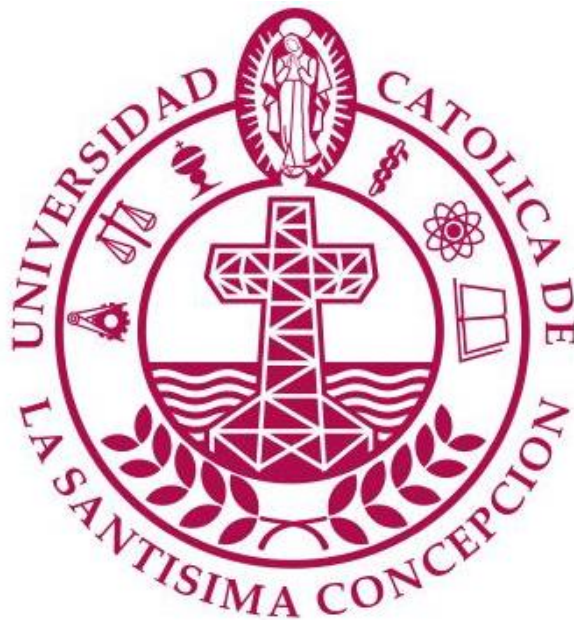


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE Y ENERGÍA



“DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD DE UN CULTIVO OFFSHORE DE
SALMONES EN LA VIII REGIÓN”

INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO PESQUERO

Alumno: Leonardo Andrés Urrutia Constanzo

Profesor Guía: Christian Javier Díaz Peralta

Concepción, 2016

Resumen

El cultivo de salmones se ha convertido en Chile en la segunda actividad productiva de exportación de importancia desarrollándose principalmente en las regiones X y XI región, hoy en día existe la posibilidad de implementar centros de cultivo en sitios expuestos lo que ha abierto la posibilidad de ocupar sitios que antes se encontraban cerrados para la acuicultura dentro de la VIII Región por la no existencia de tecnologías que permitieran de soportar las fuertes cargas ambientales asociados a dichos sitios.

Primero para conocer las variables ambientales de la VIII Región, se realizó una investigación de fuentes bibliográficas. Observación de sitios a través de fotografías satelitales además de vistas a terreno a lugares de la Región.

La determinación de los sitios más adecuados para implementar centros, se trabajó con el método cualitativo por puntos siendo evaluados a través de una Escala de Likert. Primero se evaluó como macro localización cada comuna del borde costero donde se seleccionó la comuna de Cobquecura, y luego dentro de la comuna se realizó una micro localización donde resultó ser mejor sitio el sector de La Achira.

Para seleccionar un sistema de cultivo, se investigó sobre los sistemas de cultivo de peces offshore y luego se adaptó el método cualitativo por puntos para evaluar los diversos sistemas de cultivo, en donde resultó ser seleccionado los sistemas de jaulas flexibles de HDPE de 40 m de diámetro y 20 m de profundidad.

El tamaño del proyecto se investigó cual es la estructura de costos de los centros de la X Región, luego se elaboraron los flujos de caja para el centro sensibilizando las variable de la cantidad de jaulas necesarias y asumiendo las mejoras de disminución en el tiempo de crecimiento en un 15% y disminución de la mortalidad en un 50%, resultó el punto de equilibrio en diez jaulas además, se analizó los precios finales de venta, la elasticidad precio demanda y estructuras de las especies salmonideas producidas en Chile para indagar sobre las características del mercado del salmón chileno. En la evaluación económica el VAN resulto ser de de 19330,311 UF, el TIR de 20,678% y el periodo de recuperación de Capital se dio en el cuarto año.

Abstract

Salmon farming has become Chile in the second productive export activity of importance to develop mainly in the X and XI region regions, today there is the possibility of implementing farms in exposed sites which has opened the possibility of occupying sites that were previously closed to aquaculture in Region VIII by the nonexistence of technologies that allow to withstand heavy environmental burdens associated with such sites.

First to meet the environmental variables in Region VIII, an investigation was conducted bibliographical sources. Observation sites through satellite photographs and views of ground parts of the Region.

The determination of the most suitable sites to implement centers, worked with the qualitative method by points being evaluated through a Likert Scale. First it was evaluated as macro location every commune of the coastline where the commune of Cobquecura was selected, and then within the commune a micro location turned out to be best place where the La Achira was performed.

To select a cropping system was investigated on culture systems offshore fish and then the qualitative method was adapted by points to evaluate the various farming systems, where proved to be selected systems flexible cages HDPE 40 m diameter and 20 m deep.

The project size was investigated which is the cost structure of the centers of the X Region, then cash flows were developed for the center sensitizing the variable amount of cages necessary and assuming improvements decrease in the growth time by 15% and decreased mortality by 50%, resulted breakeven in ten cages addition, the final sale price was analyzed, elasticity demand price and structure of the salmon species produced in Chile to investigate the characteristics Chilean salmon market. In the economic evaluation NPV turned out to be of 19330.311 UF, the IRR of 20.678% and the recovery period Capital was in the fourth year.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por su apoyo en esta carrera, agradezco a mis hermanos en especial a Renato por su apoyo y consejos para terminar esta tesis.

También agradezco a mis compañeros de carrera Héctor Molina, José Rivera y Cesar Vera ya que sin su apoyo y ayuda no habría sido posible la realización de esta Tesis.

Finalmente agradezco a mi profesor guía Christian Díaz por su apoyo, enseñanzas e incentivo para finalizar este largo proceso.

Índice de Contenidos

| | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------|------|
| Capítulo 1: Presentación del tema | 14 |
| 1.1. Introducción..... | 14 |
| 1.2. Objetivos..... | 17 |
| 1.2.1 Objetivo General..... | 17 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 17 |
| Capítulo 2: Antecedentes | 18 |
| 2.1 Biológicos..... | 18 |
| 2.1.1 Especies salmonideas cultivadas en Chile..... | 18 |
| 2.1.2 Exportaciones de especies salmonideas Chilenas..... | 19 |
| 2.2 Ambientales | 19 |
| 2.2.1 Condiciones de calidad de agua para el cultivo de salmones | 19 |
| 2.2.2.1 Oxígeno | 20 |
| 2.2.2.2 La Temperatura..... | 21 |
| 2.2.2.3 PH..... | 23 |
| 2.2.2.4 Dureza..... | 24 |
| 2.2.2.5 Metales | 24 |
| 2.2.2.6 Salinidad | 25 |
| 2.2.3 Criterios ambientales para las jaulas de cultivo de salmones | 25 |
| 2.2.3.1 Condiciones climáticas | 26 |
| 2.2.3.2 Olas..... | 26 |
| 2.2.3.3 Corrientes..... | 29 |
| 2.2.3.4 Fondo marino costero de la VIII Región..... | 30 |
| 2.2.4 Antecedentes oceanográficas de la VIII región | 31 |
| 2.2.4.1 Temperatura y salinidad | 31 |
| 2.2.4.2 Corrientes en el mar chileno | 32 |
| 2.2.4.3 Masas de agua en el mar Chileno..... | 36 |
| 2.2.4.5. Características costeras de la VIII Región..... | 37 |
| 2.2.4.6 Vientos en la VIII Región..... | 38 |
| 2.2.4.7 Geografía de la VIII Región | 39 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.4.8 Las surgencias costeras..... | 40 |
| 2.2.4.9 Fondos en la VIII región..... | 42 |
| 2.3 Técnicos..... | 43 |
| 2.3.1 Descripción de la etapa de engorda de salmones en mar | 43 |
| 2.3.1.1 Descarga y recepción..... | 44 |
| 2.3.1.2 Engorda..... | 46 |
| 2.3.1.3 Muestreos..... | 46 |
| 2.3.1.4 Cosecha..... | 47 |
| 2.3.2 Desventajas en cultivos offshore | 48 |
| 2.3.3 Ventajas en cultivos offshore..... | 50 |
| 2.3.4 Tendencia y Nuevo Diseño..... | 52 |
| 2.3.5 Jaulas para el cultivo en ambiente offshore..... | 56 |
| 2.3.6 Características de algunos sistemas de Jaulas offshore..... | 58 |
| 2.3.7 Ventajas y desventajas de los distintos sistemas de Jaulas marinas offshore | 64 |
| 2.4 Económicos | 66 |
| 2.4.1 Costos de diferentes jaulas offshore..... | 66 |
| Capítulo 3: Metodológicas usadas en el proyecto. | 69 |
| 3.1 Objetivo específico 1. Determinar las variables ambientales y oceánicas de la VIII Región, para establecer las características de los sitios de cultivo offshore. | 69 |
| 3.2 Objetivo específico 2. Determinar un sistema de cultivo offshore que satisfaga los requerimientos ambientales y oceanográficos de la VIII Región, basándose en la tecnología disponible a nivel mundial. | 69 |
| 3.2.1 Factores de localización utilizados | 70 |
| 3.2.2 Selección de sistema de cultivo | 74 |
| 3.3 Objetivo Específico 3. Evaluar económicamente un sistema de cultivo offshore en la VIII Región. | 75 |
| Capítulo 4: Resultados | 77 |
| 4.1 Características oceanográficas de la VIII Región..... | 77 |
| 4.2 Determinación de sitios de Cultivo | 79 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.1 Sistema portuario en la VIII Región | 79 |
| 4.2.2 Acceso carretero en las comunas costeras de la VII Región | 79 |
| 4.2.3 Descripción borde costero de la VIII Región | 80 |
| 4.2.4 Determinación del sitio de cultivo (macrolocalización) | 82 |
| 4.2.5 Determinación del sitio de cultivo (microlocalización) | 83 |
| 4.3 Determinación de Sistema de Cultivo | 84 |
| 4.4 Determinación del volumen de producción..... | 85 |
| 4.4.1 Determinación de precio de venta del Salmón Chileno | 85 |
| 4.4.2 Ajuste de parámetros de producción | 88 |
| 5. Conclusión | 95 |
| 6. Bibliografía | 97 |
| 6.1 Linkografía | 98 |
| 7. Anexos..... | 102 |

Índice de Tablas

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Valores límites de parámetros de agua para el cultivo de salmones | 21 |
| Tabla 2. Condiciones ambientales recomendadas para la mantención de reproductores | 23 |
| Tabla 3. Análisis descriptivo general de la corriente | 35 |
| Tabla 4. Clasificación de Smolt para salmonicultura | 44 |
| Tabla 5. Tipos jaulas en mar abierto | 58 |
| Tabla 6. Ventajas y desventajas de las diferentes jaulas offshore | 64 |
| Tabla 7. Costos promedio de diferentes sistemas de Jaulas Offshore | 67 |
| Tabla 8. Características oceanográficas de la VIII Región | 77 |
| Tabla 9. Determinación de sitio de cultivo (Macrolocalización) | 82 |
| Tabla 10. Determinación de sitio de cultivo (Microlocalización) | 83 |
| Tabla 11. Evaluación de sistemas de cultivo..... | 84 |
| Tabla 12. Cantidades (en Toneladas métricas) y precio (millones de US\$ FOB) de exportaciones de Salmón Chileno 2005-2015..... | 87 |
| Tabla 13 Estimación de Elasticidad Precio Demanda del Salmón Chileno desde el año 2005 al 2015 | 88 |
| Tabla 14. Meses de cosecha para el proyecto..... | 89 |
| Tabla 15. Valores promedio de centros de cultivo de salmón en Chile | 91 |
| Tabla 16. Estimación de Inversión inicial (en UF) | 92 |
| Tabla 17. Estimaciones para costos variables (en \$ Chilenos)..... | 92 |
| Tabla 18. Flujos de Caja para el proyecto (en UF)..... | 93 |
| Tabla 19. Evolución del VAN del proyecto según el Número de jaulas | 93 |

Índice de Figuras

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Causas y explicación de Surgencias..... | 41 |
| Figura 2: Barco de cultivo offshore..... | 53 |
| Figura 3: Sistema de Jaulas Marinas Ocean Spar..... | 61 |
| Figura 4: Sistema de jaulas marinas SeaStationTM..... | 61 |
| Figura 5: Granja Oceánica Farmocean..... | 62 |
| Figura 6: Picibarca Marina System Iberica..... | 62 |
| Figura 7: Pisifactoría Plataforma Cultimar..... | 62 |
| Figura 8: Jaula flexible Triton..... | 63 |
| Figura 9: Vista cercana de montaje de Jaula flexible de HDPE..... | 63 |
| Figura 10: Mapa de carreteras de la VIII Región..... | 81 |
| Figura 11: Gráfico de evolución del Van al aumentar el número de jaulas..... | 94 |

Capítulo 1: Presentación del tema

1.1. Introducción

La oferta mundial de productos del mar se ha duplicado en las últimas tres décadas y en la actualidad cerca de 130 millones de toneladas por año. Desde mediados de la década de 1990, la producción de la pesca de captura ha sido constante en alrededor de 90 millones de toneladas por año. Se espera que la demanda total de productos del mar aumentara alrededor de 180 millones de toneladas en menos de tres décadas, debido principalmente a una creciente población mundial y al aumento del consumo per cápita. Futuros desarrollos en el sector de la acuicultura son la única solución para abastecer el creciente mercado mundial de productos del mar (Ryan, 2004 citado por Jenen et al., 2007).

Hay varias razones para la investigación de la acuicultura en mar abierto. La creciente demanda de productos del mar conducirá a un mayor número de instalaciones de acuicultura y la escasez de ubicaciones costeras protegidas. Las instalaciones futuras probablemente serán más grandes, debido a que grandes instalaciones tienden a ser más rentables. Investigaciones de las propiedades del agua en alta mar han demostrado que tiene un mayor flujo de oxígeno y además de tener una temperatura más estable. Infestaciones de piojos de mar en peces son más bajas en comparación a sitios cercanos a la costa, lo que en definitiva contribuye a una mejor calidad del producto final (Sveälv, 1988 citado por Jensen et al., 2007).

En Chile los cultivos de especies salmonídeas en el sur, han dado muy buenos resultados económicos debido a las extraordinarias condiciones hidrológicas, climáticas y geográficas que ofrecen las regiones del sur austral del país, difíciles de encontrar en otra zona del planeta (Asociación de la Industria del Salmón A.G.), logrando ubicar a Chile en un lugar privilegiado en la producción de salmónes a nivel mundial, llegando además a convertirse en el segundo producto más exportado de Chile después del cobre (Asociación de la Industria de Salmón Chile A.G.), esto debido a las óptimas condiciones que se presentan en los canales desde la X Región al sur, que permite el uso de las convencionales balsas jaulas diseñadas para ambientes protegidos.

