantes (i.e., balsas jaulas), las cuales actuarían como una fuente de alimento (e.g., pellets no consumidos, fecas e invertebrados incrustados en las infraestructuras sumergidas) y refugio para una importante biomasa y abundancia de especies ícticas (Carss 1990, Dempster *et al*. 2002, 2004), las que presentan cierto grado de residencia temporal en las cercanías de las balsas jaulas (Carss 1990, Bjordal & Skar 1992, Dempster *et al*. 2002, 2004); y a su vez serían presas potenciales para aves buceadoras (Carss 1990, 1993). Esto último podría explicar los presentes registros, donde la mayor frecuencia de ocurrencia y abundancia de aves marinas depredadoras (piscívoras), se dan en las cercanías de piscifactorías flotantes. Adicionalmente, estas estructuras atraen también a aves marinas de hábitos carroñeros, situación también registrada en el presente estudio, lo cual se explica según bibliografía debido a la presencia de peces enfermos, desechos y mortalidad asociada al cultivo intensivo de peces (Suazo com. pers.).

La presente situación ya ha sido descrita para el sur de Chile y en relación al cultivo de salmónidos. Trabajos de Buschmann *et al*. (2006) mencionan que la abundancia de aves marinas buceadoras omnívoras y carroñeras aumentó de dos a cinco veces en aquellas áreas con presencia de balsas jaulas en relación a áreas de control sin ellas. Por su parte, Imberti (2005) durante su navegación a través de los canales australes (entre los 41°30'S y los 51°44'S) señala que especies como la gaviota dominicana *Larus dominicanus*, ave depredadora con hábitos carroñeros, y el yeco *P. brasilianus*, ave piscívora buceadora, fueron extremadamente abundantes en zonas con gran presencia de granjas salmoneras (e.g., Chiloé)

No obstante los antecedentes descritos, la naturaleza y magnitud de estos impactos, aparentemente positivos, sobre la abundancia de algunas especies de aves marinas en el sur de Chile, permanecen aún subvalorados, siendo necesario seguimientos a diferentes escalas de tiempo y espacio unido a un

contraste empírico necesario que evidencie la real importancia tanto de salmónidos escapados como de peces nativos en la dieta de estas y otras aves marinas presentes en el área. En relación a este punto, llama la atención el pobre conocimiento de los aspectos tróficos y bioenergéticos de la gran mayoría de las aves marinas presentes en los sistemas estuarios del sur de Chile, especialmente si se compara con lo desarrollado por los investigadores argentinos en territorio patagónico (e.g., Quintana *et al*. 2002, Millones *et al*. 2005, Frere *et al*. 2005, Sapoznikow & Quintana 2006, Ciancio *et al*. 2008). Conocer la ecología trófica de la avifauna marina es de vital importancia para entender procesos de mayor complejidad que involucran a estos depredadores tope, como la competencia por el nicho ecológico entre especies nativas versus introducidas, grados de vulnerabilidad o éxito de predadores especialistas versus generalistas frente a cambios en la disponibilidad y distribución de las presas naturales o subsidios tróficos de origen antrópico, procesos de control "top-down", cambios en las cadenas alimentarias y los ecosistemas marinos, entre otros.

En suma los resultados muestran que el área colindante a ambos centros de cultivo, mayoritariamente la porción de costa frente al área de concesión acuícola, evidencia un aumento visible de la abundancia de especies oportunistas, principalmente especies piscívoras y carroñeras, las cuales residen en el sector y presentan una interacción positiva con la actividad acuícola. Así mismo se observa la presencia de otras especies de menor importancia numérica, de hábitos alimenticios más amplios, las cuales también presentarían una interacción positiva con el centro acuícola. La relevancia de este ligero aumento de la riqueza especifica en las unidades muestrales próximas al centro de cultivo norte, respecto de los sectores de similares características lejanos al mismo, sugiere que el aumento de la dominancia de algunas especies no influiría directamente en la disminución de la riqueza específica, lo cual posiblemente dice relación con la amplitud de hábitos tróficos de los taxa asociados a este tipo de ensambles comunitarios. Situación contraria se registra en el sector sur, donde el menor número de especies existe en las proximidades del centro acuícola de isla Chaullín podría estar asociado a algún grado de alteración de este tipo. Comprender la causalidad de esta situación diferencial entre los centros sur y norte, necesariamente requiere el levantamiento de una mayor cantidad de información en el tiempo, la cual permita un mayor contraste de la data lograda.

Particularmente para el centro ubicado en isla Imelev (Sector norte), se observa un visible aumento en abundancia de la especie *T. pteneres* (Quetru no volador), particularmente en el sector frente al centro piloto norte (E2).

Esta especie no compite directamente con los ítems de otras aves buceadoras como cormoranes o piqueros, seleccionando ítems alimenticios diferenciales que, al igual que la ictiofauna, se verían favorecidos con la presencia de la actividad acuícola. Los antecedentes cualitativos de su dieta señalan el consumo de diversos invertebrados marinos (Tobar *et al*., 2011), potencialmente ciertas especies de peces y algas submareales (Goodall *et al*. 1951, Jehl 1973). En virtud de lo anterior, pese a la existencia de una imbricación de las áreas de alimentación y selectividad de especies por parte de algunas especies dominantes, existiría además una diferenciación de los nichos tróficos de especies de menor relevancia cuantitativa las cuales, en virtud de la información levantada, no presentarían una competencia directa entre ellas.

Entre las interacciones negativas detectadas, se observan situaciones en especies poco frecuentes y de menor relevancia cuantitativa. Es el caso de las especies *Phalacrocorax magellanicus* (Cormoran de las rocas) y *Pelecanoides garnotii* (Yunco), taxa que solo fueron registrados en sectores lejanos al área operacional de los centros acuicolas. Si bien es cierto, la escasez de los registros no permite fundar premisas de mayor solidez, el comportamiento evasivo de ambas especies sugiere que existiría un desplazamiento de cierto tipo de taxa de hábitos solitarios, como consecuencia de la acción antrópica vinculada a las actividades acuícolas. Por otra parte, algunos Charadriiformes como *Stercorarius Chilensis* y especies integrantes del genero Procellariiformes, avistadas con frecuencia en las unidades de monitoreo marítima (Petreles, albatros, fardelas, entre otros), las cuales presentan un amplio ámbito de hogar, no tendrían preferencia por las áreas inmediatas a los centro de cultivo de salmónidos.

Referente a los mamíferos marinos, el sector norte, registró la presencia de tres especies correspondientes al Lobo Común (*Otaria flavescens*), especie de mamífero pinnípedo de la familia de los otáridos; Delfín chileno (*Cephalorhynchus eutropia*) y Delfín austral (*Lagenorhynchus australis*), cetáceos odontocetos de la familia Delphinidae. El sector sur registró la presencia de solo dos de ellos, no observándose la especie *C. eutropia*. Todos los registros fueron logrados fuera del área de concesión acuícola, sin embargo la cercanía de los mismos permite esclarecer que las especies presentan actividades de tránsito, tanto dentro como fuera de esta zona, no existiendo exclusividad por la misma. Específicamente todos registros de lobos y delfines fueron logrados en la Transecta marítima en el biotopo Litoral Marino. Las actividades que desarrollaban las especies al momento de su registro fueron en la mayoría de los casos "tránsito". Los registros fueron logrados con un total variable de ejemplares por localidad y jornada del día.

En el sector norte (isla Imelev e isla Chaulinec), fueron registradas las especies *Otaria flavescens, L. eutropia y Lagenorhynchus australis.* Los resultados obtenidos muestran una mayor frecuencia de registros en el sector cercano al centro de cultivo, respecto de los registros obtenidos en el sector control. En el sector sur (isla Chaullín e isla Tranqui), fueron registradas dos especies mamíferos marinos, correspondientes al Lobo Común (*Otaria flavescens*) y al Delfín austral (*Lagenorhynchus australis*). Los resultados arrojan para la especie *O. flavescens* una mayor frecuencia de registros en el sector cercano al centro de cultivo sur, situación contraria se obtiene para la especie *L. australis*, donde la mayor abundancia y frecuencia de registros correspondió al sector control sur. La baja frecuencia de registros, respecto del número de estaciones, no permitió el cálculo de indicadores ecológicos o la elaboración de gráficas de clasificación ni ordenación, para esta componente.

En Chile, se ha documentado el efecto de los lobos marinos comunes sobre la salmonicultura marina (Oliva *et al*. 2003, Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata *et al*. 2010). No obstante, aunque mucho menos estudiado, la industria también ejerce efectos directos e indirectos sobre esta especie; directos por sus propias actividades e indirectos a través de un impacto ambiental (Buschmann *et al*. 2009, Sepúlveda *et al*. 2013). De manera indirecta, la salmonicultura produce un impacto negativo sobre los lobos marinos a través de la perturbación de su hábitat. Evidencias tanto a nivel nacional como internacional indican que la distribución de estos animales cambia en respuesta a la presencia de centros de cultivo (Würsig & Gailey 2002, Kemper *et al*. 2003). Esto se debe a que los animales que habitan en las cercanías de un centro de cultivo pueden verse fuertemente perturbados si se construyen estructuras sobre sus colonias, tales como muelles o casas. No obstante, es importante señalar que la presencia de un centro de cultivo puede presentar un impacto indirecto positivo, al menos para algunos animales, quienes utilizan las estructuras de los centros de cultivo como zona de descanso. Paralelamente, se ha descrito que la alta abundancia y concentración de salmones en espacios reducidos aumenta la disponibilidad de alimento para estos mamíferos. Estudios realizados en la X Región han evidenciado una importante depredación de lobos marinos sobre los salmones que se encuentran en las balsas-jaulas (Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata *et al*. 2010). De hecho, el salmón se habría constituido en un importante componente de la dieta del lobo marino común en años recientes (Muñoz *et al*. 2013, Sepúlveda *et al*. En revisión). Referente a los registros de cetáceos logrados (delfines), cabe destacar que durante el desarrollo de las actividades de salmonicultura, la constante presencia de alimentación

suplementaria en conjunto con la presencia de peces en cultivo, potencia la interacción entre delfines y el hombre por la obtención del recurso (Kemper *et al*. 2003). Esta última situación solo es evidente en el sector norte isla Imelev e isla Chaulinec, ya que el sector sur (isla Chaullín e isla Tranqui) muestra una baja frecuencia de registro y abundancia de delfines en el sector próximo a la concesión acuícola.

Tal como ha sido registrado en cetáceos en otras partes del mundo (Díaz López *et al*. 2008), se espera que tanto los lobos marinos como delfines disminuyan el tiempo de búsqueda de alimento con la presencia de centros de cultivo, ya que pueden acceder a los peces que se encuentran en los alrededores de las balsas-jaulas. Lo anteriormente expuesto puede estar relacionado con la mayor frecuencia de avistamientos en un sector próximo al centro piloto norte, respecto de un sector de mayor lejanía individualizado como punto control. Sin embargo este tipo de situaciones solo podría evaluarse mediante la implementación de estudios de mayor escala temporal, a través de los cuales se logre aunar data suficiente que permita fundar premisas con mayor peso estadístico.

Es relevante mencionar que la disminución o desplazamiento de peces nativos desde su ambiente natural puede afectar la capacidad de carga de los ecosistemas marinos alterando la estructura de las tramas tróficas y cambiando la productividad (Díaz López *et al*. 2008). Estas modificaciones complejas de los ecosistemas marinos pueden en último caso influenciar la composición de la dieta, la conducta y la condición corporal de los lobos marinos, alterando tanto la ecología como la demografía de esas especies. Desafortunadamente, no existe evidencia en Chile que muestre los impactos en el corto y mediano plazo de estos efectos sobre los mamíferos marinos registrados.

Referente a los estados de conservación de los taxa registrados, la presente campaña de monitoreo registra la presencia de 7 aves y 2 mamíferos marinos con alguna categoría de conservación de mayor sensibilidad, de acuerdo a los criterios de la IUCN en su versión 3.1, el Reglamento de clasificación de especies (RCE) y la Ley de Caza Nº4.601, sustituida por la ley Nº19.473 y sus modificaciones al reglamento por el decreto supremo Nº5 de 1998; y Nº65 de noviembre de 2013 (con fecha del 7 de enero de 2014, según contraloría). Entre estas especies de aves y mamífero marinos que potencialmente pueden visitar el área de operación de ambos centros de cultivo, se encuentra a *Pelecanus thagus* (Pelicano), *T. melanophrys* (Albatros de ceja negra), *Puffinus griseus* (Fardela negra) y *Spheniscus magellanicus* (Pingüino de Magallanes), se encuentran catalogadas como

"Cerca de amenaza" (NT), de acuerdo a los criterios de la IUCN en su versión 3.1. Sin embargo estas especies no se asocian a criterios de conservación sensibles de acuerdo a la ley de caza y el reglamento de clasificación de especies (RCE). *Pelecanoides garnotii* (Yunco) se cataloga como especie Vulnerable, según la ley de caza y el reglamento de clasificación de especies; mientras que según la IUCN en su versión 3.1, se cataloga como especie En Peligro. El delfín chileno (*C. eutropia*), se encuentra catalogado como "Cerca de amenaza" (NT), de acuerdo a los criterios de la IUCN en su versión 3.1.; y en calidad de especie "Vulnerable" (V) según el Reglamento de Clasificación de especies (RCE). El delfín austral (*Lagenorhynchus australis*), se encuentra catalogado en situación de "Insuficientemente conocida" (DD) de acuerdo a los criterios de la IUCN en su versión 3.1 y en calidad de especie "Vulnerable" (VU) según el Reglamento de Clasificación de especies (RCE).

En virtud de los evidentes efectos de la actividad acuícola en la estructura comunitaria de la avifauna que reside en un sector cercano al centro de cultivo piloto, se recomienda incluir el estudio de avifauna como una componente complementaria dentro de los requisitos establecidos en las Metodologías para Elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA), normado de acuerdo a la R. EX N° 3411-06. La relevancia de su incorporación radica en la importancia de conocer la situación previa o basal del sistema antes de la etapa de construcción y operación de los nuevos centros acuícolas, así como también la importancia de conocer la evolución de esta componente biológica en el tiempo, la cual evidentemente presentara variaciones caso a caso dependiendo de la envergadura y productividad de cada centro de cultivo, así como también de acuerdo al área donde se encuentra circunscrita la concesión acuícola.

En virtud de la escaza evidencia otorgada en el presente estudio, referente a los efectos de la actividad acuícola en la estructura comunitaria de los mamíferos marinos que residen o visitan un sector cercano al centro de cultivo piloto; se recomienda incluir el estudio de mamíferos marinos como una componente complementaria dentro de los requisitos establecidos en las Metodologías para Elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA), normado de acuerdo a la R. EX N° 3411-06. Entendiendo el amplio ámbito de hogar asociado a esta componente, la relevancia de su incorporación radica en la generación de una gran cantidad de información puntual (sumatoria de los estudios asociados a todas las concesiones operativas y aquellas en proceso de calificación), la cual en su conjunto facilitará el análisis holístico, permitiendo conocer la evolución de esta componente biológica en el tiempo, estableciendo frecuencias y áreas

de desplazamiento en una escala espacial y temporal aún más amplia que las posibilidades asociadas a un único estudio puntual en un área limitada.

El análisis de la situación basal del sistema, así como también el seguimiento en el tiempo de las componentes biológicas que lo integran, constituye un mecanismo de prevención corrector, el cual permite identificar las acciones necesarias de mitigación frente a la ocurrencia de impactos ambientales potenciales. Los impactos potenciales se basan en la perturbación del medio, lo que comúnmente se expresa a través de cambios en la biodiversidad. En virtud de lo anterior, el presente trabajo proporciona un protocolo metodológico tipo, confeccionado para la evaluación de las componentes consideradas y orientada en los efectos tanto de la actividad acuícola.

6.4.4. Protocolo de monitoreo

A partir de los resultados de los monitoreos pilotos es posible indicar que para los grupos del bentos y las aves, es posible definir la magnitud y la amplitud espacial del impacto derivado de la actividad acuícola. En este sentido, a partir del monitoreo de estos grupos es posible caracterizar el impacto de la modificación de la estructura comunitaria, por tanto, se puede usar como instrumento para mensurar si las medidas de mitigación que eventualmente puedan ser aplicadas a fututo están siendo efectivas para disminuir la presión sobre la biodiversidad.

Para los grupos de algas, plancton y mamíferos marinos no fue posible determinar acciones de cambio por efecto de la salmonicultura, no obstante, se entiende que esto es a causa de que estas variables requieren de su evaluación en el tiempo para poder aseverar si ello está ocurriendo, por lo cual se plantean como matrices accesorias de análisis.

Para el caso de la incorporación del monitoreo de los mamíferos marinos, entendemos que es de gran relevancia, ya que la realización de múltiples muestreos puntuales a distintos tiempos permitirá la creación de una base de datos que puede ser utilizada para análisis más profundos donde se cuente con variables de temporales y espaciales de mayor envergadura. Además la incorporación del monitoreo de este grupo no representa un aumento sustancial en las actividades y presupuesto del monitoreo planteado.

En síntesis, el protocolo de monitoreo se diseñó con el fin de abordar distintas matrices de análisis a partir de una actividad de terreno. Así

mediante el diseño planteado, se requieren 4 profesionales para aplicar el trabajo de terreno en 3 días de trabajo.

6.5. Proponer medidas de mitigación, reparación y/o compensación de los posibles impactos que produzca la acuicultura en la biodiversidad acuática del entorno donde se desarrolla. Además se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos específicos 1,2 y3.

6.5.1. De la recopilación de medidas de mitigación en proyectos ingresados al SEA

La información entregada por los Titulares en las Declaraciones de Impacto Ambiental, no indica las partes, obras, acciones asociadas y no describe las actividades para restaurar la geoforma o morfología, vegetación y cualquier otro componente ambiental que haya sido afectado durante la ejecución del proyecto o actividad (Artículo 19 a.7. del RSEA).Por su parte, los Planes de mitigación, reparación y compensación son uno de los principales beneficios de la ejecución de un Estudio de Impacto Ambiental.

Tomando en cuenta los efectos documentados de la acuicultura sobre la biodiversidad y el medio ambiente, este tipo de proyectos debería ingresar al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) en forma de EIA y no como DIA como se realiza actualmente.

6.5.2. De las propuestas de medidas de mitigación

Disminución de los escapes de salmones

La disminución de estos efectos debiera estar basada en establecer normas más efectivas en la forma de mejoramiento técnico orientado a reducir y evitar los escapes de peces, tanto desde las instalaciones de aguas continentales como marinas. Esta prevención debe incluir un control, mantención y recambio de las redes peceras y loberas, junto con el establecimiento de un protocolo para el cambio de estas redes (Informe

Técnico Nº2960/2010). Además, las instalación de sistemas de anclaje y fondeo para una correcta tensión de las redes peceras y loberas, brindan una mayor protección a los escapes, por medio de la reducción del roce entre materiales, limitando también que ambas redes se adhieran entre sí.

Disminución de la depredación

Las medidas de mitigación que han sido empleadas en las actividades de acuicultura en relación a los mamíferos marinos y aves se han enfocado casi exclusivamente en buscar disminuir las pérdidas de salmones para la industria, pero no en la protección de los mamíferos marinos o las aves. Finalmente, en relación al uso de dispositivos de disuasión pasiva, algunos autores señalan que la medida de protección más efectiva en el tiempo es el uso de redes anti-depredador (incluidas las redes de exclusión total) alrededor de los centros de mitilicultura, especialmente en zonas donde el número de aves buceadoras, como los patos marinos, es alto (Furness 2000, Varennes *et al.* 2013). Como puntos en contra, el uso de redes anti-depredador submarinas implica costos más elevados, tanto de inversión como de mantención, ya que el fouling debe ser retirado de las redes regularmente (Furness 2000). Otro punto negativo, es la muerte por inmersión y ahogo de aves buceadoras que accidentalmente quedan enredadas en este tipo de redes (Dunthorn 1971, Heubeck & Mellor 2013, Varennes *et al.* 2013).

Eliminación y manejo de desechos

En cuanto a la eliminación y manejo de desechos, dicha medida posee un bajo costo de implementación y considera más bien un cambio en el protocolo de limpieza y en el manejo de los desechos producidos por la actividad. Esta debería ser incorporada como una normativa que regule el manejo de los desechos producidos por la actividad.

AMTI

En general, el AMTI posibilita desarrollar un conjunto de procesos y prácticas que hacen industrialmente viable transformar los subproductos generados por la crianza de algunas especies en hábitat y alimento para otras. Esta estrategia productiva es altamente sustentable porque genera ecosistemas eficientes que benefician la calidad del medioambiente marino y facilitan la diversificación de la acuicultura.

En los ecosistemas marinos costeros, la macroalgas son organismos que poseen una alta capacidad para capturar nutrientes disponibles en la columna de agua, funcionando como biofiltros ambientales (Troell *et al.* 1999, Buschmann *et al.* 2008). Aprovechar las macroalgas como potenciales depuradores ambientales es un desafío que puede ser acoplado a los beneficios económicos que pueden llegar a producir un AMTI (Chopin *et al.*2001, Buschmann *et al.* 2014). Además, se puede mejorar el precio interno de estos cultivos desarrollando un valor agregado a las macroalgas de cultivo (Buschmann *et al.* 2008).

Por ejemplo satisfacer los requerimientos de biomasa fresca utilizada como alimento en la industria de cultivo de abalón asegura su producción de exportación y favorece el éxito económico del AMTI en Chile. Así, si el AMTI es productivamente viable entonces fomentara el desarrollo de la acuicultura de algas aumentando también las expectativas económicas (Zuñiga-Jara *et al*. 2015, Correa *et al.* 2015). Si son rentables estos cultivos, entonces a futuro el AMTI ayudará a establecer nuevos enfoques de cultivo, reduciendo la cantidad de residuos producidos por la salmonicultura (Buschmann *et al.* 2008).

El enfoque AMTI es ecosistémico, y favorece la aplicación del Código de Conducta para Pesca Responsable (FAO 1995). En este contexto, el enfoque ecosistémico de la Pesca (EEP) y de la acuicultura (EEA) son estrategias holísticas de gestión que integran las dimensiones ecológica, socioeconómica e institucional de la actividad y que también están relacionadas con la responsabilidad social de las empresas. Es en este contexto que las macroalgas son la parte funcional más importante del AMTI porque en todas las combinaciones de cultivos multitróficos producen efectos de biomitigación y reduce de manera significativa la eutrofización de las aguas. El AMTI está en vías de consolidación en varios estados donde la administración pesquera y la industria acuícola consideran que es una alternativa productiva concreta (e.g. Canadá, Israel, Sudáfrica, Australia). Así, la FAO (2010) destacó que el desarrollo de los sistemas productivos multitróficos integrados, entre otros avances de la investigación en acuicultura, sirve para "mitigar los efectos ambientales de los cultivos marinos".

Estas remociones de nutrientes y CO2 mejorarán la imagen de las empresas que actualmente contaminan el medio ambiente acuático y alteran las condiciones de las comunidades bentónicas de los ecosistemas marinos debido al desequilibrio y eutroficación que producen los efluentes procedentes de los monocultivos. De este modo generaran productos

obtenidos en condiciones más amigables con el medio ambiente y con una mejor aceptación en los mercados internacionales (Chopin *et al.* 2010).

No obstante, de acuerdo a Whitmarsh *et al.* (2006) para el mundo privado, las economías de integración, no son suficientes para garantizar la adopción de sistemas integrados y que las condiciones del mercado y futuros pronósticos de precios, gravitarían en la adopción de estos sistemas, aún cuando el mensaje general de estos estudios financieros es que la integración de los moluscos y /o algas con monocultivo de peces existentes, pueden aumentar las ganancias, al tiempo que reducen los riesgos económicos, los costos ambientales y propician la generación de beneficios ambientales.

Otras opciones

Otra medida de mitigación posible sería trasladar los cultivos de peces fuera de las aguas estearinas y ubicarlos en mar abierto, en aguas oceánicas donde la disolución de los nutrientes sería mayor y los desechos sólidos tendrían tiempo para dispersarse en camino al fondo marino de mayor profundidad. Estos sistemas podrían integrar sistemas multitróficos que más que ayudar a eliminar la contaminación de las aguas, podrían aprovechar algunos de los nutrientes desechados por estas actividades (Troell *et al.*, 2009). Sin embargo las fuertes corrientes y tormentas pueden destruir fácilmente las balsas jaula y la infraestructura asociada al cultivo de peces en estas condiciones.

6.5.3. De las propuestas de compensación

Investigación, zonificación y AMP

La inversión en diferentes líneas de investigación marina costera que permita desarrollar un proceso de zonificación y el establecimiento de AMP en zonas de importancia para la biodiversidad constituye la única medida de compensación que podría producir o generarun efecto positivo alternativo y equivalente a los efectos adversos identificados.

Es necesario optimizar los métodos de selección de áreas apropiadas para el desarrollo de cultivos mediante un análisis derivado de estudios científicos previos realizados sobre extensas regiones. Estas investigaciones científicas debieran estar orientadas a obtener una evaluación integrada, tanto de las características oceanográficas como de las capacidades de carga y análisis

de la biodiversidad que caracteriza a estos amplios sectores. En el caso de la salmonicultura, un estudio previo de esta naturaleza permitiría evitar el depósito excesivo de materia orgánica bajo las instalaciones gracias al acarreo natural que pueden efectuar el movimiento de mareas y corrientes. En este sentido, el establecimiento de AMP aledañas a zonas de cultivo, a manera de red de áreas marinas protegidas permitirá contar con puntos de control, zonas de amortiguación y rutas de tránsito y dispersión de la biodiversidad.

Del seguimiento ambiental

Para monitorear el éxito en la implementación de medidas es primordial mantener un monitoreo científico permanente orientado hacia la toma de muestras, no solo bajo las instalaciones de acuicultura y sectores aledaños contiguos, sino que también en sectores más alejados, según guías propuestas en el presente proyecto en miras a visualizar los efectos en el tiempo no tan sólo sobre una comunidad sino más bien a todo el ecosistema marino costero que se ve afectado por la actividades de acuicultura.

En este sentido, las medidas de mitigación se relacionan con aumentar la realización de proyectos científicos orientados a investigar en forma urgente los efectos que sobre los ecosistemas ocasionan los cultivos de las otras especies exóticas que han sido introducidas al país como también efectuar investigaciones científicas previas antes de aceptar la introducción definitiva de especies foráneas con fines de cultivo.

Del método de cálculo de la compensación

El método de valoración contingente es un método ampliamente usado y existe bastante investigación orientada a mejorar esta metodología para hacer sus resultados más confiables y entender mejor sus fortalezas y limitaciones.

Entre las ventajas que se pueden destacar del método de la valoración contingente adoptado en este trabajo se pueden destacar: (i) el ser flexible al poder ser usado en la determinación del valor económico de distintos tipos de bienes, incluyendo los bienes y servicios ambientales, para ello no obstante estos bienes y servicios deben ser claramente definidos y entendidos por los usuarios y deben ser consumidos en unidades discretas (por ejemplo días de turismo o días de contemplación). Es un método

ampliamente reconocido y usado para estimar valores de uso o de existencia.

Si bien su aplicación requiere de analistas competentes para obtener estimados defendibles, los resultados obtenidos con esta metodología no son difíciles de analizar y describir. Los valores monetarios pueden ser presentados en términos de valores promedio o medianas por persona o por familia o como valores agregados de las poblaciones afectadas.

Aunque este método es ampliamente usado existe considerable controversia respecto de si mide adecuadamente la disponibilidad a pagar de las personas. Porque asume que las personas entienden y están acostumbrados a escoger entre distintos bienes y servicios y que sus decisiones en los mercados reflejan adecuadamente su disponibilidad a pagar. Por ello, el método asume que las personas entienden el bien en cuestión a ser valorado y que declararán adecuadamente sus preferencias en el mercado contingente, tal como harían en un mercado verdadero.

Sin embargo, la mayoría de las personas no están familiarizadas con la idea de poner un valor monetario al ambiente y los servicios ambientales. Por tanto, puede que no tengan la base adecuada para declarar su valor verdadero.

También es posible que haya respuestas sesgadas y que los encuestados estén respondiendo una pregunta distinta de la formulada. Por ejemplo, en vez de expresar el valor del bien o servicio ambiental pueden que estén expresando su percepción respecto del ejercicio de valoración en sí. Otro ejemplo, son aquellas personas que expresan una disponibilidad a pagar (DAP) positiva ya que se siente bien respecto del acto de donar por un bien social (efecto de "brillo cálido") a pesar de que crea que el bien o servicio a valorar no sea importante. Al contrario, puede que haya encuestados que piensen que el bien o servicio es importante, que declaren que no están dispuestos a pagar a modo de protesta.

Otro tipo de problema con el método es cuando hay posibles relaciones o asociaciones entre bienes ambientales. Por ejemplo, si se pregunta por la DAP de visibilidad mejorada mediante la reducción de contaminación aérea, el encuestado puede estar respondiendo en relación a los riesgos a la salud de la contaminación aérea. Otro tipo de problema puede estar asociado a la diferencia entre decisiones reales e hipotéticas, por ejemplo encuestados que no responden seriamente ya que no tendrán que pagar realmente por el bien a valorar.

Tal como se planteó con anterioridad la función de oferta o de DAP entregada, fue estimada sólo a partir de tres pares de datos, correspondientes a las medianas de los DAP para cada correspondiente nivel de ingresos declarados en la encuesta. Indudablemente, este bajo número de datos influye en la bondad de los ajustes para la especificación del modelo de oferta. En el futuro se podría considerar una mayor apertura de los rangos de ingresos medios a declarar de tal forma de contar con un mayor número de estimadores finales.

El piloto desarrollado para evaluar la DAP de la población de Curaco de Vélez, a través del método de valoración contingente, entrega un resultado específico para esta comuna y por ende los resultados aquí obtenidos no son válidos ni representativos para otras zonas intervenidas por la acuicultura.

La **Tabla 131**, presenta una comparación de otros pagos por servicios ambientales similares, a fin de contar con un punto de comparación relativa. Al respecto se pudo encontrar información para la Comuna de Dalcahue, la más cercana con información sobre los costos mensuales de Aseo domiciliario cuya tarifa anual fue de $ 25.095 el año 2014[5]. Así el costo mensual por hogar sería de $ 2.091 y de 418,2 $/mes-persona si se consideran cuatro personas por hogar.

De manera similar la tarifa para la disposición de aguas servidas con tratamiento para la comuna de Dalcahue es de 1906 $/m^3 el año 2015[6]. Asumiendo que un hogar usa en promedio de 10 m^3/mes, el costo mensual del servicio por hogar es de 19.060 $/mes y si se consideran cuatro personas por hogar el valor mensual a pagar por persona es de $ 3.812.

Tabla 131. Tabla comparativa de otros pagos por servicios ambientales similares.

DAP Estimado ($/mes-persona)	Tarifa Aseo Domicilio Dalcahue ($/mes persona)	Tarifa disposición y tratamiento aguas servidas ($/mes-persona)
3.500	418	3.812

Fuente: elaborado en base resultados estudio e información Ilustre Municipalidad de Dalcahue y Superintendencia de Servicios Sanitarios

Martín-López *et al.*(2008) señala quela valoración económica de la biodiversidad es afectada no sólo por las variables propias del método de

[5]www.munidalcahue.cl/transparencia/inicio/…/2014/…/OTORGA%20PATENTE.xls
[6]http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue-3512.htm

valoración contingente (medición de los beneficios, vehículo y tiempo de pago y forma de elicitación) sino también por las actitudes personales hacia la biodiversidad.La DAP puede ser afectada por factores antropomórficos, antropocéntricos y culturales. En este contexto, el método puede ser una útil herramienta para la conservación siempre y cuando las encuestas sean cuidadosamente diseñadas, los respondientes estén suficientemente informados y los factores humanos que influencian la disponibilidad a pagar han sido identificados.

En síntesis, lo que se propone en el presente estudio es un método que permite cuantificar pecuniariamente la DAP de la población en relación a los efectos de la acuicultura sobre la biodiversidad. No obstante lo anterior, la recomendación es que en ningún caso la implementación de este modelo de cálculo de compensaciones, implique el no contar con los planes de mitigación o reparación. Esta medida debe entenderse como un complemento y no como alternativa a otras propuestas de mitigación, recuperación y compensación. Inclusive dicho método podría integrarse mediante una estrategia que este destinada a lograr el financiamiento de medidas de mitigación o reparación y/o compensación.

7. CONCLUSIONES

Objetivo específico 1: Realizar una recopilación de antecedentes de los diversos grupos de flora y fauna marina y continental que reporten efectos producto de las actividades de acuicultura, como también, de aquellos sectores considerados "sensibles" desde el punto de vista de la biodiversidad.

i. Se debió realizar la revisión de una gran cantidad de documentos que abordaban otras temáticas que tangencialmente eran de utilidad para los objetivos del proyecto. Esto a causa de la escasa cantidad de antecedentes en esta materia, en efecto, la mayor parte de los antecedentes que relacionaban biodiversidad con acuicultura, se enfocaba a como algunas especies o grupos de especies interfieren en la producción acuícola, pero no a los efectos que la actividad tiene en la biodiversidad.

ii. De la información relevante, a nivel nacional, se deben destacar los trabajos recopilatorios de Buschmann *et al.* 1996 donde los autores realizan una revisión de estrategias alternativas de producción para el cultivo marino en Chile; Buschmann (2001), que aborda el estado del arte de la investigación referente al impacto ambiental de la acuicultura en Chile y el mundo; Buschmann *et al.* (2006) donde los investigadores efectúan una revisión de los impactos del cultivo de salmones en ecosistemas costeros de Chile y Buschmann *et al.* (2009) que corresponde a una revisión y análisis de las regulaciones que rigen la salmonicultura y describe propuestas de bio-remediación del impacto medioambiental producido.

iii. En relación a los efectos de la producción de salmones sobre la biodiversidad, fue posible contar con algunos estudios aislados sobre algunos grupos faunísticos, como por ejemplo, los aportes realizados en Chile Austral respecto del impacto en la fauna íctica local ocasionado por la existencia de salmones de vida libre (Soto *et al.,* 1997; Soto *et al.,* 2001; Niklitschek *et al.,* 2011b; Niklitschek *et al.,* 2011c) y las observaciones de Imberti (2005), respecto de la alta abundancia relativa de aves piscívoras buceadoras y carroñeras en zonas con alta presencia de granjas salmoneras.

iv. En cuanto a la fauna bentónica asociada a los centros de producción acuícola, es importante mencionar que la información contenida en Declaraciones de Impacto Ambiental, Caracterizaciones Preliminares de Sitio e Informes Ambiental de la acuicultura, ofrece una extensa base de datos para ser analizada, no obstante los análisis de esta información son escasos.

v. En términos territoriales, en Chile la acuicultura administra 34.422 ha de mar, a través del otorgamiento de concesiones, de las cuales 26.670 ha se encuentran en la ecorregión Chiloense. Lo que evidencia una alta concentración espacial de la actividad.

vi. Los antecedentes bibliográficos, revelaron que el ecosistema de la ecorregión Chiloense ha sido considerado como altamente frágil por su condición salobre, y ha sido reconocido además por una alta variedad de bienes y servicios ecosistémicos, que dan sustento a una importante actividad pesquera (la más diversificada del país), al desarrollo acuícola y al turismo, además de presentar gran relevancia para la conservación de la biodiversidad.

vii. En base a la información, se aprecia una gran contradicción en el uso del territorio de la ecorregión Chiloense. Ya que a pesar del gran desarrollo acuícola y pesquero de esta y a su mencionada fragilidad ecológica, se evidencia un escaso nivel de protección mediante áreas marinas que cuenten con una figura legal. Como dato de ello, de 15,23 millones de ha destinadas a la protección a nivel nacional, menos del 0,13 % están en la ecorregión Chiloense.

viii. Las propuestas de creación de dos Áreas Marinas Costeras Protegidas – de Múltiples Usos (AMCP- MU), como es el caso de las que se están proponiendo para los sectores de Pitipalena- Añihue y Bahía Tic Toc-Golfo del Corcovado, aportarán un total de 123.000 nuevas ha de conservación marina que buscan proteger distintas especies de aves y mamíferos marinos, además de corales de aguas frías, peces como el puye y la sardina austral, y algas como el pelillo y la luga roja, todas especies sobre las cuales se han reportado efectos provocados por acuicultura, principalmente por la salmonicultura, de manera que estas iniciativas y futuras acciones de este tipo propenderán a mantener "reservorios" de alta biodiversidad en la ecorregión Chiloense.

Objetivo específico 2: Determinar grupos o especies de flora y fauna marina y continental que pueden ser afectados por las diferentes actividades de acuicultura.