En la VIII Región también ha habido un desarrollo de los cultivos de salmones, esencialmente en las fases de agua dulce. Esto debido principalmente a las buenas condiciones que presenta la cordillera y precordillera de la Región. Por el contrario las etapas de mar (engorda), en el cultivo de salmones no se han desarrollado en la VIII Región, no existiendo hoy en día ningún centro dedicado a esta actividad. Sin embargo la Región tiene muy buenas características para el desarrollo de estos cultivos, como costas con aguas de calidad, una desarrollada infraestructura, mano de obra disponible, etc. El hecho de que la tecnología ocupada tradicionalmente en Chile para el cultivo de salmones en balsas jaulas no es compatible con las características ambientales existentes en la mayoría de los sitios de la Región y los altos costos que implica el implementar estos nuevos sistemas de cultivo (offshore) ha sido la gran causa de que el desarrollo completo de la actividad salmonera no ocurra.

Sin embargo, hace algún tiempo, se han desarrollado tecnologías nuevas, que permite el cultivo de salmones en las fases de agua de mar de forma diferente a la que se hace en los canales del sur. Una de estas tecnologías es la que permite cultivos en ambientes denominados como *offshore* o *fuera de la costa*, la que trata de balsas jaulas que debido a sus características técnicas, pueden soportar con éxito las condiciones marinas de expuestas o semi expuestas (Scott and Muri, 2000).

Lader et al., (2007) expone también que una de las posibilidades para expandir el cultivo de peces basado en el mar es mover las instalaciones de acuicultura lejos de los conflictos de la zona costera, y en lugares del océano más abiertos. Sin embargo, la acuicultura en mar abierto coloca diferentes demandas de las estructuras que la acuicultura en lugares protegidos. Estas demandas a las estructuras se traducen en el aumento importante de los costos de estas.

Desde el punto de vista comercial el implementar estos cultivos Zhao et al., (2015) menciona que las evaluaciones económicas y ambientales adecuadas puede ser iniciadas.

Además se espera una mayor actividad para forzar el movimiento de la acuicultura hacia sitios más desprotegidos en donde las cargas ambientales son mucho más importantes.

El instalar cultivos de salmones en sitios offshore, además trae consigo ventajas en comparación a los cultivos de salmones tradicionales, que permiten aumentar la calidad y cantidad de producción. Según los autores como Dahle (1990) y Sveälv (1991), estas características son:

- a. Crecimiento más rápido (15%).
- b. Tasa de conversión de alimento más baja
- c. Menor mortalidad (50%)
- d. Menores daños en peces cultivados.
- e. Mayor resistencia a enfermedades.
- f. Menor grasa en vísceras (14%).
- g. Reducción de la autocontaminación.

El uso de jaulas para ambiente expuesto es una respuesta, que no solo permite solucionar la problemática de los cultivos marinos de salmón, tanto a nivel nacional o regional, sino que además reduce la competencia que existe por los sitios, que otras actividades humanas también requieren, optando a sitios con poco uso de otras actividades.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- i. Determinar la rentabilidad de operación para un cultivo de salmones tipo offshore en la VIII Región.

1.2.2 Objetivos Específicos

- i. Determinar las variables ambientales y oceánicas de la VIII Región, para establecer las características de los sitios de cultivo offshore.
- ii. Determinar un sistema de cultivo offshore que satisfaga los requerimientos ambientales y oceanográficos de la VIII Región, basándose en la tecnología disponible a nivel mundial.
- iii. Evaluar económicamente un sistema de cultivo offshore en la VIII Región.

Capítulo 2: Antecedentes

2.1 Biológicos

2.1.1 Especies salmonideas cultivadas en Chile

En Chile desde comienzos del siglo pasado se comenzó con la introducción de especies salmonideas a distintos sistemas fluviales del país. Pero a mediados de la década del 1970 cuando comienza la producción comercial en Chile fueron muchas las especies salmonideas que se cultivaron, pero con el transcurso del tiempo solo fueron tres las especies salmonideas que resultaron ser viables para el cultivo en Chile y que se siguen cultivándose hasta la actualidad estas especies son:

- Salmón Atlántico o Salar: Especie que inicia su ciclo de vida en agua dulce o piscicultura y luego es trasladada al mar para su proceso de engorda por un período de 15 a 20 meses, con el fin de cosecharse con un peso de 4,5 a 5 kilos.

En Chile, su cultivo se ubica entre la X y XII regiones. Disponible durante todo el año, se comercializa principalmente a los mercados de Estados Unidos, Brasil y Unión Europea, bajo el formato de fresco o congelado en filetes o entero.

- Salmón del Pacífico o Coho: Especie que inicia su ciclo de vida en agua dulce o piscicultura y luego es trasladada al mar para su proceso de engorda por un período de 10 a 12 meses, con el fin de cosecharse con un peso de 2,5 a 3 kilos.

En Chile, su cultivo se ubica entre la X y XII regiones. Se comercializa principalmente en el mercado japonés bajo el formato congelado HG (sin cabeza).

Sus cosechas se concentran entre octubre y marzo.

- Trucha Arcoíris: Especie que puede ser producida íntegramente en agua dulce o, al igual que los anteriores, tiene su primera fase de desarrollo en agua dulce o piscicultura

para trasladarse a cultivos de mar por un período de 10 a 12 meses y ser cosechada entre 2,5 a 3 kilos.

En Chile, su cultivo se ubica entre la X y XII regiones. Se comercializa principalmente en los mercados de Japón, Rusia, Estados Unidos y Brasil bajo los formatos de HG –sin cabeza- congelado, filete fresco y congelados, porciones y ahumado.

Su cosecha se produce durante todo el año con un peak entre octubre y febrero (Asociación de la Industria del Salmón de Chile A.G.).

2.1.2 Exportaciones de especies salmonideas Chilenas

Según el grupo Salmonchile en su página web reporta que las exportación el año 2015 en el periodo de enero a Noviembre de las 527375 toneladas de salmónes y truchas Exportadas de Chile el 12% fue de Trucha, el 18% fue de salmón Coho y el 70% corresponde a salmón del Atlántico, siendo en cuanto a el peso el salmón del Atlántico la especie más importante, superando en más del doble al salmón Coho y trucha juntos.

En cuanto al retorno económico de los 3201 millones de US\$ FOB Chile los porcentaje reportados por Salmonchile mantienen casi idénticos a el peso, teniendo la trucha un 13% del retorno, el Coho un 15% y el salmón del Atlántico un 72%. Con estos antecedentes podemos afirmar que el salmón del Atlántico la especie más importante e interesante de producir para la salmonicultura nacional.

2.2 Ambientales

2.2.1 Condiciones de calidad de agua para el cultivo de salmónes

Los peces como organismos vivos toman elementos del medio para poder vivir. Pero cualquier especie viva solo soporta ciertos parámetros en un medio ambiente cualquiera. Las demandas fisiológicas de los peces tienen que estar de acuerdo a los parámetros del medio en donde viven. Estas condiciones o parámetros medioambientales devén estar

asegurados para el correcto desarrollo del cultivo. También hay que tener en cuenta la producción industrial de salmones produce un impacto ambiental negativo, generado principalmente por los desechos producidos por la alimentación y los desechos de los salmones. Por esto, el cultivo de salmones debe ser desarrollado lejos de las grandes fuentes de polución, centros humanos e industriales, con el fin de evitar efectos negativos en los cultivos y a los centros humanos (Canales, 1992).

Otros factores en el cultivo como la cantidad de alimento, la luz (artificial), color, la forma de las jaulas y las densidades de cultivo los afectan.

Los salmonideos no están entre las especies con menor requerimiento de calidad de agua, pero solo se desarrollan en cierto tipo ambientes.

2.2.2.1 Oxígeno

El Oxígeno que compone la atmósfera, se disuelve en el agua, junto con otros gases como el nitrógeno y el dióxido de carbono. Los peces son animales que respiran oxígeno, pero no de la atmósfera, si no el que se encuentra disuelto en el agua. La capacidad del agua para disolver está dada principalmente por la temperatura y salinidad, por lo que estos parámetros afectan la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Los salmonideos se desarrollan en temperaturas con rangos entre 5 a 20° C. Aquí el máximo oxígeno disuelto en agua de mar está alrededor de 9.0mg/lit a 6.4mg/lit, asumiendo un 100% de saturación que es el máximo de oxígeno que el agua es capaz de disolver en condiciones normales (Heen, et. al., 1993).

Según Heen, et. al. (1993), la cantidad mínima necesaria de oxígeno disuelto en el agua es de 5mg/lit, con el que los salmones se puede mantener por prolongados periodos. Se sabe que los salmones pueden soportar concentraciones de oxígeno de hasta 3,5mg/lit en

periodos cortos de tiempo. A pesar que niveles bajos de oxígeno, provocan estrés en, por lo que no son convenientes. Niveles iguales o menores de 3 mg/lt, ya son considerados letales.

En la Tabla 1 se presentan valores limites en agua de mar, en la que los salmonideos son capaces de soportar.

Tabla 1. Valores límites de parámetros de agua para el cultivo de salmones

| Parámetro | mg/lt |
|-----------------------------|-----------------|
| Oxígeno | 5-12 |
| Temperatura (°C) | >0-20 |
| PH | 6-9 |
| Metales | |
| Aluminio (Al) | 0,01 (variable) |
| Plomo (Pb) | 0,005-0,05 |
| Hierro (Fe) | 0,1-0,5 |
| Cadmio (Cd) | 0,0003-0,001 |
| Cobre (Cu) | 0,001-0,006 |
| Cromo (Cr) | 0,01-0,1 |
| Mercurio (Hg) | 0,0002-0,0005 |
| Manganeso (Mn) | 0,01 (variable) |
| Níquel (Ni) | 0,005-0,06 |
| Zinc (Zn) | 0,005-0,06 |
| Sedimentos | 25-80 |
| Gases | |
| Amoniaco (NH ₃) | 0,0125-0,025 |
| Sulfato de hidrogeno | 0,002-0,003 |
| Dióxido de carbono | 1,15-15,0 |
| Cloro (como HOCl) | 0,002-0,004 |
| Saturación de aire (%) | 105-115 |
| Saturación de nitrógeno (%) | 103 |

Heen, et al. (1993)

2.2.2.2 La Temperatura

Es el factor ambiental más asociado a la tasa de crecimiento en los peces de cultivos, debido que afecta la tasa de metabolismo de los peces.

Otro importante aspecto de la temperatura del agua, es que afecta la capacidad de esta, de disolver gases como el Oxígeno, ya que a mayor temperatura es menor la capacidad del agua para disolver los gases de la atmósfera.

Pero a pesar que a bajas temperaturas la cantidad de oxígeno que puede tener el agua es más alta que a temperaturas más altas, existen complicaciones, como es el cambio de fase que en el agua normalmente se produce a 0° C. Aquí se producen cristales de agua, los que son capaces de destruir los tejidos de los peces matándolos, aunque los salmones pueden resistir un rango un poco menor de temperatura, la que se denomina temperatura letal inferior y esta a los -0,5° C, ya que bajo estas temperaturas los salmones no son capaces de sobrevivir. Los salmones animales equiternos, no regulan su temperatura, si no que adoptan la del medio, bajan su metabolismo dejando de crecer (Méndez y Munita, 1989).

También existe la temperatura letal superior, para las fases de post-smolt está sobre de los 25°C. En condiciones de cultivo, los salmones se encuentran a muy grandes densidades, lo que produce que falta de Oxígeno, cuando las temperaturas son altas, esto debido a que al aumentar la temperatura se produce un aumento de la demanda de oxígeno de los peces y una disminución en cantidad de oxígeno en el agua.

En salmones, la investigación fisiológica ha mostrado que un rápido y eficiente crecimiento se logra a temperaturas de entre los 13-17° C. Fuera de este rango la producción se hace menos eficiente produciendo un crecimiento menor y problemas de estrés.

En la Tabla 2 se muestran algunos parámetros de agua de mar en las que deben mantenerse reproductores de salmón para su óptima, en la que podemos observar que se no se acepta ninguna cantidad de polución.

Tabla 2. Condiciones ambientales recomendadas para la mantención de reproductores

| Parámetro | Condición recomendada |
|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Temperatura del agua | 8° a 12° C |
| Salinidad | 24 a 33 ‰ y luego 0 ‰ 2 a 6 semanas antes del desove. |
| Concentración de Oxígeno | 100% saturación (9 a 10 mg/lt a 8-12° C) |
| Florecimiento de algas | Mínimo a moderado |
| Polución | Ninguna |
| Turbidez | Mínima |
| Corriente máxima | 10 a 50 cm/seg |

Fuente: Méndez y Munita (1989)

2.2.2.3 PH

El pH es un indicador de acidez, alcalinidad o basicidad y neutralidad, en el agua o otras sustancias. Está en una escala que va desde el 1, que es lo más ácido que puede estar, hasta 14 que representa el mayor grado de alcalinidad. En el agua, más o menos a los 20° el pH 7 representa neutralidad.

Cuando se agregan sustancias solubles al agua, estas debido a su naturaleza, pueden contribuir directa o indirectamente producir una variación del pH del agua, haciéndola más básica o ácida (profesorenlinea).

Los peces tienen reacciones fisiológicas, con el fin de controlar el balance interno ácido – base. Cambios extremos en el pH pueden afectar la capacidad de regulación de los peces, en especial aquellas especies que están adaptadas a rangos muy limitados de pH.

Según Heen et al., (1993) para el caso de los salmones el agua debe estar entre valores de pH de entre los 6 a 9, las que son los valores más comunes del agua en la naturaleza. El aumento o disminución leve en el rango de pH, puede ser tolerado por los salmones, pero es conveniente evitarlos, ya que ocasionan estrés. Para valores ácidos de pH (bajo los 5,5), reducen la habilidad de la sangre para transportar oxígeno y irrigarlos hacia la piel y

agallas, produciéndose un exceso de mucus y destrucción de tejidos. También la acidez en el agua por largos periodos produce una disminución de la resistencia a las enfermedades bacterianas. Cuando el pH se encuentra entre 8 y 9, se considera un medio básico, produce la destrucción de los tejidos y agallas de forma parecida a la acidez del medio.

El pH alto o bajo también puede afectar la toxicidad del agua y favorecer la solubilidad de sustancias. En general se asocian a los valores bajos de pH a falta de aireación o a contaminación en las aguas, por el contrario los valores más altos de pH normalmente indican una buena aireación

2.2.2.4 Dureza

Esta característica del agua se mide principalmente por la cantidad de sales de calcio y de magnesio presentes en el agua, siendo más importantes las sales de calcio, como el CaCO_3 o carbonato de calcio. Se mide en mg/lit, considerandos agua suave, cuando hay rangos menores de 59 mg/lit de CaCO_3 , y dura cuando el agua presenta valores de entre 300 a 400 mg/l (Valenzuela, 2004).

Los peces también solo están adaptados a ciertos rangos de dureza en el agua. Este rango es de entre 5 a 200 mg/l para los salmones. En el mar los peces deben hacer esfuerzos para mantener el equilibrio salino o la osmoregulación, por lo que aguas muy duras producen efectos negativos en los salmones.

2.2.2.5 Metales

En las fuentes de agua y por diversos motivos se pueden encontrar disueltos metales, algunos de estos si están en altas concentraciones son letales para los salmones en cualquiera de sus etapas.