- **Efectos en las comunidades planctónicas**

i. Los efectos causados por la acuicultura en el plancton, están relacionados principalmente, a la eutrofización, cambios en el balance de los nutrientes, aumento en la deposición de material particulado sobre los fondos y reducción en el oxígeno disuelto.

ii. Existen falencias importantes en la información disponible, para evaluar los efectos que potencialmente puedan ser generados por metales pesados, antibióticos y otros agentes químicos utilizados en la acuicultura, sobre el plancton.

iii. En función de la conclusión anterior, se recomienda la consecución de investigaciones aplicadas, orientadas a determinar los efectos de estos contaminantes (análisis ecotoxicológicos; evaluación de riesgo ecológico y humano).

iv. Se ha descrito que los efectos en el aumento de la concentración de nutrientes en las comunidades fitoplanctónicas, pueden ser imperceptibles en ambientes que naturalmente contienen grandes concentraciones de nutrientes y/o una importante circulación de aguas, pero son evidentes en sistemas oligotróficos y/o de menor circulación.

v. Los cultivos de mitílidos son capaces de modificar las comunidades fitoplanctónicas por dos vías:

V.1. Por disminución significativa de la abundancia total, provocada por la filtración de grandes cantidades de fitoplancton.

V.2. Por un efecto forzante de cambio en sus componentes principales, provocado por la selección de partículas alimenticias en el proceso de filtración.

- **Efectos en comunidades de algas**

vi. Los registros bibliográficos que permitieron extraer información para analizar los efectos de la acuicultura sobre la vegetación marina o viceversa, tanto a nivel nacional como internacional fueron escasos.

vii. El ingreso de nutrientes y materia orgánica al ecosistema a través del alimento no digerido y del material fecal de los peces genera una mayor disponibilidad de nutrientes que favorece el crecimiento del ensamble de algas que habita los alrededores del cultivo.

viii. El incremento artificial de nutrientes, favorece un crecimiento diferenciado, donde algas verdes de rápido crecimiento pueden prevalecer por sobre algas de mayor complejidad, como las algas pardas o algunas algas rojas de crecimiento lento.

ix. La basura flotante que produce la acuicultura es un factor de dispersión de biota vegetal pobremente estudiada, y una vía para la expansión geográfica de especies naturales y exóticas. A su vez, los impactos ecológicos de las especies exóticas introducidas para acuicultura tienden a ser ignorados, y sus potenciales efectos en el ecosistema conllevan a problemas de bioseguridad y bioética pobremente discutidos.

x. Se recomienda considerar la realización de investigaciones que permitan levantar información respecto de la dispersión de biota vegetal en basura flotante derivada de la actividad acuícola y sus potenciales efectos ecosistémicos.

- **Efectos en las comunidades macrobentónicas**

xi. A nivel de fauna bentónica, se ha reportado que entre los principales efectos, está la acumulación de materia orgánica y de productos tóxicos que se utilizan especialmente en la salmonicultura, con un consecuente desequilibrio entre las especies de la macroinfauna que integran las comunidades y una probable gestación y transferencia de enfermedades.

xii. En los sectores estuarinos más perturbados por la acumulación de materia orgánica se ha podido observar la presencia de especies oportunistas como los poliquetos *Capitella capitata* y especies del género

Polydora, que permitirían considerarlas como las menos afectadas por problemas de contaminación. En segundo término, los gasterópodos del género Nassarius presentan un buen desarrollo en sectores de fondos con sedimentos que presentan una mayor carga orgánica.

xiii. En la actual normativa chilena, con respecto a la evaluación de la calidad de ambientes acuáticos asociados a centros de cultivo, no es exigida la aplicación de algún índice biótico bentónico en particular que dé cuenta del estado en que se encuentran determinados hábitats sometidos a impactos de actividades antropogénicas, como ocurre en otras partes del mundo.

xiv. De la gama de índices aplicados ampliamente para determinar la condición de la comunidad bentónica frente a un estresor, se pueden diferenciar entre los que emplean una clasificación de sensibilidad/tolerancia de taxa de manera subjetiva (e.g. juicio experto) como AMBI o Bentix, y los que realizan una categorización de taxa en base a los niveles de sensibilidad de manera objetiva (composición de muestras de un amplio set de datos correspondiente a una zona específica), como es el caso de BQI - familia.

xv. A partir del método del BQI – familia, aplicado a la base de información de CPS e INFA, se logró categorizar 136 taxa en función de su sensibilidad/tolerancia a la actividad acuícola, específicamente para la zona del mar interior de Chiloé. Este hecho viene a ser el primer esfuerzo para Chile en la construcción de este tipo de clasificaciones, basado en una perspectiva objetiva.

xvi. Los resultados del BQI indican que, entre los años 2011-2013, la media de las estaciones muestreadas en el marco de las CPS e INFA, realizadas en el mar interior de Chiloé, se encuentran en un estado de composición faunística pobre, y que son muy pocas las estaciones que alcanzaron condiciones buenas o muy buenas.

xvii. En definitiva, el BQI – familia, viene a ser un índice de alta fidelidad y bajo costo, que ha sido validado y aplicado en diversas zonas del mundo y que podría ser más adecuado a la realidad de la información con la que se cuenta en Chile, versus otros índices. Ya que solo con la información que actualmente es exigida por la institucionalidad nacional

a los centros de producción acuícola (CPS e INFA), es factible su aplicación.

- **Efectos en comunidades ícticas**

xviii. El efecto negativo sobre los peces nativos ha sido asociado principalmente a la salmonicultura que afectaría a la ictiofauna nativa por las siguientes causas: (1) El escape de salmones desde los centros de cultivo hacia el medio natural; (2) El traspaso de antibióticos para salmones desde los centros de cultivo hacia el ambiente; y (3) La diseminación de patógenos y enfermedades. Estas causas han afectado tanto a los peces nativos marinos como dulceacuícolas.

xix. Se ha registrado un alto consumo de peces pelágicos que forman cardúmenes, como por ejemplo el pejerrey (*Odontesthes regia*) y juveniles de mote (*Normanichthys crockery*), por parte del salmón del Atlántico (*Salmo salar*), en las localidades de Puerto Cisnes y Puerto Chacabuco (región de Aysén). Por su parte, el salmón chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) de vida libre, se alimenta principalmente de peces de la familia Nototheniidae.

xx. Se ha registrado también efecto de competencia por el alimento entre los salmones escapados (trucha arcoíris, salmón cojo, salmón salar) y especies pelágicas como el jurel (*Trachurus murphy*), la merluza (*Merluccius gayi*) y la hauica (*Macruronus magellanicus*) en el mar interior de Chiloé.

xxi. Los registros de presación de salmones escapados han indicado que el consumo anual promedio estimado para los salmones escapados en el fiordo Aysén se eleva por sobre las 10.000 ton, superando el desembarque artesanal de peces en toda la región de Aysén (7.252 ton en 2009), siendo *S. fueguensis*,*O. regia* y crustáceos plantónicos las principales presas de los salmonídeos.

xxii. Respecto de los peces nativos dulceacuícolas como presa de salmonídeos de vida libre, se ha reportado que tanto lagos como ríos del sur de Chile han sufrido una fuerte depredación por parte de los salmonídeos introducidos. En lagos donde los salmones son cultivados, estos representan más del 80% de la biomasa total de peces, mientras

que en los lagos donde no se encontraron salmones o truchas, por ejemplo el lago Yulton-Meullin en la región de Aysén, se registraron grandes poblaciones del puye grande (*Galaxias platei*) y la peladilla (*Aplochiton zebra*).

xxiii. Estudios realizados en ríos y arroyos del sur de Chile confirman el impacto de los salmonídeos sobre los peces nativos, siendo las truchas arcoíris y café los principales componentes de la fauna de peces. Una de las causas estaría relacionada a la sobreposición de nicho entre las especies nativas y los salmonídeos. En lagos de Argentina, estudios recientes han confirmado el impacto de la predación de los distintos estadios de desarrollo de *G. maculatus* por parte de *O mykiss*, *S. trutta* y *S. fontinalis*, en especial de las etapas larvales.

xxiv. Respecto del traspaso de antibióticos y la diseminación de enfermedades desde los centros de cultivo hacia los peces nativos se ha determinado la presencia de residuos de Oxitetraciclina y Quinolonas en el tejido de róbalos (*Eleginops maclovinus*) y cabrillas (*Sebastes capensis*) provenientes de restos de pellet. La presencia de pellet se ha detectado también en otros peces marinos nativos del sur de Chile como el nototénido *Patagonotothen longipes* y *Patagonotothen tessellata*.

xxv. Las amenazas asociadas a la introducción de nuevos patógenos al medio ambiente también podría afectar la biodiversidad de peces nativos. Estudios realizados en el hemisferio norte han determinado que las enfermedades ocasionadas por el "piojo de mar" (*Caligus sp.*) en salmones y peces nativos están en directa relación con las altas concentraciones de cultivos de salmones. En tanto, en Chile se ha reportado la presencia de la infección por el "piojo de mar" (*Caligus rogercresseyi*) en poblaciones de peces nativos como el róbalo (*E. maclovinus*) y el pejerrey (*O. regia*).

xxvi. A nivel internacional, se reconoce que el subsidio trófico de la actividad acuícola genera una concentración de ciertas especies ícticas. A nivel nacional en tanto, se desconocen los ensambles de peces que están asociados a las balsas jaulas. La conducción de investigaciones que permitan aclarar este punto son claves para determinar las especies de peces que pueden verse altamente favorecidos por el subsidio trófico de la actividad acuícola, en desmedro de otros. En este sentido la utilización de cámaras trampa y estudios con isótopos estables que permitan

revelar la estructura trófica de estos ensambles, podrán proporcionar información que permita dilucidar el efecto de la acuicultura en las comunidades de peces asociadas, y eventuales modificaciones en la trama trófica con su consecuente impacto.

- **Efectos en comunidades de aves**

xxvii. Una interacción característica entre las poblaciones de aves y la salmonicultura es provocada por la generación de extensas agregaciones de peces escapados y nativos en las cercanías de piscifactorías flotantes (i.e., balsas jaulas), las cuales actuarían como una fuente de alimento (e.g., pellets no consumidos, fecas e invertebrados incrustados en las infraestructuras sumergidas) y refugio para una importante biomasa y abundancia de especies ícticas, las que a su vez serían presas potenciales para aves buceadoras.

xxviii. Enel sur de Chile se ha observado que la abundancia de aves marinas buceadoras omnívoras y carroñeras aumentó de dos a cinco veces en aquellas áreas con presencia de balsas jaulas en relación a áreas de control sin ellas. Así mismo en los canales australes (entre los 41°30'S y los 51°44'S) se observó que especies como la gaviota dominicana *Larus dominicanus*, ave depredadora con hábitos carroñeros, y el yeco *P. brasilianus*, ave piscívora buceadora, fueron extremadamente abundantes en zonas con gran presencia de granjas salmoneras (e.g., Chiloé).

xxix. En función de la conclusión anterior, se recomienda desarrollar investigaciones que proporcionen información referente a aspectos tróficos y bioenergéticos de la gran mayoría de las aves marinas presentes en los sistemas estuarinos del sur de Chile, y en especial de las que están asociadas a los centros de producción acuícola. Como ejemplo, puede tomarse lo desarrollado por investigadores argentinos en territorio patagónico (e.g., Quintana *et al.* 2002, Millones *et al.* 2005, Frere *et al.* 2005, Sapoznikow & Quintana 2006, Ciancio *et al.* 2008). El conocer la ecología trófica de la avifauna marina es de vital importancia para entender procesos de mayor complejidad que involucran a estos depredadores tope, como la competencia por el nicho ecológico entre especies nativas versus introducidas, grados de vulnerabilidad o éxito de predadores especialistas versus generalistas frente a cambios en la disponibilidad y distribución de las presas naturales o subsidios tróficos

de origen antrópico, procesos de control "top-down", cambios en las cadenas alimentarias y los ecosistemas marinos, entre otros. Esta línea de investigación debiera extenderse también a las comunidades de peces y mamíferos marinos.

- **Efectos en mamíferos marinos**

xxx. A escala mundial, existen dos actividades acuícolas en que se han evidenciado conflictos con distintas especies de mamíferos marinos: (1) el cultivo extensivo de moluscos, dentro del que destaca la mitilicultura, y (2) el cultivo intensivo de peces.

xxxi. En Chile, son pocos los estudios que han evaluado los potenciales efectos de las actividades de acuicultura sobre mamíferos marinos. De las distintas especies de mamíferos marinos que se encuentran en la zona sur del país, se cuenta con mayores antecedentes del lobo marino común debido a la fuerte interacción que presenta con la salmonicultura marina.

xxxii. La alta concentración de centros de cultivo de engorda de salmones en la X y XI Regiones, en conjunto con la alta abundancia de lobos marinos y la capacidad de estos de explotar situaciones en donde los salmones se encuentran en alta concentración y de fácil acceso, se han combinado para ocasionar una importante y directa interacción entre esta especie y la salmonicultura.

xxxiii. En general los estudios han evaluado el efecto del lobo marino sobre la industria (pérdida de salmones, daños a las redes). Sin embargo, los efectos de la presencia de la salmonicultura sobre la conducta, demografía y ecología de esta especie han sido escasamente abordados.

Objetivo específico 3: Analizar y evaluar la información recopilada en cuanto a los impactos, efectos directos e indirectos, que determinan una alteración de las diferentes especies que conforman la biota acuática.

i. Los múltiples efectos de la acuicultura sobre la biodiversidad marina y continental que han sido reportados, fueron simplificados y categorizados en once tipologías:

i.1. **Creación de Hábitat Artificial:** Presencia de sustratos exógenos que constituyen un nicho para la colonización de organismos y mantención de presas potenciales para otras especies.

i.2. **Dispersión de organismos en basura flotante:** Desplazamiento de organismos incrustantes a partir de la colonización de sustratos artificiales correspondientes a material en desuso.

i.3. **Modificación de la estructura comunitaria:** Alteración del equilibrio en el sistema por cambios en la composición, estructura y organización de la comunidad.

i.4. **Colonización de especies exóticas e invasoras:** Desarrollo de especies ajenas a la estructura comunitaria local.

i.5. **Invasión de espacios naturales por actividad humana:** Alteración y reducción de hábitat, por tráfico de embarcaciones, generación de ruidos y utilización de espacios.

i.6. **Daño a organismos por presencia de desecho:** Trauma fisiológico o físico, provocado por la presencia de desechos de materiales y estructuras en desuso que pueden provocar heridas, asfixias o intoxicaciones.

i.7. **Escape de especies de cultivo al medio natural:** Asilvestramiento de especies exóticas provenientes de sistemas de cultivo, que provocan una disminución de especies nativas por competencia y depredación con un aumento de especies exóticas.

i.8. **Dispersión de agentes contaminantes al medio natural:** Incorporación de agentes químicos, patógenos y metales pesados a la trama trófica.

i.9. **Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos:** Deterioro de la columna de agua y el

fondo marino, por la incorporación de sedimentos con altas concentraciones de materia orgánica.

i.10. **Eliminación accidental o deliberada de depredadores:** Mortalidad de especies por instalación de sistemas anti-depredadores o matanza legal o ilegal de depredadores de especies en cultivo.

i.11. **Disminución de organismos naturales utilizados como alimento por especies de cultivo:** Utilización de cualquier organismo del medio natural como materia prima para la alimentación de especies de cultivo.

ii. A partir de las tipologías de efectos mencionadas, se construyó un sistema teórico, basado en la salmonicultura, que permitió determinar tipologías de efectos influyentes, efectos de conflicto, efectos autónomos y efectos respuesta. Siendo de alto interés para el manejo del sistema, las tipologías definidas como influyentes y respuesta.

iii. Las tipologías influyentes son importantes porque no dependen o dependen escasamente de otros efectos. Por lo tanto, estos efectos están modulando, en gran medida, el funcionamiento del sistema.Las tipologías de efectos definidos como influyentes fueron:

iii.1. Creación de Hábitat Artificial
iii.2. Invasión de espacios naturales por actividad humana
iii.3. Disminución de calidad de hábitat por incorporación de desechos orgánicos
iii.4. Escape de especies de cultivo al medio natural

iv. Las tipologías influyentes, se deben tener en cuenta para la creación y diseño de políticas públicas que propendan a disminuir la acción modificadora de la actividad acuícola en la biodiversidad. Las medidas de mitigación deben ir orientadas a la eliminación o disminución de la existencia de estos efectos, ya que estos son los que dan origen o potencian la existencia del resto de los efectos adversos que la actividad acuícola genera en la biodiversidad.

v. Por su parte, las tipologías de efectos respuesta no se pueden modificar directamente sino a través de los efectos que influencian en el sistema. Los efectos definidos como respuesta son:

v.1. Colonización de especies exóticas e invasoras
v.2. Modificación de la estructura comunitaria

vi. Estas variables posibilitan la realización de un seguimiento y un monitoreo que permita verificar la efectividad de las medidas mitigatorias que eventualmente puedan ser aplicadas a la actividad acuícola. La existencia de estos efectos no influye o potencia la existencia de los demás, pero tienen la característica de recibir una gran influencia del resto de los efectos provocados por la actividad acuícola. La característica descrita de estos efectos los convierte en elementos claves para ser mensurados, ya que en cierta medida son el reflejo del funcionamiento del sistema.

vii. La construcción de un mapa conceptual, basado en la salmonicultura, desde un punto de vista productivo, permitió identificar, a partir de los efectos recabados en la literatura, la existencia de 3 impactos devenidos de la actividad acuícola.

vii.1. Uno de los impactos, es **la disminución de espacios costeros para otros usos**, como por ejemplo: Usos turísticos, espirituales, de conservación, de investigación y pesqueros. De modo que en términos conceptuales se aprecia una fuerte pérdida de servicios ecosistémicos en las zonas donde se desarrolla la actividad acuícola. Este impacto es evidente, considerando que dentro de las primeras millas marinas de las regiones de Los Lagos y Aysén, las concesiones acuícolas abarcan un porcentaje importante del área total, limitando espacialmente el aprovechamiento de los otros servicios ecosistémicos antes mencionados y que proporciona esta zona de la costa a las comunidades ribereñas.

vii.2. Otro impacto potencial es **la disminución de recursos pesqueros,** que sustentan pesquerías que son eminentemente costeras (primeras 5 millas), como pesquerías bentónicas y de peces costeros pelágicos y demersales, que cabe mencionar, son el sustento de una parte importante de la población de las regiones australes del país. Respecto de este impacto, es importante mencionar que no existen evidencias claras de su existencia y magnitud, esto debido a que no se cuenta con una base de información confiable que permita diferenciar los impactos propios de la sobrepesca de los eventuales impactos que la producción acuícola genera. No obstante lo anterior,

existen estudios que proporcionan evidencia de la ocurrencia de este impacto y que han sido mencionados precedentemente. Por ejemplo se han descrito, en la zona austral, casos de predación de salmones escapados sobre los recursos Sardina (*Sardinops sagax*), anchovetas (*Engraulis ringens*), motes (*Normanychthys crockery*) y pejerreyes (*Odonthesthes regia*). Así mismo, se asocia una relación de competencia con los predadores naturales de estas especies como son las distintas especies de merluzas (Soto *et al*., 2001).

vii.3. Finalmente, el último impacto identificado es la **modificación de la estructura comunitaria**, y que se relaciona directamente con un efecto integrado a la biodiversidad y por tanto es el impacto más relevante para los objetivos del presente proyecto.

Objetivo específico 4: Proponer un Plan de Monitoreo y seguimiento de los grupos o especies considerados como sensibles, en virtud de los definido en los objetivos específicos 1, 2 y 3. Además definir un protocolo para el levantamiento de información, el cual deberá ser validado (componentes propuestos) en terreno. Finalmente, se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos antes señalados.

i. Para definir las dos zonas para la implementación del monitoreo piloto, se seleccionó el área norte de la ecorregión Chiloense, definida como una zona de alto potencial de acumulación de nutrientes y con una gran cantidad de interacciones entre la actividad acuícola y la biodiversidad reportadas en la literatura (ver sección 5.2.3) y otra en la zona central de la ecorregión Chiloense, caracterizada por un potencial de acumulación de nutrientes menor, y una gran importancia desde el punto de vista de la biodiversidad (ver sección 5.2.3).

ii. Los criterios para seleccionar el centro de cultivo de salmones en cada una de las zonas indicadas, fue que hayan estado operativos los últimos 4 años con biomasas promedio mayores a 1.000 ton (existencias promedio 2011 – 2014) y que además no estuvieran cercanos a otra fuente contaminante.

iii. El monitoreo integrado de matrices faunísticas en torno a los centros de cultivo seleccionados, comprendió dos diseños de muestreo:

iii.1. El primero, orientado a las matrices de bentos y plancton, consistió en tres transectos concéntricos respecto de las jaulas de cultivo, separados en un ángulo aproximado de 120° entre sí. En cada transecto, cinco estaciones fueron fijadas a distintas distancias de las jaulas de producción, aproximadamente a 50 m, 100 m, 150 m, 250 m y 550 m. Adicionalmente se seleccionó un punto de referencia, posicionado a 1.150 m de las jaulas, en contra de la corriente definida en la CPS del centro. Lo anterior con el fin de definir eventuales zonas de impacto a la estructura comunitaria de las matrices evaluadas, respecto de la distancia al centro de cultivo. Complementariamente, en cada estación se levantaron datos de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en columna de agua y pH, materia orgánica total y potencial redox en sedimentos, además de registrar la profundidad de cada punto.

iii.2. El segundo diseño estuvo orientado a levantar información de las matrices de aves y mamíferos marinos, y complementariamente a la generación de una descripción de los mosaicos algales que puedan ser observados en biotopos costeros.El muestreo de aves y mamíferos se basa en la obtención de evidencias directas, por medio de "avistamientos", sobre una transecta marina y estaciones de observación costera.

iv. Los resultados del monitoreo piloto, indican que las matrices de bentos y aves pueden ser buenos indicadores de la modificación a la estructura comunitaria provocada por la actividad de salmonicultura. A partir del monitoreo, se pudieron observar cambios en la estructura comunitaria de ambas en función de la distancia al centro. A la luz de los resultados, ambas matrices permiten definir la magnitud y la amplitud del efecto modificador.

v. En el caso del análisis de la comunidad macrobentónica, se logró evidenciar un efecto modificador de la estructura comunitaria espacialmente localizado entre 600 a 1000 metros de distancia de los modulos de cultivo, distancia mayor a lo reportado por estudios a nivel nacional que situan el efecto a distancias menores de 500 metros de los módulos de cultivo.

vi. La composición de la estructura comunitaria difiere entre ambos centros pilotos monitoreados (Norte vs Sur), al comparar los parámetros comunitarios entre las mismas distancias de cada centro. la riqueza presento

diferencias significativas solo en las distancias D1 y D2, con mayores valores en el piloto Sur.

vii. En el centro piloto norte (Imelev), a través de estadístico W (Curvas ABC), se observó una mayor proporción de estaciones con comunidades alteradas y medianamente alteradas en las cercanías de las balsas jaula (< 600 m), respecto de la estación de referencia y de las estaciones del sector control.

viii. En tanto en el centro piloto sur (Chaullín), se observó una menor cantidad de estaciones alteradas o moderadamente alteradas que en el sector norte. Estaciones alteradas, solo se observaron a distancias < 200 m. No obstante, estaciones moderadamente alteradas fueron observadas en todos los rangos de distancia, inclusive en la estación de referencia.

ix. En función del hallazgo anterior, queda en duda la utilidad comparativa de la estación de referencia, debido a la poca viabilidad práctica de establecer esta con criterios de similitud ambiental respecto del resto de las estaciones y en ausencia de intervención antrópica, esto último considerando la cercanía entre concesiones acuícolas.

x. Una solución a la problemática anterior podría ser contar con una red de estaciones de referencia, no asociadas a los centros de producción acuícola, que abarque una gama importante de ambientes. Esta base de datos podría ser ocupada con fines comparativos con los muestreos realizados en las CPS e INFA.

xi. Con la información levantada en cada monitoreo piloto y la información disponible en la literatura, se realizó una Valoración del Impacto Ambiental (VIA) por medio del método de Criterios Relevantes Integrados (CRI).

xii. La VIA permite determinar, a partir de la mejor información disponible, un valor de impacto ambiental, en función de la Intensidad, Extensión, Duración, Reversibilidad y Riesgo del efecto a medir. La suma ponderada de cada uno de estos criterios proporciona el valor VIA.

xiii. Los VIA, calculados para los centros piloto, fueron 6,65 para el centro piloto norte (Imlelev) y 6,40 para el centro piloto sur (Chaullín), lo que corresponde en ambos casos a un nivel de impacto moderado. La similitud

de ambos valores, se explica porque el centro Imelev tuvo un nivel de perturbación mayor (intensidad alta), pero con una extensión del impacto baja. En tanto el centro Chaullín, tuvo una intensidad de perturbación baja, pero una extensión alta.

xiv. En cuanto a las aves, los resultados también fueron consistentes en ambos centros, observándose en las cercanías o incluso sobre las balsas jaulas una proporción mayoritaria de un conjunto de especies oportunistas, lo que difiere enormemente de lo observado en las estaciones más alejadas al centro.

xv. La amplitud de este efecto modificador dependió, en ambos centros piloto, de la existencia de un lugar apropiado para albergar una gran cantidad de avifauna. En ambos casos correspondió al sector de playa más cercano al centro.

xvi. Los gremios de avifauna, agrupados en sectores cercanos al centro de cultivo, fueron observados tanto en las mañanas como en las tardes, durante los tres días de monitoreo, realizando actividades de descanso o alimentación, lo que sugiere una condición de residencia.

xvii. La composición de la estructura de la avifauna no difiere entre ambos centros pilotos monitoreados (Norte vs Sur) ni entre sectores control y sectores cercanos al centro , solo se encuentran diferencias al comparar la avifauna entre las transectas marinas y estaciones en tierra.

xviii. Para mensurar la acción de cambio de la acuicultura en la biodiversidad, se propone en función de los resultados de la revisión bibliográfica y de la aplicación piloto de los monitoreos, un protocolo de levantamiento y análisis de información para las matrices de bentos y aves.

xix. De este protocolo se debe considerar que fue desarrollado para la actividad de producción de salmones en la ecorregión Chiloense. Los alcances y modificaciones pertinentes para extenderlo a otros sistemas de producción acuícola y/o otras zonas del país, deben ser analizados en un futuro proyecto. No obstante, se considera una buena base para avanzar en la materia.

xx. El costo de implementación del protocolo es de 410 UF para la matriz del bentos y 275 UF para la matriz de aves.

xxi. Las matrices fitoplancton y mamíferos marinos, no se evidenciaron como buenos indicadores de la modificación a la estructura comunitaria, no obstante, es importante tener en consideración que estas matrices pueden entregar mayor información, al analizar datas que abarquen dimensiones de tiempo y espacio mayores a las circunscritas en el monitoreo puntual desarrollado en el presente trabajo.

xxii. En función de la conclusión anterior, se recomienda incorporar estas matrices en un futuro plan de monitoreo para la creación de una base de datos que permita realizar análisis integrales.

Objetivo específico 5: Proponer medidas de mitigación, reparación y/o compensación de los posibles impactos que produzca la acuicultura en la biodiversidad acuática del entorno donde se desarrolla. Además se deberá valorizar el costo de su implementación, en virtud de los antecedentes obtenidos en los objetivos específicos 1,2 y3.

i. Considerando los efectos documentados de la salmonicultuta sobre el medio ambiente y la biodiversidad, se sugiere que este tipo de proyectos de acuicultura ingresen al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) en forma de EIA y no como DIA como se realiza actualmente.

ii. Las medidas de mitigación de corto plazo como la disminución de los escapes, la depredación y el manejo de los desechos requieren de mejoras en las prácticas de cultivo y de fiscalización efectiva de la normativa establecida.

iii. El AMTI es una posibilidad concreta de avanzar hacia una acuicultura sustentable y que permita generar mayores beneficios tanto para los privados como para la sociedad.

iv. La identificación de zonas aptas para la acuicultura debe no sólo tener el foco en el recurso a cultivar sino en la biodiversidad asociada a estos sectores.

v. Las AMP constituyen una oportunidad plausible para compensar y de esta manera avanzar hacia el desarrollo sustentable de la actividad

permitiendo contar con zonas control, base para el monitoreo de las medidas de mitigación implementadas.

vi. El método de valoración contingente constituye una herramienta útil para valorizar los efectos de la acuicultura sobre la biodiversidad y construir a partir del DAP un modelo de compensaciones. No obstante, el desarrollo de dicho modelo no excluye la implementación de medidas de mitigación, reparación y compensación, sino más bien, juntas deben constituir una estrategia integrada que permita abordar la problemática ambiental de la acuicultura.

1.- Lugar, fecha y hora

Fecha y hora: 17 de Agosto de 2016; 09:00 horas

Lugar: Hotel Diego de Almagro, Salón Con Con

Dirección: Molina 76, Valparaíso

2.- Objetivos

Objetivo general

Difundir y analizar los principales resultados del proyecto "Evaluación y análisis de la biodiversidad marina y continental afectada por las actividades de acuicultura (1era Etapa)"

Objetivos específicos

a) Difundir los efectos que son ocasionados por las actividades acuícolas sobre algún componente de la biodiversidad, de acuerdo a la revisión de la información revisada en el marco del proyecto.

b) Exponer los principales resultados del monitoreo piloto que se efectuó para mensurar los efectos de la salmonicultura en la biodiversidad.

c) Divulgar y analizar el protocolo de levantamiento de información que se propone para mensurar cambios en la biodiversidad por efecto de la acuicultura.

d) Exponer medidas de reparación y mitigación identificadas en la revisión bibliográfica y divulgar una propuesta de valoración contingente como insumo para un modelo de compensaciones.

3.- Programa de Actividades

Hora		Temas
9:00	9:15	Acreditación
9:15	9:45	Palabras de bienvenida
Bloque 1. Efectos de la acuicultura sobre la biodiversidad y protocolo de monitoreo para mensurar cambios en la diversidad biológica por efecto de la salmonicultura.		
9:45	10:10	Revisión de efectos ocasionados por la actividad de acuicultura sobre la biodiversidad
10:10	11:25	Resultados de la aplicación del monitoreo piloto para identificar especies y/o grupos de especies que permitan evaluar cambios en la biodiversidad por efecto de la salmonicultura
		- Evaluación de comunidades plantónicas
		- Evaluación de comunidades bentónicas
		- Evaluación de macrófitas, aves y mamíferos marinos
11:25	11:45	**Café**
11:45	12:10	Propuesta de un protocolo de monitoreo que permita mensurar cambios en la biodiversidad por efecto de la salmonicultura
12:10	13:30	Análisis participativo del protocolo de monitoreo y vías para su implementación
13:30	14:30	**Almuerzo**
Bloque 2. Revisión de medidas de mitigación, reparación y propuesta metodológica para la elaboración de un modelo de compensaciones		
14:30	14:55	Medidas de reparación y mitigación aplicables a los efectos de la actividad de acuicultura sobre la biodiversidad
14:55	15:20	Valoración contingente de los impactos de la producción de salmones, como insumo para la elaboración de un modelo de compensaciones
15:20	16:00	Mesa redonda

El taller de difusión de resultados finales, se desarrolló en el Hotel Diego de Almagro de Valparaíso el día 17 de Agosto de 2016. Este taller fue organizado entre el equipo técnico del equipo ejecutor y profesionales del Departamento de Asuntos Ambientales, División de Acuicultura de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. En este taller participaron profesionales del Comité Científico Técnico de Acuicultura; Subsecretaría de Pesca y Acuicultura; Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura; Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura; Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante; Universidad de Chile, Universidad Católica de Valparaíso; Albatross Task Force – Chile y del Centro de Investigación Ecos (Ver Lista de Asistencia en **Anexo 8**).

El taller consistió en exposiciones por parte del grupo ejecutor del proyecto sobre los principales resultados de este, con especial énfasis en los antecedentes bibliográficos analizados y en las propuestas para el desarrollo de un protocolo de monitoreo que permita mensurar cambios en la biodiversidad por efecto de la salmonicultura y el desarrollo de un protocolo de valoración contingente como insumo para la elaboración de un modelo de compensaciones (Ver presentaciones en **Anexo 9**).

El taller se dividió en dos bloques, el primero destinado a abordar el protocolo de monitoreo para mensurar cambios en la biodiversidad, mientras que el segundo para abordar medidas de mitigación, reparación y compensación.

En el primer bloque, debido a la importancia de contar con un protocolo de monitoreo validado, se realizó un análisis participativo de la información presentada. En este proceso, se solicitó a los asistentes analizar cada capítulo de la metodología de los protocolos presentados y mencionar sus consideraciones a la misma en tres sentidos:

a) Aspectos positivos (identificar elementos respecto de los cuales están de acuerdo)
b) Observaciones (identificar aspectos que estando presentes en el protocolo, a su juicio requiere modificaciones o aclaraciones)
c) Recomendaciones (identificar aspectos que están ausentes y a juicio personal estiman de importancia)

Este trabajo se realizó para cada acápite de los protocolos de muestreo de las componentes de Macrofauna y Aves-mamíferos- Macrófitas. A partir de los resultados obtenidos se re-analizaron ambos protocolos de monitoreo, realizando modificaciones en función de este análisis.

Los resultados obtenidos en el taller fueron los siguientes:

Protocolo Componente Macrofauna			
Capítulo de análisis	**Aspectos positivo**	**Observaciones**	**Recomendaciones**
Personal idóneo	Se valora la consideración de la experiencia definida para encargados de la evaluación de macrofauna	No se mencionan observaciones para este aspecto	No se menciona recomendaciones en este aspecto
Criterios para el posicionamiento de estaciones de muestreo	Se valora la consideración de un gradiente para la toma de muestras en bentos, con criterios previamente establecidos.	No se mencionan observaciones para este aspecto	No se menciona recomendaciones en este aspecto
Procedimiento para toma de datos en terreno	Se valora el detalle de la toma de datos en terreno	Se realiza la observación de que el procedimiento de toma de datos tiene una operatividad más compleja que en la actualidad haciendo referencia a los Informes Ambientales de la acuicultura actuales (INFAS)	No se menciona recomendaciones en este aspecto
Procedimiento de laboratorio	No se mencionan aspectos positivos	No se mencionan observaciones para este aspecto	No se menciona recomendaciones en este aspecto
Procedimiento de análisis de datos	1. Se valora las descripción para la confección de una matriz de datos de macrofauna 2.- Se valora que para la evaluación ambiental asociada a centros de cultivo se defina un índice de macrofauna 3.- Se valora que el índice propuesta, considere un enfoque precautorio	No se mencionan observaciones para este aspecto	Se menciona la falta del monitoreo de microbiota
Evaluación de impacto	Se valora la evaluación del impacto ambiental a través de la metodología de Criterios Relevantes Integrados	No se mencionan observaciones para este aspecto	1.- Se recomienda evaluar el índice en el tiempo y corregir en función de otros indicadores utilizados

			2.- Se hace mención que en la metodología de Criterios Relevantes Integrados, los criterios de reversibilidad y riesgo no aportan al valor final del análisis 3.- Se recomienda hacer un análisis comparativo de los alcances entre distintos índices mencionados en la jornada (CRI; BQI; AMBI)
Periodicidad de muestreo	No se mencionan aspectos positivos	No se mencionan observaciones para este aspecto	Se visualiza complejo determinar la frecuencia de monitoreo y la recuperación del medio.
Valorización de monitoreo	No se mencionan aspectos positivos	Se realiza la observación de que el protocolo tiene costos más elevados queen la actualidad haciendo referencia a los Informes Ambientales de la acuicultura actuales (INFAS)	No se menciona recomendaciones en este aspecto

Protocolo Componente Aves-Mamíferos Marinos-Macrófitas			
Capítulo de análisis	**Aspectos positivo**	**Observaciones**	**Recomendaciones**
Personal idóneo	No se mencionan aspectos positivos	No se mencionan observaciones para este aspecto	1.- Se necesita considerar la capacitación de consultores para el desarrollo del protocolo 2.- Existen dudas respecto de la disponibilidad de personal idóneo
Criterios para el posicionamiento de estaciones de muestreo	Se valora la consideración de un gradiente para la toma de muestras en bentos	No se mencionan observaciones para este aspecto	Se recomienda considerar un gradiente en la transecta marina para el caso de la evaluación de las matrices de aves y mamíferos marinos
Levantamiento de información	No se mencionan aspectos positivos	Se menciona que el protocolo de levantamiento de información no define recomendaciones particulares para áreas o zonas sensibles	1.- Se menciona que el protocolo de levantamiento de información no permite registrar la interacción con mamíferos marinos, como por ejemplo los enmalles 2.- Se recomienda considerar aumentar la frecuencia de monitoreo en áreas sensibles y/o de conservación de estos grupos
Observación macrófitas	No se mencionan aspectos positivos	No se mencionan observaciones para este aspecto	No se menciona recomendaciones en este aspecto
Procedimiento de análisis de datos	No se mencionan aspectos positivos	No se mencionan observaciones para este aspecto	Falta indicar el procedimiento para cuando se detectan impactos, o generar las recomendaciones frente a los cambios detectados

Recomendaciones para la implementación	1.- Se valora la propuesta de implementación futura de cámaras trampa para la evaluación de ensambles de peces asociados a centros de cultivo, como una manera de entender los cambios en los ensambles de avifauna que pueden ser mensurados por el protocolo de monitoreo 2.- Se menciona que sería interesante el desarrollo de un proyecto de inclusión de cámaras trampa bajo centros de cultivo, ya que además del estudio de ensambles de peces, podría permitir mensurar efectos negativos en aves (enredos en redes loberas)	No se mencionan observaciones para este aspecto	Se propone que se defina como recomendación que al aplicar el monitoreo de aves y mamíferos, se considere la variabilidad estacional.
Valorización de monitoreo	No se mencionan aspectos positivos	No se mencionan observaciones para este aspecto	No se menciona recomendaciones en este aspecto

8. REFERENCIAS

Referencias generales

Acevedo J & M Aguayo. 2008. Leucistic South American sea lion in Chile, with a review of anomalously color in otariids. Revista de Biología Marina (Chile) 43: 413-417.