Algunos de estos metales son más tóxicos que otros, pero en cualquier caso se debe evitar su presencia en los sitios en donde se desarrolle los cultivos. Entre los metales que se

pueden encontrar en el agua de mar y que afectan los salmones están el aluminio(Al), plomo(Pb), hierro(Fe), cadmio(Cd), cobre(Cu), cromo(Cr), mercurio(Hg), manganeso(Mn), níquel(Ni) y zinc(Zn).

2.2.2.6 Salinidad

Como sabemos que el cultivo del salmón se lleva a cabo en dos tipos de ambientes acuáticos, primero en el agua dulce y luego en el agua de mar, en donde se lleva cabo su engorda. Pero existen diferencias cualitativas entre el agua dulce y salada. Los salmones compensan esta diferencia haciendo grandes cambios fisiológicos para compensar esta diferencia, lo que se conoce como smoltificación.

Normalmente el agua de mar tiene una salinidad que esta alrededor de 35 mg/l de sales disueltas en el agua, variando muy poco en mar abierto, a diferencia de los canales y fiordos en que se registran descensos de hasta 20 mg/l. Entre las sales más importantes están el cloruro de sodio (78%), cloruro de magnesio (11%), sulfato de magnesio, calcio y potasio, carbonato de calcio y bromuro de magnesio (Canales, 1992).

A causa de que el agua de mar tiene sales disueltas en ella, el peso específico de esta aumenta, en comparación con el agua dulce. Si se conoce el peso específico y la temperatura del agua, por medio de tablas se puede saber la salinidad de esta, ya que están relacionadas. El agua marina tiene un pH promedio de alrededor de 8,1 lo que unido a salinidades altas reduce el efecto de muchos contaminantes.

2.2.3 Criterios ambientales para las jaulas de cultivo de salmones

Al igual que en los peces, el ambiente ejerce influencia a los sistemas en los cultivos, principalmente traducido como cargas y más aun cuando se trata de sitios offshore. Estas cargas son las que pueden arruinar cualquier sistema que no esté diseñado para resistirlas. El conocimiento de estas cargas medioambientales resulta fundamental a la hora de seleccionar e implementar un sistema de cultivo para sitios offshore. A

continuación se hará una descripción de estas cargas y sus efectos en los sistemas de cultivo hecho por Rodríguez y Díaz (1995).

2.2.3.1 Condiciones climáticas

La atmósfera no es un medio estable, en ella se producen continuos cambios. Estos cambios normalmente no son perjudiciales para las actividades de cultivos marinos, pero cuando estos cambios llegan a producir consecuencias como las tormentas, pueden resultar en enormes perjuicios para las estructuras que se encuentran allí.

El principal problema de las tormentas es la producción de fuertes *ráfagas de viento* las que llegan a tener grandes magnitudes y efectos nefastos, no sólo por las cargas que por sí solas son capaces de generar sobre los sistemas de cultivo, si no porque son capaces de generar grandes olas de las que hablaremos más adelante. Las mayores tormentas que se registran son las tropicales, las que Chile por sus condiciones no las presenta.

2.2.3.2 Olas

Las olas es una de las mayores cargas que el medioambiente marino puede producir, por lo que de todos los problemas posibles ambientales en el cultivo en jaulas de altamar, el oleaje es de mayor preocupación. Por lo que al momento de considerar las estructuras y sitios de cultivo son de los primeros factores ambientales que se devén considerar.

La forma de la ola sobre la costa varía mucho dependiendo del sitio elegido, un factor que hace a la ubicación más difícil. Además, los datos sobre el tipo y forma de la ola son generalmente escasos, lo que hace difícil de predecir la altura máxima de la misma o determinar la ola significativa. Por los que debe contemplarse en cada lugar lo respectivo al viento, las olas y la corriente (Granja Oceánica Offshore, 2013).

A pesar de esto el tener el conocimiento de la acción de las olas en un sitio potencial (también llamado clima de olas) ayudara a la elección de una jaula adecuada y la tecnología

de amarre par el sitio, así como la estimación del riesgo de fracaso (Cairns y Linfoot, 1990 citado por Pérez et al., 2003). Las olas con alturas máximas pueden causar un fracaso total instantáneo de los sistemas de cultivo en mar abierto, mientras que las olas promedio (en relación a la altura) promueven el fracaso gradual o lo que comúnmente se conoce como “fatiga estructural”. Esto es importante para el cálculo de la frecuencia de sustitución de diferentes partes de la estructura de la jaula (Pérez et al., 2003).

Otro aspecto a tener en cuenta es que el oleaje no solo puede causar daños a las estructuras de los sistemas de cultivo, si no que a demás puede causar movimientos excesivos haciéndolos salir del agua a los peces durante las tormentas, causando trauma osmótico y el aumento de los riesgos de enfermedades y mortalidad (Turner, 1991 citado por Pérez et al., 2003).

La ola como tal es una onda de forma sinusoidal que se propaga por el agua. Sin embargo la ola no es un fenómeno fácil de describir, en la superficie del mar las olas se superponen, dando la formando característica que vemos en las aguas marinas. Además todas estas olas no son iguales, tienen diferente forma, velocidad y origen. Las olas más comunes son las formadas por el viento, son las olas que más nos interesan, ya que afectan principalmente a los cultivos marinos.

Para el diseño de las estructuras costeras es muy importante para obtener información sobre las características de la ola en un período de tiempo lo suficientemente largo para cubrir la vida útil de la estructura. Normalmente estas medidas están disponibles o son escasas. Una manera de resolver este problema es para representar las estadísticas de ola con una función de probabilidad que se ajusta a los datos. Las estadísticas ordinales son de poco valor, ya que el estudio de un fenómeno en sus condiciones extremas requiere el uso de métodos estadísticos diseñados específicamente para ello (Pérez et al., 2003). La estimación fiable de las olas extremas se basa normalmente en los datos de la altura de ola significativa H_s , que a continuación se ajusta con una o más distribuciones de probabilidad. Esto le da a la función de distribución de probabilidad acumulativa, $P(H_s)$, para diferentes valores de H_s .

Hay que tener muy en cuenta que no hay ninguna razón física, teórica o empírica para preferir una distribución a otra (Muir y El-Shaarawi, 1986 citado por Pérez et al., 2003)

En el océano rara vez se compone de un componente de onda única (es decir, el campo de ondas no es monocromático). En lugar de ello existe un espectro de ondas, resultando en un forzamiento temporal complejo. Así que no solo existe una serie de olas que actúan sobre un sistema de cultivo, lo que se tiene es una variabilidad temporal en el que las olas se encuentran típicamente en grupos de modo que habrá períodos de intensa actividad de olas (Smith et al., 1996 citado por Stevens et al., 2008).

Un estado de la mar es comúnmente descrito como un espectro de oleaje. El espectro, describe la distribución de energía a diferentes longitudes de onda en un estado de la mar irregular. Ya que no es el objetivo de este trabajo el realizar una descripción exhaustiva, el espectro más utilizado es el de Pierson Moskovic que se describe como:

$$S_{\xi}(\omega) = \frac{1}{\omega} * 173 * \frac{H_s^2}{T_a^4} * e^{-\frac{691}{T_a^4 * \omega^4}}$$

La elevación de la ola, la velocidad y la aceleración, dependerán de la profundidad y se calculan a partir de la formula anteriormente descrita.

Se puede afirmar que el movimiento generado por el oleaje desciende exponencialmente con la profundidad, desde la superficie, y se reduce a cero a una profundidad correspondiente a la mitad de la longitud de onda del oleaje (Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía, 2005).

Los fuertes oleajes además de causar daños a las estructuras de las jaulas, pueden, y debido al movimiento excesivo que provocan a estas (jaulas) las olas, ocasionan daños a los peces que están dentro de las jaulas, los que van desde daños físicos hasta mortalidades. Además

los movimientos que provocan los fuertes oleajes afectan la normal operación de las jaulas. Por lo que los diseños de jaulas hechas para soportar los fuertes oleajes devén enfrentar el reto tecnológico de proporcionar un concepto de diseño viable que es capaz de funcionar en un entorno de alta energía (Beveridge, 1996; Shainee 2012).

Un aspecto importante a considerar es el de la medición del oleaje. Las olas aunque visualmente son fácilmente observables, la medición de forma fiable resulta difícil debido a la superposición de diferentes trenes de olas y al la irregularidad de estas. Por lo tanto es común describir el oleaje con parámetros estadísticos. El más importante de ellos, en términos de diseño, son las alturas significativas de ola H_s y el período de ola que contiene mayor cantidad de energía T_p . Este descriptor se estima como cuatro veces la desviación estándar de la elevación (Stevens 2008). Pérez et al., 2003 describe que esta medición es para determinar a corto plazo la altura significativa que es la altura media de un tercio de los valores más altos en una serie continua.

2.2.3.3 Corrientes

Las corrientes al igual que las olas, generan cargas sobre las jaulas de cultivo, además contribuyen a la pérdida de alimento y funcionamiento de estas.

Sin embargo, las corrientes juegan un papel muy importante en el funcionamiento de las jaulas, ya que permiten el intercambio del agua, logrando renovar así el Oxígeno y quitar los desechos que se producen en el cultivo. También, influyen sobre el comportamiento, crecimiento y calidad de la carne de los peces.

Las fuerzas producidas por la corriente en un panel de red, se denominan fuerzas de arrastre y fueron descritas por Loland (1993), de la siguiente forma:

$$dFD = 1/2 d CD (\alpha) U^2 dA$$

CD = coeficiente de arrastre(está en función de α)

α = ángulo entre la dirección del flujo y el ángulo normal a la red

U = velocidad de la corriente

d = densidad del agua

dA = superficie de la red

La fuerza de arrastre es directamente proporcional a la velocidad de la corriente, a la superficie de la red. La velocidad de la corriente está condicionada por la situación oceanográfica. La superficie de la red, estará determinada por el tamaño de malla elegido y por la cantidad de fouling que acumule la red. Es necesario tener en cuenta que las fuerzas de arrastre aumentan con el cuadrado de la velocidad de la corriente por lo que un pequeño aumento en la corriente producirá unos grandes incrementos (Empresa Pública Para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía, 2005).

En el mar las corrientes son generadas principalmente por dos causas, mareas y vientos. Las mareas como fuentes generadoras de corrientes actúan principalmente en bahías, fiordos y canales. Cuando ocurren los cambios de mareas, estas producen el llenado o vaciado de las bahías, fiordos y canales, lo que genera corrientes, la que dependiendo de la amplitud de la marea y de las dimensiones y características geográficas de las bahías, fiordos y canales pueden llegar a ser muy importantes.

El viento en pequeña escala además de provocar olas, puede provocar corrientes superficiales. A gran escala la circulación de las grandes masas de aire sobre los océanos son las responsables de la generación de las corrientes oceánicas. Una corriente de originada por el viento tendrá un perfil clásico de disminución con la profundidad, mientras que una corriente oceanográfica no tiene porque presentar este perfil y puede ser constante en la columna de agua en dirección y intensidad (Empresa Pública Para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía)

2.2.3.4 Fondo marino costero

Las jaulas de cultivo son sistemas flotantes, la profundidad del fondo no las afecta en mayor medida. El fondeo de las jaulas afecta principalmente por el aumento de los costos

totales de los sistemas de jaulas, ya medida que el fondo está más profundo su aumenta la dificultad de su instalación con el consiguiente aumento de valor. La profundidad también se asocia en el mar a un mayor intercambio de agua, por lo que los sistemas deben estar en lugares con una profundidad suficiente para asegurar un correcto intercambio de agua.

En los fondos también se pueden encontrar sedimentos, los que resultan no beneficiosos para los peces cultivados, para evitar esto las jaulas deben estar ubicadas sobre 4 o 5 metros sobre el fondo.

El fondo está constituido por un cierto tipo de sustrato, el que se debe tener bien en cuenta a la hora de seleccionar y dimensionar el fondeo.

2.2.4 Antecedentes oceanográficas de la VIII Región

2.2.4.1 Temperatura y salinidad

Los parámetros físicos – oceanográficos se dan de acuerdo la latitud y a los cambios estacionales. Debido principalmente a que la mayoría de los procesos que afectan las propiedades del agua en el mar actúan en la superficie del océano, las características de las aguas superficiales y subsuperficiales, dependen en gran medida de las condiciones climáticas (Panzarini, 1984).

Chile es un país muy largo en el sentido latitudinal, por lo que presenta una gran variedad en cuanto a sus ambientes marinos, por lo que para analizar estos datos se hace una división regional asociada a la distribución de los parámetros de temperatura y salinidad en el océano.

Los límites de estas zonas corresponden en general a la separación de las zonas climáticas. Denominadas normalmente como convergencias, que son los lugares donde las aguas superficiales que vienen en sentido contrario chocando y hundiéndose en ese lugar.

La VIII Región se encuentra ubicada en la zona climática, denominada como Zona Subpolar, ubicada entre los 30° a los 63° latitud sur, existen ciertas variaciones entre los extremos de esta zona, explicado principalmente por la gran extensión de esta en cuanto a su latitud. En el norte durante el verano las temperaturas superficiales están en el rango de 15° a 19° C, en el invierno aquí las temperaturas descienden bajo los 11° y con salinidades de entre 34,2 a 34,5‰. Para el extremo sur de la zona las temperaturas subsuperficiales varían entre 6° a 13°C, manteniéndose relativamente constantes durante todo el año y con salinidades de 33 a 34,1‰ (EULA, 1993).

Para el caso específico de la VIII Región, según publicaciones hechas por EULA (1993) la temperatura superficial del agua está entre los 12° a 13° C como promedio con mínimas de invierno que llegan a los 8° C y máximas de verano de entre los 16° a 17° C. otra importante de mencionar en la temperatura de la VIII región es que las temperaturas son más altas en el centro de Chile que en el sur (Díaz et al., 2014), este factor podría influir en las tasas de crecimiento de los salmones, la que debería variar positivamente con respecto a las que se observan en el sur de Chile donde típicamente se realizan los cultivos de salmón.

Las salinidades están entre los 33,8 a 34,5‰, que como vemos son los valores descritos anteriormente para la zona. Estos valores se corresponden a valores obtenidos por estudio de Caracterización Preliminar del Sitio: Noroeste de Cobquecura, de Inversiones Pelicano (2015) de data más reciente. Por datos obtenidos por Díaz et al., (2014) en el golfo de las mayores variaciones en la salinidad en la columna de agua se produjeron en Junio, Agosto y Octubre del 2009. La salinidad y la temperatura fueron más homogénea en primavera verano.

2.2.4.2 Corrientes en el mar chileno

El litoral chileno en toda su intensidad presenta un gran número de corrientes marinas, con diferentes direcciones e intensidades. Siendo algunas de ellas superficiales, subsuperficiales y de fondo.

En general las corrientes marinas que se presentan en la Región son pequeñas, presentándose las mayores en las bahías y producto del vaciado y llenado por las mareas.

Las corrientes marinas en Chile están influenciadas por la circulación atmosférica que se produce en el Pacífico sudoriental. Esta circulación forma la corriente de la Deriva del Oeste la que viene en sentido perpendicular hacia nuestras costas. La corriente de la Deriva del Oeste al topar con el continente origina dos grandes sistemas de corriente frente a nuestras costas. Estos sistemas son: el sistema de la corriente de Humboldt y el Sistema de Circulación Antártica, además de la Corriente del Cabo de Hornos (SHOA 1994).

En el norte y centro sur de Chile, se distinguen dos corrientes que fluyen hacia el norte y otras dos que lo hacen hacia el sur. Las corrientes que fluyen hacia el norte corresponden al sistema de corrientes de Humboldt, la que se divide en una rama oceánica y otra costera. Las corrientes que vienen hacia el sur se denominan como la Contracorriente Oceánica del Perú y la Contracorriente Costera de Chile. También está la corriente subsuperficial que viene hacia el sur identificada como Corriente Subsuperficial de Perú-Chile.

Como ya se dijo la corriente de Humboldt tiene dos ramas, ahora nos dedicaremos a la descripción de estas de estas. La rama oceánica fluye en forma continua hacia el norte y es el flujo más importante en esta zona, sus aguas son de origen subantártico, fluye aproximadamente a la altura de los 80° longitud W, alcanzando una profundidad de 400 metros. Las velocidades máximas registradas son de 27 cm/seg en invierno y de 11 cm/seg para el verano. La rama costera de la corriente de Humboldt, también va hacia el norte con dirección paralela a la rama oceánica, también es un flujo continuo de agua y se encuentra centrada aproximadamente en la longitud de 73°W afectando hasta una profundidad de 300 metros, aquí las mayores velocidades se dan en otoño, las que llegan a los 14 cm/seg.

Contracorriente oceánica del Perú: Esta corriente tiene dirección sur, es un flujo más bien débil, irregular y subsuperficial. Su presencia llega hasta la latitud 48° S, y ubicada alrededor de los 75° longitud W, pasando en medio de ambas ramas de la corriente de

Humboldt. Formada por agua subtropical, de alta salinidad y baja concentración de oxígeno como principales características. Alcanza velocidades de hasta 20 cm/seg en primavera y otoño frente a Arica, pero su intensidad decrece rápidamente hacia el sur.

Contra corriente costera de Chile: Tiene dirección sur, aproximadamente en la longitud 72° W y la costa, afecta aproximadamente hasta los 150 metros de profundidad, en el norte del país en forma débil. Correspondería a un afloramiento de la corriente subsuperficial de Perú-Chile.

La corriente subsuperficial Perú-Chile: Se encuentra ubicada entre los 100 y 400 metros de profundidad, conformada por aguas subsuperficiales ecuatoriales de bajo contenido en oxígeno. Su recorrido está por debajo de la rama costera de la corriente de Humboldt, desde el norte del Perú hasta aproximadamente Chiloé. Sus velocidades están alrededor de los 4 a 10 cm/seg. Está centrada alrededor de la longitud 72° W, fluye alejada de la costa sobre la latitud 27° S, hacia el sur se hace mas costera y angosta. Al norte de la latitud 29° S, existe una corriente con dirección norte, que afecta hasta los 500 metros de profundidad.

El Instituto Hidrográfico de la Armada (1967), menciona que la velocidad de corriente máxima para la VIII región es de 100 cm/s, este dato aunque con data posterior se relaciona con datos obtenidos en Informe Técnico: Caracterización Preliminar del Sitio: Noroeste de Cobquecura (2015) que midió una velocidad máxima de 68.75 cm/s. Otras velocidades de corrientes medidas también se relacionan con valores mencionados anteriormente, como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis descriptivo general de la corriente

| Parámetro | Cm/s |
|-----------|-------|
| Media | 9,32 |
| Máximo | 68,75 |
| Moda | 6,68 |
| Mediana | 7,43 |
| Desvest | 8,54 |

Fuente: Informe técnico: “Caracterización Preliminar del Sitio: Noroeste de Cobquecura Pert N° 211081064” Inversiones Pelicano S.A. (2015)

Sobarzo et al., (2010) caracterizaron la estructura de las corrientes de la VIII región como una estructura de dos capas. Según los datos obtenidos por estos investigadores el flujo en la parte superior es de 5 a 10 metros hacia el noreste de la costa, en la dirección del viento predominante. La capa inferior, a partir de los 10 metros hacia abajo, tiene valores típico de 2 a 8 cm/s, con valores máximos entre los 5 a 20 metros de profundidad. También observaron que la capa inferior de corriente fluye en dirección opuesta a los vientos dominantes.

Según el Instituto Hidrográfico de la Armada (1976) y la carta SHOA 500,600 y 604, las corrientes marinas en la VIII Región se dan como sigue.

Al norte del Golfo de Arauco, solo se presentarían, sin considerar las bahías, corrientes marinas con dirección NE, paralela a la costa y con intensidades no superiores a los 26 cm/s y que correspondería a la rama costera de la corriente de Humboldt.

En el Golfo de Arauco se darían las corrientes más importantes por su intensidad. Sobre la costa oriental del Golfo de Arauco, entre las puntas Coronel y Lutrín, se observa una corriente hacia el Este, con una intensidad variable entre 102,8 y 154,3 cm/s.

En la Boca chica del Golfo de Arauco, se experimentan con frecuencia corrientes de marea, la de flujo de dirección hacia el ENE y la de reflujó hacia el WSW, de intensidad que

alcanza en ocasiones hasta 77,2 cm/s. Al Weste de la Boca Chica, existe una corriente, con dirección E, y que tendría velocidades de hasta 102,8 cm/s. Fuera de la isla Santa María, las mayores corrientes que abrían, serían de 51,4 cm/s con dirección NE.

También frente al puerto de Lebu, existen las corrientes de flujo y de reflujo con dirección N y S respectivamente y con intensidades no superiores 51,4 cm/s. La corriente de flujo corresponde a la rama costera de la corriente de Humboldt, que además es la corriente oceánica dominante en la costa comprendida entre Punta Tucapel y la isla de Chiloé.

En el sector del canal de Isla Mocha, se dan corrientes de flujo con dirección N y velocidades de hasta 77,2 cm/s, mientras que el reflujo que tiene dirección S, alcanza velocidades de 25,7 cm/s.

2.2.4.3 Masas de agua en el mar Chileno

En el océano las masas de agua no están distribuidas en forma aleatoria ni como una mezcla homogénea, presentan un orden y con características por las que se pueden identificar. A continuación se describen las Masas de agua presentes en las costas de la VIII Región según EULA (1993).

- La masa de Agua Subantártica: Posee bajas temperaturas las que se encuentran entre los 13° a 15°C y una salinidad que se encuentra en el rango de los 34,2 a 34,8‰. Alcanza profundidades de hasta los 100 metros.
- La masa de Agua Subtropical: Posee Valores de salinidad altos alrededor de 34.9 a 35,5‰. Su temperatura está entre los 18° a 25° C, además de presentar altos contenidos de oxígeno. Aparece como una delgada capa, generalmente no inferior a los 30 metros de espesor.
- El Agua Ecuatorial Subsuperficial: Esta masa de agua se forma en la región ecuatorial oriental subsuperficial del Pacífico. Localizada a 200 metros de profundidad, es

llevada por la corriente Subsuperficial Perú-Chile. Sus temperaturas están en el rango de los 8° a 12° C y con salinidades del orden de los 34,7‰.

- El Agua Antártica intermedia: Se ubica alrededor de los 600 metros de profundidad. Tiene rangos de temperatura de entre los 3° y 6° C y su salinidad varía entre los 34,1 a 34,5‰. La concentración de oxígeno que presenta es muy baja, los que están entre 2 a 5,8 ml/l. Se origina al norte del frente polar.
- La masa de Agua Profunda del Pacífico: Se encuentra ubicada bajo los 1000 metros, su temperatura es de 1.75° C, su contenido de oxígeno está entre 2 a 3 ml/l y con una salinidad de 34,68‰.
- La zona Sur Subantártica se encuentra la VIII Región, se encuentran los siguientes tipos de agua: Agua Subantártica, Agua Antártica, Agua Ecuatorial Superficial, Agua subsuperficial del Pacífico occidental, Agua intermedia, Agua profunda del Pacífico y Agua Antártica de Fondo. En la Región, la presencia de la corriente de Humboldt, es la que aporta principalmente con las aguas subantárticas que son las que más influencia tienen en el ecosistema marino de la VIII Región.

2.2.4.5. Características costeras de la VIII Región

Así como se hace una diferenciación del país desde el punto de vista oceánico, también se puede plantear una distribución del país de acuerdo a la geomorfía costera, como la propuesta por Kelletat (1989), quedando la VIII Región en la costa central de Chile ubicada entre 32° y 42° latitud S.

En EULA (1993), que trata de los ambientes costeros del Golfo de Arauco, caracteriza las olas de la costa central de Chile, como olas largas de fondo, las que se producen las latitudes altas de Océano Pacífico, el promedio de altura de estas olas está entre los 0,8 a 2,2 metros y pudiendo llegar a alturas que van de los 4 a 9 metros en el invierno, producido

por la interacción con olas locales. Esto es un indicador que en el invierno se producen las cargas por olas más grandes. La dirección de estas olas es de sur-surweste, por lo que al llegar a la costa forman una corriente litoral hacia el norte.

Las mareas en la Región tienen amplitudes que llegan a los 2 m, son semidiurnas y de régimen mixto. Debido a estas corrientes en las zonas se producen corrientes en las bahías y zonas estuarinas.

2.2.4.6 Vientos en la VIII Región

La región de Chile Centro sur se caracteriza por presentar el clima y meteorología más variable del país. En efecto sobre ella actúan los centros de acción meteorológica más importantes de todo el litoral central: Anticiclón del Pacífico Sur, las Bajas Sub Polares, la Baja Costera, y la profundización de la Depresión Continental (Herrera, 1994).

Según Ahumada y Cuencas (1979), que hicieron un análisis de los vientos obtenidos de anuario meteorológico del departamento de geofísica de la Universidad de Concepción, en un periodo de 1965 a 1973, determinaron la dominancia de los vientos en la región. En el periodo de primavera a verano se da la dominancia de los vientos S-SW. Por el contrario para el periodo de otoño e invierno el viento dominante es el N.

En cuanto a las intensidades máximas de vientos, según Herrera (1994) describe que en general para la Región se encuentran vientos marinos con máximos de 41 nudos que pertenecen a vientos S-SW, los que se darían principalmente en el periodo de primavera verano y a los vientos N para el periodo de otoño invierno, sin embargo según el Instituto Oceanográfico de la Armada (1967), registro vientos NW máximos con velocidades de 45 nudos. Herrera (1994), describe que para el rango de los vientos máximos, que correspondería a los vientos con velocidades iguales o superiores a los 31 nudos, los porcentajes de ocurrencia de entre 2,4 a 2,8% durante todo el año. Además describe que los vientos dominantes para la Región sería los que están en el rango de entre los 11 a 29 nudos, con un porcentaje de ocurrencia de aproximadamente 69%.

Saavedra (1980) (citado Herrera (1994), al analizar los datos de viento en el periodo de 1968 – 1977 de viento sobre la superficie de Concepción, obtuvo como resultado los siguientes porcentajes de dominancia: viento SW 31,6% N 26%; S 19,4%; W 8,5% NW 4,9%; SE 4,9%; NE 2,9% y E 1,3% donde las frecuencias significativas son todas aquellas que están por sobre el 10 %.

Sobarzo et al., 2010 obtuvo como resultados que la dirección que la dirección promedio del viento es de suroeste con los ejes fuertemente alineados con la orientación de la costa, sin embargo los vientos norte y noreste resultaron ser significativamente superiores en cuanto a su velocidad.

2.2.4.7 Geografía de la VIII Región

La zona costera de la VIII Región presenta características de excepción en relación a: a) la existencia de un sistema de bahías; b) presencia de una amplia plataforma continental; c) cañones submarinos que interrumpen la continuidad de la plataforma; d) un activo sistema estacional de surgencias costeras; y, e) la existencia de importantes aportes de agua de escurrimiento fluvial (Ahumada, 1989).

En cuanto al sistema de bahías encontramos de norte a sur, las bahías de Coliumo, Concepción, San Vicente y el golfo de Arauco. La Bahía de San Vicente es la única que se encuentra abierta al Oeste, el resto de las bahías de la región se encuentra orientada hacia el norte quedando protegida contra el fuerte oleaje proveniente del Sur, pero expuestas a los fuertes vientos de Norte en Invierno.

En la Región podemos encontrar tres zonas, en cuanto a la plataforma continental. La primera que se encuentra al norte del Golfo de Arauco, se caracteriza por tener una plataforma continental amplia. Según Ahumada (1989), esta plataforma continental se extiende aproximadamente hasta 30 millas hacia el Oeste, con profundidades que no superan los 160 metros. En esta zona la plataforma es cortada en dos puntos, en que se

encuentran profundidades mayores, esto se produce por la presencia de los cañones submarinos de los ríos Itata, centrado al NW y Bio Bio, que apunta hacia el Oeste.

La segunda zona se ubica desde Punta Lava Pie, y antes de la Isla Mocha, en esta zona la plataforma continental se reduce drásticamente, pudiendo encontrarse profundidades superiores a los 100 metros dentro de 3 millas hacia el Weste.

La tercera zona, estaría justo frente a la Isla Mocha, aquí volvemos a encontrar una plataforma continental de muy poca profundidad. La isla Mocha está separada de la costa firme, por un canal de 17 millas de ancho, en el cual se sondan profundidades de 23 a 34 metros, libre de toda clase de obstáculos (Instituto Hidrográfico de la Armada, 1967).

2.2.4.8 Las surgencias costeras

En las toda las costas de la VIII Región ocurre un interesante fenómeno oceánico, al cual se le atribuyen la gran abundancia de peces en todas las grandes pesquerías pelágicas del país, a este fenómeno se denominan surgencias.

Las surgencias, consiste en un ascenso de las aguas subsuperficiales hacia la capa superficial, es inducida por la acción del viento que sopla con paralelo a la costa, en combinación con la rotación de la Tierra, produciéndose un desplazamiento del agua superficial sobre la cual está soplando el viento sur, hacia mar abierto. Al ocurrir este movimiento, el agua que está bajo la superficie pasa a ocupar el lugar de la que se ha desplazado hacia mar abierto.

Las surgencias ocurren porque los vientos se acoplan por fricción, "empujan" la superficie del mar, transmitiendo "momento" a las aguas. Este último es el producto de la masa por la velocidad de un cuerpo en movimiento.

En el litoral chileno, durante primavera y verano soplan los vientos desde el sur o el suroeste al norte o noreste lo que produce, por efecto de Ekman una desviación de las capas superficiales de agua hacia el oeste en el océano abierto, alejándolas de la costa.