Aguayo A & R Maturana. 1973. Observaciones sobre mamíferos marinos durante la Vigésima Séptima Comisión Antártica Chilena, 1972-1973, Montemar. 41 págs.

Aguayo-Lobo A, D Torres & J Acevedo. 1998. Los Mamíferos Marinos de Chile: I Cetácea. Serie Científica INACH 48: 19-159.

Albayrak S, H Balkisa, A Zenetos, A Kuruna & C Kubanç. 2006. Ecological quality status of coastal benthic ecosystems in the Sea of Marmara. Mar. Pollut. Bull. 52: 790–799.

Arismendi I, Soto D, Penaluna B, Jara C, Leal C, León-Muñoz J (2009) Aquaculture, non-native salmonid invasions and associated declines of native fishes in Northern Patagonian lakes. Freshw Biol 54: 1135–1147.

Balmford A, Bennun L, Ten B, Cooper D, Côté I, Crane P, Dobson A, Dudley N, Dutton I, Green RE, Gregory RD, Harrison J, Kennedy ET, Kremen C, Leader-Williams N, Lovejoy TE, Mace G, May R, Mayaux P, Morling P, Phillips J, Redford K, Ricketts TH, Rodríguez JP, Sanjayan M, Schei PJ, van Jaarsveld AS y Walther BA, (2005) The Convention on Biological Diversity's 2010 Target. Science 307: 212-213.

Bevilacqua S, A Terlizzi, S Fraschetti, J Claudet & F Boero. 2012. Taxonomic relatedness does not matter for species surrogacy in the assessment of community responses to environmental drivers. J. Appl. Ecol. 49: 357–366.

Bibby CJ, ND Burgess & DA Hill. 1992. Bird Census Techniques. Academic Press, London.

Birk S, W Bonne, A Borja, S Brucet, A Courrat, S Poikane & D Hering. 2012. Three hundred ways to assess Europe's surface waters: an almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. Ecological Indicators 18: 31-41.

Bjordal A & AB Skar. 1992. Tagging of saithe (Pollachius virens L.) at a Norwegian fish farm: preliminary results on migration, 7 pp. ICES Council Meeting Papers 1992(G:35).

Borja A, Franco J, Pérez V. A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments. Mar Pollut Bull. 2000; 40: 1100–1114.

Borja A, SL Marín, I Muxika, L Pino & JG Rodríguez. 2015. Is there a possibility of ranking benthic quality assessment indices to select the most responsive to different human pressures? Marine Pollution Bulletin 97: 85-94.

Bouchet VMP & P-G Sauriau. 2008. Influence of oyster culture practices and environmental conditions on the ecological quality of intertidal mudflats in the Pertuis Charentais (SW France): a multi-index approach. Marine Pollution Bulletin 56: 1892–1912.

Bray JR & JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest. communities of southern Wisconsin. EcolMonogr 27: 325–349.

Buhl-Mortensen, L., Aure, J., Oug, O., 2009. The Response of Hyperbenthos and Infauna to Hypoxia in Fjords Along The Skagerrak: Estimating Loss of Biodiversity Due to Eutrophication. In: Moksness., E., Stotterup, E., Dahl, J. (Eds.), Integrated Coastal Zone Management. Wiley-Blackwell Publ, UK, pp. 79–96.

Buroz, E. 1994. Métodos de evaluación de impactos. En: II Curso de Postgrado sobre Evaluación de Impactos Ambientales. FLACAM. La Plata. 63 p.

Buschmann A. 2001. Impacto ambiental de la acuicultura el estado de la investigacion en Chile y el mundo. Terram Publicaciones, Santiago, pp. 63.

Buschmann AH, F Cabello, K Young, J Carvajal, DA Varela, L Henríquez. 2009. Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. Ocean & Coastal Management 52: 243–249.

Buschmann AH, Riquelme VA, Hernandez-Gonzalez MC, Varela D, Jimenez JE, Henriquez. 2006. A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. ICES Journal of Marine Science 63 : 1338 – 1345.

Buschmann, A. H., López, D. A., and Medina, A. 1996. A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile.Aquacultural Engineering, 15: 397 - 421.

Bustos, E. Sielfeld, W., Vera, W. 2011. Diagnóstico de sistemas de sonido utilizados en centros de cultivos para ahuyentar aves y mamíferos marinos. Proyecto ASIPA, Subpesca.

Cáceres, M., A. Valle-Levinson, and L. Atkinson. 2003. Observations of cross-channel structure of flow in an energetic tidal channel. Journal of Geophysical Research 108: C4: doi:10.1029/2001JC000968.

Cáceres, M., A. Valle-Levinson, and L. P. Atkinson. 2003. Observations of cross-channel structure of flow in an energetic tidal channel. Journal of Geophysical Research 28: 3114.

Cáceres, M., A. Valle-Levinson, and M. Bello. 2008. Residual flow over a bump in Quellón bay. Revista de Biología Marina y Oceanografía 43(3): 629-639.

Cáceres, M., A. Valle-Levinson, H. H. Sepulveda, and K. Holderied. 2002. Transverse variability of flow and density in a Chilean fjord. Continental Shelf Research 22: 1683-1698.

Cáceres, M., and A. Valle-Levinson. 2004. Transverse variability of flow on both sides of a sill/contraction combination in a fjord-like inlet of southern Chile. Estuarine Coastal and Shelf Science 60: 325-338. 85

Cañete JI, G Leighton & E Soto. 2000. Proposición de un índice de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de Bahía Quintero, Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 35: 185-194.

Capella J. 1999. Nuevos registros del delfín chileno, Cephalorhynchus eutropia (Gray, 1846) en Chile central, extremo norte de su distribución. Estudios oceanológicos, Chile. 18: 65-67.

Carignan V, Villard M. 2002. Selecting indicator species to monitor ecological integrity: A review. Env.Monit. Assess. 78: 45-61.

Caro T, O´Doherty G. 1999. On the use of surrogate species in conservation biology. Cons. Biol. 13: 805-814.

Carss DN. 1990. Concentrations of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farm cages. Aquaculture 90: 29-40

Carss DN. 1993. Shags Phalacrocorax aristotelis at cage fish farms in Argyll, western Scotland. Bird Study 40(3): 203-211

Carss, D.N. 1994. Killing of piscivorous birds at Scottish fin fish farms, 1984-1987.Biological Conservation, 68,181- 188.

Carvalho S, M Barata, F Pereira, MB Gaspar, L Cancela da Fonseca, P Pousao-Ferreira, 2006. Distribution patterns of macrobenthic species in relation to organic enrichment within aquaculture earthen ponds. Mar. Poll. Bull. 52: 1573-1584.

Chevalier and Buckles. 2007. Social Analysis Systems SAS2 C: A Guide to Collaborative Inquiry and Social Innovation, May, 2007, 325p

Ciancio JE, MA Pascual, F Botto, E Frere & O Iribarne. 2008. Trophic relationships of exotic anadromous salmonids in the Southern Patagonian Shelf as inferred from stable isotopes. Limnology and Oceanography 53(2): 788-798

Clarke K.R. y Gorley, R.N. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial PRIMER-E Plymouth. 91 pp.

Clarke K.R. y Warwick R.M. 1994. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth; Plymouth Marine Laboratory, 144 pp.

Clarke KR & RM Warwick. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 172 pp. PRIMER-E, Plymouth, UK.

Clench H. 1979. How to make regional list of butterflies: some thoughts. J. Lepidopterist's Society 33 (4): 216-231.

Cody ML (Ed.). 1985. Habitat selection in birds. Academic Press, Orlando.

Colwell K & JA Coddington. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through Extrapolation. Biological Sciences, vol 345 N 1311.101 -118.

Cook, Elizabeth J.,Gail Ashton, Marnie Campbell, Ashley Coutts, Stephan Gollasch, Chad Hewitt, Hui Liu, Dan Minchin, Gregory Ruizand Richard Shucksmith. 2008. Non-Native Aquaculture Species Releases:Implications for Aquatic Ecosystems. In: Aquaculture in the Ecosystem.M. Holmer et al. (eds.). pp. 155-184.

D.S. Nº05, de 1998 (D.O.07.12.98), del Ministerio de Agricultura, Reglamento de Ley de Caza.

D.S. Nº75, de 2005 Ministerio Secretaria General de la Presidencia. Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres.

D.S.Nº13, de 2013 Ministerio del Medio Ambiente. Reglamento para la clasificación de especies silvestres según su estado de conservación. Noveno Proceso. Julio de 2013.

Dale VH, Beyeler SC (2001) Challenges in the development and use of ecological indicators. Ecol. Indicat. 1: 3-10.

Dauvin JC. 2007. Paradox of esturine quality: Benthic indicators and indices, consensus or debate for the future. Mar. Pollut. Bull. 55: 271-281.

Dawson, Steve; Wade, Paul; Slooten, Elisabeth; and Barlow, Jay. 2008. Design and field methods for sighting surveys of cetaceans in coastal and riverine habitats. Publications, Agencies and Staff of the U.S. Department of Commerce.Paper 255.

Dempster T, P Sanchez-Jerez, J Bayle-Sempere & M Kingsford. 2004. Extensive aggregations of wild fish at coastal sea-cage fish farms. Hydrobiologia 525: 245-248

Dempster T, P Sanchez-Jerez, J Bayle-Sempere, F Giménez-Casalduero & C Valle. 2002. Attraction of wild fish to sea-cage fish farms in the south-western Mediterranean Sea: spatial and short-term temporal variability. Marine Ecology Progress Series 242: 237–252

Díaz-López B, M Bunke, JA Bernal Shirai. 2008. Marine aquaculture off Sardinia Island (Italy): ecosystem effects evaluated through a trophic mass-balance model. Ecological Modelling 212: 292–303.

Dimitriou PD, ET Apostolaki, N Papageorgiou, S Reizopoulou, N Simboura, C Arvanitidis & I Karakassis. 2012. Metaanalysis of a large data set with Water Framework Directive indicators and calibration of a Benthic Quality Index at the family level. Ecological Indicators 20: 101–107.

Dimitriou PD, Papageorgiou N, Arvanitidis C, Assimakopoulou G, Pagou K, Papadopoulou KN, et al. 2015. One Step forward: Benthic Pelagic Coupling and Indicators for Environmental Status. PLoS ONE 10(10): e0141071

División de Planificación del Gobierno Regional de Los Lagos. 2014. Diagnóstico del sistema regional de innovación Región de Los Lagos Chile. Proyecto RIS – Los Lagos. En el marco del Proyecto RED "Apoyando el Desarrollo de un Sistema Regional de Innovación que Promueva Regiones Innovadoras"

Dixon, John A. (2008). Environmental Valuation: challenges and practices, a personal view. In Economics and Conservation in the Tropics: A Strategic Dialoge. San Francisco. January 31 - February 1, 2008.

Dourojeanni, A. 1993. Procedimientos de Gestión Para el Desarrollo Sustentable: Aplicados a Microrregiones y Cuencas. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social de las Naciones Unidas (ILPES), Documento 89/05/Rev1, Santiago, 373 pp.

Elliott M & V Quintino. 2007. The estuarine quality paradox: environmental homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. Mar Pollut Bull 54: 640–645.

FAO. 2000. Applications of the contingent valuation method in developing countries: a survey: Economic and Social Development Document Series Nº 146.

FAO. 2000. Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. Indicadores para el Desarrollo Sostenible de la Pesca y Captura Marina. Roma, 34 pp.

FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2014. Roma. 253 págs.

Figueroa, E., & Calfucura, E. 2008. Principales actividades productivas y su relación con la biodiversidad, en: CONAMA. Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Edición Ocho Libros. Santiago. Chile: 434-461.

Flather CH. 1996. Fitting species-accumulation functions and assessing regional land use impacts on avian diversity. J. Biogeogr., 23: 155-168

Fleishman E, Murphy DD, Blair RB (2001) Selecting effective umbrella species.Cons. Biol. Pract. 2: 17-23.

Folke, C., N. Kautsky, H. Kan Berg, A. JANSSON & M. Troell. 1998. The ecological footprint concept for sustainable seafood production: A reviw. Ecological Applications, 8(1) Supplement, 1998, pp. S63–S71 1998 by the Ecological Society of America

Frere E, F Quintana & P Gandini. 2005. Cormoranes de la costa patagónica: estado poblacional, ecología y conservación. Hornero 20: 35–52.

GAMA (2013). Estudio de biodiversidad titulado Monitoreo de Aves y Mamíferos Marinos (PERT: 210123001, 210123002, 210123003, 210123004) Puerto Williams, Isla Navarino, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena (Octubre de 2013). Presentado por la consultora Gestión Acuícola y Marítima Limitada (GAMA). Documentos disponibles en los siguientes link de descarga:

http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=7053850.

Gillett DJ, SB Weisberg, T Grayson, A Hamilton, V Hansen, EW Leppo, MC Pelletiere, A Borja, D Cadien, D Dauer, R Diazi, M Dutch, JL Hyland, M Kellogg, PF Larsen, JS Levinton, R Llansó, LL Lovellg, PA Montagna, D Pasko, CA Phillips, C Rakocinskis, JA Ranasinghea, DM Sangert, H Teixeirau, RF Van Dolaht, RG Velardev & KI Welchj. 2015. Effect of ecological group classification schemes on performance of the AMBI benthic index in US coastal waters. Ecological Indicators 50 :99–107.

González, E., Norambuena, R., Molina, R., & Thomas, F. 2013. Evaluación de potenciales impactos y reducción de la vulnerabilidad de la acuicultura al cambio climático en Chile, en: D. Soto y R. Quiñones, eds. Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina: potenciales impactos y desafíos para la adaptación. Taller FAO/Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacifico Sur Oriental (COPAS). Universidad de Concepción 5–7 de Octubre de 2011 Concepción, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura No 29. Roma, FAO. pp. 275–335.

González, E., R. Cerda, J. Quezada, G. Martínez, E. López, F. Thomas y J. Merino. 2013. Propuesta de Política Pública de Desarrollo Productivo para la Pesca Artesanal. Proyecto "Estudio para la Determinación de una Propuesta de Política Pública de Desarrollo Productivo para la Pesca Artesanal" Informe final: PUCV, Valparaíso, 67 pp.

Goodall JD, AW Johnson & RA Philippi.1951.Las Aves de Chile, su conocimiento y sus costumbres. Tomos 1 (1946) y 2 (1951), Platt Establecimientos Gráficos - Buenos Aires.

Goodall RNP, Norris KS, Galeazzi AR, Oporto JA & IS Cameron. 1988. On the Chilean Dolphin Cephalorhynchus eutropia (Gray 1846). En Brownell RL Jr., Donovan GP (ed) The biology of the Genus Cephalorhynchus. (Vol. (special issue 9):197-257. London. Reports of the Interntational Whaling Commission.

Goodall RNP. 1994. Chilean dolphins Cephalorhynchus eutropia (Gray, 1846). En SH Ridgway & SR Harrison (eds), Handbook of marine mammals. San Diego, Academic Press. 5:269-287

Gray J.1981. The ecology of marine sediments.Cambridge University Press. Cambridge 185 p

Gray JS & TH Pearson. 1982. Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology. Marine Ecology Progress Series 9: 111-119.

Green R & PM Chapman. 2011. The problem with indices. Mar. Poll. Bull. 62: 1377-1380.

Grémare A, C Labrune, E Vanden Berghe, JM Amouroux, G Bachelet, ML Zettler, J Vanaverbeke, D Fleischer, L Bigot, O Maire, B Deflandre, J Craeymeersch, S Degraer, C Dounas, G Duineveld, C Heip, M Herrmann, H Hummel, I Karakassis, M Kedra, M Kendall, P Kingston, J Laudien, A Occhipinti-Ambrogi, E Rachor, R Sarda, J Speybroeck, G Van Hoey, M Vincx, P Whomersley, W Willems, M Wlodarska-Kowalczuk & A Zenetos. 2009. Comparison of the performances of two biotic indices based on the MacroBen database. Mar. Ecol. Prog. Ser., 382: 297–311.

Grupo de Aves Exóticas - SEO/BirdLife. 2006. Definiciones y términos aplicados a las aves exóticas introducidas. www.seo.org/?grupodeavesexoticas exoticas@seo.org

Guía de Evaluación Ambiental, Componente Fauna Silvestre. 2012. Servicio Agrícola y Ganadero. Ministerio de Agricultura. Gobierno de chile. 10.01.12. Versión 3.

Hartwick, J.M. y N.D. Olewiler. 1998. The Economics of Natural Resource Use. 2a edición.New York: Addison-Wesley

Holmer Marianne, Pia Kupka Hansen, Ioannis Karakassis, Joseph A. Borg, and Patrick J. Schembri.Monitoring of Environmental Impacts of Marine Aquaculture. In: Aquaculture in the Ecosystem. Holmer *et al.* (eds.), pp: 47 -85.

Imberti S. 2005. Distribución otoñal de aves marinas y terrestres en los canales chilenos. Anales Instituto de la Patagonia 33:21-30

Iriarte A. 2009. Guía de Campo de los Mamíferos de Chile, Ediciones Flora y Fauna Chile, Santiago, Chile, 220 pp. (Bilingüe, en prensa).

Iriarte, J. 2010. Patagonian Fjord Ecosystems in Southern Chile as a Highly Vulnerable Region: Problems and Needs. AMBIO (2010) 39:463–466

Isasi, E. 2011. Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. Interciencia, vol. 36, núm. 1, enero, 2011, pp. 31-38.

IUCN. 2001. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. ii + 33 pp.

IUCN. 2010. IUCN Red List of Threatened Species (ver. 2011.2).

James FC & CE McCulloch. 1990. Multivariate analysis in ecology and systematics: panacea or pandora'sbox ? Ann. Rev. Ecol. Syst. 21: 129-166.

Jehl J. 1973. The distribution of marine birds in Chilean waters in winter. Auk 90: 114 – 135.

Jiménez–Valverde A & J Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. Revista Ibérica de Aracnología, 8: 51–161.

Josefson, A.B., Blomqvist, M., Hansen, J.L.S., Rosenberg, R., Rygg, B., 2009. Assessment of marine quality change in gradients of disturbance: comparison of different Scandinavian multi-metric indices. Mar. Pollut. Bull. 58, 1263–1277.

Karakassis, I., Dimitriou, P.D., Papageorgiou, N., Apostolaki, E.T., Lampadariou, N., Black, K.D., 2013. Methodological considerations on the coastal and transitional benthic indicators proposed for the Water Framework Directive. Ecol. Indic. 29, 26–33.

Keeley NB, BM Forrest, C Crawford & CK Macleod. 2012. Exploiting salmon farmbenthic enrichment gradients to evaluate the regional performance of biotic indices and environmental indicators. Ecol. Indic. 23: 453-466.

Kemper CM, D Pemberton, M Cawthorn, S Heinrich, J Mann, B Würsig, P Shaughnessy, R Gales. 2003. Aquaculture and marine mammals: co-existence of conflict? In: Gales N, Hindell, M., Kirkwood, R. (Eds.), Marine Mammals: Fisheries, Tourism and Management Issues. CSIRO Publishing, Collingwood, Vic., Australia, pp. 208–225.

Kröncke I & H Reiss. 2010. Long-term variability of benthic indices off the island of Norderney in the southern North Sea. Marine Pollution Bulletin 60: 58-68.

Kruskal JB. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: A numerical method. Psychometrika, 29, 115-129.

Krutilla, J. 1967. Conservation reconsidered. Econ. Rev., 57: 777-786.

Labrune C, A Romero-Ramírez, JM Amouroux, JC Duchêne, M Desmalades, K Escoubeyrou, R Buscail & A Gremare. 2012. Comparison of ecological quality indices based on benthic macrofauna and sediment profile images: a case study along an organic enrichment gradient off the Rhone River. Ecol. Indic. 12: 133-142.

Labrune, C., JM Amouroux, R Sarda, E Dutrieux, S Thorin, R Rosenberg & A Grémare. 2006. Characterization of the ecological quality of the coastal Gulf of Lions (NW Mediterranean). A comparative approach based on three biotic indices. Marine Pollution Bulletin 52 (1): 34-47.

Legendre L & P Legendre. 1979. Écologie numérique. Masson, Paris and Les Presses de l'Université du Québec, Québec.

Leonardsson K, M Blomqvistb, M Magnussonc, A Wikströmc & R Rosenberg. 2015. Calculation of species sensitivity values and their precision in marine benthic faunal quality indices. Marine Pollution Bulletin 93 (1–2) : 94–102.

Leonardsson M, M Blomqvist, M Magnusson & R Rosenberg. 2015. Calculation of species sensitivity values and their precision in marine benthic faunal quality indices Mar. Pollution Bulletin 93: 94–102.

Leonardsson, K. M. Blomqvist, R. Rosenberg. 2009. Theoretical and practical aspects on benthic quality assessment according to the EU-Water framework directive — examples from Swedish waters. Mar. Pollut. Bull., 59 (2009), pp. 1286–1296.

Leonardsson, K. M. Blomqvist, R. Rosenberg. 2016. Reducing spatial variation in environmental assessment of marine benthic fauna. Mar. Pollut. Bull., In press.

Ley Nº 19.300, de 1994, modificada por la ley Nº20.417 de 2010, Ley General de Bases del Medio Ambiente.

Ley Nº 4.601, de 1929, sobre caza, cuyo texto fue sustituido por la Ley Nº 19.473, de 1996 (D.O.27.09.96).

Lillo, S. R. Céspedes, M. A. Barbieri, R. Meléndez, V. Ojeda. 2006. Programa temporal evaluación hidroacústica merluza del sur en aguas interiores X y XI regiones, año 2004. Informe final FIP 2004-40.

Mageau MT, Costanza R, Ulanowicz RE (1995) The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem health. Ecosystem Health 1: 201–213

Martin J. and Gower T. 1996. Tolerance of Tree Species. Department of Forest Ecology and Management. Schhol of Natural Resources.

Martín-López B, C Montes & J Benayas.2008. Economic Valuation of Biodiversity Conservation: the Meaning of Numbers. Conservation Biology: 22, N°3: 624-635.

Millones A, E Frere & P Gandini. 2005. Dieta del cormorán gris (Phalacrocorax gaimardi) en la Ría Deseado, Santa Cruz, Argentina. Ornitología Neotropical 16: 519-527.

Moraitis M, Papageorgiou N, Dimitriou PD, Petrou A, Karakassis I. 2013. Effects of offshore tuna farming on benthic assemblages in the Eastern Mediterranean.Aquac Environ Interact 4: 41-51.

Muniz P, N Venturini, AMS Pires-Vanin, LR Tommasi & Á Borja. 2005. Testing the applicability of a Marine Biotic Index (AMBI) to assessing the ecological quality of soft-bottom benthic communities, in the South America Atlantic region. Mar. Pollut. Bull. 50: 624–637.

Muñoz A & J Yáñez. 2009. Mamíferos de Chile: Segunda edición. Cea Ediciones. Valdivia, Chile.

Muñoz L, G Pavez, R Quiñones, D Oliva, M Santos, M Sepúlveda. 2013. Latitudinal variation in the diet of the South American sea lion revealed by stable isotopes. Revista de Biología Marina y Oceanografía 48(3): 613-622.

Muxika I, A Borja & W Bonne. 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. Ecological Indicators 5: 19–31.

Niemi GJ, McDonald ME (2004) Application of ecological indicators. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 35: 89-111.

Niklitschek EJ, Soto D, Lafon A, Molinet C, Toledo P (2013) Southward expansion of the Chilean salmon industry in the Patagonian Fjords: main environmental challenges. Reviews in Aquaculture 4: 1–24.

Nilsson, H and Rosenberg, R. 2000. Succession in marine benthic habitats and fauna in response to oxygen deficiency: analysed by sediment profile-imaging and by grab samples. Mar Ecol Prog Ser. 197: 139-149.

Norris K. 1968. Cruise Report R/V Hero: November 12- December 11, 1968, Valparaíso – Punta Arenas, Chile. Mimeo.

Noss R (1990) Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. Cons. Biol. 4: 355-364.

Oliva D, W Sielfeld, LR Durán, M Sepúlveda, MJ Pérez, L Rodríguez, W Stotz, V Araos. 2003. Interferencia de mamiferos marinos con actividades pesqueras y de acuicultura.Proyecto FIP 2003-32.

Osorio C. 2002. Moluscos marinos de importancia económica: guía para su identificación, Santiago de Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias. 211 p.

Osorio C & D Reid. 2004. Moluscos marinos intermareales y submareales entre la Boca del Guafo y el estero Elefantes, sur de Chile. Invest. Mar., Valparaíso, 32(2): 71-89

Outeiro, L., V. Häussermann, F. Viddi, R. Hucke-Gaete, G. Försterra, H. Oyarzo, K. Kosiel, S. Villasante. 2015. Using ecosystem services mapping for marine spatial planning in southern Chile under scenario assessment. Ecosystem Services (in press).

Pearce, D.W. 2002. Economic Valuation with Stated Preference Department for Transport, Local Government and the Regions. London

Pearson, T.H. and R. Rosenberg. 1976. A comparative study of the effects on the marine environment of wastes from cellulose industries in Scotland and Sweden. Amibo 5: 77-79.

Pearson, T.H. and Rosenberg, R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment.Oceanogr.Mar.Biol. Ann. Rev. 16: 229-311.

Peñaloza J. 2012. Contaminación. DELOS: Desarrollo Local Sostenible. Vol 5, N° 13.

Perus, J., Bonsdorff, E., Bäck, S., Lax, H.-G., Villnäs, A., Westberg, V., 2007. Zoobenthos as indicators of ecological status in coastal brackish waters: a comparative study from the Baltic Sea. Ambio 36, 250–256.

Pielou EC. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology 13:131-144.

Pielou EC. 1975. Ecological diversity, 165 pp. John Wiley & Sons, Inc., USA.

Pino L, SL Marín & R Núñez, 2015. Indicadores bióticos y fracción de tamaños en la definición de la macrofauna. Lat. Am. J. Aquat. Res. 43 (2)

Pranovi F, F Da Ponte & P Torricelli. 2007. Application of biotic indices and relationship with structural and functional features of macrobenthic

community in the lagoon of Venice: an example over a long time series of data. Marine Pollution Bulletin 54: 1607–1618.

Quintana F, F Morelli & Y Benedetti. 2002. Buceo eficiente en aguas poco profundas: comportamiento de buceo y patrón de alimentación del Cormorán Cuello Negro, Phalacrocorax magellanicus, en dos colonias de la costa patagónica. Ecología Austral 12: 19-28.

Quintino V, A-M Rodrigues, R Freitas & D McLusky (Eds.) 2012. Coastal Lagoons in a changing environment: understanding, evaluating and responding. Estuarine Coastal Shelf Science 110: 1-210. http://www.sciencedirect.com/ science/journal/02727714/110

Quintino V, M Elliott & AM Rodrigues. 2006. The derivation, performance and role of univariate and multivariate indicators of benthic change: case studies at differing spatial scales. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 330: 368–382.

Quiroga E, P Ortiz, B Reid & D Gerdes. 2013. Classification of the ecological quality of the Aysen and Baker Fjords (Patagonia, Chile) using biotic indices. Marine Pollution Bulletin 68: 117–126.

R. EX N° 3411-06. Fija las Metodologías para Elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA). Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, SUBPESCA.

Reveret, J., J. Peltier, A. Chabot y J. Bibeault. 1990. La mesure economique de benefices est de dommages environnementaux. Quebec: La Direction de la Planification et de la Coordination. Ministere de L'Environnement du Quebec, Quebec, 219 pp.

Riera P. 1994. Manual de valoración contingente. Para el Instituto de Estudios Fiscales. http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/0/35060/Manual_Evaluacion_Contingente.pdf

Ríos, S. 2004. Impactos Ambientales de la Salmonicultura en la Región de los Lagos. Taller de Desarrollo Sustentable. Magíster en Ciencias Sociales. UACh.

Rodrigues, ASL. Brooks TM (2007) Shortcuts for biodiversity conservation planning: The effectiveness of surrogates. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 38: 713-737.

Rosenberg, R. M. Blomqvist, C.H. Nilsson, H. Cederwall, A. Dimming. 2004. Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water framework directive. Mar. Pollut. Bull., 49 (2004), pp. 728–739.

Rueggenberg, H. & Booth, J. (1989).Interactions between Wildlife and Salmon Farms in British Columbia: Results of a Survey. Technical Report series, 67, Canadian Wildlife Service, Pacific and Yokon Region, British Columbia.

Saaty, Thomas. How to make a decision: the analytic hierarchy process. University of Pittsburgh. 1994.

Sanders 1958. Marine benthic diversity: a comparative study. Am. Nat 103:243-282

Sapoznikow A & F Quintana.2006. Patrón de presencia en la colonia del cormorán cuello negro (Phalacrocorax magellanicus): ¿una evidencia del uso de fuentes de alimento predecibles y de baja estacionalidad?. Ornitología Neotropical 17: 95–103

Schiele KS, A Darr, ML Zettler, T Berg, M Blomqvist, D Daunys, V Jermakovs, S Korpinen, J Kotta, H Nygård, M von Weber, J Voss & J Warzocha. 2016. Rating species sensitivity throughout gradient systems – a consistent approach for the Baltic Sea. Ecological indicators 61: 447-455.

Schlatter RP & GM Riveros. 1997. Historia natural del archipiélago Diego Ramírez, Chile. Serie Científica. INACH.47:87-112.

Sepúlveda M, D Oliva. 2005. Interactions between South American sea lions Otaria flavescens (Shaw) and salmon farms in southern Chile. Aquaculture Research 36: 1062-1068.

Sepúlveda M, I Arismendi, D Soto, F Jara, F Farías. 2013. Escaped farmed salmon and trout in Chile: incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. Aquaculture Environment Interactions 4:273-283.

SERNAPESCA. 2013. Anuarios estadísticos de pesca. Servicio Nacional de Pesca, Valparaíso.

Sielfeld KW. 1997. Las áreas protegidas de la XII Región de Chile en la perspectiva de los mamíferos marinos. Estudios Oceanólogicos 16: 87-107.

Sillva, N., H. Sievers & R. Prado. 1995. Características oceanográficas y una proposición de circulación para algunos canales australes de Chile entre 41º 20′ S y 46º40′ S. Revista de Biología Marina, Valparaíso 30(2):207-254.

Silva N., J. Maturana, J. I. Sepúlveda & R. Ahumada.1998. Materia orgánica, C y N, su distribución y estequiometría, en sedimentos superficiales de laregión norte de los fiordos y canales australes de Chile (Crucero CIMAR-Fiordo 1). Cienc. Tecnol. Mar, 21: 49-74.

Silva, N., C. Calvete & H. Sievers. 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.

Silva, N., C. Calvete & H. Sievers. 1998. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y Laguna San Rafael (Crucero CIMAR-FIORDO 1). Ciencia y Tecnología del Mar 21:17-48

Simberloff D (1998) Flagships, umbrella, and keystones: Is single-species management passé in the landscape era? Biol. Cons. 83: 247- 257.

Simboura N, Zenetos A. 2002. Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marie ecosystems, including a new Biotic Index. Mediterr Mar Sci. 3: 77–111.

Simboura N & M Argyroub. 2010. An insight into the performance of benthic classification indices tested in Eastern Mediterranean coastal waters Marine Pollution Bulletin 60 (5): 701–709.

Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. Nature.163: 688.

Soberón J & J Llorente.1993.The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. Conservation Biology 7 (3): 480-488.

Soto D & Norambuena F (2004) Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile; a large-scale mensurative experiment. Journal of Applied Ichthyology 20 : 493 – 501.

South American Classification Committee (SACC). Comité oficial en el marco de la American Ornithologists' Union (AOU). En: http://www.aou.org/.

Tagliapietra D, M Sigovini & AV Ghirardini. 2009. A review of terms and definitions to categorise estuaries, lagoons and associated environments. Marine and Freshwater Research 60: 497–509.

Tasker M, P Hope Jones, T Dixon & B Blake. 1984. Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. The Auk 101:567-577.

Tataranni M & C Lardicci. 2010. Performance of some biotic indices in the real variable world: a case study at different spatial scales in North-Western Mediterranean Sea. Environ. Pollut. 158: 26–34.

Tobar C, A Arriagada, J Rau, J Cursach, C Suazo & R Márquez. 2011. Dieta del pato quetru no volador (Tachyeres pteneres) en isla Guapiquilán, Chiloé, sur de Chile. Boletín Chileno de Ornitología 17: 103-108.

Valdovinos C, Cardenas J, Aldea C, Azocar M, Pedreros P & M Henriquez. 2008. Biodiversidad marina en el norte de la provincia magallánica, Composición y patrones espaciales de diversidad de moluscos submareales. Ciencia y Tecnología Marina 31 (2): 109-121.

Vidal G., Aguirre C., Ojeda J., Sotomayor C., González X. Elaboración y validación de un diseño de muestreo de estaciones de referencia para INFAs de centros de cultivo (Primera Etapa). Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final FIP. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

Vilata J, D Oliva & M Sepúlveda. 2010. The predation of farmed salmon by South American sea lions (Otaria flavescens) in southern Chile. ICES Journal of Marine Science 67: 475-482.

Warwick R. M, y Clarke, K.R . 2001. Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. Oceanogr Mar Biol Annu Rev 39:207–231

Warwick R.; M, Pearson, y T.H., Ruswahyuni. 1987. Detecting pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method Mar. Biol. 95: 193 – 200

Warwick, R. M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. Marine Biology, 92: 557-562.

Warwick, R. M., and Clarke, K. R. 1994. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. Marine Biology, 118: 739-744.

Weisberg, S.B., Ranasinghe, J.A., Schaffner, L.C., Diaz, R.J., Dauer, D.M., Frithsen, J.B., 1997. An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay. Estuaries 20, 149–158.

Wheeler QD. 2004. Taxonomic triage and the poverty of phylogeny. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 359:571–583.

Würsig B, GA Gailey. 2002. Marine mammals and aquaculture: conflicts and potential resolutions. Responsible Marine Aquaculture.CAP International Press, New York, 45-59.

Yaisys B. 2006. La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas cultivos tropicales. Instituto nacional de ciencias agrícolas Vol. 27, núm. 3, 2006, pp. 5-16 la habana, cuba.

Zagal, C. y C. Hermosilla.2001.Guía de invertebrados marinos del litoral valdiviano. Quebecor World Chile S.A. 217 pp.

Zettler M, D Schiedek & B Bobertz. 2007. Benthic biodiversity indices versus salinity gradient in the southern Baltic Sea. Mar. Pollut. Bull. 55: 258–270.

Referencias de la sección: Efectos de la acuicultura sobre el plancton

Addisie Y & A Calderon-Medellin. 2012. Allelopathy in aquatic macrophytes: Effects on growth and physiology of phytoplanktons. African Journal of Plant Science Vol. 6(10): 270-276.

Anderson DM, JM Burkholder, WP Cochlan, PM Glibert, CJ Gobler, CA Heil, RM Kudela, ML Parsons, JEJ Rensel, DW Townsend, VL Trainer &, GA Vargo. 2008. Harmful Algal Blooms and eutrophication: Examining linkages from selected coastal regions of the United States. Harmful Algae 8: 39–53.

Anderson DM, PM Glibert, JM Burkholder. 2002. Harmful Algal Blooms and Eutrophication: Nutrient Sources, Composition, and Consequences. Estuaries 25 (4b): 704–726.

Antezana T & M Hamamé. 1999. Short-term changes in the plankton of a highly homogeneous basin of the Straits of Magullan (Paso Ancho) during spring. Sci. Mar. 63 (supl. 1): 59-67.

Arzul G, M Seguel, A Clement. 2001. Effect of marine animal excretions on differential growth of phytoplankton species. ICES Journal of Marine Science 58: 386–390.

Aure J & A Stigebrandt. 1990. Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fjords. Aquaculture 90, 135-156.

Avaria S & P Muñoz. 1996. Distribución del fitoplancton en la zona Puerto Montt-Aysén. Informe Científico y Técnico del Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso N°5/96

Avaria S, C Cáceres & P Muñoz. 2004. Distribución del microfitoplancton marino entre el golfo Corcovado y el estero Elefantes en la primavera de 1998 y el verano de 1999 (Crucero Cimar-Fiordo 4). Cienc. Tecnol. Mar 27(1): 17-47.

Avaria S, C Cáceres, P Castillo & P Muñoz. 2003. Distribución del microfitoplancton marino en la zona estrecho de Magallanes-cabo de Hornos, Chile, en la primavera de 1998 (Crucero Cimar-Fiordo 3). Cienc. Tecnol. Mar 26(2): 77-94.

Avaria S, D Cassis, P Muñoz & P Vera. 1997. Distribución del microfitoplancton marino en aguas interiores del sur de Chile en

Octubre de 1995 (Crucero Cimar-Fiordo I). Ciencia y Tecnología del Mar20:107-123.

Avaria S, I Jorquera, P Muñoz & P Vera. 1999a. Distribución del microfitoplancton marino en la zona de aguas interiores comprendida entre el Golfo de Penas y el Estrecho de Magallanes, Chile, en la primavera de 1996 (Crucero Cimar-Fiordo 2). Ciencia y Tecnología del Mar 22:81-110.

Avaria S, P Muñoz, C Cáceres & P Vera. 1999b. Variaciones en la composición y abundancia del microfitoplancton en el área oceánica, canal de Moraleda y boca de fiordos al norte y al sur de la constricción de Meninea. Resúmenes ampliados. Resultados Crucero CIMAR-Fiordo 4:47-51.

Avaria S. 1970. Fitoplancton de la expedición del "Doña Berta" en la Zona de Puerto Montt-Aysén. Revista de Biología Marina 14(2): 1-17.

Avaria S. 2006. Fitoplancton de canales y fiordos australes. En: S.Palma & N. Silva (eds). Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. Comité Oceanográfico Nacional, p. 89-92.

Barker Jorgensen C, PS Larsen & HU Riisgad. 1990. Effects of temperature on the mussel pump. Marine Ecology Progress Series 64: 89-97.

Baudinet D, E Alliot, B Berland, C Grenz, MR Plante-Cluny, R Plante & C Salen-Picard. 1990. Incidence of a mussel culture on biogeochemical fluxes at the sediment water interface. Hydrobiologia 207: 187-196.

Beck NG, KW Bruland & EL Rue. 2002. Short-term biogeochemical influence of a diatom bloom on the nutrient and trace metal concentrations in South San Francisco Bay microcosm experiments. Estuaries 2002, 25: 1063–1076.

Bougrier S, AJS Hawkins & M Héral. 1997. Preingestive selection of different microalgal mixtures in Crassostrea gigas and Mytilus edulis, analysed by flow cytometry. Aquaculture 150:123-134

Boynton WR, WM Kemp & CW Keefe. 1982. A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production. In: Estuarine Comparisons (cd. by V.S. Kennedy), pp. 69-90. Academic Press. New York.

Brand L, WG Sunda & RRL Guillard. 1986. Reduction of marine phytoplankton reproduction rates by copper and cadmium. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 96: 225–250.

Burridge L, SJ Weis, F Cabello, J Pizarro & K Bostick. 2010. Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. Aquaculture Volume 306, Issues 1–4. Pages 7–23

Buschmann AH & Fortt. 2006. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. Revista Ambiente y Desarrollo 21(3): 58-64.

Buschmann AH, F Cabello, K Young, J Carvajal, DA Varela & L Henríquez. 2009. Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. Ocean & coastal management 52: 243-249.

Buschmann AH, VA Riquelme, MC Hernández-González, D Varela, JE Jiménez, LA Henríquez, PA Vergara, R Guíñez & L Filún. 2006. A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. ICES Journal of Marine Science, 63: 1338-1345.

Buschmann AH. 2002. Impacto ambiental de la salmonicultura en chile: la situación en la Xa región de Los Lagos. Fundación Terram, Análisis de políticas públicas 16: 1-12.

Cassis D, P Muñoz & S Avaria.2002. Variación temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del seno Aysén, Chile. (45º26'S, 73º00'W). Revista de Biología Marina y Oceanografía 37(1):43-65.

Chamberlain J, TF Fernandes, P Read, TD Nickell & IM Davies. 2001. Impacts of biodeposits from suspended mussel (Mytilus edulis L.) culture on the surrounding surficial sediments. ICES Journal of Marine Science 58:411-416.

Christensen PB, RN Gludb, T Dalsgaard & P Gillespie. 2003. Impacts of longline mussel farming on oxygen and nitrogen dynamics and biological communities of coastal sediments. Aquaculture 218 (1–4): 567–588.

Clausen I, HU Riisgard. 1996. Growth, filtration and respiration in the mussel Mytilus edulis: no evidence for physiological regulation of the filter-pump to nutritional needs. Marine Ecology Progress Series 4 1: 37-45.

Clement A & G Lembeye. 1993. Phytoplankton Monitoring Program in the Fish Farming Region of South Chile. In: Smayda, T.J. & Y. Shimizu

(eds). Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea, p. 223-228. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Clement A & L Guzmán. 1989. Red Tides in the Chilean fjords. First International Symposium on Red Tides. In: Okaichi, D.M., Anderson & Nemoto (eds). Red Tides: Biology. Environmental Science, and Toxicology, p. 121-124. Elsevier Science Publishing, Amsterdam.

Clijster H & FV Assche. 1985. Inhibition of photosynthesis by heavy metals. – Photosynthesis. Res. 7: 31-40.

Cranford PJ, W Li, Ø Strand, T Strohmeier. 2008. Phytoplankton depletion by mussel aquaculture: high resolution mapping, ecosystem modeling and potential indicators of ecological carrying capacity. ICES CM 2008/ H:12: 1-5.

Crawford C, C MacLeod & I Mitchell. 2003. Effects of shellfish farming on the benthic environment. Aquaculture. 224(1):117-140

Dahlback B & LAH Gunnarson. 1981. Sedimentation and sulfate reduction under a mussel culture. Marine Biology 63:269-275.

Danovaro R, C Gambi, GM Luna & S Mirto. 2004. Sustainable impact of mussel farming in the Adriatic Sea (Mediterranean Sea): evidence from biochemical, microbial and meiofaunal indicators Marine Pollution Bulletin 49:325-333.

Davenport J, RJJW Smith & M Packer. 2000. Mussels Mytilus edulis: significant consumers and destroyers of mesozooplankton. Marine Ecology Progress Series 198:131–137

Devilla RA, MT Brown, M Donkin, GA Tarran, J Aiken & JW Readman. 2005. Impact of antifouling booster biocides on single microalgal species and on a natural marine phytoplankton community. Marine Ecology Progress Series 286: 1–12.

Edwards JMR. 1988. The impact of sea-cage salmon farming on the benthic environment of Big Glory Bay. Stewart Island.MSc thesis.University of Otago, Dunedin, New Zealand.

FAO. 1995. Orientaciones para la promoción de la ordenación medioambiental del desarrollo de la acuicultura costera. Fisheries Technical Paper 328 M-44 ISBN 92-5-303264-2. http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/T0697S/T0697S03.htm

Fong P, RM Donohoe & JB Zedler. 1993. Competition with macroalgae and benthic cyanobacterial mats limits phytoplankton abundance in experimental microcosms. Marine Ecology Progress Series 100: 97-102.

Gowen R.J & NB Bradbury. 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. Oceanography and Marine Biology Annual Review 25: 563-575.

Grange KR & RG Cole. 1997: Mussel farming impacts. Aquaculture Update 19: 1–3.

Grant J, A Hatcher, DB Scott, P Pocklington, CT Schafer & G Winter. 1995. A multidisciplinary approach to evaluating benthic impacts of shellfish farms. Estuaries 18:124-144.

Grant J, C Bacher, PJ Cranford, T Guyondet & M Carreau. 2008. A spatially explicit ecosystem model of seston depletion in dense mussel culture. Journal of Marine Systems 73:155-168.

Guzmán L & I Campodónico. 1972. Fitoplancton de red de Puerto Edén (26 Marzo al 2 de Abril de 1971). Anales del Instituto de la Patagonia 3:209-220.

Hakanson L, A Ervik, T Makinen & B Moller. 1988. Basic concepts concerning assessments of environmental effects of marine farms. Report for Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

Handy RD & MG Paxton. 1993. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. Reviews in Fish Biology and Fisheries 3: 205-241.

Hannah L, CM Pearce, SF Cross. 2013. Growth and survival of California sea cucumbers (Parastichopus californicus) cultivated with sablefish (Anoplopoma fimbria) at an integrated multi-trophic aquaculture site. Aquaculture, Vol.406-407, pg.34-42

Hansen PK, K Pitman K & A Ervik. 1990. Effects of Organic Waste from Marine Fish Farms on the Sea Bottom Beneath the Cages. Copenhagen-Denmark ICES, 14 pp.

Hartstein ND & AA Rowden. 2004. Effect of biodeposits from mussel culture on macroinvertebrate assemblages at sites of different hydrodynamic regime. Marine Environmental Research 57:339-357.

Hatcher A, J Grant & B Schofield. 1994. Effects of suspended mussel culture (Mytilus spp.) on sedimentation, benthic respiration and sediment

nutrient dynamics in a coastal bay. Marine Ecology Progress Series 115:219-235.

Havens KE J Hauxwell, AC Tyler, S Thomas, KJ McGlathery, J Cebrian, I Valiela, AD Steinman, SJ Hwang. 2001. Complex interactions between autotrophs in shallow marine and freshwater ecosystems: implications for community responses to nutrient stress. Environmental Pollution 113: 95-107.

Hillis DG, Lissemore L, Sibley PK & Solomon KR. 2007.Effects of monensin on zooplankton communities in aquatic microcosms. Environ Sci Technol. 15;41(18):6620-6.

Huettel M. 1990. Influence of the lungworm Arenicola marina on pore water nutrient profiles of sand flat sediments. Marine Ecology Progress Series 62: 241-248.

Ifop. 2006. Informe final a Innova Chile: Investigación y monitoreo de toxinas marinas y fitoplancton nocivo en la X región. 63pp.

James MR, MA Weatherhead & AH Ross.2001.Size-specific clearance, excretion, and respiration rates, and phytoplankton selectivity for the mussel Perna canaliculus at low levels of natural food. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 35(1): 73-86.

Jin Q & S Dong. 2003. Comparative studies on the allelopathic effects of two different strains of Ulva pertusa on Heterosigma akashiwo and Alexandrium tamarense. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 293(1): 41–55.

Karakassis I, A Machias, N Lampadariou, M Tsapakis. 2004. Effects of Fish Farming on Marine Ecosystems in the Mediterranean: New Tools and Prospects. IOC Workshop Report No. 195.

Kaspar HF, GH Hall & AJ Holland. 1988. Effects of cage salmon farming on sediment nitrification and dissimilatory nitrate reduction. Aquaculture 70, 333-344.

Keely N, B Forrest, G Hopkins, P Gillespie, D Clement, S Webb, B Knight & J Gardner. 2009. Sustainable aquaculture in New Zealand: review of the ecological effects of farming shellfish and other non-finfish species. Prepared for the Ministry of Fisheries.Cawthron report No. 1476. 150p.

Kittner C & Riisgard HU. 2005. Effect of temperature on filtration rate in the mussel Mytilus edulis: no evidence for temperature compensation. Marine Ecology Progress Series 305: 147–152.

Lehane C & J Davenport. 2002. Ingestion of mesozooplankton by three species of bivalve: Mytilus edulis, Cerastoderma edule and Aequipecten opercularis. Journal of the Marine Biological Association U.K. 82:3999/1–6

Lembeye G, T Yasumoto J Zhao & R Fernández.1993.DPS Outbreak in Chilean Fjords. In Smayda,

Lloyd BD. 2003. Potential effects of mussel farming on New Zealand's marine mammals and seabirds: a discussion paper. New Zealand Department of Conservation, Wellington. Vii: 34 p.

Mannino AM & G Sara. 2008. Effects of fish-farmbiodeposition on periphyton assemblages on artificial substrates in the southern Tyrrhenian Sea (Gulf of Castellammare, Sicily). Aquatic Ecology 42: 575-581.

Masó M & E Garcés. 2006. Harmful microalgae bloom (HAB); problematic and condition that induce them. Marine Pollution Bulletin 53: 620-630.

Mattson J & O Linden. 1984. Impact from cultures of Mytilus edulis on the benthic ecosystem in a narrow sound on the Swedish West coast. Vatten 40:151-163.

McGlathery KJ. 2001. Macroalgal blooms contribute to the decline of seagrass in nutrient-enriched coastal waters. Journal of Phycology 37(4): 453–456.

McKindsey CW, P Archambault, MD Callier & F Olivier. 2011. Influence of suspended and off-bottom mussel culture on the sea bottom and benthic habitats: a review. Canadian Journal of Zoology.Volume 89, Issue 7, Pages 622-646

Ministerio de Salud. 2008. "Programa nacional de vigilancia y control de las intoxicaciones por fenomenos algales nocivos ("marea roja"). 26pp.

Montecino V, MA Paredes, M Manley, R Astoreca, P Uribe, G Alarcón, G Pizarro, C Vargas. 2006. Gradiente de productividad primaria, clorofila-a y composición por tamaños del fitoplancton en los canales occidentales de Aysén en noviembre 2002. Ciencia y Tecnologia del Mar 29 (002), 65-85.

Morozova TV & TY Orlova.2005. Monitoring of Phytoplankton in the Area of a Sea Farm in Vostok Bay (Sea of Japan). Russian Journal of Marine Biology 31 (1): 1–6.

Mulderij G, WM Mooij, AJP Smolders & E Van Donk. 2005. Allelopathic inhibition of phytoplankton by exudates from Stratiotes aloides. Aquatic Botany 82: 284–296.

Muñoz P, S Avaria, H Sievers & R Prado.1992.Presencia de dinoflagelados tóxicos del género Dinophysis en el seno Aysén, Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaiso, 27 (2): 187-212.

Nan C., Zhang H., Lin S., Zhao G. Liu X. 2008. Allelopathic effects of Ulva lactuca on selected species of harmful bloom-forming microalgae in laboratory cultures. Aquatic Botany 89(1): 9–15.

Navarro N, RJG Leakey, KD Black. 2008. Effect of salmon cage aquaculture on the pelagic environment of temperate coastal waters: seasonal changes in nutrients and microbial community. Marine Ecology Progress Series 361: 47–58.

Newell RIE. 2004. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension feeding bivalve molluscs: A review. Journal of Shellfish Research 23:51-61.

Nordvarg L & T Johansson. 2002. The effects of fish farm effluents on the water quality in the Aland archipelago, Baltic Sea. Aquaculture Engineering 25: 253-279.

Paredes MA & V Montecino. 2011. Size diversity as an expression of phytoplankton structure and the identification of its patterns on the scale of fjords and channels. Continental Shelf Research 31:272-281

Passow H, A Rothstein, TW Clarkson. 1961. The general pharmacology of heavy metals. – Pharmacol. Rev. 13: 185-223.

Pizarro G, L Iriarte, V Montecino, JL Blanco & L Guzmán. 2000. Distribución de la biomasa fitoplanctónica y productividad primaria máxima de fiordos y canales australes (47º-50ºS) en octubre de 1996. Cienc. Tecnol. Mar 23: 25-46

Pizarro G, V Montecino, L Guzmán, V Muñoz, V Chacón, H Pacheco, M Frangópulos, L Retamal & C Alarcon. 2005. Patrones Locales Recurrentes del Fitoplancton en Fiordos y Canales Australes (43º-56ºS) en Primavera y Verano. Cienc. Tecnol. Mar 28 (2): 63-83.

Pizarro G. 2010. Informe final: Análisis de riesgo de ocurrencia de eventos de floraciones algales nocivas a través de la evaluación de la información histórica del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PSMB) de SERNAPESCA. FIP No 2008-19. 132 pp.

Price C, KD Black, BT Hargrave & JA Morris. 2015. Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production, Aquaculture Environment Interactions 6: 151-174.

Pridmore RD & GB McBride. 1984. Prediction of chlorophyll a concentrations in impoundments of short hydraulic retention time. Journal of Environmental Management 19: 343-350.

Pridmore RD & JC Rutherford. 2001. Modelling phytoplankton abundance in a small enclosed bay used for salmon farming. Aquaculture and Fisheries Management 23: 525-542.

Ramirez, B. 2006. Distribución de clorofila en algunos fiordos chilenos ubicados entre el Golfo de Penas y el Estrecho de Magallanes (Chile). Ciencia y Tecnología Marina 29 (002), 27-63.

Reiriz S, A Cid, E Torres, J Abalde & C Herrero. 1994. Different responses of the marine diatom Phaodactylum tricornutum to copper toxicity. Microbiología SEM 10: 263-272.

Rensel JEJ, N Haigh, TJ Tynan.2010.Fraser River sockeye salmon marine survival decline and harmful blooms of Heterosigma akashiwo. Harmful Algae 10: 98–115.

Rivera P, M Gebauer & H Barrales. 1990. A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18°28'S and 58°S. Part II. Data from 1982 to 1988. Gayana, Bot., 46(3-4): 155-198.

Rivera P. 1983. A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18°28'S and 58°S. Bibl. Diatomol, 3: 1-386.

Rodriguez L & D Rivera. 1995. Efecto del cobre y cadmio en el crecimiento de Tetraselmis suiecica (Kylin) Butcher y Dunaliella salina Teodoresco. Estudios Oceanológicos. 14: 61-74.

Romero O. 1994. Variación morfológica de Skeletonema costatum (Greville) Cleve (Bacillariophyceae) en el fiordo de Aysén, Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 29 (1): 1-21.

Rublee PA. 1982. Bacteria and microbial-distribution in estuarine sediments. In Estuarine Comparisons (V. C. Kennedy, ed.), pp. 159-182.

Salgado P. 2012. Informe final: Monitoreo de Alexandrium catenella en zona no declarada y colindante al norte de la actual área FAN de A.catenella, Región de los Lagos. 55pp.

Sarà G, ML Martire, M Sanfilippo, G Pulicano, G Cortese, A Mazzola, A Manganaro & A Pusceddu. 2011. Impacts of marine aquaculture at large spatial scales: evidences from N and P catchment loading and phytoplankton biomass. Marine Environmental Research 71: 317–324.

Scottish Association for Marine Science (SAMS). 2005. Report: Ecological effects of sea lice medicines in Scottish sea lochs.

Seguel M, MA Tocornal, A Sfeir. 2005. Harmful algal blooms in the channels and fjords of Southern Chile. Ciencia y Tecnología Marina, 28 (2), 5-13.

SERNAPESCA 2014. Anuario estadistico de pesca 2013. Servicio Nacional de Pesca. Visitado en: https://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=246&func=select&id=892

Shumway SE, TL Cucci, RC Newell & CM Yentsch. 1985. Particle Selection, Ingestion, and Absorption in Filter-Feeding Bivalves. Journal of Marine Biology and Ecology 91: 77 -92.

Skejic S, I Marasovic, O Vidjak, G Kuspilic, ZN Gladan, S Sestanovic S & N Bojanic. 2011. Effects of cage fish farming on phytoplankton community structure, biomass and primary production in an aquaculture area in the middle Adriatic Sea. Aquaculture Research 42: 1393-1405.

Soto D & F Norambuena. 2004. Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large-scale mensurative experiment. Journal of Applied Ichthyology 20 (6): 493–501.

Stauber JL, S Andrade, M Ramirez, M Adams & JA Correa. 2005. Copper bioavailability in a coastal environment of Northern Chile: Comparison of bioassay and analytical speciation approaches. Mar. Pollut. Bull. 50: 1363–1372.

Stenton-Dozey J, T Probyn &A Busby. 2001. Impact of mussel (Mytilus galloprovincialis) raft-culture on benthic macrofauna, in situ oxygen uptake and nutrient fluxes in Sladanha Bay, South Africa. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 58, 1021-1031.

Stenton-Dozey JME, LF Jackson, AJ Busby. 1999. Impact of mussel culture on macrobenthic community structure in Saldanha Bay, South Africa. Marine Pollution Bulletin 39: 1–12.

Strain P & B Hargrave. 2005. Salmon aquaculture, nutrient fluxes and ecosystem processes in southwestern New Brunswick. In:Hargrave BT (ed) Environmental effects of marine finfish aquaculture. Handbook of environmental chemistry, Vol 5M.Springer-Verlag, Berlin, p 29–57.

Strohmeier T, Ø Strand, M Alunno-Bruscia, A Duinker, PJ Cranford. 2012. Variability in particle retention efficiency by the mussel Mytilus edulis. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 412: 96-102.

Toro JE. 1985. Annual Cycle and Composition the Phytoplankton in the Quempillén River Estuary, Southern Chile. Estuar. Coast. Shelf Sci., 21: 461-469.

Torres R, M Frangópulos, M Hamamé, V Montecino, C Maureira, G Pizarro, B Reid, A Valle-Levinson & JL Blanco. 2011. Nitrate to silicate ratio variability and the composition of micro-phytoplankton blooms in the inner-fjord of Seno Ballena (Strait of Magellan, 54° S). Continental Shelf Research 31: 244-253.

Troell M, A Joyce, T Chopin, A Neori, AH Buschmann & JG Fang. 2009. Ecological engineering in aquaculture: potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. Aquaculture 297: 1–9.

Troell M, C Halling, A Nilsson, AH Buschmann, N Kautsky & L Kautsky. 1997. Integrated marine cultivation of Gracilaria chilensis (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. Aquaculture 156 : 45–62.

Troell M, P Ronnback, C Halling, N Kautsky, AH Buschmann. 1999. Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. Journal of Applied Phycology 11: 89-97.

Troell M., Ronnback P., Halling C., Kautsky N., Buschmann A.H. 1999. Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. Journal of Applied Phycology 11: 89-97.

Trushenski JT, CS Kasper & CC Kohler. 2006. Challenges and opportunities in finfish nutrition. North American Journal of Aquaculture 68: 122–140.

Uribe J. 1988. Observaciones sobre algunos fenomenos recurrentes en el fitoplancton del Seno Unión y bahía Bell (Región de Magallanes) y su relación con la estabilidad de la columna de agua. Ans. Inst. Pat. 18, 103-111.

Uribe JC, L Guzmán & S Jara. 1995. Informe final: Monitoreo mensual de la marea roja en la XI y XII regiones. Informes técnicos FIP FIP-IT 93-16. 294pp.

Valenzuela M & S Avaria. 2009. Distribución del Microfitoplancton marino entre el seno Reloncaví y Boca del Guafo en Invierno y Primaver de 2005 (Crucero Cimar Fiordos 11). Revista Ciencia y Tecnología del Mar, 32 (2):43-77.

Vera P, S Avaria & P Muñoz. 1996. Composición del fitoplancton de los fiordos adyacentes a Campos de Hielo Sur y su relación con algunos parámetros oceanográficos. Ciencia y Tecnología del Mar 19:73-92.

Vergara PA. 2001. Efectos ambientales de la salmonicultura: el caso de bahía Metri, Chile. Tesis Magister, Universidad de Los Lagos.

Wang R, H Xiao, Y Wang, W Zhou, X Tang. 2007. Effects of three macroalgae, Ulva linza (Chlorophyta), Corallina pilulifera (Rhodophyta) and Sargassum thunbergii (Phaeophyta) on the growth of the red tide microalga Prorocentrum donghaiense under laboratory conditions. Journal of Sea Research 58(3): 189-197.

Wang S, D Tang, F L He, Y Fukuyo & RV Azanza. 2008. Occurrences of Harmful Algal Blooms (HABs) associated with ocean environments in the South China Sea. Hydrobiology 596: 79–93.

Wang Y, B Zhou & X Tang. 2009. Effects of two species of macroalgae – Ulva pertusa and Gracilaria lemaneiformis- on the growth of Heterosgma akashiwo (Raphidophyceae). Journal of Applied Phycology 21: 375-385.

Wang Y, Z Yub, X Song, X Tang & S Zhang. 2007. Effects of macroalgae Ulva pertusa (Chlorophyta) and Gracilaria lemaneiformis (Rhodophyta) on growth of four species of bloom-forming dinoflagellates. Aquatic Botany 86(2): 139–147.

Willis K.J, PA Gillibrand, C.J Cromey & KD Black. 2005. Sea lice treatments on salmon farms have no adverse effects on zooplankton communities: a case study. Marine Pollution Bulletin 50. 806–816

Wu RSS. 1995. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. Marine Pollution Bulletin 31: 159-166.

Yang YF, XG Fei, JMB Song, HY Hu, GC Wang & IK Chung. 2006. Growth of Gracilaria lemaneiformis under different cultivation conditions and its effects on nutrient removal in Chinese coastal waters. Aquaculture 254(1–4): 248–255.

Zhou JL, PL Huang, RG Lin. 1998. Sorption and desorption of Cu and Cd by macroalgae and microalgae. Environmental Pollution 101(1): 67–75.

Referencias de la sección: Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen las macroalgas

Abreu M, D Varela, L Henríquez, A Villarroel, C Yarish, I Sousa-Pinto & A Buschmann (2009) Traditional vs. Integrated Multi-Trophic Aquaculture of Gracilaria chilensis CJ Bird, J McLachlan & EC Oliveira: Productivity and physiological performance. Aquaculture 293 (3-4): 211-220.

Abreu M, R Pereira, C Yarish, A Buschmann & I Sousa-Pinto (2010) IMTA with Gracilaria vermiculophylla: Productivity and nutrient removal performance of the seaweed in a land-based pilot scale system. Aquaculture 312(1): 77-87.

Aguilera MA, BR Broitman & M Thiel (2014) Spatial variability in community composition on a granite breakwater versus natural rocky shores: Lack of microhabitats suppresses intertidal biodiversity. Marine Pollution Bulletin, 87(1): 257-268.

Alcayaga CP (1990) Distribución temporal y batimétrica de organismos incrustantes a valvas inertes de Argopecten purpuratus Lamarck, 1819, en Bahía Tongoy, Coquimbo. Tesis de Licenciatura. Universidad Católica del Norte. Facultad de Ciencias del Mar. Coquimbo, Chile. 120 pp

Astudillo JC, M Bravo, CP Dumont & M Thiel.2009. Detached aquaculture buoys in the SE Pacific: Potential dispersal vehicles for associated organisms. Aquatic Biology 5: 219-231.

Ávila M & K Alveal (1987) The life history of Mastocarpus papillatus from the area of Concepción, Chile. Investigación Pesquera 34: 129-138.

Barrington K, T Chopin & S Robinson (2009) Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. Integrated mariculture: a global review. FAO Fisheries & Aquaculture Technical Paper 529: 7-46.

Bold HC & MJ Wynne (1985) Introduction to the Algae.Structure and Reproduction.Englewood Cliffs.New Jersey, Prentice-Hall, xvi+720 p.Second edition.

Bulleri F & L Airoldi (2005) Artificial marine structures facilitate the spread of a non-indigenous green alga, Codium fragile ssp. tomentosoides, in the north Adriatic Sea. Journal of Applied Ecology 42(6): 1063-1072.

Bulleri F & MG Chapman (2010) The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments. Journal of Applied Ecology 47(1): 26-35.

Buschmann AH & R Pizarro (2001) El costo ambiental de la salmonicultura en Chile. Análisis de Políticas Públicas Fundación Terram (Chile) 5: 1-7.

Buschmann AH (2015) Desarrollo y desafíos de a agronomía marina en Chile. XXXV Congreso de Ciencias del Mar. Simposio Ley de bonificación de Algas. Mayo 2015, Universidad Católica del Norte, Coquimbo.

Buschmann AH, DA López & A Medina (1996b) A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile. Aquacultural Engineering 15: 397-421

Buschmann AH, DA Varela, MC Hernández-González & P Huovinen (2008c) Opportunities and challenges for the development of an integrated seaweed-based aquaculture activity in Chile: Determining the physiological capabilities of Macrocystis and Gracilaria as biofilters. Journal of Applied Phycology 20: 571-577.

Buschmann AH, F Cabello, K Young, J Carvajal, DA Varela & LA Henríquez (2009) Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. Ocean & Coastal Management 52: 243-249.

Buschmann AH, JA Correa, R Westermeier, MC Hernández-González, & R Norambuena (2001a) Cultivation of red algae in Chile: a review, Aquaculture, Vol. 193, pp.203–220.

Buschmann AH, M Troell & N Kautsky (2001c) Integrated algal farming: a review, Cahiers de Biologie Marine, Vol. 42, pp.83–90.

Buschmann AH, M Troell, N Kautsky & L Kautsky (1996a) Integrated tank cultivation of salmonids and Gracilaria chilensis (Rhodophyta).Hydrobiologia 326/327: 75-82.

Buschmann AH, MC Hernández-González & D Varela (2008) Seaweed future cultivation in Chile: perspectives and challenges. International Journal of Environment and Pollution, 33(4), 432-456.

Buschmann AH, MC Hernández-González & DA Varela (2008b) Seaweed future cultivation in Chile: perspectives and challenges. International Journal of Environment and Pollution 33: 432-456.

Buschmann AH, MC Hernández-González, C Aranda, T Chopin, A Neori, C Halling & M Troell (2008a) Mariculture waste management. In: Jorgensen SE & BD Fath (eds) Encyclopedia of Ecology, Ecological Engineering, Vol 3: 2211-2217. Elsevier, Oxford, Great Britain.

Buschmann AH, R Westermeier & C Retamales (1995) Cultivation of Gracilaria in the sea-bottom in southern Chile: a review, J. Appl. Phycol., Vol. 7, pp.291–301.

Buschmann AH, RA Stead, MC Hernández-González, SV Pereda, JE Paredes & MA Maldonado (2013) Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable. Revista Chilena de Historia Natural 86: 251-264, 2013

Buschmann AH, S Prescott, P Potin, S Faugeron, JA Vásquez, C Camus, J Infante, MC Hernández-González, A Gutierrez & DA Varela (2014) The status of kelp exploitation and marine agronomy, with emphasis on Macrocystis pyrifera in Chile. Advances Botanical Research, 71:161-188.

Buschmann AH, VA Riquelme, MC Hernández González & LA Henríquez (2006b) Additional perspectives for ecosystem approaches for aquaculture.In: McVey JP, C-S Lee & PJ O'Bryan (eds) Aquaculture and ecosystems: An integrated coastal and ocean management approach: 168-176. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, US

Buschmann AH, VA Riquelme, MC Hernández González, DA Varela, JE Jiménez (2006a) A review of the impacts of salmon farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. ICES Journal of Marine Science 63:1338-1345.

Buschmann, AH, JA Correa, R Westermeier, MA Paredes, D Aedo, P Potin, Aroca G, J Beltrán & MC Hernández-González (2001b) Cultivation of Gigartina skottsbergii (Gigartinales, Rhodophyta): recent advances and challenges for the future', J. Appl. Phycol, Vol. 13, pp.253–265.

Cabello F. 2003. Antibióticos y acuicultura un análisis de sus potenciales impactos para el medio ambiente, la salud humana y animal en Chile.

Camus PA (2005) Introducción de especies en ambientes marinos chilenos: no solo exóticas, no siempre evidentes. Revista chilena de historia natural, 78(1), 155-159.

Castilla JC & PE Neill (2009) Marine bioinvasions in the southeastern Pacific: status, ecology, economic impacts, conservation and management. En: Rilov G & JA Crooks (eds). Biological invasions in marine ecosystems, pp. 439-457.Springer, Berlin.

Castilla JC, M Uribe, N Bahamonde, M Clarke, R Desqueyroux-Faúndez, I Kong, H Moyano, N Rozbaczylo, B Santelices, C Valdovinos & P Zavala (2005) Down under the southeastern Pacific: marine non-indigenous species in Chile. Biological Invasions 7: 213-232.

Celis Plá P & K Alveal (2012) Development of Macrocystis pyrifera from spores and gametes on artificial substrate.Algal production in a surface culture. Lat. Am. J. Aquat. Res., 40(2): 292-299.

Chopin T (2006) Integrated Multi-Trophic Aquaculture. What it is, and why you should care..and don´t confuse it with polyculture. Northern Aquaculture July/August.Pp. 4.

Chopin T (2014) Multi-Trophic, I. Seaweeds: Top Mariculture Crop, Ecosystem Service Provider. Global Aquaculture Advocate July/August. Pp 24-27.

Chopin T (2015) Marine Aquaculture in Canada: Well-Established Monocultures of Finfish and Shellfish and an Emerging Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) Approach Including Seaweeds, Other Invertebrates, and Microbial Communities. Fisheries 40(1): 28-31.

Chopin T, AH Buschmann, C Halling, M Troell, N Kautsky (2001) Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. Journal of Phycology 37: 975-986.

Chopin T, JA Cooper, G Reid, S Cross & C Moore (2012) Open-water integrated multi-trophic aquaculture: environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. Aquaculture, Volume 4, Issue 4, pages 209–220.

Chopin T, M Troell, G Reid, D Knowler, S Robinson, A Neori, A Buschmann & S Pang (2010) Integrated Multi-Trophic Aquaculture. Part II.

Increasing IMTA Adoption.Global Aquaculture Advocate, November/December. Pp: 17-19.

Chopin T, SMC Robinson, M Troell, A Neori, AH Buschmann & J Fang (2008) Multitrophic integration for sustainable marine aquaculture. In: Jørgensen, S.E., Fath, B.D. (Eds.), The Encyclopedia of Ecology, Ecological Engineering, vol. 3. Elsevier, Oxford, pp. 2463–2475.

Cifuentes M, C Kamlah, M Thiel, M Lenz & M Wahl (2007) Effects of temporal variability of disturbance on the succession in marine fouling communities in northern-central Chile . J. exp. mar. Biol. Ecol. 352: 280-294.

Cole VJ, TM Glasby & MG Holloway (2005) Extending the generality of ecological models to artificial floating habitats. Marine Environmental Research 60: 195-210.

Collantes G & P Muñoz-Muga (2009) Proliferación masiva de Grateloupia intestinalis (Hooker fil. et Harvey) Setchell ex Parkinson (Rhodophyta, Halymeniaceae), especie no-nativa en la bahía de Valparaíso, Chile central. Revista de biología marina y oceanografía, 44(2), 527-532.

Conde A & J Domínguez (2004). Biodeposiciones del cultivo de mejillón de acuicultura en Galicia: ¿contaminante o recurso? In III Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura. http://groups.ist.utl.pt/enverg/PDF/biodeposiciones.pdf

Correa T, A. Gutierrez, R Flores, AH Buschmann, P Cornejo & C Bucarey (2014) Production and economic assessment of giant kelp Macrocystis pyrifera cultivation for abalone feed in the south of Chile.Aquaculture Research.doi: 10.1111/are.12529.

Crawford C (2003) Environmental management of marine aquaculture in Tasmania, Australia. Aquaculture 226(1): 129-138.

Davidson AD, ML Campbell, CL Hewitt & B Schaffelke (2015) Assessing the impacts of nonindigenous marine macroalgae: an update of current knowledge. Botanica Marina, 58(2), 55-79.

Dumont CP, CF Gaymer & M Thiel (2011) Predation contributes to invasion resistance of benthic communities against the non-indigenous tunicate Ciona intestinalis. Biol Invasions 13:2023–2034.

FAO (1995) Código de conducta para la pesca responsable. 46 pp.

FAO (2010) El estado mundial de la pesca y la acuicultura. 242 pp.

Fernández M, E Jaramillo, PA Marquet, CA Moreno, SA Navarrete, FP Ojeda, CR Valdovinos & JA Vásquez (2000) Diversity, dynamics and biogeography of Chilean benthic nearshore ecosystems: and overview and guidelines for conservation. Revista Chilena de Historia Natural 73: 797-830.

FIGUEROA, E., & CALFUCURA, E. (2006). Principales actividades productivas y su relación con la biodiversidad. Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Capítulo IV: El Hombre y la Biodiversidad.

Fitridge I, Dempster T, Guenther J & R de Nys (2012) The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. Biofouling, 28(7), 649-669.

Flores-Aguilar RA, A Gutierrez, A Ellwanger & R Searcy-Bernal (2007) Development and current status of abalone aquaculture in Chile. Journal of Shellfish Research, 26(3), 705-711.

Gajardo G & L Laikre (2003) Chilean aquaculture boom is based on exotic salmon resources: a conservation paradox. Conservation Biology 17: 1173-1174.

Gaymer CF, W Stotz, R Garay- Flühmann, G Luna-Jorquera, M Ramos *et al.* (2008) Evaluación de línea base de Las Reservas Marinas "Isla Chañaral" e "Isla Choros-Damas". Informe Final Proyecto FIP 2006-56

Glasby TM & SD Connell (1999) Urban structures as marine habitats. Ambio 28: 595-598.