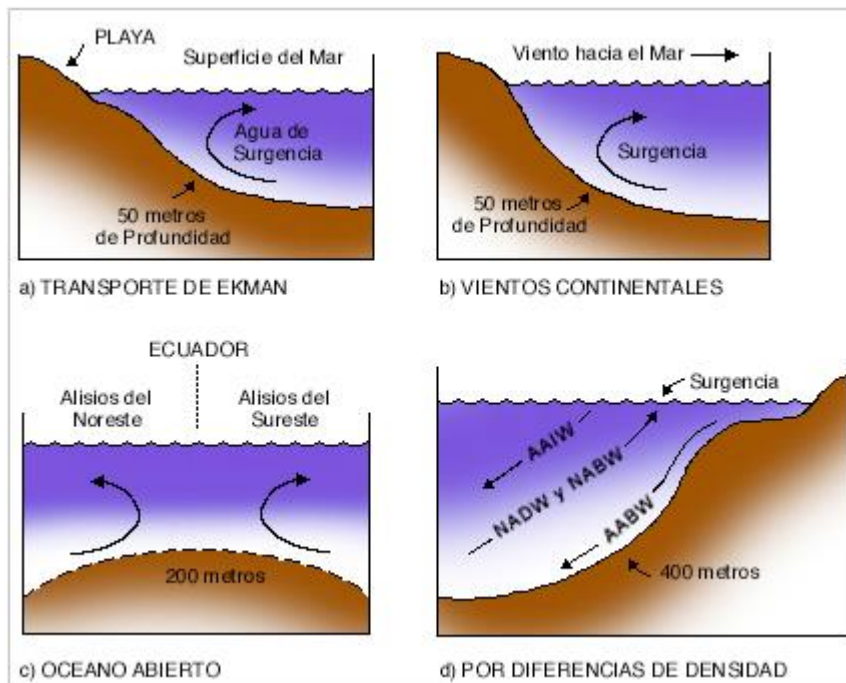


Figura 1: Causas y explicación de Surgencias
Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile (2006)

Una de las consecuencias de las surgencias es una disminución en la temperatura del mar, debido a que el agua subsuperficial del afloramiento posee una menor temperatura, además suele ser rica en nutrientes y pobre en oxígeno disuelto. Esta situación, en conjunto, hace que estas zonas sean refertilizadas y se vea favorecido con una alta productividad primaria (SHOA, 1994).

Sin embargo la ocurrencia surgencias costeras, no solo dependería de los vientos s o SW, sino que también estaría relacionada con la batimetría, la estratificación de las aguas y la geometría de la línea de la costa (EULA, 1993).

Los problemas para los cultivos marinos que generarían las surgencias, estarían dados por los bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua debidas a las concentraciones bajas de oxígeno que poseen las aguas de capas más profundas que hacienden en las surgencias y al florecimiento de fitoplancton que potencia el efecto de baja de oxígeno. Por ejemplo para el caso de la bahía de Concepción, la estratificación de las aguas en primavera y verano

determina una débil capa de mezcla, produciéndose una fuerte oxiclina (ca. 10 y 15 m.) depende de la intensidad de la surgencia y la intensidad del viento de la bahía. La actividad de la surgencias producidas por viento prolongados e intensos, seguido de debilitamientos y calmas, producen una disminución significativa de la mezcla turbulenta, lo que produce un ascenso de las aguas pobres en oxígeno cerca de la superficie y, en ocasiones, producen mortalidades masivas (Ahumada y Arcos, 1976, citado por Ahumada, 1989).

La gran productividad de las aguas en donde ocurren fenómenos de surgencias, se ve determinado por una gran proliferación de fitoplancton, tomando frecuentemente características de “blooms” o “aguas coloreadas”(Ahumada y Cuencas, 1979).

Las surgencias ocurren dentro del periodo de primavera y verano, teniendo una duración total de dicho periodo de 8 meses, en que cada evento tiene una duración que varía entre 1 a 7 días. Las aguas de surgencia alcanzarían una distancia de 32 km. de la costa, con una profundidad en el sector oceánico de entre 20 a 70 metros y se caracterizaría por la presencia de AESS (Ahumada, 1989). Para la VIII Región, el mayor foco de surgencia ocurre en Punta Lava Pie, en que las aguas afloradas presentan las siguientes características: temperatura $< 16^{\circ} \text{C}$; salinidad $> 34,3$; oxígeno $< 2,0 \text{ ml/l}$ (Sobarzo, 1994).

Otros centros importantes de surgencias en la VIII región son Tirúa, Lebu. También existen otros centros denominados menores que son: Arauco, Punta Hualpén, Punta Lobería, el fondo bahía de Concepción, Punta Nugurne (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2006).

2.2.4.9 Fondos en la VIII región

Como ya se dijo anteriormente las características de profundidad en la VIII en cuanto a la profundidad están bien definidas en diferentes cartas de batimetría (ver sección anexos). En la que se puede ver que la región posee una amplia plataforma marina, con la presencia de dos cañones submarinos formados por la presencia de los dos ríos con más caudal de la

región (Bío-Bío e Itata), con mayor profundidad pero también aportan con una mayor cantidad de desechos agrícolas y forestales al mar, el investigador también reporta la gran cantidad de troncos encontrados en la desembocadura del río Itata, estos troncos también podrían causar problemas por choque con estructuras dispuestas en el océano. Tanto el río Bio Bio como el Itata causan una gran turbidez en el océano durante los temporales de lluvia de invierno.

En cuanto a las características de fondo oceánico, por visitas del investigador de esta tesis a diferentes sitios costeros de la región reporta que la totalidad del borde costero está formado por arena y rocas. Díaz et al., (2014) mencionan que el fondo del mar en el golfo de Arauco está formado por arena y rocas. En Informe Técnico de Inversiones Pelicano (<http://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=2130911255>) en muestras de granulometría en submareal frente a Cobquecura obtuvo como resultado que el sector está compuesto principalmente por la fracción de sedimento de Arena fina 49,4% en la fracción sedimentaria, seguido del Fango con un 26% en la fracción. El sedimento recolectado presentó un porcentaje de materia orgánica bajo, con un promedio de 0,84%.

2.3 Técnicos

2.3.1 Descripción de la etapa de engorda de salmones en mar

La etapa de engorda de salmones es una de las más críticas desde el punto de vista económica. Esto debido a que esta es la etapa o fase en que se incurren los mayores costos en la producción, tanto por las cantidades de alimento que son requeridas, como por las estructuras que se utilizan y más aun cuando estas están en ambientes marinos en donde los cambios físicos las hacen vulnerables a cualquier deterioro. Para el cultivo del salmón en el mar se han desarrollado balsas jaulas flotantes. Estas estructuras son capaces de soportar fuertes vientos, oleajes y corrientes (Asociación de la Industria del Salmón de Chile A. G.). El costo en estructuras aumenta cuando mayores sean las cargas ambientales que estas deban soportar. Por esto se hace necesario lograr en esta una eficiente estructura de administración con el fin de abaratar los costos y maximizar los beneficios.

En esta fase los peces comienzan a ser alimentados con dietas especiales de engorda, suministradas y controladas, en gran medida, por sistemas automatizados que permiten un mejor aprovechamiento del alimento y un especial cuidado del medio ambiente. Casi un año después del ingreso a las balsas jaulas, los peces alcanzan un promedio de 1 libras de peso, momento adecuado para su cosecha (Asociación de la Industria del Salmón de Chile A. G.).

2.3.1.1 Descarga y recepción

Los salmones son peces anadromos en estado natural, nacen en los ríos de agua dulce en zonas montañosas y luego migran al mar bajando por los ríos. Para poder empezar la producción en el mar, es necesario adquirir los smolt de salmón.

Según Canales (1992), de acuerdo al tiempo en que se producen los smolt y el peso que poseen se puede clasificar como se muestra en la tabla N4:

Tabla 4. Clasificación de Smolt para salmonicultura

| Smolt | Peso(gr.) | Tiempo(mes) | Sobrevivencia (%) |
|----------------|-----------|-------------|-------------------|
| S ₀ | 25-40 | 6-9 | 60 |
| S ₁ | 60-150 | 12 | >90 |
| S ₂ | >200 | 24 | 85 |

Fuente: Canales (1992)

Canales (1992) también menciona que lo más utilizado en Chile actualmente peces de 150 gramos para ser trasladados al agua de mar, los que pertenecen al los S₁. Los salmones de 150 gramos han mostrado ser el ideal en cuanto a la relación beneficio costo ya que se minimizan las mortalidades por shock salino y los costos al no ser necesaria la aclimatación a la salinidad, además de no hacer durar más la etapa en el agua dulce ya que todo el peso ganado por los smolt sobre los 200 gramos en agua dulce se pierde en agua de mar.

Los peces son trasladados directamente de los centros de producción de smolt por medio de camiones con estanques diseñados para este fin los cuales llevan agua dulce y son oxigenados. Luego para el caso de los cultivos offshore se hace necesario el transporte por medio de embarcaciones. Hoy en día existen embarcaciones especialmente acondicionadas para el transporte de salmones, además de empresas que ofrecen este servicio. Las densidades de traslado para salmones en general están entre los 8 a 12 kg/m³.

Canales (1992) describe dos tipos de recepción en la salmonicultura, pero siempre los smolt deben estar en ayuno 24 horas antes y después del traslado.

La primera y más usada es la *recepción directa*. Los smolt van directamente al mar, produciéndose una selección natural al morir los más débiles. Este tipo de recepción minimiza los costos ya que se requiere menor infraestructura y disminuye el estrés por manejo pero claro aumenta la mortalidad por shock salino, claro que para smolt de buena calidad, esta mortalidad es mínima.

También está la recepción con acondicionamiento. El acondicionamiento es un manejo que se les hace a los smolt en que se colocan en estanques de agua dulce oxigenada incorporándoseles lentamente agua de mar, pudiendo esto demorar hasta 4 días para que haya un 100 % de agua marina. La única ventaja de la aclimatación es que reduce la mortalidad por shock salino, pero aumenta la mortalidad por manipulación y los costos por infraestructura. Solo es necesaria la aclimatación para los smolt de muy bajo peso (60 a 25 gramos) o de mala calidad.

Después de la recepción, como ya se dijo los peces son ayunados por 24 horas, luego reciben la primera alimentación en el mar, la cual es muy importante ya que debido al estrés producido tanto por el traslado, como por el cambio de ambiente, los smolt se encuentran muy débiles por lo que un mal manejo provocaría grandes mortalidades.

Al estar los smolt acostumbrados a las condiciones de piscicultura, no comen la alimentación normal de jaulas marinas, por lo que el alimento debe ser esparcido con mucho cuidado,

normalmente con la mano, en pocas cantidades, y varias veces al día hasta que se adapten completamente a las nuevas condiciones.

2.3.1.2 Engorda

Una vez recepcionados los salmones empieza la etapa más crucial desde el punto de vista económico la engorda propiamente tal. Tradicionalmente echa en balsas jaulas, aquí es donde se comienza a alimentar a los salmones con alimentos que harán aumentar su peso hasta llegar a la talla comercial.

Según Vallejos (1992) se manejan densidades de salmones de entre 6 a 8 kg/m³, aumentando a de 9 a 10 kg/m³ antes de la cosecha. Claro que estas densidades son relativas no recomendándose que esta supere los 20 kg/m³ con el fin de evitar el estrés producido por el exceso de densidad, la falta de oxígeno y acumulación de desechos metabólicos.

Aquí los salmones son alimentados con pellet o extruidos secos con una humedad del 8 al 9%. Se alimentan dos veces al día una en la mañana y la otra por la tarde. Desde el punto de vista económico, esta alimentación se lleva gran parte de los costos que se asocian al cultivo de salmones, por lo que su correcta dosificación es esencial a la hora de optimizar los recursos, existiendo métodos bastante desarrollados para calcularla correcta ración que se les debe entregar a los peces.

2.3.1.3 Muestreos

Los salmones al estar bajo el agua es difícil desde la superficie tener un claro y preciso conocimiento de su estado, por lo que se hace necesario hacer muestreos periódicos a los peces, con el fin de conocer parámetros como el peso, talla, estado de madures sexual y condición general.

Los muestreos se realizan tomando una muestra representativa de la población, los peses son capturados con una red que sirve con este fin, luego son anestesiados, se miden y cuantifican los parámetros mencionados anteriormente. Posteriormente los peces se colocan en estanques oxigenados para su posterior regreso a las jaulas.

Además es necesario conocer otros parámetros que influyen directamente sobre los salmones como son los microorganismos (patógenos y no patógenos), macroorganismos (parásitos), temperatura, salinidad y gases disueltos en el agua (Vallejos, 1992).

2.3.1.4 Cosecha

Es la última de las etapas del cultivo, de gran importancia ya que un buen producto producido durante toda la etapa de cultivo puede deteriorarse por un mal manejo durante la cosecha.

La cosecha se inicia levantando las mallas y separando los peces por tamaño, para reunir los que serán extraídos. Esta práctica debe ser rápida y cuidadosa. Por años, este proceso se ha realizado mediante barcos especialmente acondicionados para iniciar el faenamiento junto a las mismas jaulas. Hoy son cada vez más las empresas que contratan los servicios de well boats, que permiten llegar con los peces vivos hasta la misma planta faenadora (Asociación de la Industria del Salmón de Chile A. G., 2015).

Su realización es en diferentes épocas del año, dependiendo de la especie y el mercado. Los salmones cosechados en el mar tienen pesos que varía entre los 3 a 5 kg.

Canales (1992) distinguen dos tipos de cosecha:

- Cosecha tradicional: los salmones son llevados a balsas acondicionadas con este fin (balsas de cosecha), se anestesian con CO₂, son sacados con un gancho, se les cortan las branquias para desangrar el pez muriendo este por anemia.

- Cosecha mecanizada: la diferencia es que los peces son extraídos directamente de las balsas por medio de bombas especialmente diseñadas para este fin. Los peces son extraídos con parte del agua por lo que tienen que pasar por un secador, posteriormente también se procede a cortar las branquias para su desangrado y sacrificio.

Los peces después de que se les cortan las branquias son colocados en estanques de desangrado por no más de 30 minutos. Los tanques tienen una mezcla de agua y hielo en escamas para evitar la proliferación de bacterias, la temperatura de los tanques de desangrado no debe superar los 4° C. Luego viene el proceso de eviscerado y almacenaje en bandejas o bins para su traslado a un centro de proceso o comercialización directa.

También en el periodo de cosecha hay que tomar precauciones con la alimentación, esta se debe suspender por 48 horas antes de la cosecha, con el fin de disminuir el porcentaje de lípidos y el contenido gastrointestinal. Si se administran dietas con medicamentos, esta se debe cambiar a una dieta libre de estos, por lo menos 42 días antes de la cosecha, para evitar residuos de los medicamentos presentes en la dieta en el producto final.

2.3.2 Desventajas en cultivos offshore

Según los autores Rodríguez y Díaz (1995) son cuatro las desventajas que producen a la hora de realizar acuicultura en ambientes offshore.