González A & B Santelices (2003) A re-examination of the potential use of central Chilean Porphyra (Bangiales, Rhodophyta) for human consumption, in Chapman, A.R.O., Anderson, R.J., Vreeland, V.J. and Davidson, I. (Eds.): Proc. 17th Intern. Seaweed Symp., Oxford University Press Inc., NY, pp.249–255.

González A& B Santelices (2004) A dichotomous species of Codium (Bryopsidales, Chorophyta) is colonizing northern Chile. Rev. Chil. Hist. Nat, 77, 293-304.

González A, B Santelices, ARO Chapman, RJ Anderson, VJ Vreeland & IR Davison (2003) A re-examination of the potential use of central Chilean Porphyra (Bangiales, Rhodophyta) for human consumption. In Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium, Cape Town, South Africa, 28 January-2 February 2001. (pp. 249-255). Oxford University Press.

González SA & Edding ME (1990) Extension of the range of Heterozostera tasmanica (Martens ex Aschers.) den Hartog in Chile. Aquatic Botany 38: 391–395.

Gutiérrez A, T Correa, V Muñoz, A Santibañez, R Marcos, C Cáceres & AH Buschmann (2006) Farming of the giant kelp Macrocystis pyrifera in southern Chile for development of novel food products. Journal of Applied Phycology 18: 259-267.

Hewitt CL & ML Campbell (2007) Mechanisms for the prevention of marine bioinvasions for better biosecurity. Marine Pollution Bulletin, 55(7), 395-401.

Holdt SL & MD Edwards (2014) Cost-effective IMTA: a comparison of the production efficiencies of mussels and seaweed. Journal of applied phycology 26(2): 933-945.

Jaksic F & L Marone (2007) Ecología de comunidades Segunda edición ampliada, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago. 336 pp. ISBN 978-956-14-0917-0

Jaramillo E, C Bertrán &A Bravo (1992) Mussel biodeposition in an estuary in southern Chile. Mar. Ecol. Prog. Ser. 82: 85-94

Jones C, J Lawton & M Shachak (1994) Organisms as ecosystem engineers. Oikos 69: 373-386.

López DA, BA López & ML González (2008) Shellfish culture in Chile. International Journal Environmental and Pollution 33(4): 401-431.

Lovatelli A, A Farias & I Uriarte (2007) Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura Roma, FAO. 12: 91–100.

Macaya EC, S Pacheco, A Cáceres & S Musleh (2013) Range extension of the non-indigenous alga Mastocarpus sp. along the Southeastern Pacific coast. Revista de biología Marina y Oceanografía 48(3): 661-665.

Macchiavello J, E Aaraya & C Bulboa (2010) Production of Macrocystis pyrifera (Laminareales; Phaeophyceae) in Northern Chile on spore-based culture. Journal of Applied Phycology 22: 691-697.

Madariaga DJ, MM Rivadeneira, F Tala, & M Thiel (2014) Environmental tolerance of the two invasive species Ciona intestinalis and Codium

fragile: their invasion potential along a temperate coast. Biological Invasions 16(12): 2507-2527.

Manríquez PH, E Fica, V Ortiz & JC Castilla (2014) Bio-incrustantes marinos en el canal de Chacao, Chile: un estudio sobre potenciales interacciones con estructuras manufacturadas por el hombre. Revista de biología marina y oceanografía, 49(2), 243-265.

Matheson, K, CH McKenzie, P Sargent, M Hurley T & Wells (2014) Northward expansion of the invasive green algae Codium fragile spp. fragile (Suringar) Hariot, 1889 into coastal waters of Newfoundland, Canada. BioInvasions Records 3(3): 151-158.

Mendoza RC, C Ramírez-Martínez, C Aguilera & ME Meave del Castillo (2014) Principales vías de introducción de las especies exóticas. En R Mendoza y P Koleff (eds). Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp. 43-73.

Moya L (1998) Efecto del fouling en el crecimientiento de ostiones Argopecten purpuratus (Lamarck 1819) cultivados en Pearl Nets en Bahía Tongoy, IV Región, Coquimbo. Tesis de Licenciatura. Universidad Católica del Norte. Facultad de Ciencias del Mar. Coquimbo, Chile. 120 pp.

Muñoz Gomá, Oscar Aguas arriba : la transformación socioeconómica del ecosistema Llanquihue-Chiloé, Chile, durante los años 90 . - 1a ed. - Buenos Aires: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales - CLACSO, 2009.

Murillo V, R González, M Soto, C Espinoza, N Pesse (2010) Diagnóstico y Proyección de las Actividades de Acuicultura entre Arica y Taltal. FIP N° 2008-34.

Neill P, O Alcalde, S Faugeron, SA Navarrete & JA Correa (2006) Invasion of Codium fragile ssp. tomentosoides in northern Chile: a new threat for Gracilaria farming. Aquaculture 259:202–221.

Neill PE (2007) Distribución de la macroalga introducida Codium fragile (Chlorophyta) en Chile y sus efectos sobre la estructura de los ensambles del submareal rocoso del norte chico. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 179 pp.

Neori A (2008) Essential role of seaweed cultivation in integrated multi-trophic aquaculture farms for global expansion of aquaculture: an analysis. Journal of Applied Phycology 20(5):567-570.

Ogden LE (2013) Aquaculture's Turquoise Revolution Multitrophic methods bring recycling to the seas. BioScience, 63(9), 697-704.

Olesen, I, AI Myhr & GK Rosendal (2011) Sustainable aquaculture: are we getting there? Ethical perspectives on salmon farming. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 24(4): 381-408.

Ortiz M & M Wolff (2002) Trophic models of four benthic communities in Tongoy Bay (Chile): comparative analysis and preliminary assessment of management strategies. J Exp Mar Biol Ecol 268:205–235.

Ortiz M & W Stotz (2007) Ecological and eco-social models for the introduction of the abalone Haliotis discus hannai into benthic systems of north-central Chile: sustainability assessment. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 17(1), 89-105.

Provan JIM, S Murphy & CA Maggs (2005) Tracking the invasive history of the green alga Codium fragile ssp. tomentosoides.Molecular Ecology, 14(1), 189-194.

Ramírez ME, M García-Huidobro & F Goecke (2007) Extensión del Límite sur de Distribución de Asparagopsis armata Harvey (Bonnemaisoniales, Rhodophyta) en la Costa de Chile Continental, una Especie Invasora en el Mediterráneo. Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 359: 23-29.

Richmond MD & R Seed (1991) A review of marine macrofouling communities with a special reference to animal fouling. Biofouling 3: 151-168.

Ridler N, K Barrington, B Robinson, M Wowchuk, T Chopin, S Robinson, F Page, G Reid, M Szemerda, J Sewuster & S Boyne-Travis (2007a) Integrated Multitrophic Aquaculture. Canadian Project combines salmon, mussels, kelps. Global Aquaculture Advocate.March/April. Pp: 52-55.

Ridler N, M Wowchuk, B Robinson, K Barrington, T Chopin, S Robinson, F Page, G Reid, M Szemerda, J Sewuster & S Boyne-Travis (2007b) Integrated Multi– Trophic Aquaculture (IMTA): A Potential Strategic Choice for Farmers. Aquaculture Economics & Management, 11(1): 99-110.

Salgado Reyes, Rodrigo. 2005. Análisis del desarrollo de la acuicultura chilena. Proyecto de título presentado en la facultad de agronomía e ingeniería forestal, para obtener el título de ingeniero agrónomo. PUC

Schaffelke B & CL Hewitt (2007) Impacts of introduced seaweeds. Bot. Mar. 50: 397–417.

Scheibling RE & P Gagnon (2006) Competitive interactions between the invasive green alga Codium fragile ssp. tomentosoides and native canopy-forming seaweeds in Nova Scotia (Canada). Marine Ecology Progress Series, 325, 1-14.

Stotz WB, L Caillaux & J Aburto (2006) Interactions between the Japanese abalone Haliotis discus hannai (Ino 1953) and Chilean species: consumption, competition, and predation. Aquaculture 255(1): 447-455.

Thiel M & L Gutow (2005) The ecology of rafting in the marine environment. I. The floating substrata. Oceanography and Marine Biology: an annual review. 42: 181-264.

Thiel M (2003) Rafting of benthic macrofauna: Important factors determining the temporal succession of the assemblage on detached macroalgae. Hydrobiologia 503: 49-57.

Troell M, A Joyce, T Chopin, A Neori, A Buschmann & J-G Fang (2009) Ecological engineering in aquaculture – Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. Aquaculture 297:1-9.

Troell M, P Rönnbäck, C Halling, N Kautsky & AH Buschmann (1999) Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. Journal of Applied Phycology 11: 89-97.

Uribe E, C Lodeiros, E Félix-Pico & I Etchepare (2001) Epibiontes en pectinidos de Iberoamérica. In A. Maeda-Martínez (ed.), Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura, Cap. 13:249-266. Edit. Limusa, México, D.F., México.

Vásquez J & G Donoso (2013) Loxechinus albus. In: Lawrence JM (ed) Sea Urchins Biology and Ecology, vol III. Elsevier, London, pp 285–293.

Vásquez JA, S Zuñiga, F Tala, N Piaget, DC Rodríguez & JMA Vega (2014) Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. J Appl Phycol 26:1081–1088

Vega JMA, BR Broitman & JA Vásquez (2014) Monitoring the sustainability of Lessonia nigrescens (Laminariales, Phaeophyceae) in northern Chile under strong harvest pressure.J Appl Phycol 26:791–801.

Vidal G. 2006. Diagnóstico ambiental para las actividades de acuicultura en la zona norte (III y IV Regiones). Informe final FIP Nº 2003-26.

Villaseñor-Parada C & PE Neill (2011) Spatial distribution of epiphytes along the thallus of the introduced macroalga, Codium fragile subsp. tomentosoides in the subtidal zone of Caldera. Revista de Biología Marina y Oceanografía 46: 257-262.

Villaseñor-Parada C, A Pauchard & E Macaya (2014) Expansión del área de distribución de la macroalga introducida Schottera nicaeensis (Rhodophyta: Gigartinales) en la costa chilena: ¿evidencia de una invasión? Boletín de la Red Latinoamericana para el Estudio de Especies Invasoras 4(1): 19-27.

Villaseñor-Parada C, EC Macaya, LM Jara-Rojas, & PE Neill (2013) Variación espacial y temporal en la producción de gametangios en la macroalga exótica Codium fragile subsp. tomentosoides (Chlorophyta: Bryopsidales) en el submareal de Caldera, Chile. Revista de biología marina y oceanografía 48(1): 213-218.

Walker T., Maredia M., Kelley T., La Rovere R., Templeton D., Thiele G., and Douthwaite B. 2008. Strategic Guidance for Ex Post Impact Assessment of Agricultural Research. Report prepared for the Standing Panel on Impact Assessment, CGIAR Science Council. Science Council Secretariat: Rome, Italy.

Westermeier R, D Patiño, H Müller & DG Müller (2010) Towards domestication of giant kelp (Macrocystis pyrifera) in Chile: selection of haploid parent genotypes, outbreeding, and heterosis. J. Appl. Phycol. 22, 357 – 361.

Westermeier R, D Patiño, H Müller & DG Müller (2011) Macrocystis mariculture in Chile: performance of heterosis genotype constructs under field conditions. J. Appl. Phycol. doi 10.1007/s10811-010-9581-z

Westermeier R, D Patiño, M Piel, I Maier & D Müller (2006) A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedlings from gametophyte cultures of Lessonia trabeculata and Macrocystis pyrifera. Aquaculture Research 37: 164-171.

Westermeier R, PJ Rivera & I Gómez (1991) Cultivo de Gracilaria chilensis Bird, McLachlan y Oliveira, en la zona intermareal y submareal del Estuario Cariquilda, Maullín, Chile. Revista Chilena de Historia Natural 64: 307-321, 1991

Yan T & WX Yan (2003) Fouling of offshore structures in China -a review. Biofouling 19: 133-138.

Yokoyam H & Y Ishihi (2010) Bioindicator and biofilter function of Ulva spp. (Chlorophyta) for dissolved inorganic nitrogen discharged from a coastal fish farm — potential role in integrated multi-trophic aquaculture. Aquaculture 310(1-2):74-83.

Zuniga-Jara S; MC Marín-Riffo & C Bulboa-Contador (2015) Bioeconomic analysis of giant kelp Macrocystis pyrifera cultivation (Laminariales; Phaeophyceae) in northern Chile.J Appl Phycol. doi 10.1007/s10811-015-0581-x.

Referencias de la sección: Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies que componen la comunidad bentónica

Abud Sittler, M. J., Bofill, M. J., & F Stefani.2009.Tesis La industria del salmón y el recurso natural agua, Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios, Escuela de Economía y Administración. 70 pp.

Ahumada, R. 2008. Minor and trace metals from the surface sediments of the austral Chilean channels and fjords. Págs. 77-81 en: Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. N. Silva & S.- Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 161 págs.

Alvial, A. & J. Manríquez. 1999. Diversification of flatfish culture in Chile. Aquaculture, 176 (1999): 65-73.

Alvial, A. 1994. Turbot y abalón. Mucho más que el cultivo de dos especies. Aqua Noticias Internacional. 6(22): 34-40. Santiago, Chile.

Araya-Vergara, J. 2008.The submarine geomorphology of the Chilean Patagonian fjords and piedmonts.Págs. 25-27 en: Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. N. Silva & S.- Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 161 págs.

Arntz, W. & M. Gorny (eds). 1996. Cruise report of the Chilean-German-Italian Magellan, victor hensen campaign in 1994. Berichte zur Polar und Meeresforschung.113 pp.

Arntz; W. & C. Ríos.(eds.) 1999.Magellan-Antarctic: ecosystems that drifted apart. Scientia Marina 63(Suppl.I): 518 pp.

Arratia, G. 1978. Comentarios sobre la introducción de peces exóticos en aguas continentales de Chile. Ciencias Forestales, Chile (2): 21-30.

Barra, P. 2015. Acuicultura: Carlos Wurmann, consultor acuícola chileno, y su balance de la acuicultura anacional en los últimos 15 años. Mundo Acuícola. Nº 100, año 15: 30-31.

Barrington, K., T. Chopin, & S. Robinson. 2009. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine températe waters. In D. Soto (ed.). Integrated mariculture: a global review. FAO fisheries and Aquaculture Technical Paper.No. 529. Rme, FAO. Pp 7-46.

Basulto Del C., S. 2003. "El largo viaje de los salmones" Una crónica olvidada. Propagación y cultivo de especies acuáticas en Chile". Maval Ltda. 300 págs. Chile.

Brattstroem, H. & A.- Johanssen. 1983. Ecological and regional zoogeography of the marine benthic fauna of Chile. Sarsia 68_ 289-339.

Bravo, S., Silva, M. T. & G. Monti. 2012. Efficacy of emamectin benzoate in the control of Caligus rogercresseyi on farmed Atlantic salmon (Salmo salar L.) in Chile from 2006 to 2007. Aquaculture, 364-365 (2012): 61-66.

Buschmann, A., Riquelme, V.A., Hernández-González, M.C., Varela, D., Jiménez, J.E., Henríquez, L. A., Vergara, P.A., Guíñez, R. & L Filún. 2006. A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. ICES Journal of Marine Science, 63: 1338-1345.

Buschmann, A. & A. Fortt. 2006. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. Revista Ambiente y Desarrollo, 2 1 (3): 58-64.

Buschmann, A. 2001. Impacto ambiental de la Acuicultura El estado de la investigación en Chile y el Mundo Un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos. Publicaciones Fundación Terram. 67 pp.

Buschmann, A. 2002. Impacto ambiental de la Salmonicultura. Publicaciones Terram, Análisis de Políticas Públicas, Serie APP (16): 1-11.

Buschmann, A. H., M. C. Hernández-González, C. Astudillo, L. de la Fuente, A. Gutierrez, & G. Aroca. 2005. Seaweed cultivation, product development and integrated aquaculture studies in Chile. World Aquaculture 36: 51-53.

Buschmann, A., Cabello, F., Young, K., Carvajal, J., Varela, D. & L. Henríquez.2009.Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. Ocean and Coastal Management, 52 (2009): 243-249.

Buschmann, A., Costa-Pierce, B. A., Cross, S., Iriarte, J. L., Olsen, Y. & G. Reid. 2007. Nutrient impacts of farmed Atlantic salmon (Salmo salar) on pelagic ecosystems and implications for carrying capacity. Report

of the Technical Working Group (TWG) on Nutrients and Carrying Capacity of the Salmon Aquaculture Dialogue.Final report.22 págs.

Callier, M., McKindsey, C. W. & G. Desrosiers. 2008. Evaluations of indicators used to detect mussel farm influence on the bentos: Two case studies in the Magdalen Islands, Eastern Canada. Aquaculture, 278 (2008): 77-88.

Cauwenberghe, L. M. Van Claessens, M.B. Vandegehuchte, & C.R. Janssen. 2015. Microplastics are taken up by mussels (Mytilus edulis) and lugworms (Arenicola marina) living in natural habitats. Environmental Pollution, 199, 10–17. doi:10.1016/j.envpol.2015.01.008

Chopin, T., M. Troell, , G. Reid, D. Knowler, S. M.C. Robinson, A. Neori, A. H . Buschmann,& S. Pand. 2010. Integrated Multi- Trophic Aquaculture. Part II: Increasing IMTA Adoption. Global Aquaculture Advocate: 17-20.

Crooks, J. 2002.Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers.Oikos, 97(January), 153–166.

Duarte, C., E. Jaramillo, H. Contreras & L. Figueroa. 2006. Community structure of the macroinfauna in the sediments below an intertidal mussel bed (Mytilus chilensis (Hupe)) of southern Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 79(3), 353–368.

Fernandez, M., Jaramillo, E., Marquet, P., Moreno, C., Navarrete, S., Ojeda, P., Valdovinos, C. & J. Vasquez. 2000. Diversity, dynamics and biogeography of Chilean benthic nearshore ecosystems: an overview and guidelines for conservation. Revista Chilena de Historia Natural, 73:797-830.

Ferreira, J.C., C. Saurel & J.M. Ferreira. 2012. Cultivation of gilthead bream in monoculoture and integrated multi-trophic aquaculture. Analysis of production and environmental effects by means of the FARM model. Aquaculture 358-359 (2012) 23-24.

Freshwater fishes of Patagonia in the 21st Century after a hundred years of human settlement, species introductions, and environmental change. Aquatic Ecosystem Health & Management. 2007. 10(2): 212-227.

Furci G. 2009. Cultivo de Moluscos en Chile.Publicaciones Fundación Terra. APP N° 50. 1-21. http://www.terram.cl/images/app/app_50_moluscos-agosto2009.pdf

Godoy, F. 2011. Ambientes microbianos y presencia de patógenos en ambiente de jaula de cultivo de salmones. Revista Salmón-Acuícola. 8(14): 17-19

Hinojosa, I., M.M. Rivadeneira, & M. Thiel. 2011. Temporal and spatial distribution of floating objects in coastal waters of central-southern Chile and Patagonian fjords. Continental Shelf Research, 31(3-4), 172–186.

Hughes A. & M. Kelly.Integrated Multi-Trophic Aquaculture.Scottish Association for Marine Science. 15 pp. http://www.sarf.org.uk/cms-assets/documents/28926-823833.current-state-of-integrated-aquacultur

John, D., Paterson, G., Evans, N., Ramírez, M. E., Spencer Jones, M., Baez, P., Ferrero, T. Valentine, C. & D. Reid. 2003. Biodiversity Aysén, Manual de Biotopos Marinos de la Región de Aysén, Sur de Chile: Parque Nacional Laguna San Rafael, Estero Elefantes, Archipiélago de Los Chonos y Katalalixar. 128 págs.

Kitchen, P. 2011. An economic analysis of shellfish production associated with the adoption of Integrated Multi-Trophic Aquaculture in British Columbia. Research project submitted in partial fulfillment the requirements for the degree of Master of Resource Management. In the Schol of Resource and Environmental Management. Simon Fraser University. 141 pp. http://rem-main.rem.sfu.ca/theses/KitchenPatrick_2011_MRM516.pdf

Lancelloti, D.& J. Vásquez. 1999. Biogeographical patterns of benthic invertebrates in the southeastern Pacific litoral. Jhournal of Biogeography 26: 1001-1006.

Lavaleye M., J.A. Craeymeersch & G. C. A. Duineveld. 2007. Functional diversity. ICES Cooperative Research Report No. 288, 109-115.

Letelier, S., Báez, P., Ramírez, M. E., Rebolledo, A., Soto, E. & J. Naretto. 2013. Biotopos marinos intermareales y submareales (Crucero CIMAR 16 Fiordos) desde el Estrecho de Magallanes al Canal Beagle. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 62: 147-157.

Lovatelli A., A. Farias e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en America Latina. Taller Tecnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. 359 pp.

Marín S., L. Pino, R. Núñez y J.L. Iriarte. 2013. Estaciones de referencia en monitoreos ambientales acuícolas Inst. de Acuic. UACh, CIEN UACh, Centro COPAS Sur Austral. Versión diferente, Revista Salmón-Acuícola, Año 10 N°18 1° Semestre. 37-39 pp.

McKindsey C., M. Callier, P. Archambault y A. Weise1. 2008. Farmed mussel biodeposit production and dose-dependent influence on benthic communities. International Council for the Exploration of the Sea, Theme H: Ecological Carrying Capacity in shellfish Culture. 10 pp. http://www.ices.dk/sites/pub/CM%20Doccuments/CM-2008/H/H1608.pdf

McKindsey, G. Desrosiers. 2008. Evaluation of indicators used to detect mussel farm influence on the benthos: Two case studies in the Magdalen Islands, Eastern Canada. Aquaculture 278: 77–88.

Miranda, C. & R. Zemelman. 2002. Bacterial resistance to oxtetracycline in Chilean salmon farming. Aquaculture, 212 (2002): 31-47.

Molinet C., J. Navarro, S. Marín, M. Seguel, E. Niklitschek, M. Díaz, S. Rosales, G. Olivares, P. Toledo, R. Caro, O. Rojas, B. Añasco, S. Vidal, M. Kossack, M. Guzmán, J. López y A. Ortíz. 2014. Evaluación de los factores limitantes en el desarrollo de cultivos de mitílidos, para análisis de capacidad de carga, X Región de Los Lagos (1° Etapa). Subsecretaría de Pesca, Universidad Austral de Chile, Universidad de Los Lagos. Presentación de Carlos Molinet en Taller Investigación desarrollada en Chile sobre especies de mitílidos de importancia para la Pesca y Acuicultura. 2 y 3 junio 2014. Hotel Gran Pacífico, Salón Austral, Puerto Montt. http://www.subpesca.cl/prensa/601/w3-article-86570.html

Montero, C. 2004. Formación y desarrollo de un cluster globalizado: el caso de la industria del salmón en Chile. CEPAL.

Montiel, A., D. Gerdes & C. Ríos. 2001. Distribución y abundancia del macrozoobentos en una microcuenca marina submareal del estrecho de Magallanes, Chile. Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Naturales 29:117-133.

Morrison, E. 1999. Distribución y abundancia delmacrozoobentos en fiordos y canales adyacentes al campo de Hielo Sur. UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Universidad de Magallanes. 46 pp.

Mutschke, E. 2008. Macrobenthic biodiversity and community structure in austral Chilean channles and fjords. Págs. 133-141 en: Progress in

the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. N. Silva & S.- Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 161 págs.

Naylor, R., Goldburg, r., Primavera, J. H., Kautsky, N., beveridge, M.C.m., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. & M. Troell. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. Nature, 405: 1017-1024.

Nobre A., D. Robertson-Andreson, A. Neori & K. Sankar. 2010. Ecological–economic assessment of aquaculture options: Comparison between abalone monoculture and integrated multi-trophic aquaculture of abalone and seaweeds. Aquaculture 306: 116-126.

Orellana, G. T. 2010. "Evaluación de hábitos alimenticios de salmónidos escapados y asilvestrados de vida libre en ríos y lagos del sur de Chile". Tesis para optar al título de Ingeniero en Acuicultura. Universidad Austral de Chile Sede Puerto Montt Escuela de Acuicultura y Pesquerías. 62 pp.

Paine, R.T. 1966. Food web complexity and species diversity.Am. Nat., 100: 65-75.

Pascual, M. A., Cussac., V, Dyer. B., Soto, D., Vigliano, P., Ortubay, S. & P. Macchi.

Pérez-Schulteiss, J.2009.Nuevos registros de anfípodos corofídeos (Crustacea: Amphipoda: Corophidea) en el sur de Chile, con comentarios acerca de la invasión de especies exóticas marinas. Boletín de Biodiversidad de Chile 1(1): 24-30.

Pinto, L. Oxic-reducing conditions in the interstitial waters of the austral Chilean channels and fjords. Págs. 83-85 en: Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. N. Silva & S.- Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 161 págs.

Ramos Órdenes, P. I. 2008. Efecto de efluentes de pisciculturas sobre la estructura de la comunidad bentónica en ríos de la novena región de la Araucanía. Tesis de grado para optar al Grado de Licenciado en Ciencias Biológicas. Universidad Austral de Chile, Valdivia. Escuela de Ciencias, Facultad de Ciencias. 127 pp.

Ridler, N., M. Wowchuk, B. Robinson, K. Barrington, T. Chopin, SW. Robinson, F. Page, G. Reid, M. Szemerda, J. Sewuster & S. Boyne-

Travis. 2007. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA): a potencial strategic choice for farmers. Aquaculture Economics and Management, 11: 99-110.

Ríos, C. & E. Mutschke 1999. Community structure of intertidal Boulder-cobble fields in the Strait of Magellan, Chile. Scientia Marina 63(Suppl. I): 193-201.

Ríos, C., Mutschke, E. & A. Montiel. 2013. Composición y estructura de la comunidad macrobentónica en el sistema interior de canales y fiordos del extremo austral de Chile. Anales del Instituto de la Patagonia (Chile)41(2): 73-85.

Ríos, c., Mutschke, E. & E. Morrison. 2003. Biodiversidad bentónica en el Estrecho de Magallanes. Revista de Biología Marina y Oceanografía 38(1): 1-12.

Rodrigo, C. 2008. Submarine topography in the Chilean North Patagonian channels.Págs.19-23, en Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. N. Silva & S.- Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 161 págs.

Root, R.B. 1967. The niche exploitation pattern of the blue-gray gnatcatcher. Ecol. Monogr., 37: 17-350.

Rosenberg, R. 2001. Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity.SCI. MAR., 65 (Suppl. 2): 107-119.

Salgado, P., Troncoso, V.A., Montresor, M., Salamanca, M., Lange, C.B., Sáez, K. &L. Guzmán. 2011. First record of Lingulodinium polyedrum (Dinophyceae) resting cysts in coastal sediments from the inner Sea of Chiloé, Los lagos región, Southern Chile (-41º-43º S). Gayana Bot. 68(1):106-109.

Sellner, K.G., Doucette, G.J., Kirkpatrick, G.J., 2003. Harmful algal blooms: causes, impacts and detection. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 3, 383–406

Sepúlveda, M., Arismendi, I., Soto, D., Jara, F. & F. Farías. 2013. Escaped farmed salmon and trout in Chile: incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. Aquaculture Environment Interactions, 4: 273-283.

Sepúlveda, M., Farías, F. & E. Soto. 2009. Escapes de salmones en Chile. Eventos, Impactos, Mitigación y Prevención. Valdivia, Chile:WWF.

Sernapesca. 2013. Anuario Estadístico de Pesca.

Sievers, H. & N. Silva.2008.Water masses and circulation in austral Chilean channles and fjords.Págs. 53-58 en: Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. N. Silva & S.- Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional-Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 161 págs.

Silva, N. & S. Palma. 2008. The CIMAR Program in the austral Chilean channels and fjords. Págs. 11-15 en: Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. N. Silva & S.- Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional-Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 161 págs.

Silva, N. 2008.Dissolved oxygen, ph, and nutrients in the austral Chilean channels and fjords.Págs. 37-43 en: Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. N. Silva & S.- Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional-Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 161 págs.

Silva, N. 2008.Physical and chemical characterisitcs of the surface sediments in the austral Chilean channles and fjords.Págs.69- 75 en: Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. N. Silva & S.- Palma (eds.). Comité Oceanográfico Nacional- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 161 págs.

Silva, P. 2011. Fouling en redes y pinturas anti-incrustantes. Revista Salmón-Acuícola, 8(15): 124-127.

Simberloff, D. y T. Dayan. 1991. The guild concept and the structure of ecological communities. Ann. Rev. Ecol. Syst., 22: 115-143.

Soto, D., Arismendi, I., Gonzalez, J., Sanzana, J., Jara, F. & C. Jara. 2006. Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. Rev. Chil. Hist. Nat. 79: 97-117.

Soto, D., Jara, F. & Moreno, C. 2001.Escaped salmon in the Inner Seas, Southern Chile: facing ecological and Social Conflicts.Ecological Applications, 11(6): 1750-1762.

Soto, E., Báez, P., Ramírez, M. E., Letelier, S., Naretto, J. & A. Rebolledo.2012. Biotopos marinos intermareales entre Canal Trinidad y Canal Smyth, Sur de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 47 (2): 177-191.

Tarifeño S., E. 2012. Informe Científico sobre la Presencia del Mejillon, Mytilus galloprovincialis (Lamarck 1819) en las costas de Chile. Departamento de Zoología, Facultas de Ciencias Naturales y Oceanográficas. Universidad de Concepción, 1–48.

Telfer, T.C., Baird, D.J., McHenery, J.C., Stone, J., Sutherland, I., & Wislocki, P. 2006. Environmental effects of the anti-sea lice (Copepoda: Caligidae) terapupeutant emanectin benzoate under comercial use conditions in the marine environment. Aquaculture, 260 (2006): 163-180.

Terborghi, J. y S. Robinson.1986.Guilds and their utility in ecology, In: J. Kikkawa & D.J. Anderson. (Eds.), Community ecology: pattern and process. Blackwell Scientific Publications, Palo Alto, pp. 65-90.

Thatje, S. & E. Mutschke. 1999. Distribution of abundance, biomass, production and productivity of macrobenthos in the Subantarctic Magellan Province (South America). Polar Biology 22: 31-37.

Troell, M., C. Halling, A. Nilsson, A.H. Buschmann, N. Kautsky & L. Kautsky. 1997. Integrated marine cultivation of Gracilaria chilensis (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increasing economic output. Aquaculture, 156:45-61.

Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A., Kautsky, N. & L. Kautsky. 1997. Integrated marine cultivation of Gracilaria chilensis (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. Aquaculture 156 (1997): 45-61.

Vega, D. 2013. Uso de las concesiones Acuícolas de Mar en la Industria Salmonera en Chile. Sustainability, Agri, Food and Environmental research 2(1): 1-35.

Vidal, G., Toledo, M. S., Plencovich, M., Miranda, H., Aros, J. & M. Palma. 2006. Proyecto FIP N° 2003-20. Informe Final:"Evaluación de las metodologías y variables consideradas en la resolución Subpesca Nº 404/03 y propuesta de cambios". Tomo I. 217 pp. Tomo II Anexos. 540 pp.

Viviani, C. 1979. Ecogeografía del litoral chileno. Studies on Neotropical Fauna and Environment 14: 65-123.

Whitmarsh, D. J., E.J. Cook & K. D. Black. 2006. Searching for sustainability in aquaculture: an investigation into the economic

prospects for an integrated salmon-mussel production system. Marine Policy, 30: 293-298.

Wu, R. S. 1995. The environmental Impact of Marine Fish Culture: Towards a Sustainable Future. Marine pollution Bulletin, 31 (4-12): 159-166.

Yodzis, P. 1993. Environment and trophodiversity. In: R.E. Rickleffs & D. Schluter (Eds.), Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives. University Chicago Press, Chicago, Illinois, pp. 26-38

Zajac, R. 1991. Population ecology of Polydora ligni (Polychaeta: Spionidae). Seasonal variation in population characteristics and reproductive activity. Marine Ecology Progress Series, 77: 197-206.

Referencias de la sección: Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de las especies ícticas

Arismendi I, González J, Soto D, Penaluna B (2012) Piscivory and diet overlap between two non-native fishes in southern Chile. Austral Ecol 37:346–354

Arismendi I, Soto D, Penaluna B, Jara C, Leal C, Jorge León-Muñoz (2009) Aquaculture, non-native salmonid invasions and associated declines of native fishes in Northern Patagonian lakes. Freshwater Biology 54:1135-1147

Brodeur R, Daly E, Sturdevant M, Miller T, Moss J, *et al*. (2007) Regional comparisons of juvenile salmon feeding in coastal marine waters off the west coast of North America. American Fisheries Society Symposium 57:183–203

Buschmann A, Cabello F, Young K, Carvajal J, Varela D, Henríquez L (2009) Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. Ocean & Coastal Management 52:243-249

Buschmann AH, Riquelme VA, Hernandez-Gonzalez MC, Varela D, Jimenez JE, Henriquez LA *et al*. (2006) A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. ICES Journal of Marine Science 63: 1338–1345

Ciancio J, Beauchamp DA, Pascual M (2010) Marine effect of introduced salmonids: Prey consumption by exotic steelhead and anadromous brown trout in the Patagonian Continental Shelf. Limnology and Oceanography 55(5):2181-2192

Ciancio J, Pascual M, Botto F, Frere E, Iribarne O (2008) Trophic relationships of exotic anadromous salmonids in the southern Patagonian Shelf as inferred from stable isotopes. Limnology and Oceanography 53(2):788-798

Correa C, Bravo A, Hendry A (2012) Reciprocal trophic niche shifts in native and invasive fish: salmonids and galaxiids in Patagonian lakes. Freshwater Biology 57:1769-1781

Correa C, Hendry A (2012) Invasive salmonids and lake order interact in the decline of puye grande Galaxias platei in western Patagonia lakes. Ecological Applications 22(3):828-842

Cursach JA, Suazo CG, Rau JR, Tobar CN, Gantz A (2011) Ensamble de aves en una miticultura de Chiloé, sur de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 46(2):243-247.

Fernádez DA, Ciancio J, Ceballos S, Riva-Rossi C, Pascual M (2010) Chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha, Walbaum 1792) in the Beagle Channel, Tierra del Fuego: the onset of an invasion 12:2991-2997

Fortt A, Buschmann A (2007) Uso y abuso de antibióticos en la salmonicultura. Oceana Documento 23.

Fortt A, Cabello F, Buschmann A (2007) Residuos de tetraciclina y quinolonas en peces silvestres en una zona costera donde se desarrolla la acuicultura del salmón en Chile. Revista Chilena de Infectología 24(1):8-12

Goldburg R, Naylor RL (2005) Future seascapes, fishing, and fish farming. Frontiers in Ecology and Environment 3: 21-28.

Haugland M, Holst JC, Golm M, Hansen LP (2006) Feeding of Atlantic salmon (Salmo salar L.) post-smolts in the Northeast Atlantic.ICES Journal of Marine Science 63:1488-1500

Hüne M, Ojeda C (2012) Estructura del ensamble de peces costeros de los canales y fiordos de la zona central de la Patagonia chilena (48º-52ºS). Revista Biología Marina Oceanografía 47(3):451-460

Hüne M, Vega R (2015) Spatial variation in the diet of Patagonotothen tessellata (Pisces, Nototheniidae) from the fjord and channels of southern Chilean Patagonia. Polar Biology DOI: 10.1007/s00300-015-1726-8

Jacobsen JA, Hansen LP (2001) Feeding habits of wild and escaped farmed Atlantic salmon, Salmo salar L., in the Northeast Atlantic. ICES Journal of Marine Science 58:916-933

Juncos R, Beuachamp DA, Vigliano PH (2013) Modeling Prey Consumption by Native and Nonnative Piscivorous Fishes: Implications for Competition and Impacts on Shared Prey in an Ultraoligotrophic Lake in Patagonia. Transactions of the American Fisheries Society 142:268-281.

Juncos R, Milano D, Macchi PJ, Vigliano PH (2014) Niche segregation facilitates coexistence between native and introduced fishes in a deep Patagonian lake. Hydrobiologia DOI 10.1007/s10750-014-2122-z

Lattuca ME, Battini MA, Macchi PJ (2008) Trophic interactions among native and introduced fishes in a northern Patagonian oligotrophic lake. Journal of Fish Biology 72:1306-1320

Macchi P, Cussac VE, Alonso MF, Denegri MA (1999) Predation relationships between introduced salmonids and the native fish fauna in lakes and reservoirs in northern Patagonia. Ecology of Freswater Fish 8:227-236

Macchi P, Pascual M, Vigliano P (2007) Differential piscivory of the native Percichthys trucha and exotic salmonids upon the native forage fish Galaxias maculatus in Patagonian Andean lakes. Limnologia 37:76-87

Medina-Vogel G. 1989. Contribución a la ecología del pato quetru no volador (Tachyeres pteneres) y la relación de éste con la mitilicultura en Yaldad, Chiloé insular, 87 pp. Seminario de Título, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia

Murillo C, Oyarzún C (2002) Variación ontogenética en la dieta de Patagonotothen longipes (teindachner 1876) (Perciformes: Nototheniidae) en el fiordo de Castro, Chiloe. Gayana 66(2): 219-224

Naylor R, Hindar K, Fleming IA, Goldburg R (2005) Fugitive salmon: assessing the risks of escaped fish from net-pen aquaculture. Bioscience 55: 427–437

Niklitschek E, Soto D, Lafon A, Molinet C, Toledo P (2013) Southward expansion of the Chilean salmon industry in the Patagonian Fjords: main environmental challenges. Reviews in Aquaculture 5:172-195

Niklitschek EJ, Billy E, Barría C, Araya M, Toledo P (2011c) Cuantificar y estimar las tasas de consumo y posibles efectos tróficos producidos por la composición dietaria de los salmonídeos. En: Niklitschek EJ, Toledo P (eds) (2011) Evaluación cuantitativa del estado trófico de salmónidos de vida libre en el Fiordo Aysén, XI Región. Informe Final FIP 2008-30, pp. 6–96. Universidad Austral de Chile (Centro Trapanada), Coyhaique, Chile.

Niklitschek EJ, Hernandez E, Rubilar P, Oyarzún C, Toledo P, Araya M *et al*. (2011b) Fluctuación temporal de la estructura de edad, distribución de tallas, peso, sexo, IGS, índice de condición y composición de la dieta y relaciones tróficas de los salmonídeos de vida libre en el Fiordo Aysén. En: Niklitschek EJ, Toledo P (eds) (2011) Evaluación cuantitativa del estado trófico de salmónidos de vida libre en el Fiordo Aysén, XI Región. Informe Final FIP 2008-30, pp. 6–96. Universidad Austral de Chile (Centro Trapanada), Coyhaique, Chile.

Pascual MA, Cussac V, Dyer B, Soto D, Vigliano P, Ortubay S, Macchi P (2007) Freshwater fishes of Patagonia in the 21st Century after a hundred years of human settlement, species introductions, and environmental change. Aquatic Ecosystem Health & Management 10(2): 212-227

Pascual MA, Lancelotti JL, Ernst B, Ciancio JE, Aedo E, García-Asorey M (2009) Scale, connectivity, and incentives in the introduction and management of non-native species: the case of exotic salmonids in Patagonia. Frontiers in Ecology and the Environment 7: 533–540

Penaluna BE, Arismendi I, Soto D (2009) Evidence of interactive segregation between introduced trout and native fishes in Northern Patagonian rivers, Chile. Transactions of the American Fisheries Society 138:839-845

Sepúlveda F, Marín S, Carvajal J (2004) Metazoan parasites in wild fish and farmed salmon from aquaculture sites in southern Chile. Aquaculture 235:89-100

Sepúlveda M, Arismendi I, Soto D, Jara F, Farias F (2013) Escaped farmed salmon and trout in Chile: incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. Aquaculture Environmental Interactions 4:273-283

Sepulveda M, Farías F, Soto E (2009) Escapes de salmones en Chile. Eventos, impactos, mitigación y prevención. Valdivia, Chile: WWF.

Sievers H, Silva N (2006) Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. In: Silva N, Palma S (eds) Avances en el conocimiento de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a Cabo de Hornos. CONA, Valparaíso, pp 53-58

Silva N, Calvete C (2002) Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre golfo de Penas y el estrecho de Magallanes (Crucero CIMAR-Fiordo 2). Cienc Tecnol Mar 25(1):23–88

Simon K, Townsend C (2003) Impacts of freshwater invaders at different levels of ecological organisation, with emphasis on salmonids and ecosystem consequences. Freshwater Biology 48:982-994

Soto D, Arismendi I, González J, Sanzana J, Jara F, Jara C, Guzman E, Lara A (2006) Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. Revista Chilena de Historia Natural 79:97-117

Soto D, Jara F, Guerrero A, Godoy C, Avila X, Moreno C, Niklitschek EJ, Molinet C, Aedo JE (1997) Evaluación de salmónidos de vida libre

existentes en las aguas interiores de las regiones X y XI. Informe Final Proyecto FIP 9531, Puerto Montt, Chile: Universidad Austral de Chile

Soto D, Jara F, Moreno C (2001) Escaped salmon in the inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. Ecological Applications 11(6):1750-1762

Subpesca (2010) propuesta de modificación del D.S. (MINECON) Nº 3020 de 2001 Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA)

Townsend C (2003) Individual, population, community, and ecosystem consequences of a fish invader in New Zealand streams. Conservation Biology 17:38-47

Vigliano P, Beauchamp DA, Milano D *et al*. (2009) Quantifying Predation on Galaxiids and Other Native Organisms by Introduced Rainbow Trout in an Ultraoligotrophic Lake in Northern Patagonia, Argentina: a Bioenergetics Modeling Approach. Transactions of the American Fisheries Society 138:1405–1419

Young KA, Dunham JB, Stephenson JF, Terreau A, Thailly AF, Gajardo G, Garcia de Leaniz C (2010) A trial of two trouts: comparing the impacts of rainbow and brown trout on a native galaxiid. Animal Conservation 13:399-410.

Referencias de la sección: Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de aves

Acha EM, HW Mianzan, RA Guerrero, M Favero & J Bava. 2004. Marine fronts at the continental shelves of austral South America. Physical and ecological processes. Journal of Marine Systems 44: 83-105.

Ainley DG. 1980. Birds as marine organisms: a review. CalCOFI Report 21: 48-53.

Albarnaz JD, J Toso, AA. Corrêa, CMO Simoes & CRM Barardi. 2007. Relationship between the contamination of gulls (Larus dominicanus) and oysters (Crassostrea gigas) with Salmonella serovar Typhimurium by PCR-RFLP. International Journal of Environmental Health Research 17: 133 – 140

Alvarez R & M Navarro.2010.Las comunidades locales. En: Hucke-Gaete R, P Lo Moro & J Ruiz (eds). Conservando el mar de Chiloé, Palena y Guaitecas, pp. 65-123. Gobierno de Chile. Valdivia, Chile.

Andres BA, JA Johnson & J Valenzuela.2007. Whimbrels use novel high tide roosts during the contranuptial season in southern Chile. Wader Study Group Bulletin 112: 67-68

Andres BA, JA Johnson, J Valenzuela, RI Guy Morrison, LA Espinosa & RK Ross. 2009. Estimating Eastern Pacific Coast populations of whimbrels and Hudsonian godwits, with an emphasis on Chiloé Island, Chile. Waterbirds 32(2): 216-224

Beardmore JA, GC Mair & RI Lewis. 1997. Biodiversity in aquatic systems in relation to aquaculture. Aquaculture Research 28: 829–839

Belant JL, LA Tyson & PA Mastrangelo.2000.Effects of lethal control at aquaculture facilities on populations of piscivorous birds. Wildlife Society Bulletin 28(2): 379-384

Berejekian BA. 1995. The effects of hatchery and wild ancestry and experience on the relative ability of steelhead trout fry to avoid a benthic predator. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 52: 2476-2482

Beveridge MCM, LG Ross & LA Kelly. 1994. Aquaculture and biodiversity. Ambio 23: 497-502

Beveridge MCM. 1996. Cage aquaculture, 346 pp. Second edition.Fishing News Book, Oxford.

Beveridge MCM. 2001. Aquaculture and wildlife interactions. En: Uriarte A & B Basurco (eds). Environmental Impact Assessment of Mediterranean Aquaculture Farms, pp. 57–66. CIHEAM, Zaragoza, Spain.

Bjordal A & AB Skar. 1992. Tagging of saithe (Pollachius virens L.) at a Norwegian fish farm: preliminary results on migration, 7 pp. ICES Council Meeting Papers 1992(G:35).

Blackwell BF, RA Dolbeer & LA Tyson. 2000. Lethal control of piscivorous birds at aquaculture facilities in the northeast United States: effects on populations. North American Journal of Aquaculture 62: 300-307

Boyd IL, S Wanless & CJ Camphuysen. 2006. Introduction. En: Boyd IL, S Wanless & CJ Camphuysen (eds). Top predators in marine ecosystems.Their role in monitoring and management, pp. 1-10. Cambridge University Press, Cambridge.

Branco JO, JR Reuter-Braun & JR Verani.2001.Seasonal variation in the abundance of seabirds in areas of mariculture.Brazilian Archives of Biology and Technology 44: 395-399.

Buschmann AH, VA Riquelme, MC Hernández-González, D Varela, JE Jiménez, LA Henríquez, PA Vergara, R Guíñez & L Filún. 2006. A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. ICES Journal of Marine Science 63: 1338-1345.

Buschmann AH. 2001. Impacto ambiental de la acuicultura, el estado de la investigación en Chile y el mundo. Un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos, 67pp. Terram Publicaciones.

Butler DJ. 2003. Possible impacts of marine farming of mussels (Perna canaliculus) on king shags (Leucocarbo carunculatus), 29 pp. DOC Science Internal Series 111. Department of Conservation. Wellington, New Zealand.

Cabello FC. 2007. Acuicultura y salud pública. La expansión de la difilobotriasis en Chile y el mundo. Revista Médica de Chile 135: 1064-1071

Caldow RWG, HA Beadman, S McGrorty, MJ Kaiser, JD Goss-Custard, K Mould & A Wilson. 2003. Effects of intertidal mussel cultivation on bird assemblages. Marine Ecology Progress Series 259: 173–183

Camus PA. 2001. Biogeografía marina de Chile continental. Revista Chilena de Historia Natural 74: 587-617

Carss DN. 1990. Concentrations of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farm cages. Aquaculture 90: 29-40

Carss DN. 1993a. Shags Phalacrocorax aristotelis at cage fish farms in Argyll, western Scotland. Bird Study 40(3): 203-211

Carss DN. 1993b. Cormorants Phalacrocorax carbo at cage fish farms in Argyll, western Scotland. Seabird 15: 38-44

Carss DN. 1994. Killing of piscivorous birds at Scottish fin fish farms, 1984–1987. Biological Conservation 68: 181-188

Ciancio JE, MA Pascual, F Botto, E Frere & O Iribarne. 2008. Trophic relationships of exotic anadromous salmonids in the Southern Patagonian Shelf as inferred from stable isotopes. Limnology and Oceanography 53(2): 788-798

Claude M, J Oporto, C Ibáñez, L Brieva, C Espinosa & M Arqueros. 2000. La ineficiencia de la Salmonicultura en Chile: Aspectos sociales, económicos y ambientales, 72 pp. No. 1. Terram Publicaciones.

Clergeau P. 1997. 7-11. La gestion des oiseaux a risques. En: Clergeau P (ed). Oiseaux à risques en ville et en campagne: vers une gestion intégrée des populations?, pp. 7 – 11. Institut National de la Recherche Agronomique.

Comeau LA, P St-Onge, F Pernet & L Lanteigne. 2009. Deterring coastal birds from roosting on oyster culture gear in eastern New Brunswick, Canada. Aquacultural Engineering 40: 87–94

Connolly LM & MA Colwell. 2005. Comparative use of longline oysterbeds and adjacent tidal flats by waterbirds. Bird Conservation International 15: 237–255

Couve E & C Vidal. 2003. Birds of Patagonia, Tierra del Fuego & Antarctic Peninsula, 656 pp. Editorial Fantástico Sur Birding Ltda.

Cursach JA, CG Suazo, JR Rau, CN Tobar & A. Gantz. 2011. Ensamble de aves en una mitilicultura de Chiloé, sur de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 46: 243-247.

Cursach JA, JR Rau & CN Tobar. 2010. Aves en un humedal marino del sur de Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 45: 441-450

de Sá FS, RC Nalesso & K Paresque. 2007. Fouling organisms on Perna perna mussels: is it worth removing them?. Brazilian Journal of Oceanography 55: 155-161

Delgado C, M Sepúlveda & R Álvarez. 2010. Conservation Plan for migratory shorebirds in Chiloé. Executive Summary, 42 pp. Valdivia, July 2010.

Dempster T, P Sanchez-Jerez, J Bayle-Sempere & M Kingsford. 2004. Extensive aggregations of wild fish at coastal sea-cage fish farms. Hydrobiologia 525: 245-248

Dempster T, P Sanchez-Jerez, J Bayle-Sempere, F Giménez-Casalduero & C Valle. 2002. Attraction of wild fish to sea-cage fish farms in the south-western Mediterranean Sea: spatial and short-term temporal variability. Marine Ecology Progress Series 242: 237–252

Diana JS. 2009. Aquaculture production and biodiversity conservation. BioScience 59: 27-38

Dumbauld BR, JL Ruesink & SS Rumrill. 2009. The ecological role of bivalve shellfish aquaculture in the estuarine environment: a review with application to oyster and clam culture in West Coast (USA) estuaries. Aquaculture 290: 196–223

Dunthorn A. 1971. The predation of cultivated mussels by eiders.Bird Study 18: 107-112

Escapa M, JP Isacch, P Daleo, J Alberti, O Iribarne, M Borges, EP dos Santos, DA Gagliardini & M Lasta. 2004. The distribution and ecological effects of the introduced Pacific oyster, Crassostrea gigas (Thunberg, 1793) in northern Patagonia. Journal of Shellfish Research 23: 765–772

Eybert M-C, Y Geslin, S Questiau & E Feunteun.2003.Shorebird community variations indicative of a general perturbation in the Mont-Saint-Michel bay (France). Comptes Rendus Biologies 326 (Supplement 1): 140–147

FAO. 2014. The state of world fisheries and aquaculture 2014, 223 pp. Rome, FAO.

Fisher PR & LJ Boren. 2012. New Zealand king shag (Leucocarbo carunculatus) foraging distribution and use of mussel farms in Admiralty Bay, Marlborough Sounds. Notornis 59: 105-115

Forrest BM, NB Keeley, GA Hopkins, SC Webb & DM Clement. 2009. Bivalve aquaculture in estuaries: review and synthesis of oyster cultivation effects. Aquaculture 298: 1-15

Frere E, F Quintana & P Gandini. 2005. Cormoranes de la costa patagónica: estado poblacional, ecología y conservación. Hornero 20: 35–52

Frere E, PA Gandini & R Martínez Peck. 2000. Gaviota Cocinera (Larus dominicanus) como vector potencial de patógenos, en la costa patagónica. Hornero 15: 93-97

Furness B. 2000. How to keep Eider ducks off mussel farms. Shellfish News 10: 8-10

Galbraith CA. 1992. Mussel farms: their management alongside eider ducks, 22 pp. Scottish Natural Heritage, Edinburgh.

Gallardi D. 2014. Effects of bivalve aquaculture on the environment and their possible mitigation: A Review. Fisheries and Aquaculture Journal 5: 105 doi: 10.4172/2150-3508.1000105.

Gibbs MT. 2004.Interactions between bivalve shellfish farms and fishery resources. Aquaculture 240: 267–296

Glahn JF & AR Jr Stickley. 1995. Wintering double-crested cormorants in the delta region of Mississippi: population levels and their impact on the catfish industry. Colonial Waterbird 18(1): 137-142

Glahn JF, SJ Werner, T Hanson & CR Engle. 2003. Cormorant depredation losses and their prevention at catfish farms: economic considerations. En: Clark L (ed). Human conflicts with wildlife: economic considerations, pp. 138-146. Proceedings of the 3rd NWRC Special Symposium, National Wildlife Research Center, Fort Collins, CO, USA.

Grant J. 1996. The relationship of bioenergetics and the environment to the field growth of cultured bivalves. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 200: 239-256

Heubeck M & M Mellor. 2013. Recent changes in the status and distribution of moulting Common Eiders Somateria mollissima in Shetland. Seabird 26: 71–86

Hilgerloh G, J O' Halloran, TC Kelly & GM Burnell. 2001. A preliminary study on the effects of oyster culturing structures on birds in a sheltered Irish estuary. Hydrobiologia 465: 175–180

Hunt GL. 2001. Seabird overview. En: Steele J, SA Thorpe & KK Turekian (eds). Encyclopedia of Ocean Sciences, pp. 2655-2660. Academic Press.

IUCN. 2015. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. <www.iucnredlist.org>. Consultado el 09 de Abril, 2015.

Johnsson JI, J Höjesjö & IA Fleming. 2001. Behavioural and heart rate response to predation risk in wild and domesticated Atlantic salmon. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58: 788-794

Kaiser MJ, I Laing, SD Utting & GM Burnell. 1998. Environmental impacts of bivalve mariculture. Journal of Shellfish Research 17: 59–66.

Keeley N, B Forrest, G Hopking, P Gillespie, B Knight, S Webb, D Clement & J Gardner. 2009. Sustainable aquaculture in New Zealand: Review of the ecological effects of farming shellfish and other non-finfish species, 174 pp. Prepared for the Ministry of Fisheries, New Zealand. Cawthron Report No 1476.

Keller T, A Von Lindeiner & U Lanz. 1998. Cormorant management in Bavaria, Southern Germany – shooting as a proper management tool?. Cormorant Research Group Bulletin 3: 11-15

Kirk M, D Esler & S Boyd. 2007. Morphology and density of mussels on natural and aquaculture structure habitats: implications for sea duck predators. Marine Ecology Progress Series 346: 179-187

Krkosek M, MA Lewis & JP Volpe. 2005. Transmission dynamics of parasitic sea lice from farm to wild salmon. Proceedings of the Royal Society B 272: 689-696

Krkosek M, MA Lewis, A Morton, LN Frazer & JP Volpe. 2006. Epizootics of wild fish induced by farm fish. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 103(42): 15506–15510

La Sala LF, PF Petracci, V Randazzo & ME Fernández-Miyakawa. 2013. Enteric bacteria in Olrog's gull (Larus atlanticus) and Kelp gull (Larus dominicanus) from the Bahía Blanca estuary, Argentina. Hornero 28:59–64

Laird LM. 2001. Salmonid farming. En: Steele JH, SA Thorpe & KK Turekian (eds). Encyclopedia of Ocean Sciences, pp. 2482–2487. Academic Press, 1st edition.

Lekuona JM. 2002. Food intake, feeding behaviour and stock losses of cormorants, Phalacrocorax carbo, and grey herons, Ardea cinerea, at a fish farm in Arcachon Bay (Southwest France) during breeding and non-breeding season. Folia Zoologica 51(1): 23-34

Lloyd BD. 2003. Potential effects of mussel farming on New Zealand's marine mammals and seabirds: a discussion paper, 35 pp. Department of Conservation. Wellington, New Zealand.

McKindsey CW, T Landry, FX O'Beirn & IM Davies. 2007. Bivalve aquaculture and exotic species: a review of ecological and management issues. Journal of Shellfish Research 26: 281–294

McVicar AH. 1997. Disease and parasite implications of the coexistence of wild and cultured Atlantic salmon populations. ICES Journal of Marine Science 54: 1093-1103

Medina-Vogel G. 1989. Contribución a la ecología del pato quetru no volador (Tachyeres pteneres) y la relación de éste con la mitilicultura en Yaldad, Chiloé insular, 87 pp. Seminario de Título, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Millones A, E Frere & P Gandini. 2005. Dieta del cormorán gris (Phalacrocorax gaimardi) en la Ría Deseado, Santa Cruz, Argentina. Ornitología Neotropical 16: 519-527

Möller P, P Sánchez, J Bariles & A Muñoz-Pedreros. 2001. Cultivo de la ostra del Pacífico Crassostrea gigas: Una opción productiva para los pescadores artesanales en un humedal estuarino del Sur de Chile. Gestión Ambiental 7: 65-78.

Montevecchi WA & RA Myers. 1996. Dietary changes of seabirds indicate shifts in pelagic food webs. Sarsia 80:313-322.

Montevecchi WA. 2002. Interactions between fisheries and seabirds. En: Schreiber EA & J Burger (eds). Biology of Marine Birds, pp. 527-557. CRC Press, Boca Raton.

Morrisey DJ, RG Cole, NK Davey, SJ Handley, A Bradley, SN Brown & AL Madarasz. 2006. Abundance and diversity of fish on mussel farms in New Zealand. Aquaculture 252: 277– 288

Natural England. 2011. Reducing the impacts of fish-eating birds: the use of nets and wires, 6 pp. Natural England Technical Information Note TIN029

Oliva D, W Sielfeld, LR Durán, M Sepúlveda, MJ Pérez, L Rodríguez, W Stotz & V Araos. 2005. Interferencia de mamíferos marinos con actividades pesqueras y de acuicultura, 216 pp. Informe final, Proyecto FIP 2003-32.

Olmos V, J Aragoneses, JL Echevarrias & R Oltra. 2000. Composición de la dieta e impacto del Cormorán Grande (Phalacrocorax carbo sinensis) durante la invernada en las salinas de Santa Pola, Alicante, Este de España. Ardeola 47(2): 227-236

Price IM & JG Nickum. 1995. Aquaculture and birds: the context for controversy. Colonial Waterbirds 18(1): 33-45

Quick NJ, SJ Middlemas & JD Armstrong. 2004. A survey of antipredator controls at marine salmon farms in Scotland. Aquaculture 230: 169-180

Quintana F, F Morelli & Y Benedetti. 2002. Buceo eficiente en aguas poco profundas: comportamiento de buceo y patrón de alimentación del Cormorán Cuello Negro, Phalacrocorax magellanicus, en dos colonias de la costa patagónica. Ecología Austral 12: 19-28

Rodríguez F, J Moreno, R Ortega, C Mathieu, A García, F Cerda-Leal & D González-Acuña. 2012. Evidence for Kelp gulls (Larus dominicanus) and Franklin's gulls (Leucophaeus pipixcan) as carriers of Salmonella by real-time polymerase chain reaction. Journal of Wildlife Diseases 48: 1105–1108

Ross BP & RW Furness. 2000. Minimising the impact of eider ducks on mussel farming, 54 pp. University of Glasgow, Glaswog.

Ross BP, J Lien & RW Furness. 2001. Use of underwater playback to reduce the impact of eiders on mussel farms. ICES Journal of Marine Science 58: 517–524

Rottmann J. 1995. Guía de Identificación de aves de Ambientes Acuáticos, 80 pp. UNORCH, Santiago de Chile.

Roycroft D, T Kelly & L Lewis. 2004. Birds, seals and the suspension culture of mussels in Bantry Bay, a non-seaduck area in Southwest Ireland. Estuarine Coastal and Shelf Science 61: 703-712

Roycroft D, TC Kelly & LJ Lewis. 2007. Behavioural interactions of seabirds with suspended mussel longlines. Aqualculture International 15: 25-36.

Sapoznikow A & F Quintana. 2006. Patrón de presencia en la colonia del cormorán cuello negro (Phalacrocorax magellanicus): ¿una evidencia del uso de fuentes de alimento predecibles y de baja estacionalidad?. Ornitología Neotropical 17: 95–103

Schlatter RP & A Simeone. 1999. Estado del conocimiento y conservación de las aves en mares chilenos. Estudios Oceanológicos 18: 25-33.

Schlatter RP. 1984. The status and conservation of seabirds in Chile. En: Croxall JP, PGH Evans & RW Schreiber (eds). Status and conservation of the World's Seabirds.ICBP Technical Publication 2: 261-269

Sepúlveda M. 1998. Circaritmos de actividad del lobo marino común Otaria flavescens (Carnivora: Otariidae), y su relación con la salmonicultura en la Décima Región, Chile. Tesis de Licenciatura en Biología Marina. Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, Chile.

Sernapesca. 2013. Anuario Estadístico de Pesca 2013. Servicio Nacional de Pesca. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Valparaíso. <https://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=54&func=select&id=2>. Consultado vía Internet el 5 de abril de 2015.

Sernapesca. 2014. Informe: Actividades de fiscalización efectuadas en materia de pesca y acuicultura en el año 2013, 46 pp. Ministerios de Economía, Fomento y Turismo. Gobierno de Chile.

Shealer DA. 2002. Foraging behavior and food of seabirds. En: Schreiber EA & J Burger (eds), Biology of Marine Birds: 137-177. CRC Press, Boca Ratón.

Soto D, F Jara & C Moreno. 2001. Escaped salmon in the inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. Ecological Applications 11: 1750-1762

Souza-Conceição JM, MA Castro-Silva, GPCM Huergo, GS Soares, AC Marenzi, GC Manzoni. 2003. Associação da ictiofauna capturada através de rede de emalhe com o cultivo de mexilhões da enseada de Armação do Itapocoroy, em Penha (Santa Catarina-Brasil). Boletim do Instituto de Pesca 29: 117-121

Tobar C, A Arriagada, J Rau, J Cursach, C Suazo & R Márquez. 2011. Dieta del pato quetru no volador (Tachyeres pteneres) en isla Guapiquilán, Chiloé, sur de Chile. Boletín Chileno de Ornitología 17: 103-108.

Torres P, A Contreras, V Cubillos, W Gesche, C Rebolledo, A Montefusco, C Rebolledo, A Mira, J Arenas, JC Miranda, S Asenjo & R Schlatter. 1992. Parasitismo en peces, aves piscívoras y comunidades humanas ribereñas de los lagos Yelcho y Tagua-Tagua, X Región de Chile. Archivos de Medicina Veterinaria 24: 77-92

Torres P, E Ruíz, W Gesche & A Montefusco. 1991. Gastrointestinal helminths of fish-eating birds from Chiloe island, Chile. Journal of Wildlife Diseases 27: 178-179

Torres P, V Cubillos, E Aedo, R Silva, O Garrido & JE Aedo. 1995. Prevalencia y aspectos patológicos de la difilobotriasis en salmones de retorno,

Oncorhynchus kisutch, de Coyhaique, X Región de Chile. Archivos de Medicina Veterinaria 27: 107-114

Torres P, V Cubillos, W Gesche, C Rebolledo, A Montefusco, JC Miranda, J Arenas, A Mira, M Nilo & C Abello. 1991. Difilobotriasis en salmónidos introducidos en lagos del sur de Chile: Aspectos patológicos, relación con infección humana, animales domésticos y aves piscívoras. Archivos de Medicina Veterinaria 23: 165-83

Uriarte I. 2008. Estado actual del cultivo de moluscos bivalvos en Chile. En: Lovatelli A, A Farías & I Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina, pp. 61-75. Taller técnico regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO.

Valenzuela CE. 1999. Evaluación de la mortalidad en Salmón Coho (Oncorhynchus kisutch) durante los primeros seis meses en la fase de engorda. Tesis de Grado para optar al Grado de Licenciado en Medicina Veterinaria, 36 pp. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Veterinarias, Instituto de Patología Animal, Ictiopatología.

Varennes E, SA Hanssen, J Bonardelli & M Guillemette. 2013. Sea duck predation in mussel farms: the best nets for excluding common eiders safely and efficiently. Aquaculture Environment Interactions 4: 31-39

Victoriano PF, AL González & R Schlatter. 2006. Estado de conocimiento de las aves de aguas continentales de Chile. Gayana 70: 140-162.

Vilata J, D Oliva & M Sepúlveda. 2010. The predation of farmed salmon by South American sea lions (Otaria flavescens) in southern Chile. ICES Journal of Marine Science 67: 475-482

Werner SJ & BS Dorr. 2006. Influence of fish stocking density on the foraging behavior of double-crested cormorants, Phalacrocorax auritus. Journal of the World Aquaculture Society 37(1): 121-125

Whoriskey FG, P Brooking, G Doucette, S Tinker & JW Carr. 2006. Movements and survival of sonically tagged farmed Atlantic salmon released in Cobscook Bay, Maine,USA. ICES Journal of Marine Science 63: 1218-1223

Wires LR, DN Carss, FJ Cuthbert & JJ Hatch. 2003. Transcontinental connections in relation to cormorant-fisheries conflicts: perceptions and realities of a "bête noire" (black beast) on both sides of the Atlantic. Vogelwelt 124: 389-400

Žydelis R, D Esler, M Kirk & WS Boyd. 2009. Effects of off-bottom shellfish aquaculture on winter habitat use by molluscivorous sea ducks. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 19: 34-42

Referencias de la sección: Efectos de la producción acuícola en la biodiversidad de mamíferos marinos

Aguayo-Lobo A, D Torres, J Acevedo. 1998. Los mamíferos marinos de Chile: 1. Cetacea. Serie Científica INACH 48: 142.

Arismendi I, BE Penaluna, JB Dunham, CG de Leaniz, D Soto, IA Fleming *et al*. 2014. Differential invasion success of salmonids in southern Chile: patterns and hypotheses. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 24: 919-941.

Brandt MJ, C Höschle, A Diederichs, K Betke, R Matuschek, S Witte, G Nehls. 2013. Far-reaching effects of a seal scarer on harbour porpoises, Phocoena phocoena. Aquat.Conserv. 23: 222–232.

Buschmann AH, F Cabello, K Young, J Carvajal, DA Varela, L Henríquez.2009. Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. Ocean & Coastal Management 52: 243–249.

Calambokidis J, SJ Jeffries, H Huber, G Steiger, J Evenson. 1991. Censuses and disturbance of harbor seals at Woodward Bay and recommendations for protection. Final report prepared for Washington Department of Natural Resources, Olympia, Washington by Cascadia Research Collective, Olympia, Washington and Washington Department of Wildlife.

Cassini MH, MA Sepúlveda. 2006. El Huillín Lontra provocax: investigaciones sobre una nutria patagónica en peligro de extinción. Serie Fauna Neotropical, 1: 162.

Ciancio JE, MA Pascual, F Botto, E Frere, O Iribarne. 2008. Trophic relationships of exotic anadromous salmonids in the southern Patagonian Shelf as inferred from stable isotopes. Limnology and Oceanography 53: 788–798.

Claude M, JA Oporto, C Ibañez, L Brieva, PC espinoza, WM Arqueros. 2000. La ineficiencia de la salmonicultura en Chile: aspectos sociales, económicos y ambientales. Santiago: Terram publicaciones.

Connor RC, RS Wells, J Mann, AJ Read. 2000. The bottlenose dolphin: social relationships in a fission-fusion society. In: Mann J, Connor R, Tyack PL, Whitehead H (eds) Cetacean societies: field studies of dolphins and whales. University of Chicago Press, Chicago, pp 91–126.

Crovetto A, G Medina. 1991. Comportment du dauphin chilien (Cephalorhynchus eutropia, Gray 1846) dans les eaux du sud du Chile. Mammalia 55: 329-338.

Delgado-Rodríguez C, R Álvarez, AM Pfeifer. 2006. Sea cat Project II. Assessment of the Population Density and Conservation Status of Sea Cat (Lontra felina) in the 10th Region of South Chile.

Díaz-López B, M Bunke, JA Bernal Shirai. 2008. Marine aquaculture off Sardinia Island (Italy): ecosystem effects evaluated through a trophic mass-balance model. Ecological Modelling 212: 292–303.

Díaz-López B. 2012. Bottlenose dolphins and aquaculture: interaction and site fidelity on the north-eastern coast of Sardinia (Italy). Marine Biology. 159 (10): 2161 - 2172.

Dierauf L, FMD Gulland. 2001. CRC Handbook of Marine Mammal Medicine. CRC Press: Boca Raton, FL.

Fortt A, F Cabello, A Buschmann. 1997. Residuos de tetraciclina y quinilona en peces silvestres en una zona costera donde se desarrolla la acuicultura del salmón en Chile. Revista chilena de infectología 24: 14–18.

Franco M, G Guevara, L Correa, M Soto-Gamboa. 2013. Trophic interactions of the endangered Southern river otter (Lontra provocax) in a Chilean Ramsar wetland inferred from prey sampling, fecal analysis, and stable isotopes. Naturwissenschaften, 100(4): 299-310.

González RR. P Ruiz, A Llanos-Rivera, F Cruzat, J Silva, A Astuya, M Grandón, D Jara, C Aburto. 2011. ISA virus outside the cage: Ichthyofauna and other possible reservoirs to be considered for marine biosafety management in the far-southern ecosystems of Chile. Aquaculture 318: 37–42.

Gordon J, S Northridge. 2002. Potential impacts of acoustic deterrent devices on Scottish marine wildlife. Scottish Natural Heritage Commissioned, Report F01AA404.

Hastie G, B Wilson, H Tuff, M Thompson. 2003. Bottlenose dolphins increase breathing synchrony in response to boat traffic. Marine Mammal Science 19: 74-84.

Haya K, L Burridge, B Chang. 2002. Environmental impact of chemical wastes produced by salmon aquaculture industry. ICES Journal of Marine Science 58: 492-496.

Heinrich S. 2006. Ecology of Chilean dolphins and Peale's dolphins at Isla Chiloé, southern Chile.Ph. D Thesis, University of St Andrews.Accessed 17 March 2014.

Hucke-Gaete R, L Osman, C Moreno, K Findlay, D Ljungblad. 2004. Discovery of a blue whale feeding and nursing ground in southern Chile. Proceedings of the Royal Society of London 271: 170-173.

Jefferson T, M Webber, R Pitman. 2008. Marine mammals of Olavarría C, J Acevedo, H Vester, J Zamorano-Abramson, F Viddi, J Gibbons, E Newcombe, J Capella, R Hoelzel, M Flores, R Hucke-Gaete & J Torres-Flórez. 2010. Southernmost Distribution of Common Bottlenose Dolphins (Tursiops truncatus) in the Eastern South Pacific. Aquatic Mammals 36: 288-293.

Jensen Ø, T Dempster, EB Thorstad, I Uglem, A Fredheim. 2010. Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences and prevention. Aquaculture and Environmental Interactions 1: 71–83.

Johnson A, A Acevedo-Gutiérrez. 2007. Regulation compliance by vessels and disturbance of harbour seals (Phoca vitulina). Canadian Journal of Zoology 85: 290–294.

Kemper C, S Gibbs. 2001. Cetacean interactions with tuna feedlots at Port Lincoln, South Australia and recommendations for minimizing entanglements. Journal of Cetacean Research and Management 3: 283-392

Kemper CM, D Pemberton, M Cawthorn, S Heinrich, J Mann, B Würsig, P Shaughnessy, R Gales. 2003. Aquaculture and marine mammals: co-existence of conflict? In: Gales N, Hindell, M., Kirkwood, R. (Eds.), Marine Mammals: Fisheries, Tourism and Management Issues. CSIRO Publishing, Collingwood, Vic., Australia, pp. 208–225.

Lemon M, P Lynch, D Cato, R Harcourt 2005.Response of travelling bottlenose dolphin (Tursiops aduncus) to experimental approaches by a powerboat in Jervis Bay, New South Wales, Australia.Biological Conservation 127:363-372.

León-Muñoz J, D Tecklin, A Farías, S Díaz. 2007. Salmonicultura en los Lagos del Sur de Chile-Ecorregión Valdiviana. Historia, tendencias e impactos mediambientales Sociedad Chilena de Limnología, 40.

Lindemann KL, RC Kastak, RJ Schusterman. 2006. The role of learning in the production and comprehension of auditory signals by pinnipeds. Aquatic Mammals 32: 483–490.

Lusseau D 2005. Residency pattern of botllenose dolphins Tursiops spp in Milford Sound, New Zealand is related to boat traffic. Marine Ecology-Progess Series 295: 265-272.

Mann J., Connor, R. C., Barre, L. M., and Heithaus, M. R. 2000. Female reproductive success in wild bottlenose dolphins (Tursiops sp.): life history, habitat, provisioning, and group size effects. Behavioral Ecology 11, 210–219.

Markowitz T, A Harling, B Wursig and C McFadden. 2004. Dusky dolphin foraging habitat: overlap with aquaculture in New Zealand. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem 14: 133-149.

Medina-Vogel G, C González-Lagos. 2008. Habitat use and diet of endangered southern river otter Lontra provocax in a predominantly palustrine wetland in Chile. Wildlife Biology, 14: 211-220.

Miranda C, R Zemelman 2002. Bacterial resistence to oxztetracucline in Chilean salmon farming.Aquaculture 212: 31-47.

Mirto S, T La Rosa, R Danovaro, A Mazzola. 2000. Microbial and meiofaunal response to intense mussel-farm biodeposition in coastal sediments of the western Mediterranean. Marine Pollution Bulletin 40: 244-252.

Morton AB, HK Symonds. 2002. Displacement of Orcinus orca by high amplitude sound in British Columbia. Canada. ICES J. Mar. Sci. 59: 71–80.

Muñoz L, G Pavez, R Quiñones, D Oliva, M Santos, M Sepúlveda. 2013. Latitudinal variation in the diet of the South American sea lion revealed by stable isotopes. Revista de Biología Marina y Oceanografía 48(3): 613-622.

Nelson ML, JR Gilbert, KJ Boyle. 2006. The influence of sitting and deterring methods on seal predation at Atlantic salmon (Salmo salar) farms in Maine, 2001–2003. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 63: 1710–1721.

Niklitschek EJ, D Soto, A Lafon, C Molinet, P Toledo. 2013. Southward expansion of the Chilean salmon industry in the Patagonian Fjords: main environmental challenges. Reviews in Aquaculture 4: 1–24.