1) Fallas de la jaula: Este es el tipo de problema más frecuente con que se encuentran en estos tipos de cultivos, los podemos dividir en 3 categorías:

i.- Falla por fatiga de material: La experiencia a nivel mundial en cultivos expuestos, han demostrado que la el deterioro de las redes de material elástico, se debe principalmente por las cargas de origen cíclico. Estas cargas cíclicas, si bien son de una magnitud inferior a la resistencia de ruptura del material, producen un desgaste constante de las hilazas, ocasionando el rompimiento progresivo de éstas, lo que podría dar origen a que se produzca, lo que se conoce como la falla por fatiga de material. La falla por fatiga de

material, es difícil de identificar visualmente, ya que el desgaste o daño se produce en el interior del material. Este tipo de falla se puede solucionar mediante la utilización de materiales de alta calidad.

ii.- Falla por cargas tipo shock: En ambientes expuestos estas son generadas por olas grandes. La falla por fatiga estructural ocurre cuando un componente está sujeto en forma repetida y predominante cargas dinámicas de origen cíclico, también ocurre por efectos de esfuerzos de gran magnitud de carácter localizado, por no utilizar materiales de alta calidad y resistencia adecuada.

Un criterio para calcular la vida de fatiga de una balsa jaula es a través de la regla de Palmgren - Miner. De acuerdo a esta regla la fracción de vida del material usado se encuentra mediante la siguiente fórmula.

Donde:

$$DR = \sum_{i=1}^k \frac{n(\sigma_i)}{N(\sigma_i)}$$

DR: razón de daño acumulado

n : números de ciclos al nivel de esfuerzo

N : numero de ciclos requeridos para fallar al nivel de esfuerzo

2) Problemas de alimentación: Al realizar un cultivo en ambiente expuesto, otro de los problemas que se presenta es la alimentación. La rutina de alimentación se ve entorpecida por factores climáticos y por lo tanto no es posible alimentar a los peces de manera normal, cuando no se posee un sistema de alimentación semiautomático o automático.

Existen sistemas offshore que cuentan con sistemas de alimentación incorporados. Además los equipos en que el alimento es almacenado en un depósito especial, para posteriormente ser distribuido mediante aire a presión a través de cañerías que desembocan en cada una de las jaulas, pudiendo entregar distintos tamaños de alimento y alimentar cada balsa en forma independiente.

3) Problemas de anclaje: Las estructuras de anclajes, de las balsas jaulas, juegan un papel importante en la seguridad del sistema de cultivo. Los anclajes utilizados para fondear las balsas jaulas son de tipo permanente, por lo que deben estar correctamente dimensionados y poseer la suficiente resistencia estructural considerando las cargas de los ambientes en que son instalados. Los principales aspectos que deben estudiarse para un diseño adecuado y correcto dimensionamiento en ambientes expuestos son:

- El establecimiento apropiado y preciso de las condiciones y parámetros del sustrato.
- Determinación de las variables ambientales máximas que se producen en él.
- Estimación de los movimientos de primer orden del oleaje. Así también como los movimientos oscilatorios más relevantes de la balsa jaula.
- Determinación de las líneas de fondeo (factor de seguridad).
- Adecuada elección de los materiales, los cuales deberán ser de alta calidad y apropiados para el tipo de carga a los que estarán sometidos.

En la actualidad existen empresas especializadas en el dimensionamiento e instalación de los sistemas de fondeos, resultando además ser uno de los ítems que más valor tiene en la inversión inicial.

4) Altos costos: Requiere una alta inversión inicial, los costos de los materiales, insumos, mano de obra son elevados para el riesgo que ello implica.

2.3.3 Ventajas en cultivos offshore

Los autores Rodríguez y Díaz (1995) describen tres ventajas en la producción acuicultura en ambientes offshore.

1) Crecimiento más rápido y tasa de conversión de alimento más baja: Los criterios de alimentación son muy variados. En general, se prefiere la alimentación manual a la automática, si las condiciones ambientales así lo permiten, ya que el conocimiento empírico que da esta técnica, es muy importante en la detección de problemas en los peces. El suministro de la dieta depende de la experiencia de cada centro de cultivo. En términos

ambientales, el factor de conversión y tipo de alimento es muy importante, pues al relacionarlo con otros factores (como la velocidad de la corriente, profundidad, tipo de fondo).

El tipo de alimento que actualmente se utiliza es el alimento tipo extruido. Una de las ventajas de este tipo de alimento es el de proporcionar una mayor energía a los peces acelerando su crecimiento, logrando así mejorar los factores de conversión de alimento bajando así los costos de alimentación.

2) Mayor resistencia a enfermedades, por lo tanto menor mortalidad: En esta etapa de producción, las enfermedades son la principal causa de mortalidad. Estas pueden llegar a provocar mortalidades de hasta un 20 % en pocos días de infección. En ambientes expuestos la mortalidad disminuye en un 50 %. Esto debido a que las aguas existentes en la zona son limpias, ya que no contienen residuos de industrias ni contaminantes, por lo tanto el riesgo de contraer algún tipo de patología disminuye considerablemente.

Por otra parte, ya que las profundidades son mucho mayores a las existentes en ambientes protegidos, por lo tanto al aplicar un tratamiento antibiótico, una parte de este será consumido por los peces, y el resto será disperso gracias a las corrientes existentes en la zona.

3) Reducción de la contaminación: Principales formas de contaminación son

Escape de las especies: En Chile 843446 salmones en promedio escapan de las jaulas cada año (Sepúlveda et al. 2014). El salmón que se ha escapado de las jaulas, compite y depreda especies autóctonas produciendo un impacto negativo en los ecosistemas. Además, la expansión del salmón cultivado se ha asociado con epidemias que de otra manera no serían de mayor importancia.

Desperdicios: Aunque el salmón es relativamente eficiente en la conversión de alimento a carne, el producir 1000 toneladas de salmón produce entre 270 y 1080 toneladas de

desperdicios. Estos desperdicios degradan la calidad del agua y molestan a las comunidades de plantas y animales bajo las jaulas de salmón.

Químicos: grandes cantidades de salmón dentro de las jaulas crean condiciones que permiten la dispersión de enfermedades. Para combatir esta amenaza, los productores de salmón emplean antibióticos, vacunas, y otros químicos, la mayoría de estos entran al agua.

Vida Marina: Los cultivos de salmón son un blanco seguro para mamíferos y aves marinos en busca de alimento. Las redes usadas para mantener a los mamíferos y aves marinos fuera de las jaulas pueden enredarse y ahogar a los animales. Los sistemas acústicos usados para asustar a las focas y leones marinos han tenido demasiado éxito en algunos lugares, llegando al extremo en que poblaciones enteras de delfines y ballenas han abandonado el área. En el cultivo de peces en ambientes expuestos, este impacto es mínimo. Ya que las mismas condiciones ambientales, ya sean corrientes, vientos, mareas ayudan a la dispersión de desechos orgánicos.

2.3.4 Tendencia y Nuevo Diseño

La industria extranjera ha desarrollado complejos sistemas de cultivos, por ejemplo balsas jaulas que se sumergen en caso de condiciones ambientales extremas.

Lo último en tecnología, es son buques offshore de grandes dimensiones, con una filosofía similar a las medusas.

Su cometido es el de navegar por las corrientes oceánicas pescando de forma selectiva los peces que se cruzan en su camino, y si no captura los suficientes los compra a las plantas productoras de alevines para su posterior engorde, todo ello movido por las energías alternativas del viento, las olas y las corrientes, que se utilizan para consumo interno de la planta y para la propulsión del buque.

Otro proyecto interesante es realizado por la compañía noruega Nordlaks quiere realizar una gran inversión en buques para alta mar para ser utilizados como centros de cultivo para salmón offshore (se está realizando en Noruega), el diseño de este nuevo barco es capaz de cultivar hasta 10 mil toneladas de salmón por ciclo.

La compañía noruega Nordlaks quiere realizar una gran inversión en buques para alta mar para ser utilizados como centros de cultivo para salmón,

La construcción está diseñada para soportar olas de 10 metros y se puede elevar a cuatro metros durante las tormentas. La unidad de cultivo tendrá 10 metros de profundidad con un marco de acero para contener seis jaulas de 50mx50m, equipadas con redes de 60 metros de profundidad. Cada centro tendrá un valor de NOK 600-700 millones (US\$ 72,3 a 84,35 millones).

El diseño protege contra las influencias externas, como los escapes, y además esperan mantener una menor infestación de piojos de mar.

La unidad de cultivo tendrá una tripulación permanente de cinco a seis hombres, quienes tendrán un espacio para estar y dormir a bordo, y será anclada mediante anclas de succión (Fletcher, 2015).



Figura 2: Barco de cultivo offshore
Fuente: Nodland 2015

Otra opción de la industria es la de confeccionar jaulas que permita modificar su geometría estableciendo el concepto de control de la geometría según los requerimientos del medio, que permitiría reducir al mínimo las cargas ambientales y al mismo tiempo optimizar el flujo de oxígeno a través de las jaulas de acuerdo a los requerimientos del momento. Las estructuras de tensegridad han sido probadas en ambientes offshore probando su eficacia para conseguir el objetivo mencionado anteriormente (Jensen et al., 2007).

Otra novedad de la industria, a pesar que esta tecnología se comenzó a desarrollar en 1970 además de ya haber sido probada en Chile que permitiría los cultivos en ambientes inshore es el uso de redes de aleación de cobre. La nueva tecnología de jaulas de cobre es un sistema revolucionario abre un enorme potencial de nuevas áreas para la acuicultura, ya que el problema más complejo es lidiar con el mal tiempo y estas jaulas permiten el cultivo de peces alejado de la costa (offshore), soportando olas de hasta 9 metros y corrientes de hasta 4 nudos (<http://procobre.org/es/noticias/primera-cosecha-de-salmones-criados-en-jaulas-de-cobre-antimicrobiano/>).

Los beneficios de los sistemas de las jaulas de cobre serían además los siguientes:

- 100% reciclables.
- No acumulan fouling, mejorando la oxigenación de los peces. Tampoco se adhieren microorganismos durante los 18 meses de crecimiento del salmón, eliminando la necesidad de cambiar las redes.
- Reducen los costos de producción en más de 20%.
- Las propiedades bactericidas del cobre y aleaciones.
- La investigación ha demostrado que los peces en recintos de aleación de cobre crecen más saludables y se genera menor mortalidad.
- La fuerza mecánica y la resistencia las hacen impenetrables para depredadores, como lobos marinos, previniendo la fuga de peces.

- Las mallas de aleación de cobre están fabricadas mediante cobre y zinc, dos metales esenciales para la vida

Esto debido a que el crecimiento biológico en jaulas de red de cobre es mínimo en comparación con las jaulas de nylon (Drach et al., 2013), lo que permite un mejor flujo de oxígeno y las tasas de crecimiento de peces, así como la disminución de los costes de mantenimiento y limpieza. El uso de mallas de aleación de cobre ha mostrado resultados prometedores en jaulas de gravedad y rígidas ubicados en áreas protegidas, tales como bahías y fiordos (Ansuini y Huguenin, 1978; Huguenin et al, 1981;. Decew et al, 2010a., citados por Darch et al., 2015)

Sin embargo, hay varias dificultades asociadas con la amplia adopción de esta nueva tecnología por la industria de la acuicultura marina. Incluyen:

- Aumento de los costos iniciales debido a los altos costos de las materias de las aleaciones de cobre y la necesidad de mejorar la resistencia estructural del marco de trabajo de la jaula;
- Necesidad de una modificación de los procedimientos de diseño, análisis e instalación para integrar las redes de cobre existentes en la industria;
- Las dificultades en la manipulación de los componentes durante la fabricación de la jaula y el despliegue debido al aumento sustancial de peso del sistema tanto en seco como en agua (Darch et al., 2015).

Darch et al., (2015) también reportaron que dos sistemas de acuicultura en alta mar del tipo de jaulas de gravedad flexibles se fabricaron en colaboración con EcoSea Farming S.A. (Chile) y desplegados en el Pacífico Sur, cerca de la Isla Italia (Patagonia, Chile). Un sistema se aseguró en una granja de peces cerca de la costa y abastecido con salmón del Atlántico para una prueba de engorda. El segundo sistema fue desplegado en un sitio expuesto tener velocidades de la corriente se acerca a 1 m / s y la altura de las olas de 5 metros. Ambos sistemas de jaulas fueron controlados por cuestiones estructurales y operacionales durante el despliegue ensayo de 2 años. Después de la recuperación, ambos

sistemas fueron inspeccionados y ningún daño estructural fue documentado. Se concluyó que el diseño desarrollado demostró un rendimiento fiable y mostró beneficios de la integración de las redes de cobre.

2.3.5 Jaulas para el cultivo en ambiente offshore

Como ya se menciona anteriormente el cultivo de salmones en ambientes offshore presenta ventajas para el cultivo de salmones, si se compara con los cultivos que se desarrollan en sitios protegidos, pero también problemas debido a las grandes cargas ambientales a las que está expuesto.

Por lo que cuando hablamos de estas estructuras (jaulas para ambientes offshore) nos referimos a sistemas que son capaces de soportar o evitar grandes cargas ambientales, asociadas al océano, además de resolver de alguna manera los problemas operacionales que se les asocia al mal tiempo en el mar. Por lo que el desafío de los sistemas de colocación de jaulas operativas en sitios expuestos se dividen en dos aéreas principales la supervivencia a las tormentas y la capacidad de servicio o funcionamiento (Perez et al., 2003).

Los objetivos del diseño de jaulas para cultivo offshore según Scott y Muir (2000) son:

1. Proporcionar una forma de jaula razonablemente estable, para evitar el estrés en la población, y para proporcionar un entorno de trabajo estable.
2. Facilitar el intercambio de agua suficiente para satisfacer las necesidades metabólicas de los valores y eliminar los desechos de la superficie de la jaula.
3. Absorber o desviar las fuerzas ambientales, para mantener la integridad estructural del sistema.
4. Proporcionar un entorno de trabajo eficiente, para la cría de rutina, y donde equipos y materiales (cosechada de peces, alimentación, tanques y contenedores, etc.) se pueden manejar si es necesario.
5. El mantenimiento de la posición, para proporcionar un lugar seguro, libre de peligros de navegación, etc.

6. Mantener los costos de capital y de operación lo más bajo posible.

Aunque el análisis hidrodinámico de estructuras offshore es una disciplina de la ingeniería, el análisis similar para los sistemas de jaula de acuicultura sigue siendo una ciencia en evolución (Shainee et al., (2012). Desde el punto de vista de diseño , es importante ser capaz de predecir el comportamiento de este tipo de estructuras en diferentes situaciones de oleaje, y para este propósito se están desarrollando actualmente métodos numéricos para estudiar el comportamiento dinámico de estructuras de red flexibles en las olas y corriente (Lader et al., 2003 citado por Lader 2007).)