Olesiuk, P.F., Nichol, L.M., Sowden, M.J., Ford, J.K.B., 2002. Effect of the sound generated by an acoustic harassment device on the relative abundance and distribution of harbor porpoises (Phocoena phocoena) in retreat passage, British Columbia.Mar.Mammal.Sci. 18, 843–862.

Oliva D, LR Durán, M Sepúlveda, W Sielfeld, R Moraga, G Pavez & L Muñoz. 2012. Cuantificación poblacional de lobos marinos en las Regiones X y XI y propuesta de escenarios de manejo. Informe Final Proyecto FAP ID 4728-46-LP11: 1-135.

Oliva D, W Sielfeld, LR Durán, M Sepúlveda, MJ Pérez, L Rodríguez, W Stotz, V Araos. 2003. Interferencia de mamiferos marinos con actividades pesqueras y de acuicultura.Proyecto FIP 2003-32.

Oporto J, M Brieva 1990. Interacción entre la pesquería artesanal y pequeños cetáceos en la localidad de Queule, Chile. Pages 197-204 in 4. Reunión de Trabajo de Especialistas en Mamíferos Acuáticos de América del Sur, Valdivia, Chile.

Oporto J. J Leal. 1991. Assessment of economical impact caused by pinniped in salmon farm of Southern Chile. Report on the Benguela Ecology Programme workshop on seal- fisshery biological interactions, University of Cape Town. Working paper BEP/SW91/G8,5pp.

Pavez G, L Muñoz, F Barilari, M Sepúlveda. 2015. Variation in behavioral responses of the South American sea lion to tourism disturbance: implications for tourism management. Marine Mammal Science.doi: 10.1111/mms.12159

Pemberton D, PD Shaughnessy. 1993. Interaction between seals and marine fish-farms in Tasmania, and management of the problem. Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems, 3:149-158.

Pérez-Alvarez MJ, C Olavarria, R Moraga, CS Baker, R Hamner, E Poulin. Microsatellite markers reveal strong genetic structure in the endemic Chilean dolphin. PLos One 2015.Accepted.

Quick NJ, SJ Middlemas SJ, JD Armstrong. 2004. A survey of antipredator controls at marine salmon farms in Scotland. Aquaculture 230: 169–180.

Ribeiro S, F Viddi, T Freitas. 2005. Behavioural Responses od Chilean Dolphins (Cephalorhynchus eutropia) to boats in Yaldad Bay, Southern Chile. Aquatic Mammals 31: 234-242.

Ribeiro S, FA Viddi, JL Cordeiro, & TRO Freitas.2007.Fine-scale habitat selection of Chilean dolphins (Cephalorhynchus eutropia): interactions

with aquaculture activities in southern Chiloé island, Chile. Journal of Marine Biological Association 87:119-128.

Saavedra B, JA Simonetti, KH Redford. 2011. Chapter 14: Private Conservation, the example that the Wildlife Conservation Society builds from tierra del Fuego. Biodiversity Conservation in the Americas: Lessons and Policy Recommendations: 357-391.

Schakner ZA, DT Blumstein. 2013. Behavioral biology of marine mammal deterrents: a review and prospectus. Biological Conservation 167: 380-389.

Schusterman RJ, RC Kastak, D Kastak. 2003. Equivalence classification as an approach to social knowledge: from sea lions to simians. In Animal Social Complexity: Intelligence, Culture, and Individualized Societies, pp. 179–206. Ed. by F. B. M. de Waal, and P. L. Tyack.Harvard University Press, Cambridge, MA.

Sepúlveda M, D Oliva. 2005. Interactions between South American sea lions Otaria flavescens (Shaw) and salmon farms in southern Chile. Aquaculture Research 36: 1062-1068.

Sepúlveda M, I Arismendi, D Soto, F Jara, F Farías. 2013. Escaped farmed salmon and trout in Chile: incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. Aquaculture Environment Interactions 4:273-283.

Sielfeld W, JC Castilla. 1999. Estado de conservación y conocimiento de las nutrias en Chile. Estudios Oceanológicos 18: 69-79.

Silva CA, B Saavedra. 2008. Knowing for controlling: ecological effects of invasive vertebrates in Tierra del Fuego. Revista Chilena de Historia Natural, 81(1): 123-136.

Soto D, F Jara, C Moreno. 2001. Escaped salmon in the inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. Ecological Applications 11: 1750–1762.

Soto D, I Arismendi, J González, J Sanzana *et al*. 2006. Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. Revista Chilena de Historia Natural 79: 91–117.

Thorstad EB, IA Fleming, P McGinnity, D Soto, V Wennevik, F Whoriskey. 2008. Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon Salmo salar in nature. Spec Rep 36. Norwegian Institute for Nature Research,Trondheim.

Vila I, L Fuentes, M Saavedra. 1999. Ictiofauna en los sistemas límnicos de la Isla Grande, Tierra del Fuego, Chile. Revista Chilena de Historia Natural 72: 273-284.

Vilata J, D Oliva, M Sepúlveda. 2010. The predation of farmed salmon by South American sea lions (Otaria flavescens) in southern Chile. ICES Journal of Marine Science 67(3): 475-482.

Vilata J. 2008. Predation of farmed salmon by Southern sea lion (Otaria flavescens Shaw 1800) in Chile. MsC Thesis, University of Aberdeen.

Visión Oceánica. 2015. Plan de pruebas para la disuasión de lobo marino en su interacción operacional con la pesca artesanal en la comuna de San Antonio, Región de Valparaíso. Proyecto N° 4728-119-LE13, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. 111 pp.

Wilson S. 2011. The impact of human disturbance at seal haul-outs.A literature review for the Seal Conservation Society.

Würsig B, GA Gailey. 2002. Marine mammals and aquaculture: conflicts and potential resolutions. Responsible Marine Aquaculture. CAP International Press, New York, 45-59.

9. GLOSARIO

Término	Definición
Biodiversidad o diversidad biológica	variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (Convenio sobre la biodiversidad biológica, 1992)
Contaminante	Sustancia que se encuentra en un medio al cual no pertenece o que estando presente naturalmente,se incrementa de forma anómala a niveles que pueden causar efectos adversos para la salud o el medio ambiente (modificado de Peñaloza 2012).
Disponibilidad a Pagar (DAP)	Es un concepto economía ambiental que refleja la máxima cantidad de dinero que pagaría un individuo por cambios en la calidad ambiental. La determinación de la DAP se hace generalmente mediante encuestas con la población objetivo y constituye el obejtivo principal de la valoración contingente (Riera 1994).
Ecosistemas marinos vulnerables	Son unidades naturales conformadas por estructuras geológicas frágiles, poblaciones o comunidades de invertebrados de baja productividad biológica, que ante perturbaciones antrópicas son de lenta o escasa recuperación, tales como en montes submarinos, fuentes hidrotermales, formaciones coralinas de agua fría o cañones submarinos (SUBPESCA - en www.subpesca.cl - Inicio > Áreas y zonificaciones > Ecosistemas Marinos Vulnerables).
Efecto	En el presente estudio el concepto “efecto” se utiliza para denotar cualquier acción transformadora (o cambio) ocasionada directa o indirectamente por las actividades acuícolas en la biodiversidad, sea perjudicial o beneficiosa (modificado de la RAE).
Efecto alelopático	Es un fenómeno biológico por el cual un organismo produce uno o más compuestos bioquímicos que influyen en el crecimiento, supervivencia o reproducción de otros organismos. Estos compuestos son conocidos como alelo químicos y pueden conllevar a efectos benéficos (alelopatía positiva) o efectos perjudiciales (alelopatía negativa) a los organismos receptores (Modificado de Yaysis 2006).
Especie alóctona	Especie que se encuentra fuera de su área de distribución natural o de potencial dispersión, suponiéndose por ello algún tipo de intervención humana que se traduceen su traslado a través de una determinada

	barrera biogeográfica (GAE- SEO/BirdLife. 2006).
Especie exótica	Sinónimo de alóctona (GAE- SEO/BirdLife. 2006).
Especie invasora:	Una especie naturalizada se considera invasora cuando prolifera y se extiende más allá de determinados límites, induciendo con ello cambios que amenazan a los ecosistemas, los hábitats o las especies (GAE- SEO/BirdLife. 2006).
Especie oportunista	Son organismos con la capacidad de adaptarse a variadas condiciones de vida, este tipo de especies no depende de un hábitat particular y puede colonizar una amplia variedad de entornos.Esta versatilidad permite a estas especies resistir mejor las modificaciones antrópicas y colonizar ambientes artificiales.
Especie sucedánea	Son aquellas especies que resultan ideales para estimar cambios o atributos ecológicos de algún componente de la biodiversidad del sistema donde habitan. Las diferentes categorías de especies sucedáneas cumplen diferentes funciones tales como: i) señalar cambios ambientales causados por la actividad humana, ii) señalar cambios poblacionales de especies particulares, iii) identificar áreas con una alta riqueza de especies,iv) identificar áreas prioritarias para la conservación y v) atraer la atención pública o el apoyo para el desarrollo de programas de conservación (Isasi-Catalá 2010).
Especie tolerante	Organismos asociados frecuentemente a algún tipo de contaminante, generalmente capaces de sobrevivir bajo la presencia de estos (Martin and Gower 1996).
Especie indicadora	Es aquella que por sus características (sensibilidad a perturbación o contaminantes, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) puede ser utilizada como estimadora de los atributos o estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente (Isasi-Catalá 2010).
Especie sensible	Organismo que no se encuentraasociado a, incluso, niveles moderados de contaminantes, y son generalmenteintolerantesa la presencia de estos (Isasi-Catalá 2010).
Impacto:	En el presente documento, se entiende como impacto a los beneficios netos que se buscan con la producción acuícola, estos son, por lo general, consistentes con la misión y los objetivos de los gestores del proyecto, pero a su vez son también los perjuicios derivados de

	resultados no esperados de la producción (modificado de RAE).
Interacción	En el documento se refiere a “interacción” como la acción, relación o influencia recíproca entre la actividad acuícola y algún componente de la biodiversidad (modificado de RAE).
Medidas de compensación	Las medidas de compensación tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado, que no sea posible mitigar o reparar. Dichas medidas incluirán, entre otras, la sustitución de los recursos naturales o elementos del medio ambiente afectados por otros de similares características, clase, naturaleza, calidad y función.
Medidas de mitigación	Las medidas de mitigación tienen por finalidad evitar o disminuir los efectos adversos del proyecto o actividad, cualquiera sea su fase de ejecución
Medidas de reparación	Las medidas de reparación tienen por finalidad reponer uno o más de los componentes o elementos del medio ambiente a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al impacto sobre dicho componente o elemento o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas.
Valor Económico Total (VET)	El valor económico total de un recurso natural es una expresión monetaria de los beneficios que dicho recurso genera para la sociedad. Este valor no necesariamente está ligado al uso, sino que también está basado en motivos: altruistas, éticos, estéticos morales y espirituales. Por tanto, el valor económico total de un recurso natural está compuesto por valores de uso y de no uso, más el valor de opción asociado.
Valoración contingente (VC)	El método de Valoración Contingente revela las preferencias de los individuos a partir de una elección condicional, o contingente, a través de escenarios de valoración claramente descrito en los formatos de las encuestas.

ANEXO 1. INFORME DE ACTIVIDADES DE TERRENO

ANEXO 1

INFORME DE ACTIVIDADES DE TERRENO

Reuniones y talleres				
N° Actividad	Fecha		Actividad	Localidad
	Inicio	Término		
1	10/02/2015	10/02/2015	1	Valparaíso
2	15/04/2015	16/04/2015	2	Valparaíso
3	23/02/2015	23/02/2015	1	Valparaíso
4	22/07/2015	22/07/2015	1	Valparaíso
5	17/08/2016	17/08/2016	2	Valparaíso
Aplicación plan de monitoreo piloto				
N° Actividad	Fecha		Actividad	Localidad
	Inicio	Término		
5	22/09/2015	26/09/2015	3	Isla Imelev, Comuna de Achao. Región de Los Lagos
6	27/09/2015	29/09/2015	3	Isla Chaulinec, Comuna de Achao. Región de Los Lagos
7	30/09/2015	30/09/2015	3	Isla Chaullín, Comuna de Quellón. Región de Los Lagos
8	19/10/2015	22/10/2015	3	Isla Chaullín, Comuna de Quellón. Región de Los Lagos
9	23/10/2015	25/10/2015	3	Isla Tranqui, Comuna de Queilen. Región de Los Lagos

1 Reuniones de coordinación SSPA

2 Talleres de trabajo

3 Aplicación monitoreo piloto

4 Talleres de entrega de resultados

ANEXO 2. PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

ANEXO 2

PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

El equipo de trabajo del proyecto está conformado por personal de Ecos y la participación de asesores expertos.

La mayor parte del equipo está compuesto por profesionales que cuentan con una amplia experiencia en ámbitos de biodiversidad marina y continental, el cual se complementa con profesionales de apoyo a la búsqueda y sistematización de la información existente.

Al momento de iniciarse el proyecto, los profesionales con labores de apoyo a la sistematización bibliográfica Boris Gallardo, Ilia Cari, Franco Salas y Eduardo Fredes, no tuvieron disponibilidad para asumir en forma completa las labores asignadas en la propuesta. Considerando que los profesionales tienen una formación en el área marina, se cubrieron estas ausencias con los profesionales indicados entre los números 18 y 22 (tabla B1), los cuales presentan competencias similares o superiores. Además, como apoyo a las actividades de terreno, se incorporó a José Saavedra, biólogo marino con experiencia superior a 4 años en trabajo de terreno y laboratorio, asociado a evaluaciones de impacto ambiental.

En la tabla B1, se muestran las horas utilizadas por cada uno de los integrantes del equipo de trabajo respecto del total de horas comprometidas. En la tabla B2 se presenta el detalle de horas por actividad e integrante.

Tabla B1. Resumen de las horas utilizadas por cada integrante del grupo de trabajo respecto del total de horas comprometidas.

N°	Nombre	Categoría Profesional	Cargo	Horas comprometidas totales	Horas Actividades realizadas
1	Felipe Thomas	Biólogo Marino, Magister en Gestión de Recursos Acuáticos	Jefe de proyecto	300	444
2	Miguel Espíndola	Lic. Biología Marina	Investigador principal	80	436
3	Alonso Vega	Biólogo Marino, Doctor en Ciencias del Mar (C)	Especialista en macroalgas	120	148
4	Luis Cabezas	Biologo Marino, Doctor en Ciencias (C)	Especialista en aves	120	148
5	Mathías Hüne	Biologo Marino, Magister en Ciencias	Especialista en peces	120	148
6	Sergio Avaria	Biologo Marino	Especialista en plancton	120	148
7	Pedro báez	Lic. Biología marina, Doctor en Ciencias	Especialista en bentos	120	148
8	Sergio Letelier	Lic Biología y Ciencias, Doctor Biología	Especialista en bentos	120	148
9	Maritza Sepúlveda	Biologo Marino, Doctor en Ciencias	Especialista en mamíferos marinos	120	148
10	Mauricio Valenzuela	Biólogo Marino	Recopilación bibliográfica y monitoreo piloto	320	408
11	David Cassis	Biólogo Marino, Doctor en oceanografía biológica	Recopilación bibliográfica	320	320
12	Andrea Rebolledo	Biologa Marina	Recopilación Bibliográfica	320	320
13	Alejandra Fabres	Biologa Marina	Recopilación Bibliográfica	320	320
14	María José Pérez	Bióloga Marina, Doctora en ciencias	Recopilación Bibliográfica	0	252
15	Gonzalo olea	Lic. Biología Marina	Recopilación Bibliográfica	320	320
16	Gonzalo Araya	Lic. Biología Marina	Recopilación Bibliográfica	320	320
17	David Gutierrez	Biólogo Marino	Recopilación Bibliográfica y monitoreo piloto	320	348
18	Víctor Gudiño	Biólogo Marino, Magister en Gestión Ambiental (C)	Plan de Monitoreo, protocolo de monitoreo y costos de implementación	560	554
19	José Saavedra	Biólogo Marino	Apoyo de terreno	0	208
20	Gabriel Rojas	Biólogo Marino, Magister Geografía (C)	Encargado S.I.G.	300	300
21	Exequiel González	Economista Pesquero, Doctor en economía pesquera	Encargado de propuestas de mitigación, reparación y compensación	120	212
22	Heidi Herrera	Psicologa, Magister en psicología social (C)	Facilitadora Talleres	90	172
23	César Fierro	Cientista político, Experiencia en administración de empresas y proyectos	Administrativo	300	120

Tabla B2. Detalle de horas utilizadas por actividad e integrante.

		ACTIVIDADES						
	PERSONAL	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	**TOTAL**
1	Felipe Thomas	48	80	116			200	**444**
2	Cesar Fierro	8		80			32	**120**
3	Miguel Espíndola	16	24	68	128		200	**436**
4	Gonzalo olea		180				140	**320**
5	David Gutierrez		180		128		40	**348**
6	Gonzalo Araya		180				140	**320**
7	Víctor Gudiño		40	36	128		350	**554**
8	Gabriel Rojas		180				120	**300**
9	Alonso Vega		100	16			32	**148**
10	Heidi Herrera			92			80	**172**
11	Exequiel González		16	36			160	**212**
12	Luis Cabezas		100	16			32	**148**
13	Mathías Hüne		100	16			32	**148**
14	Sergio Avaria		100	16			32	**148**
15	Pedro báez		100	16			32	**148**
16	Sergio Letelier		100	16			32	**148**
17	Maritza Sepúlveda		100	16			32	**148**
18	Mauricio Valenzuela		180	40	128		60	**408**
19	David Cassis		180	40			100	**320**
20	Andrea Rebolledo		180	40			100	**320**
21	Alejandra Fabres		180	40			100	**320**
22	María José Pérez		180	40			32	**252**
23	José Saavedra				128		80	**208**
	TOTAL	**72**	**2480**	**740**	**640**	**0**	**2158**	**6090**

ACTIVIDADES (A)

1 Reuniones de coordinación SSPA
2 Revisión bibliográfica
3 Talleres de trabajo
4 Aplicación monitoreo piloto
5 Talleres de entrega de resultados
6 Elaboración de informes

ANEXO 3. CUMPLIMIENTO CALENDARIO DE ACTIVIDADES

A continuación, se presenta la carta Gantt propuesta. Para efectuar la lectura de ella se debe considerar la fecha de inicio el 27/02/2015. Se debe considerar también que el informe de avance número 2, estaba calendarizado para el 27/09/2015 y fue prorrogado para la fecha del 27/11/2015, desplazando también la entrega del Preinforme final al 27/01/2016.

ACTIVIDAD	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8			
Etapa 1.- Coordinación y validación plan de trabajo	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32
Primera Reunión de coordinación																																
Segunda Reunión de coordinación (consensuar plan de monitoreo)																																
Tercera Reunión de coordinación																																
Cuarta Reunión de coordinación																																
Etapa 2.- Trabajo de Gabinete																																
Obj Esp 3.1 - Revisión bibliográfica																																
Etapa 3.- Talleres especialistas																																
Obj Esp 3.2 - Taller de análisis general de información recopilada																																
Obj Esp 3.2 - Cartografía participativa (CP)																																
Obj Esp 3.2 - Sistematización taller de presentación de información recopilada y CP																																
Objetivo 3.3 - Taller dinámica causal de efectos de la acuicultura en especies sensibles																																
Obj Esp 3.3 - Sistematización taller dinámica causal																																
Objetivo 3.4 - Taller de jerarquización de especies para plan de monitoreo																																
Obj Esp 3.4 - Sistematización taller jerarquización																																
Etapa 4.- Plan de Monitoreo y medidas de mitigación																																
Obj Esp 3.4 - Solicitud Permiso Pesca de Investigación																																
Obj Esp 3.4 - Aplicación de Monitoreo Piloto																																
Obj Esp 3.4 - Resultados del monitoreo piloto																																
Objetivo 3.5 - Recopilación de medidas de mitigación utilizadas en la actualidad																																
Objetivo 3.5 - Elaboración de propuesta de medidas de mitigación y valoración																																
Objetivo 3.5 - Elaboración de propuesta de reparación y compensación																																
Etapa 5.- Presentación de resultados																																
Talleres de presentación y discusión de resultados																																
Etapa 6.- Informes																																
Primer Informe de Avance																																
Segundo Informe de Avance																																
Pre-informe Final																																
Informe Final																																

Verde: Actividad cumplida en un 100%
Amarillo: En estado de avance
Rojo: No realizado aún

ACTIVIDAD	Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12				Mes 13				Mes 14				Mes 15			
Etapa 1.- Coordinación y validación plan de trabajo	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40	S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60
Primera Reunión de coordinación																												
Segunda Reunión de coordinación (consensuar plan de monitoreo)																												
Tercera Reunión de coordinación																												
Cuarta Reunión de coordinación																												
Etapa 2.- Trabajo de Gabinete																												
Obj Esp 3.1 - Revisión bibliográfica																												
Etapa 3.- Talleres especialistas																												
Obj Esp 3.2 - Taller de análisis general de información recopilada																												
Obj Esp 3.2 - Cartografía participativa (CP)																												
Obj Esp 3.2 - Sistematización taller de presentación de información recopilada y CP																												
Objetivo 3.3 - Taller dinámica causal de efectos de la acuicultura en especies sensibles																												
Obj Esp 3.3 - Sistematización taller dinámica causal																												
Objetivo 3.4 - Taller de jerarquización de especies para plan de monitoreo																												
Obj Esp 3.4 - Sistematización taller jerarquización																												
Etapa 4.- Plan de Monitoreo y medidas de mitigación																												
Obj Esp 3.4 - Solicitud Permiso Pesca de Investigación																												
Obj Esp 3.4 - Aplicación de Monitoreo Piloto																												
Obj Esp 3.4 - Resultados del monitoreo piloto																												
Objetivo 3.5 - Recopilación de medidas de mitigación utilizadas en la actualidad																												
Objetivo 3.5 - Elaboración de propuesta de medidas de mitigación y valoración																												
Objetivo 3.5 - Elaboración de propuesta de reparación y compensación																												
Etapa 5.- Presentación de resultados																												
Talleres de presentación y discusión de resultados																												
Etapa 6.- Informes																												
Primer Informe de Avance																												
Segundo Informe de Avance																												
Pre-informe Final																												
Informe Final																												

Verde: Actividad cumplida en un 100%

Amarillo: En estado de avance

Rojo: No realizado aún

ANEXO 4. MANUAL DE USUARIO DROPBOX.

Acceso bibliográfico asociado a la evaluación de la biodiversidad marina por acuicultura para administradores

¿Qué es Dropbox?

Es un programa que permite almacenar archivos en Internet de una manera privada y muy segura (en este caso publicaciones científicas relacionadas con la biodiversidad marina). El servicio permite a los usuarios almacenar y sincronizar archivos en línea y entre computadoras, además de compartir documentos y carpetas con otras personas. Este servicio puede usarse tanto desde un computador personal como también desde otros computadores conectados a internet, a través de la página web de Dropbox (www.dropbox.com).

Dropbox nos permite disponer de un disco duro o carpeta virtual accesible desde cualquier computador en el mundo. Es lo mismo que tener un Pendrive USB pero alojado en Internet con toda la información que deseemos en la web y con ello siempre disponible desde cualquier computador.

¿Cómo acceder al almacenamiento bibliográfico asociado a la evaluación de la biodiversidad marina a través de Dropbox?

Los documentos científicos (texto completo o resumen) se encuentran recopilados en el programa de almacenamiento Dropbox, el cual a través de una invitación (enlace vía correo electrónico) por parte del administrador (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura) se puede acceder a esta información.

¿Cómo descargar o visualizar un enlace recibido?

Luego de que la "Evaluación de la Biodiversidad Marina" a través del administrador (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura) comparta un enlace en Dropbox, usted recibirá un correo electrónico que dirá en el encabezado o subjet "Documentos Evaluación Biodiversidad Marina".

Al abrir el correo electrónico que fue enviado desde Dropbox, éste le dirá que una carpeta ha sido compartida con usted. Para poder acceder a esa carpeta que le han compartido deberá hacer clic con la flecha (puntero) del mouse o ratón en "Ver archivos" como se muestra en la (**Figura 171**).

¿Qué verá después de hacer click en el enlace?

Después de hacer clic en el enlace, usted accederá a una vista previa instantánea de la carpeta "Documentos Evaluación Biodiversidad Marina" en el navegador. Ahora, podrá descargar todos los archivos de la carpeta en su computador (**Figura 172**) o seleccionar alguna de las carpetas de acuerdo a seis temas de interés (**Figura 173**). Además, cada carpeta se encuentra organizada de acuerdo a los tipos de documentos, si estos tienen visualización completa o si está solo el resumen (documentos con membresía) (**Figura 174**).

¿Cómo puedo tener acceso a un documento de interés?

Debe ingresar a la carpeta, en donde aparecen varios documentos con nombre de autor, año y título. Se selecciona el documento de interés y se debe hacer un click sobre él (**Figura 175**). Se abrirá una página que permite visualizar el documento o descargar el archivo a su computador (**Figura 176**).

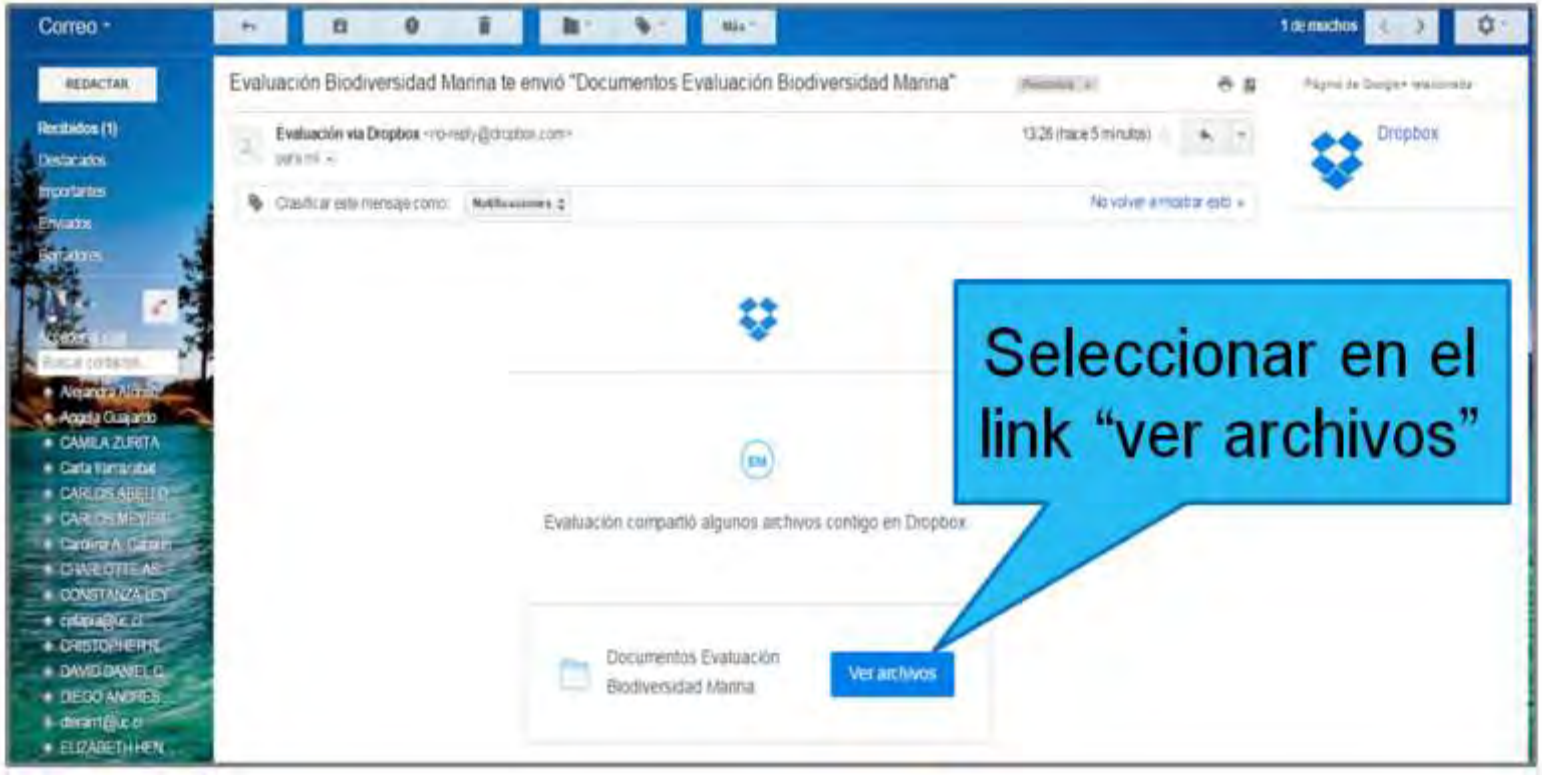


Figura 171. De esta forma se verá en su correo electrónico el mensaje.

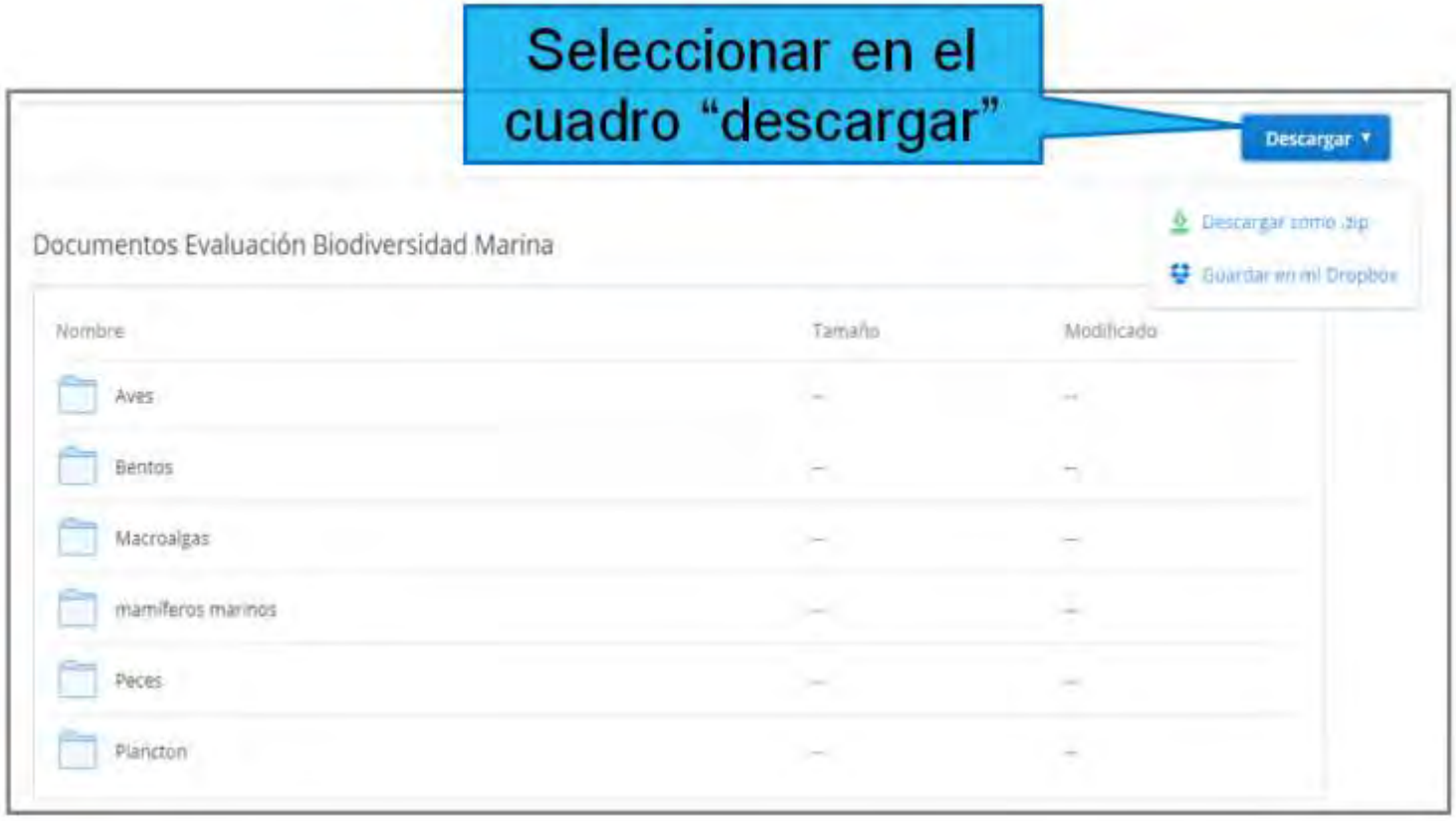


Figura 172. Muestra opción de descarga de todos los documentos.

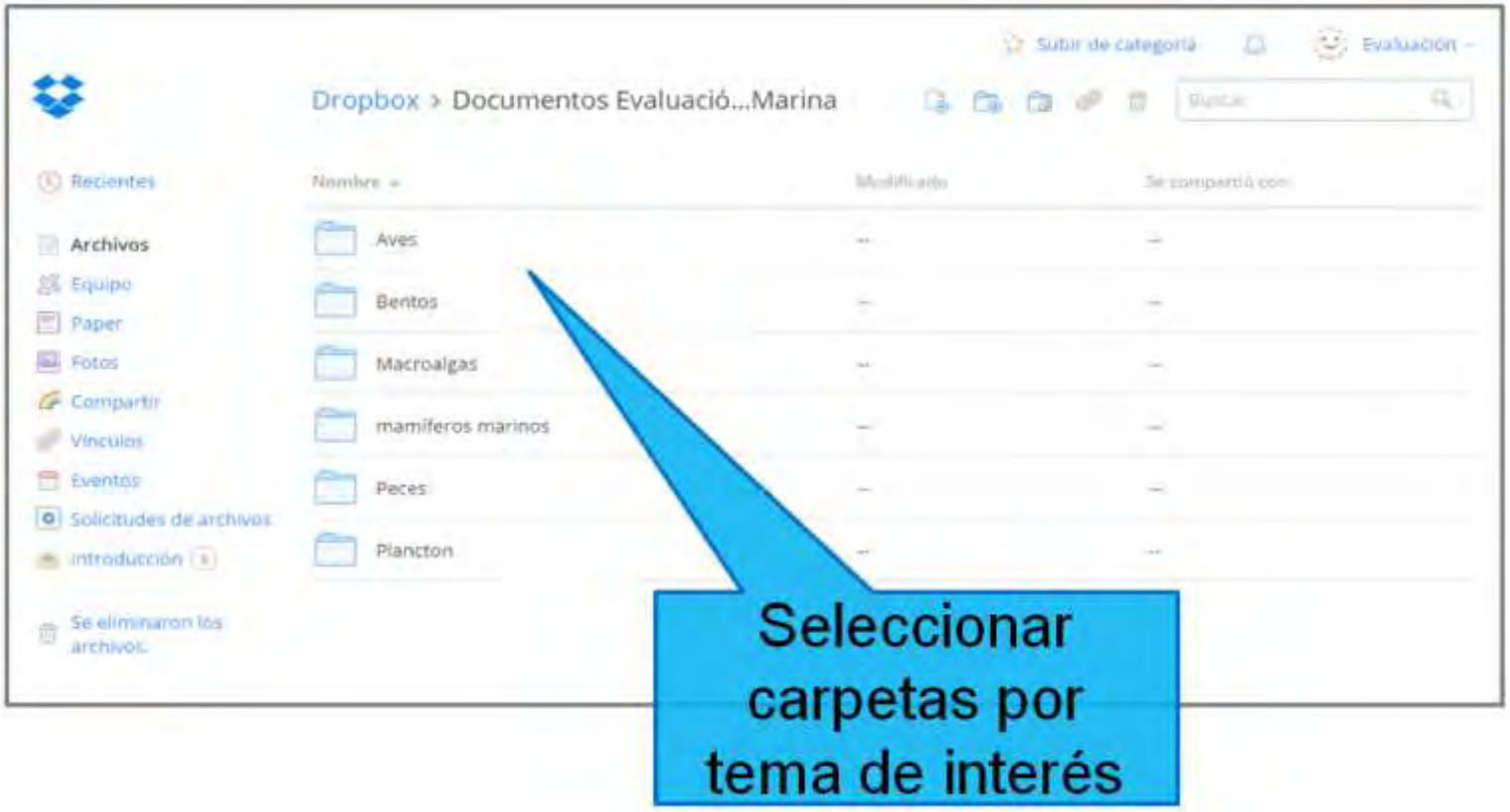


Figura 173. Muestra los documentos organizados en seis carpetas separadas por grandes taxa (seleccionar la carpeta de interés).

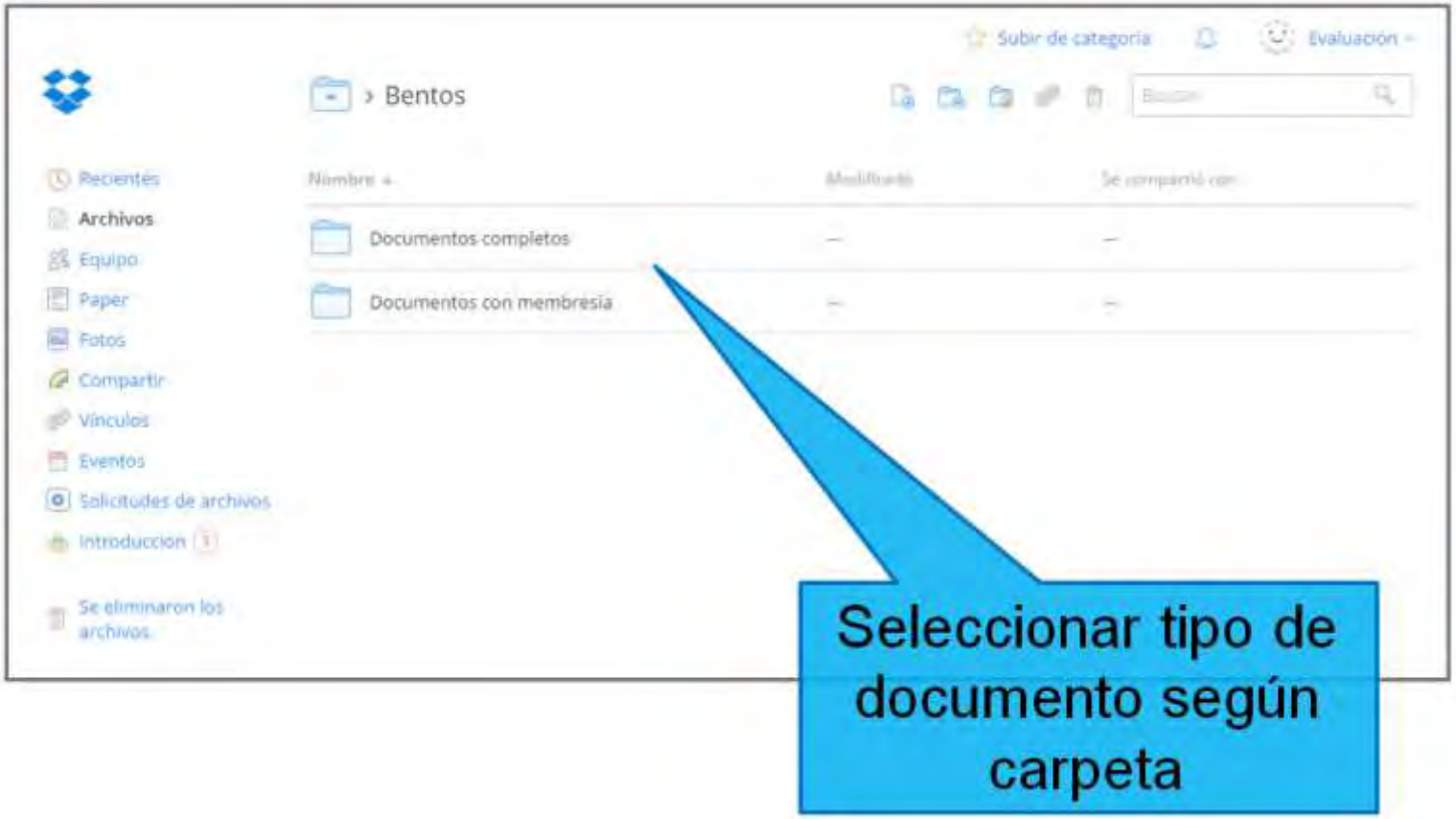


Figura 174. Muestra documentos organizados en carpetas según el área de interés del usuario.

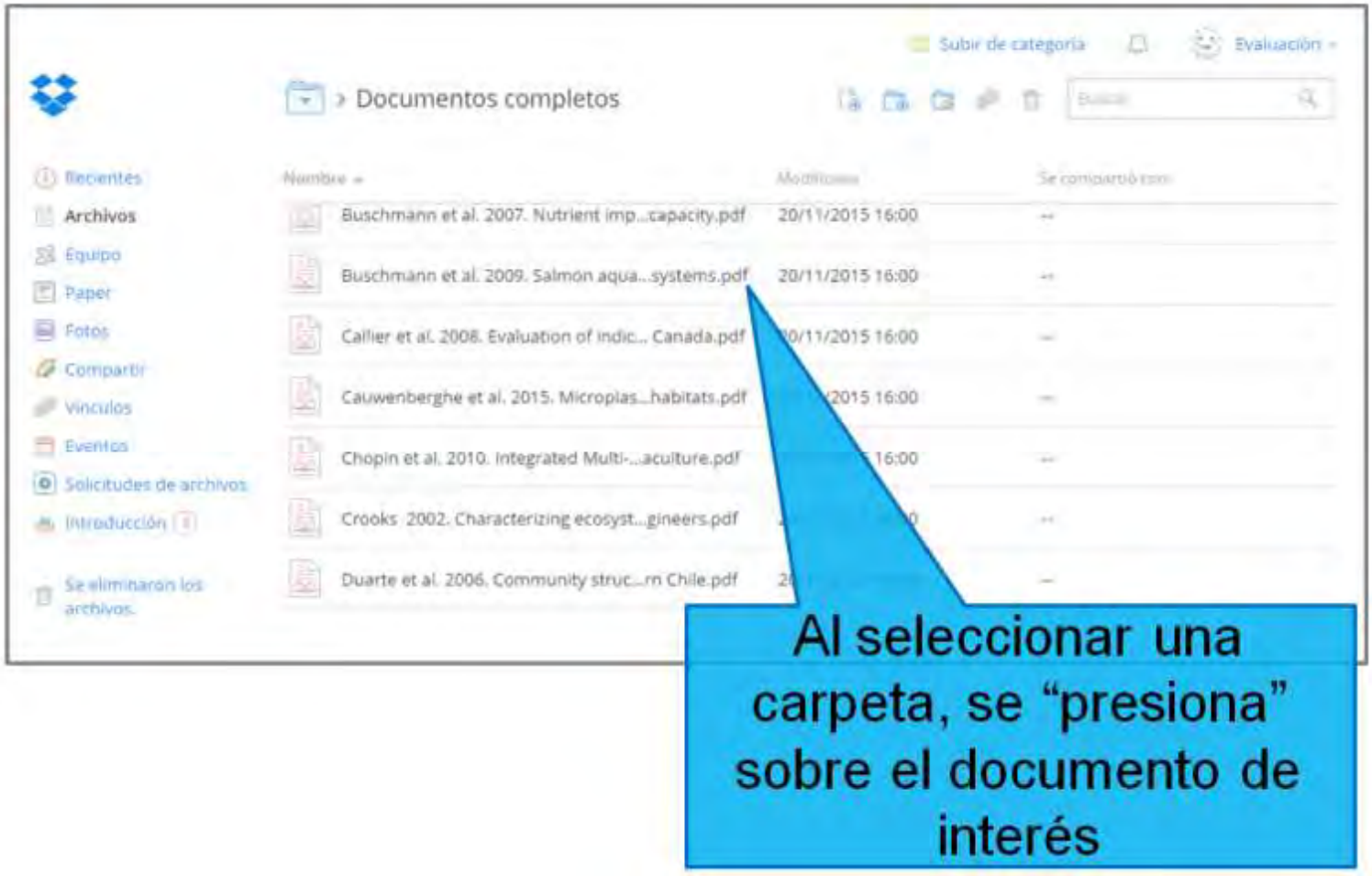


Figura 175. Muestra la carpeta con los documentos ordenados alfabéticamente por autor.

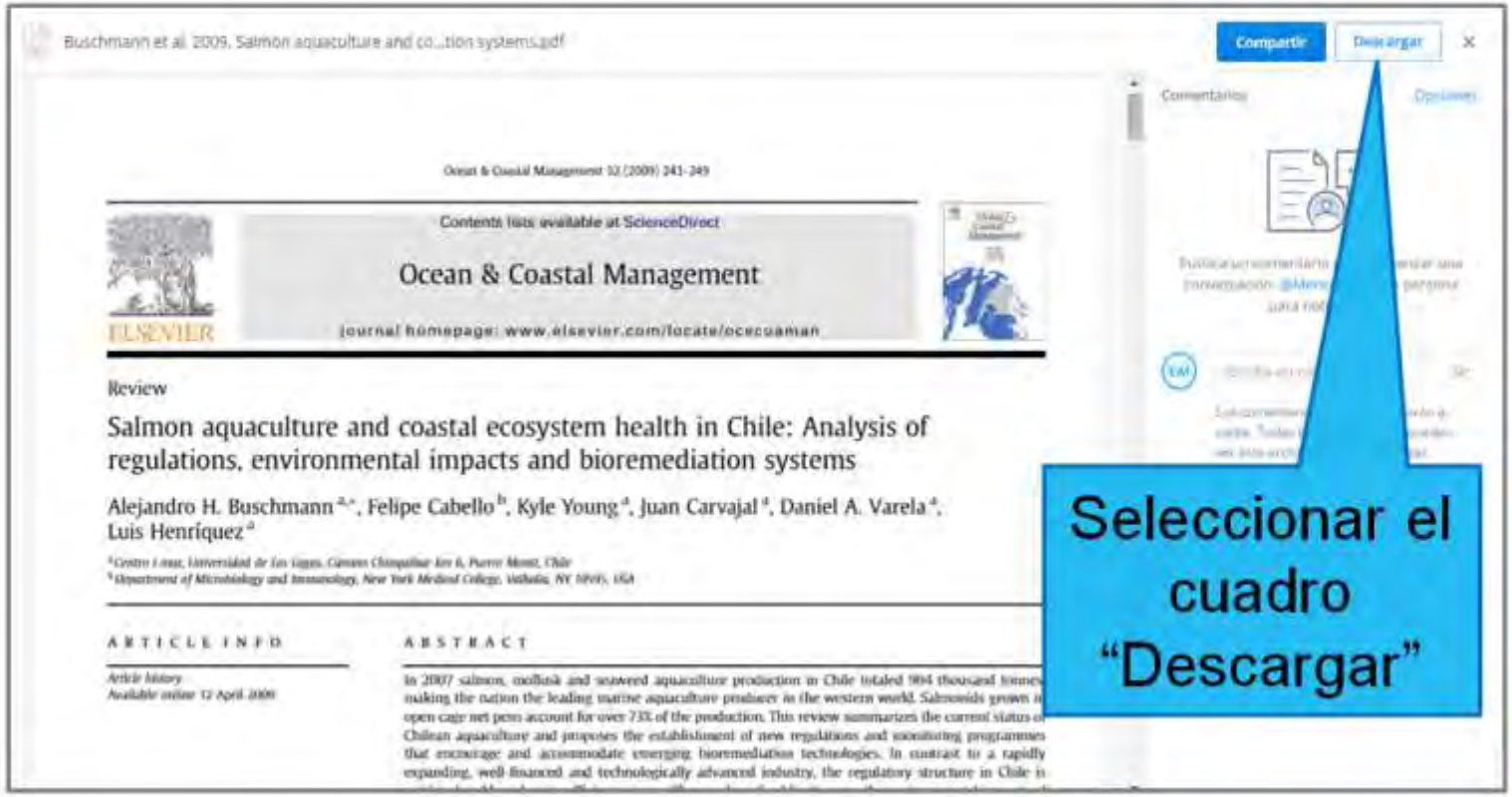


Figura 176. Muestra la opción de descarga del documento.

ANEXO 5. MANUAL DE USUARIO MENDELEY.

Acceso bibliográfico asociado a la evaluación de la biodiversidad marina por acuicultura para administradores

Qué es Mendeley?

Mendeley es un gestor de referencias bibliográficas, gratuito, que permite organizarlas de forma fácil y rápida. Ofrece diferentes posibilidades, dentro de las cuales se destacan:

- La generación de citas y listados bibliografías en Microsoft Word y OpenOffice,
- Flexibilidad en los formatos y estilos de las citas y referencias,
- Incorporación y organización a partir de citas de otros gestores bibliográficos tales como EndNote, Papers o Zotero,
- Lectura de PDFs, con posibilidad de incluir marcas y generar notas,
- Acceso desde cualquier lugar con conexión a la red,
- Colaboración en red para la creación de una biblioteca digital.

¿Cómo ingresar?

Se debe acceder a la página http://www.mendeley.com/ en la barra de direcciones de nuestro navegador (Explorer, Mozilla Firefox o Chrome) o escribiendo "Mendeley" (**Figura 177**) en un buscador, y elegimos "Sign in".

En la parte derecha de la página electrónica, aparecerán los encasillados para escribir el usuario (evaluacionbiodiversidadmarina@gmail.com) y clave (actividadacuicultura). Para obtener acceso a tu cuenta presiona iniciar sesión (**Figura 178**).

Una vez que hemos ingresado a Mendeley Web, aparecerá una página que nos guía hacia los primeros pasos para incorporarnos a Mendeley. Si queremos acceder a nuestros documentos debemos seleccionar la opción "Library" y así tendremos acceso a las diferentes carpetas existentes dentro de la biblioteca (**Figura 179**).

¿Cómo agregar documentos en Mendeley?

En nuestra biblioteca, se pueden importar documentos dando click en "+ Add" y luego seleccionando "Add entry manually" (**Figura 180**). Hacia el lado derecho de la pantalla, aparecerá un cuadro en el cual se pueden agregar documentos ingresando directamente su URL. Junto con esto, se visualizan otros cuadros para completar información sobre el documento: autores, nombre de la revista, volumen etc. La literatura puede subirse de acuerdo al tipo de documentos, libros, revistas, filmes, tesis, periódicos, etc. (**Figura 181**).

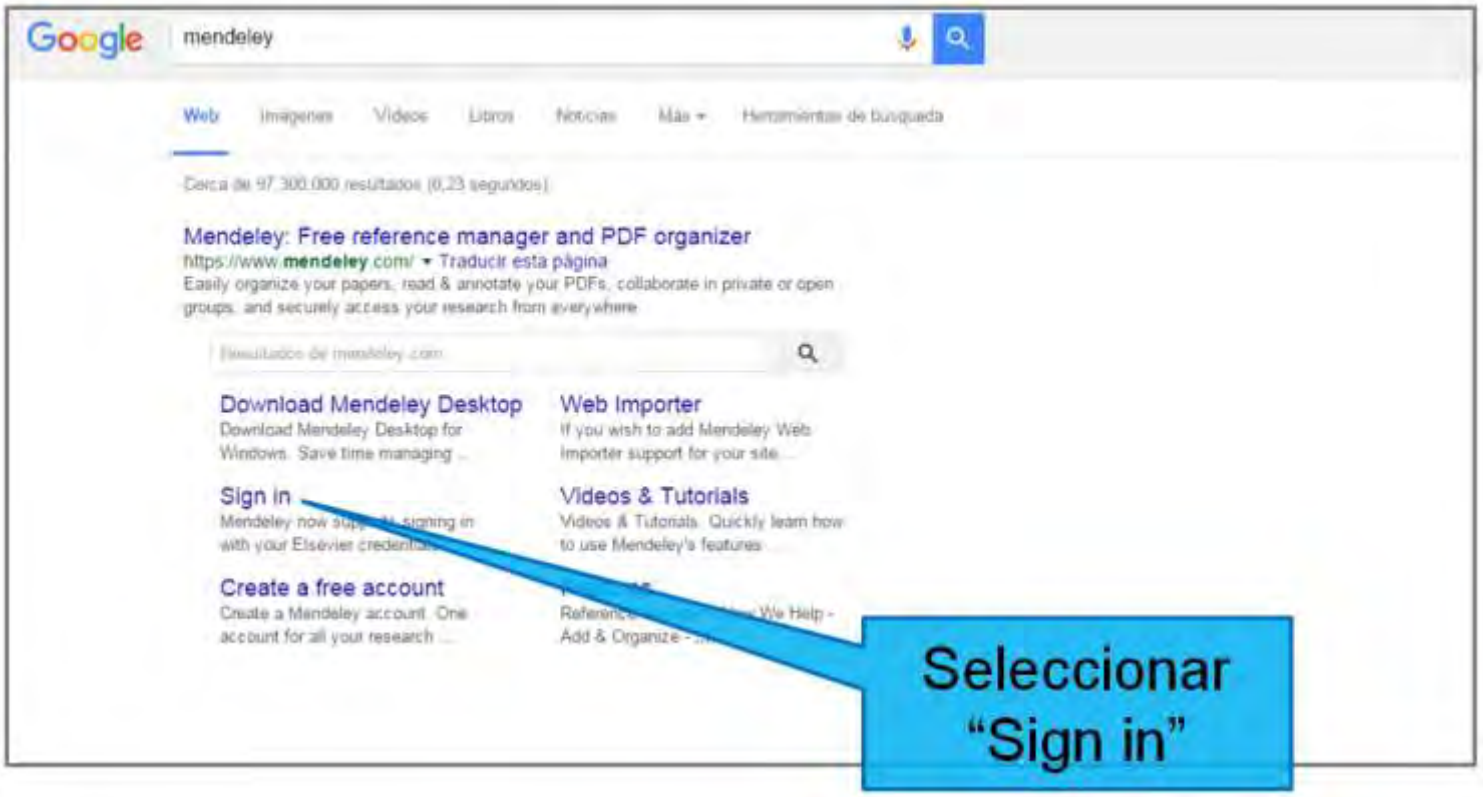


Figura 177. Muestra pasos para acceder a Mendeley a través de un buscador de web.

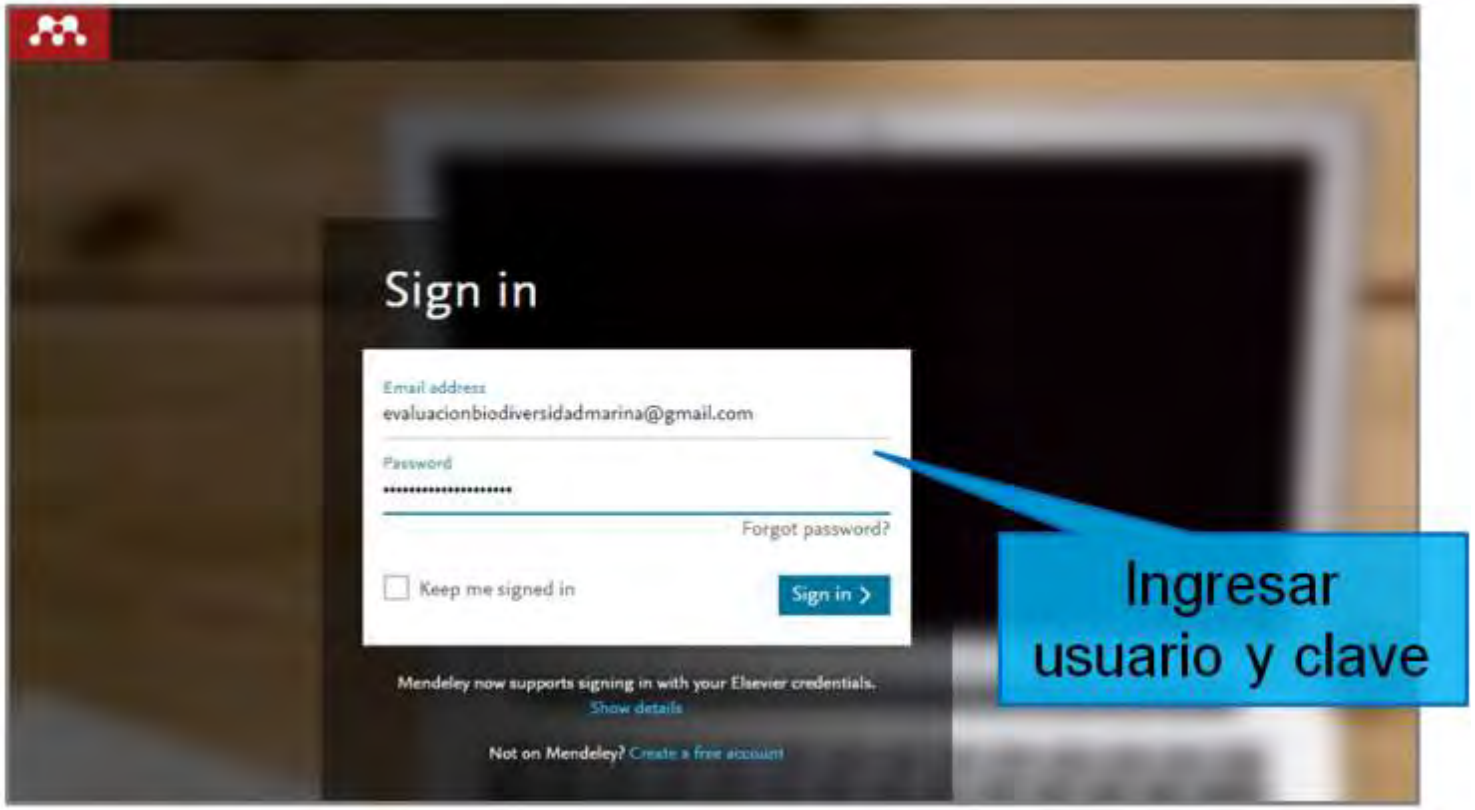


Figura 178. Muestra encasillados para lograr acceso a la cuenta de usuario.

Figura 179. Muestra cómo acceder a nuestros documentos.

Figura 180. Muestra como agregar documentos a Mendeley.

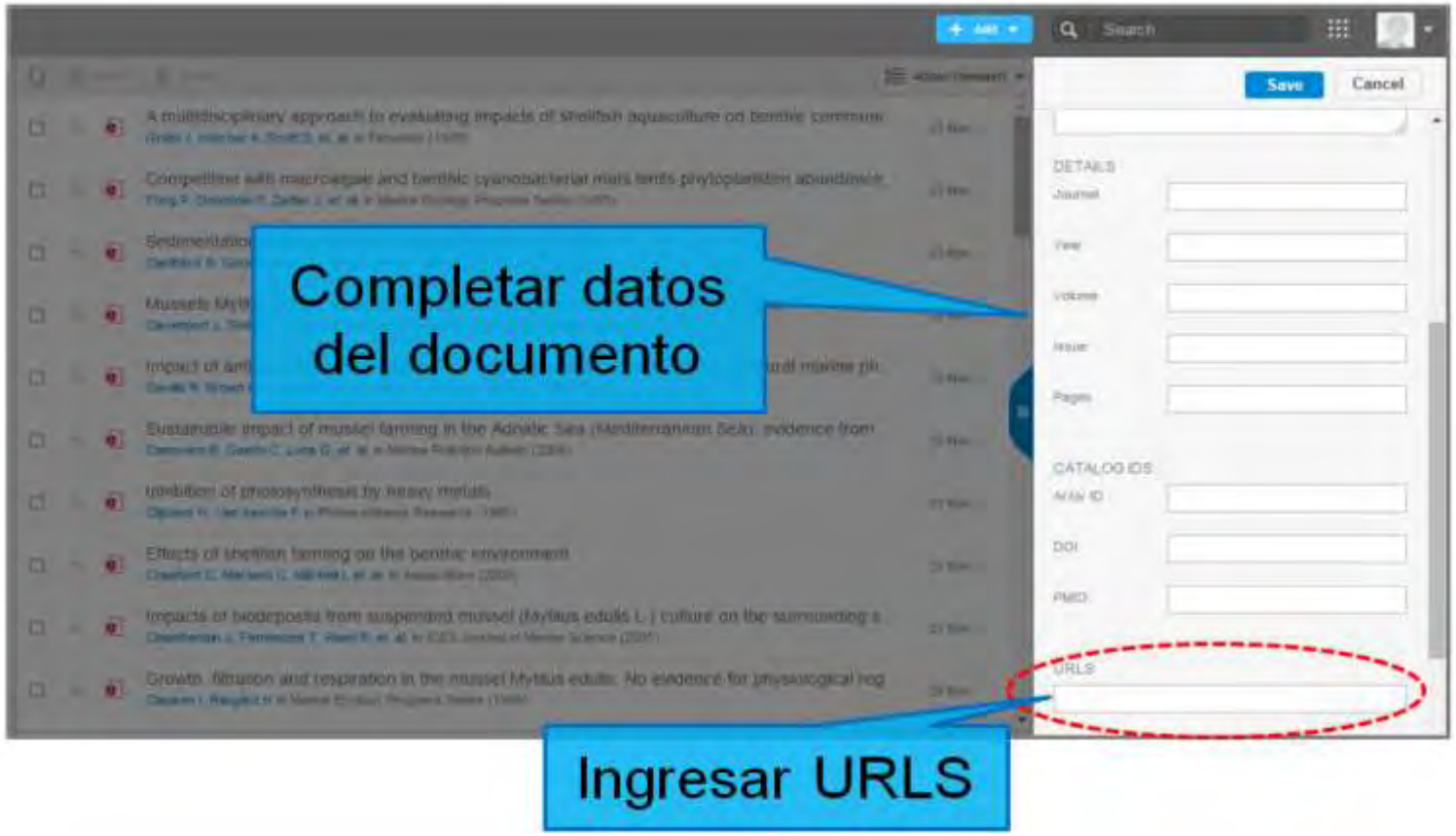


Figura 181. Muestra cómo agregar documentos a Mendeley.

ANEXO6. ENCUESTA PARA EXTRACCIÓN DE VALOR

Encuesta para la extracción de valor como insumo para diseñar un modelo de compensación y reparación.

Propósito del estudio

Buenos días / tardes. Estamos realizando un estudio, para el Fondo de investigación pesquera y la acuicultura (FIP), sobre impactos generados por la salmonicultura en la biodiversidad del entorno, el caso de la X Región, exclusivo en esta comuna.

Considerando que la mayoría de los habitantes de la comuna se beneficia de las diversas especies (peces, mariscos etc.) y su entorno (ríos, lagos, playas, mar). Es importante identificar el impacto generado por la actividad (salmonicultura), el que afecta directamente a:

- Espacios costeros, disminuyendo no solo espacio para las personas sino también a las especies, por ejemplo delfines.
- Disminución de los recursos pesqueros (afectado no solo por la sobre explotación sino que eventualmente deben competir con las especies escapadas de las salmoneras y aclimatarse a los cambios de la calidad del agua.
- Modificación de la estructura comunitaria, debido a cambios generados por los niveles de contaminación y atracción de especies (aves) en las zonas de cultivo.

Por ello el objetivo de esta encuesta, es la valoración de los posibles impactos producidos por la acuicultura, con el propósito de usar esta información para proponer medidas de detener el daño, reparar de cierta manera el nivel de impacto causado actualmente y por ultimo compensar de alguna forma ya sea por pago u otra, para los posibles daños generados.

Preguntas actitudinales

¿Hace cuánto tiempo reside en esta zona?

¿Alguna de las actividades que realiza tiene relación con la salmonicultura?

☐ Si

☐ No

☐ No sabe

☐ No responde (preguntar porque motivo no responde)

¿En qué aspectos considera el crecimiento que ha tenido la actividad en estos últimos años favorable y desfavorable?

FAVORABLE	DESFAVORABLE
1.	
2.	
3.	

¿Considera importante mantener los espacios costeros, la diversidad de especies y el entorno en que habitan actualmente en la zona?

☐ Si

☐ No

☐ No sabe

☐ No responde (preguntar porque motivo no responde)

Nombre tres motivos por los cuales los considera importantes

¿Usted hace uso de los recursos naturales y su entorno? ¿Cuál? Máx. 3

☐ Si

☐ No

☐ No sabe

☐ No responde (preguntar porque motivo no responde)

¿La realiza solo o acompañado?

☐ Solo

☐ Con la compañía de una persona

☐ 4 o más

¿Cuáles son las razones por la cual realiza las actividades mencionadas anteriormente?

¿Qué bien o servicio obtiene de la utilización de los espacios costeros y entorno natural?

Escenario de evaluación

Descripción del bien (Biodiversidad Marina)

Más de una tercera parte de la población mundial vive en zonas costeras y se beneficia directamente de ella, como por ejemplo de la extracción de pescados, mariscos, y otros recursos que son materias primas. Así mismo, la diversidad de especies y el entorno marino permite desarrollar usos

relacionados con la recreación, el turismo, la educación y la apreciación del paisaje.

La acción de la salmonicultura ha generado una serie de impactos ambientales como se ha detallado con anterioridad. Esto gracias a que los marcos regulatorios permiten tales prácticas, por lo tanto el enmendar tales repercusiones les corresponden a todos los chilenos. Por lo que sería necesario aplicar una serie de medidas estratégicas que permitirán disminuir tales impactos, como por ejemplo, la disminución de la cantidad de jaulas y el desarrollo de cultivos en mar afuera.

A partir del análisis de los efectos generados por la acuicultura, se ha estimado que, si una jaula de cultivo posee una superficie de 1.000 m^2 se requiere de un área marina aproximada de 200 veces más grande para poder procesar los desechos orgánicos generados a partir de la alimentación y las fecas de los salmones. Este espacio comprende el espacio físico y la flora y fauna que allí habitan. Además, en la medida en que las especies que ahí habitan, reutilizan estos desechos, se altera temporal o permanentemente, afectando la cantidad de individuos de las especies, sus interacciones y su entorno. Esto a su vez limita los otros el uso de estos recursos para otras actividades como la pesca y el turismo, entre otras.

En el barrio salmonero adyacente a Achao, para el año 2013 existen 46 centros de cultivo que cubren un Área de 663 ha. (foto) por lo que el área del ecosistema marino necesario para procesar los desechos de estas áreas de cultivo es aproximadamente de 132.600 ha. Por tanto, en este caso la limitación de otros beneficios que proporcionan las distintas especies que ahí habitan (pesca, turismo, etc), se ve **altamente** prohibida o limitada.

Dos décadas atrás, en el 1993, los centros de cultivos alcanzaron 37, cubriendo 425 ha, el área necesaria para palear el impacto corresponde a 85.000 ha generado así un impacto **medio** sobre el las diferentes especies y su entorno natural.

En el año 1983 se tenían 27 centros de cultivo cubriendo un área total de 24 ha y, debido a la contaminación producida por el cultivo de salmón se generó un impacto el cual necesita un área total de 4.800 ha, para regenerar el área, siendo este un **bajo** impacto.

De acuerdo a la situación planteada:

¿Estaría dispuesto a pagar por disminuir los niveles de impacto?

☐ Si

☐ No

☐ No sabe

☐ No responde

Preguntar por qué

¿Cómo estaría usted dispuesto a pagar para disminuir los niveles de impacto?

A) De forma voluntaria
B) Por medio de impuestos

¿Cuál sería la periodicidad con la que está dispuesto a pagar por el bien?

A) Anual
B) Mensual
C) Una sola vez (por ejemplo, si el periodo de recuperación se demora 10 años y usted paga una sola vez en 10 años)

Preguntas para extraer el valor

De los tramos presentes en la siguiente tabla, ¿dónde se encuentra sus ingresos mensuales?

Mensual	1% ingreso
No tiene ingresos directos	
Menos de $225.000	1000- 2250
225.000-500.000	2250-5000
500.000 a 900.000	5000-9000
900.000 a 1.500.000	9000-15000
1.500.000 y mas	15000
No sabe	
No responde	

Mensual	anual	1% del ingreso anual
No tiene ingresos directos		
Menos de $225.000	120.000- 2.700.000	12.000-27.000
225.000-500.000	2.700.000-6.000.000	27.000-60.000
500.000 a 900.000	6.000.000-10.800.000	60.000-108.000
900.000 a 1.500.000	10.800.000-18.000.000	108.000-180.000
1.500.000 y mas	18.000.000	180.000
No sabe		
No responde		

Teniendo en consideración los ingresos mensuales recibidos por usted.

¿Pagaría usted (Rango seleccionado en relación a los ingresos) pesos para recuperar hasta un nivel bajo los de impactos producidos en la biodiversidad de la zona? (mostrar foto)

☐ Máximo

☐ Mínimo

☐ No sabe

☐ No responde (preguntar porque motivo no responde)

¿Cuál sería la máxima cantidad que estaría dispuesto a pagar para que los impactos volvieran a su estado bajo de degradación?

¿Cuánto es lo máximo que está dispuesto a pagar para que se alcance a un nivel medio de impacto? (mostrar foto)

(Solo si da 0 pts.)¿Porque motivo no está dispuesto a pagar?

☐ Ya paga impuesto

☐ Es cosas de Estado

☐ Pocos ingresos o no tiene dinero

☐ Desacuerdo con el proyecto

☐ Otros motivos

☐ No responde

¿Cuál sería el motivo? (Si es otro motivo)

Características socioeconómicas

¿Cuál es su edad?

¿Cuál es su profesión u oficio?

Y su nivel de escolaridad

¿Tendría inconveniente en dejarnos su número de teléfono, por si tuviéramos alguna pregunta adicional que hacerle? [Apuntar el número, si accede a dejarlo]

La persona entrevistada es:

☐ Masculina

☐ Femenina

Fecha de la entrevista

☐ ☐ ☐

Lugar de la entrevista

Entrevistador/entrevistadora [nombre y apellido]:

ANEXO 7. LISTADO DE TAXA CON VALORES DE SENSIBILIDAD

Valores de sensibilidad $S_{0,05}$ para las especies presentes en el Mar Interior de Chiloé mediante Índice BQI

Listado de taxa con valores de sensibilidad $S_{0,05}$ para las especies presentes en el Mar Interior de Chiloé

Taxon	$S_{0,05}$	*Taxon*	$S_{0,06}$	*Taxon*	$S_{0,07}$	*Taxon*	$S_{0,08}$	*Taxon*	$S_{0,09}$	*Taxon*	$S_{0,10}$
Balanidae	3	Calyptraeidae	5	Atelecyclidae	6	Turridae	6	Diastylidae	8	Urechidae	9
Capitellidae	3	Cancridae	5	Cirratulidae	6	Veneridae	6	Golfingiidae	8	Urothoidae	9
Condylocardiidae	3	Carditidae	5	Cylindroleberididae	6	Arenicolidae	7	Ischnochitonidae	8	Valenciniidae	9
Corophiidae	3	Corystidae	5	Cypridinidae	6	Cirolanidae	7	Montacutidae	8	Galeommatoidea	10
Mytilidae	3	Dorvilleidae	5	Echinoidae	6	Cucumariidae	7	Naticidae	8	Magelonidae	10
Pandoridae	3	Fissurellidae	5	Eusiridae	6	Glyceridae	7	Oedicerotidae	8	Tanaididae	10
Amphiuridae	4	Flabelligeridae	5	Galatheidae	6	Liljeborgiidae	7	Ophiacanthidae	8	Ammotheidae	11
Aoridae	4	Goniadidae	5	Hesionidae	6	Nuculidae	7	Paguridae	8	Caecidae	11
Campylonotidae	4	Lasaeidae	5	Hymenosomatidae	6	Opheliidae	7	Paraonidae	8	Cyprididae	11
Caprellidae	4	Mactridae	5	Leptoplanidae	6	Ophiuridae	7	Pharidae	8	Lumbrineridae	11
Cossuridae	4	Malletiidae	5	Maldanidae	6	Pectinidae	7	Phoxichilidiidae	8	Phoxocephalopsidae	11
Hippolytidae	4	Melitidae	5	Nereididae	6	Philomedidae	7	Priapulidae	8	Lysianassidae	12
Holothuriidae	4	Nemertea	5	Ophiactidae	6	Rutidermatidae	7	Psammobiidae	8	Chiridotidae	13
Ischyroceridae	4	Neoleptonidae	5	Parechinidae	6	Sabellariidae	7	Solenidae	8	Dexaminidae	13
Nassariidae	4	Nuculanidae	5	Phyllodocidae	6	Sabellidae	7	Syllidae	8	Lineidae	13
Nebaliidae	4	Pectinariidae	5	Pinnotheridae	6	Scalibregmatidae	7	Yoldiidae	8	Oenonidae	13
Nebaliopsididae	4	Phoxocephalidae	5	Polynoidae	6	Spionidae	7	Amphinomidae	9		
Nematoda	4	Sipunculidae	5	Schizasteridae	6	Terebellidae	7	Amphiporidae	9		
Nephtyidae	4	Squillidae	5	Semelidae	6	Thyasiridae	7	Buccinidae	9		
Orbiniidae	4	Temnopleuridae	5	Sigalionidae	6	Tornidae	7	Callianassidae	9		
Polygordiidae	4	Trichobranchidae	5	Tellinidae	6	Travisiidae	7	Idoteidae	9		
Alpheidae	5	Trochidae	5	Terebratulidae	6	Baeriidae	8	Muricidae	9		
Ampeliscidae	5	Ungulinidae	5	Tindariidae	6	Chaetopteridae	8	Onuphidae	9		
Arbaciidae	5	Ampharetidae	6	Trichopeltariidae	6	Cyamiidae	8	Ostracoda	9		

ANEXO8. PRESENTACIONES TALLER

Difusión resultados finales(Anexo digital)

ANEXO 9. LISTADO DE ASISTENCIA

Taller de difusión resultados finales