Si se piensa en cultivar salmones en ambientes offshore, uno de los principales cuidados que se debe tener es la correcta selección del sistema de jaulas que se va a utilizar, por lo que se deben tener en cuenta todas las alternativas que entrega el mercado, para así compararlo con los requerimientos que nuestro ambiente posee, ya que la alta inversión inicial que requieren la adquisición e implementación de estos sistemas no sea un fracaso.

Es importante mencionar que en el transcurso de esta investigación se ha visto que existe un gran número de jaulas para el cultivo en mar abierto y que aun muchos de los proyectos de cultivo en mar abierto aún son para evaluar de forma más precisa distintos aspectos a la hora de implementar los sistemas de cultivo para llegara a implementar centros de forma comercial. Esto podría deberse como lo menciona Stevens et al., (2008) que aún falta comprensión de los mecanismos de estructuras de cultivo en mar abierto para la predicción de la respuesta correcta en condiciones extremas, así como para evitar el exceso de ingeniería en el diseño. Además, este es un tema altamente interdisciplinario y la ingeniería no puede separarse por completo de la biología a la hora de diseñar cualquier sistema de cultivo offshore.

La forma de resolver los objetivos de diseño de las jaulas offshore se presentan en dos ámbitos. El primero es modificando la rigidez o flexibilidad de la estructura haciéndolas rígidas extremadamente resistentes y flexibles de tal forma que puedan absorber y adaptarse los efectos de las cargas ambientales. La otra forma en los diseños de los sistemas offshore

apunta a la flotabilidad, que a diferencia de los sistemas inshore a evolucionado a hacerlos sumergibles minimizando los efectos de las principales cargas ambientales como olas, vientos y corrientes superficiales, y reduciendo el impacto visual de estos sistemas (Stevens, 2008) de acuerdo a esto Scott y Muir (2000) han desarrollado la siguiente clasificación como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Tipos jaulas en mar abierto

| Tipo de estructura | Ejemplos |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Flotantes flexibles | Dunlop, Bridgestone, Sistema de Jaulas marinas Ocean Spar, de tipos de circular de plástico (Corelsa, Aqualine, etc.) Aquasystem |
| Flotante rígido | Pisbarca, Cruive |
| Semisumergible flexibles | Refa |
| Semisumergible rígidas | Farmocean, Ocean Spar Sea Station |
| Sumergible rígidas | Sadco, Trident, Marine Industries, Sea Trek, Aquapod |

Fuente: Scott y Muir (2000)

Desde el punto de vista de diseño otro punto importante de mencionar es la configuración en la que se dispone un conjunto de jaulas, Zhao et al., (2015) describe que las jaulas para el cultivo a menudo son dispuestas en cuadrículas de amarre en columnas individuales o dobles con espacio entre ellas típicamente superior a 20 metros. En la mayoría de los sitios la configuraciones de jaulas se disponen perpendicular a dirección de la corriente dominante para maximizar el flujo de agua, el suministro de oxígeno y la eliminación de los desechos de las jaulas.

2.3.6 Características de algunos sistemas de Jaulas offshore.

a. Sistema de Jaulas Marinas Ocean Spar

- Posee sistema de mástiles o columnas de acero flotantes (floating spar), el que sirve de apoyo a la estructura y a las redes, sin transmitir mucha energía a las redes.

- Mantiene gran parte de su estructura sumergida evitando el efecto de las olas y los vientos.
- Este sistema es capaz de mantener un 90 % de su volumen de encierro con corrientes de hasta 1,75 m/s.
- no se ha ocupado en ningún centro de producción comercial, además este sistema ya no está presente en ninguno de los catálogos digitales.

b. Sistema de jaulas marinas SeaStation™

- Posee mástiles flotantes (floating spar) y el aro o marco redondo.
- Se sumerge parcial o totalmente, en un máximo de 15 minutos.
- Puede ser remolcada.
- A soportado olas de hasta 12 metros (Scott y Muri, 2000) y corrientes de 1,25 nudos (Empresa Pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía).
- Se encuentra en volumen de 3000, 6000 y 8000 m³ (Scott y Muri, 2000).

c. Sistema de jaulas Marinas Farmocean

- Sistema semisumergible.
- Puede soportar corrientes marinas de 2 a 2,5 nudos (por razones, biológicas, propias de los peces, los proveedores recomiendan no cultivar en sitios con corrientes superiores).
- Ha sido expuesto a olas de hasta 10 metros sin recibir daños
- Posee un sistema de alimentación controlado por una computadora, el que cuenta con un silo, que posee un volumen de almacenaje de 7 m³ de alimento seco y sistema de transporte de alimento.
- Volumen de encierro es intercambiable, puede ser regulado en las opciones de 2500, 3500, 4500, 6000 m³.
- Viene con un sistema de fondeo.

- no recomiendan utilizarlo en sitios con profundidades menores a 25 metros y para sitios mayores a 100 metros el sistema de fondeo tiene que ser redimensionado.

d. Piscifactorías flotantes offshore

- Existen varios modelos que usan tecnología de plataformas petroleras.
- La más grande consta con doce jaulas, las que en su conjunto tienen un volumen de encierro de 24000 m³.

e. Jaulas flexibles flotantes

- Gran simplicidad en su diseño. El principio de su funcionamiento es la flexibilidad.
- Existen varios modelos de diferentes dimensiones y materiales de construcción, pero principalmente construidas en polietileno de alta densidad y reforzadas con cables de acero (jaulas circulares HDPE).
- Se han ocupados en sitios en que se han medido velocidades máximas del viento de 110 a 160 km/hr, con olas que alcanzan hasta los siete metros.
- Fáciles de mantener.
- La empresa Oban S.A. reporta a traves de su página Web que jaulas de este tipo (modelos Oceanflex 315 y Triton 450) se han utilizado con gran en sitios expuestos del sur de Chile.
- Existen proveedores en Chile, a través de empresas como: : Aqua cards, PolarCirkel, Prona, WaveMaster Chile, Oban S.A y Ocea.

A continuación se presentan diversas figuras con los modelos y sistemas anteriormente expuestos.

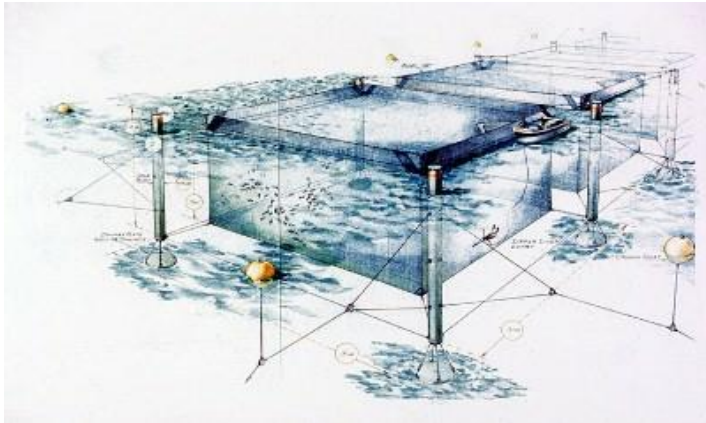


Figura 3: Sistema de Jaulas Marinas Ocean Spar.
Fuente: Oceanspar, (2001)

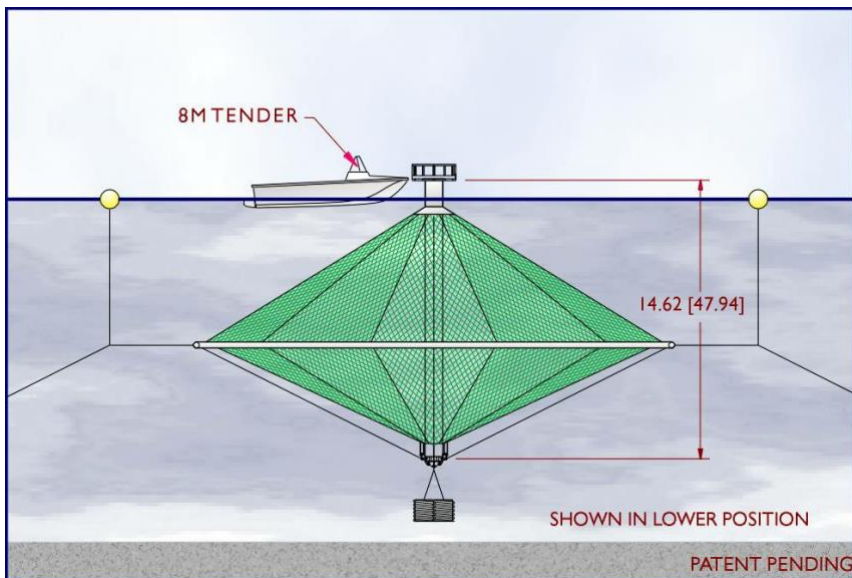


Figura 4: Sistema de jaulas marinas SeaStationTM.
Fuente: Arsenault et al, (2002)

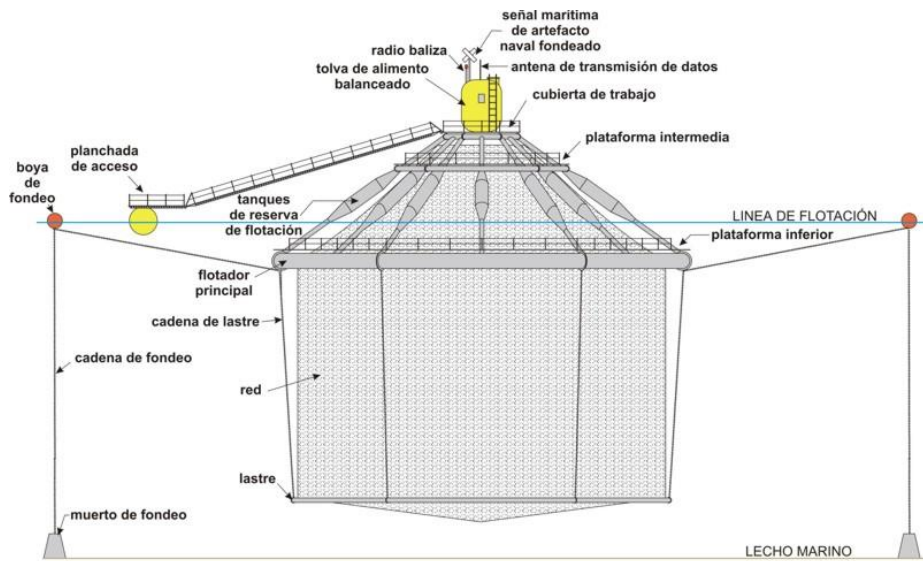


Figura 5: Granja Oceánica Farmocean
Fuente: Sitio Web Criar Peces.



Figura 6: Picibarca Marina System Iberica.
Fuente: Scott y Muri (2000).



Figura 7: Pisifactoría Plataforma Cultimar.
Fuente: Basurco et al., (2000)



Figura 8: Jaula flexible Triton
Fuente: Fusion Marine Limited (2016)



Figura 9: Vista cercana de montaje de Jaula flexible de HDPE.
Fuente: Oban S.A. (2016)

2.3.7 Ventajas y desventajas de los distintos sistemas de jaulas marinas offshore

Scott y Muri (2000) presentan una evaluación práctica de los distintos sistemas de cultivo offshore como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de las diferentes jaulas offshore

| Jaulas flotantes | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jaulas flotantes flexibles | |
| Ventajas | Desventajas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Altamente resistente a las fuerzas de onda con una larga vida útil (> 10 años); relativamente buena resistencia al impacto • Sistema de suspensión de red efectiva y probada • Variedad de configuraciones posibles • Relativamente barato en volúmenes más altos • El más ampliamente utilizado sistema de alta mar comercial | <ul style="list-style-type: none"> • Los puntales puede causar problemas - giros y vueltas • Relativamente caro a volúmenes más bajos • Pasarela de acceso limitado • Sistemas de redes y piensos difíciles de colocar • Los grandes buques de servicios necesarios |
| Sistema de jaulas marinas Ocean Spar | |
| Ventajas | Desventajas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Retiene el 90% del volumen de red incluso en corrientes fuertes (hasta 1,75 m / s) • Superficie de baja impacto visual • Buena resistencia a la depredación debido a las redes tensas • Diseño relativamente sencillo • Potencialmente rentable, especialmente en tamaños más grandes • Red superior se puede conectar • Variedad de configuraciones posibles, teóricamente hasta 60000 m³ | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de amarre relativamente compleja • Cambios de red más sencilla que en los sistemas de bolsas • Relativamente pocos sistemas probados comercialmente • No hay acceso a la calzada • Alimentador no se puede instalar • Necesidades de los buques de servicios más grandes |
| Jaulas Flotantes Rígidas | |
| Ventajas | Desventajas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Plataforma de trabajo estable para todas las operaciones de cría y de gestión | <ul style="list-style-type: none"> • Estructuras grandes y pesados requieren buenas instalaciones portuarias y / o de |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de sistemas de alimentación y cosecha integrales; puede ser utilizado para dar servicio a otras jaulas • Hipotecas navales pueden estar disponibles • La seguridad del operador potencialmente mejorada y eficiencia • Instalaciones de reparación y construcción pueden ser desarrollados a partir de los astilleros convencionales | <ul style="list-style-type: none"> • remolque caro de instalar • Puede ser susceptibles a fallos estructurales en condiciones extremas • Masa grande puede requerir sistemas de amarre más pesados • Costo de capital relativamente altos; estructuras de acero requieren protección / mantenimiento • Limitada historia comercial |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Jaulas Semisumergible

Jaulas Flexibles Semisumergibles (Refa)

| Ventajas | Desventajas |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Diseño simple - respuesta automática • Relativamente rentable • Pequeña zona inferior ocupado por amarres • Combina características de funcionamiento convencional con protección contra las tormentas • Reducción de volumen no superior al 25% en las corrientes / tormentas | <ul style="list-style-type: none"> • La alimentación ideal sería que se realiza bajo la superficie, lo que requiere sistemas de alimentación por separado, debido a la limitada área de superficie • Amarres normalmente bloques de hormigón, más difícil de instalar que los anclajes convencionales |

Jaulas Semisumergibles Farmocean

| Ventajas | Desventajas |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Ahora ya experimentado desde hace 12 años en una variedad de situaciones y en condiciones severas • Probada larga vida útil • Sistema de alimentación integrada • El volumen de retención Estable • Buen rendimiento de las acciones | <ul style="list-style-type: none"> • Alto coste de capital • La falta de acceso para la cosecha • Difícil de cambiar / redes limpias • Área de superficie limitada cuando se sumerge para la alimentación de superficie • Estructura de acero Complejo; necesita protección contra la corrosión, el mantenimiento regular |

Jaulas Semisumergibles Ocean Spar Sea Station

| Ventajas | Desventajas |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Formato y la estructura simple • Semi o totalmente sumergible • Distorsión mínima en corrientes • Capacidades de recolección Integral | <ul style="list-style-type: none"> • Costo de capital relativamente altos, para los volúmenes disponibles en la actualidad • Todavía no ha sido ampliamente demostrado en la práctica comercial; diseño |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Remolcada fácilmente • Amarres simples | <p>práctico puede tener que evolucionar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alimentación eficiente y cambio de red, pueden ser difíciles |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Jaulas Sumergibles Rígidos

| Ventajas | Desventajas |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Diseños sumergibles evitar desechos de la superficie y el hielo, y las embarcaciones de paso • El mínimo impacto visual • Evita completamente los efectos de las tormentas • Resistencia estructural no necesita ser tan grande como una estructura de superficie | <ul style="list-style-type: none"> • La falta de visibilidad en estado normal • Métodos de mantenimiento y revisión de jaulas sumergidas mientras están todavía en desarrollo • Costo relativamente alto • Relativamente complejo para operar |

Fuente: elaboración propia a partir de datos entregados por Scott y Muir (2000)

2.4 Económicos

2.4.1 Costos de diferentes jaulas offshore

Uno de los principales inconvenientes para el desarrollo de los diversos cultivos marinos en sitios desprotegidos es el aumento de los costos de los sistemas (jaulas, fondeos, etc.) ya que es necesario implementar nuevas tecnologías para afrontar los problemas asociados a las cargas ambientales. Sin embargo un aspecto de gran importancia a la hora de implementar cualquier sistema de producción comercial de cualquier tipo es mantener los costos de producción lo más bajo que sea posible, lo que hace imprescindible analizar de alguna manera el costo de compra e instalación de estos sistemas.

En la tabla 7 se aprecia los costos expresados en pesos chilenos de datos informados por Scott y Muir (2000)¹

¹ Estos autores informaron costos en libras esterlinas (£), para la conversión a dólar americano se utilizó el valor promedio de la libra esterlina en dolares informe mensual con datos informados desde 01/07/2014 a la fecha en <http://es.investing.com/currencies/gbp-clp-historical-data>, obteniendo valor de US \$1,5101

Tabla 7. Costos promedio de diferentes sistemas de Jaulas Offshore

| Modelo | Costo de capital instalado en dólares por m ³ | Costo total en dólares |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------|
| Jaula flexible de 25000 m ³ | 7,550 a 9,061 | 188762 a 226515 |
| Dunlop Tempest 2 de 2400 m ³ | 37,753 | 90606 |
| Acuasystem 104 de 24000 m ³ | 151,010 | 3624240 |
| Pisibarca con 10000 m ³ | 226,515 | 2265150 |
| Sistema Cruive de 40000 m ³ | 24,162 | 96648 |
| Refa de 6000 m ³ | 15,101 a 21,141 | 90606 a 126846 |
| Farmocean de 3500 m ³ | 75,505 | 264268 |
| Estacion de mar Ocean Spar de 3000 m ³ | 30,202 a 45,303 | 90606 a 135909 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Scott y Muir (2000)

Si bien los datos entregados por Scott y Muir ya tienen son de hace 16 años atrás nos sirve para hacer una la idea de relación de precio de los distintos sistemas de cultivo. El establecer el costo por unidad de volumen (m³) del sistema permite igualar para comparar los distintos sistemas desde el punto de vista económico. Así podemos ver que las más económicas por unidad de volumen son las jaulas flexibles de gran tamaño, pero esta ventaja se pierde al reducir su tamaño igualándose su costo a otros sistemas.

En la Tabla 7 se observa que los sistemas de Jaulas Flexibles de gran tamaño, Curive, Refa no superan los US\$25 por m³.

También es importante mencionar que desde el punto de vista de diseño y costo, un aspecto importante de a tener en cuenta es que estos sistemas tienen que ser diseñados de manera rentable para soportar condiciones extremas mientras proporcionan un entorno adecuado para el crecimiento de los peces (Zhao et al., 2015). Estos mismos autores también determinaron de forma experimental que la mejor configuración (desde el punto de vista de la rentabilidad) para un sistema de multi-jaulas offshore es opción la configuración 2*4 jaulas la cual permite abaratar costos debido a que se puede ocupar el mismo sistema de fondeo de forma eficiente que para configuraciones más pequeñas. Además que la configuración de doble columna no afecta de forma significativa el aumento

de tensión en los cables de fondeo en comparación a las configuraciones de jaulas en columnas individuales por lo que se pueden ocupar los mismos sistemas de fondeo para el doble de jaulas.

Capítulo 3: Metodologías usadas en el proyecto

3.1 Objetivo específico 1. Determinar las variables ambientales y oceánicas de la VIII Región, para establecer las características de los sitios de cultivo offshore.

Se recopiló información mediante fuentes bibliográficas, entrevistas a personas relacionadas con estudios de las variables ambientales de la región, para así determinar las condiciones a las que estarían expuestos los sistemas de cultivo y los peces. También se analizó a través de Google Earth condiciones, ubicaciones, accesos y geografía, para permitir un mejor análisis de ubicación.

3.2 Objetivo específico 2. Determinar un sistema de cultivo offshore que satisfaga los requerimientos ambientales y oceanográficos de la VIII Región, basándose en la tecnología disponible a nivel mundial.

Para la selección de sitios de cultivo se utilizó el método cualitativo por puntos descrito por Sapag y Sapag (2008), esto debido a que la mayoría de los factores son de carácter no cuantificable, si no que son más bien para determinar calidad que favorezca el sitio de cultivo y su funcionamiento.

Según este método se definen los principales factores que determinan la localización, los que son puntuados según una escala definida por el investigador y luego a cada factor se le asigna un peso relativo, sobre la base de la suma igual a uno.

Primero se realizó una selección usando como referencia las comunas costeras de la VIII Región (macrolocalización), luego en caso de ser necesario se hará una selección de microlocalización en la comuna escogida.

La evaluación fue hecha a través de una escala Likter. Se tomaron en cuenta los datos presentados en los antecedentes y resultados del primer objetivo para la evaluación.

La evaluación se realizó de acuerdo a los siguientes parámetros:

| | |
|----------|-------------------------------------------------------|
| 4 | Condiciones optimas o siempre |
| 3 | Generalmente se presentan las condiciones |
| 2 | Ocasionalmente o existen muy pocas condiciones |
| 1 | Nunca existen condiciones |
| 0 | Sin antecedentes |

La puntuación se multiplico por el peso relativo asignado al factor de localización. Luego se suman todos los puntajes del factor de localización obteniéndose así un puntaje del sitio, seleccionándose el sitio que posea mayor puntaje.

3.2.1 Factores de localización utilizados

Los Factores de localización se dividieron en Factores ambientales y Factores socioeconómicos y de operación los que a su vez se dividirán en factores más específicos posibles de evaluar.

a.- Factores ambientales: en general estos factores son más determinantes a la hora de seleccionar una localización ya que para los cultivos acuícolas no se pueden mejorar o solucionar y son propios de cada sitio a diferencia de los criterios socioeconómicos y de operación en las que se pueden construir accesos, transportar personal, etc. (como se hace en el sur), por lo que tendrá mayor peso específico a la hora de la evaluación.

1.-Profundidad: Las jaulas para su correcto funcionamiento necesitan de sitios con una profundidad adecuada, que les permita un intercambio de agua, además de evitar problemas de auto contaminación en el cultivo. El criterio de selección del sitio va a ser de entre los 25 y 200 metros de profundidad. La primera profundidad está referida a la profundidad

mínima a la que algunos sistemas de jaulas de peces pueden funcionar correctamente en lo referente al intercambio de agua, los problemas de auto contaminación y contactos de las jaulas con el fondo, y la segunda profundidad es la profundidad máxima que las embarcaciones que realizan fondeos en Chile están instalando fondeos, lo que nos asegura una correcta mantención e instalación de los sistemas de fondeo. Este es un factor difícil de encontrar en la región cerca de la costa por lo que se dará preferencia a los lugares en donde se encuentren mayores profundidades más cerca de la costa. Debido a esto se le asignará un peso específico para la evaluación de 0,14.

2.- Cercanía a la costa: la cercanía a la costa facilita las operaciones y vigilancia así que los sitios que estén más cerca de la costa tendrán mejor evaluación fuera de las dos millas de la costa serán rechazados. El peso específico de este ítem será 0,08 ya que a pesar que es un factor que permitiría beneficiar no es fundamental para el funcionamiento de un cultivo offshore.

3.- Ausencia de fuentes contaminantes: siempre que se realiza un cultivo comercial se debe evitar los sitios que presenten grandes índices de contaminación, debido principalmente a problemas que se podrían presentar con los peces (en antecedentes se menciona que para el cultivo de salmón no se acepta ninguna contaminación), además que el producto final también podría estar afectado con contaminación por lo que podría ser rechazado para su venta. Para evitar estos problemas, se obtendrá información de la posición de los principales centros de contaminación, para su evaluación, considerar mejor los sitios que estén libres de contaminación. El peso específico para la ausencia de contaminantes será de 0,14 ya que es un factor muy importante para el cultivo de salmones.

4.- Ausencia de desembocadura de ríos: la presencia de desembocadura de ríos trae asociado dos problemas fundamentales que son primero los cambios en la salinidad y temperatura del agua. En el caso de los salmones por ser estos peces anádromos no son afectados por estos cambios en forma vital, si les provoca estrés y por lo tanto problemas en el crecimiento.

Segundo la desembocadura de los ríos trae asociada una importante contaminación, productos de la erosión, la Actividad agrícola y forestal que además en los casos principalmente del río Bio Bio y Itata traen desechos industriales, forestales (troncos de árboles que podrían además causar choques con las jaulas) y de alcantarillado comunas riverseñas por lo que este factor provocaría varios problemas en cultivos instalados en las aéreas de influencia de los cultivos. El peso específico para este factor será de 0,14.

5.- Ausencia de surgencias: las surgencia es un fenómeno oceánico que afecta a la región. Desde el punto de vista de los cultivos de salmón la baja en los niveles de oxígeno que provoca puede llegar niveles letales en el agua de mar. Este problema se presenta durante ocho meses al año y para solucionarlo habría que incurrir en gastos extra de implementación de sistemas de aireación por lo que serán mejor evaluados los sitios con ausencias de surgencias. Se ponderara con un valor de 0,10.

b.- Criterios socioeconómicos y de operación: si bien estos criterios son muy importantes para el funcionamiento de cualquier centro de cultivo, pueden ser solucionados o mitigados ya sea por las mismas entidades que realizan el proyecto o por entidades gubernamentales (proyectos de construcción o pavimentación de caminos, agua potable rural, etc).

1.-Accesos al mar: para el correcto funcionamiento del centro de cultivo se necesitan accesos a la costa por lo que tendrán mejor puntaje los sitios que posean mejor acceso al mar tanto por accesos de camino a la costa y ausencia de acantilados. En estos accesos permitiría mejorar la velocidad de respuesta ante emergencias y/o realizar algunos traslados simples. La ponderación de este factor será de 0,07.

2.- Calidad de caminos: además en un centro de cultivo es necesario el transporte de insumos, personal, etc. Para funcionar y estos solo se podrá lograr con buenos accesos. Por cuanto mientras existan más y mejores caminos hacia el borde costero mejor será la evaluación. El peso específico de este factor será de 0,05.

3.- Existencia de sitios de desembarco: para este ítem se observara si hay por ejemplo caletas de pescadores o antecedentes de instalaciones de puertos que permitan acceder o construir algún tipo de embarcadero. El acceder a directamente al mar y a las jaulas de los peces lo que obviamente facilita las operaciones por lo que el peso específico de este factor será de 0,08.

4.- Disponibilidad de mano de obra: será necesario conocer la población del sitio y principales actividades de cada lugar evaluado. La existencia de mano de población suficiente y la existencia de actividades relacionadas con la acuicultura como la pesca artesanal puntuaran mejor al sitio. A pesar de esto un hecho importante de mencionar es que mucho del personal que trabaja en los centros de cultivo de la X región es de la VIII región por lo que la disponibilidad de mano de obra estaría disponible para la VIII región. La ponderación para este ítem será de 0,05.

5.- Cercanía a puertos: una de las características de los cultivos offshore es que pueden ser abastecidos o manejados desde puertos, por lo que mientras más cerca de puerto de la región serán mejor evaluados ya que permitirían bajar los costos de operación sin embargo la cercanía de puertos en la región se asocia con fuentes de contaminación. El peso específico de este ítem será de 0,05.

6.- Cercanía a Concepción: dado que esta ciudad es el centro económico por lo que permitiría abastecer y sacar los productos de un centro de cultivo para exportación la cercanía a esta ciudad supone bajar los costos de transporte por lo que mientras más cerca de Concepción este el centro será mejor evaluado. La importancia de este ítem será de 0.05.

7.- Vigilancia: para evitar posibles robos o accidentes con embarcaciones que naveguen cerca de la costa. Sitios que no tengan buena visibilidad de tierra, con existencia de lugares altos, serán considerados malos (Venegas, 2000). La ponderación de la vigilancia será de 0,05.

3.2.2 Selección de sistema de cultivo

En primer lugar se seleccionaron los sistemas de cultivo capaces de resistir las cargas ambientales: en cualquier sitio de cultivo offshore, en algún momento se generarán cargas ambientales de magnitudes importantes, generadas principalmente por olas, viento y corrientes marinas, por lo que el primer criterio y más importante para la selección será investigar la capacidad que posea el sistema de resistir estas condiciones ambientales adversas. Se escogerán solo los sistemas que sean capaces de resistir las cargas ambientales de los sitios. Por el contrario los sistemas que no cumplan con este criterio serán rechazados.

Se usó la metodología descrita por Sapag y Sapag (2009) para la determinación de sitio adaptándola para la determinación de sistema de cultivo ya que en este caso muchos de los criterios son de carácter subjetivos. Los criterios fueron elaborados de acuerdo al criterio del investigador de acuerdo a los diferentes aspectos a considerar de los sistemas encontrados durante la investigación. A cada criterio se les asigna un puntaje de evaluación, el puntaje se asignará mediante una escala Likter de la misma forma que se usará para determinar el sitio de cultivo. A cada criterio o Factor de sistema considerado se le asignará un peso relativo de acuerdo a su importancia determinada por el investigador, el que se multiplicará por el puntaje dado al Factor considerado del sistema y luego se sumará cada puntaje ponderado obteniendo un puntaje final por sistema escogiendo el sistema que posea mayor puntaje.

Los criterios utilizados en este caso serán:

1.- Sistema de fondeo: Muchos de los sistemas traen incorporados sistemas de fondeo, por lo que se investigará si es posible la instalación en el sitio y que tan seguro será. El peso específico para este criterio es de 0,12.

2.- Autonomía: Los equipos adicionales o instalaciones que posean las jaulas, que permiten solucionar problemas como el de la alimentación en caso de malas condiciones

climáticas y que no se pueda acceder a las jaulas, además no se tendrían que comprar e instalar a parte del sistema. Para este factor la ponderación será de 0,15.

3.- Garantías: esto se refiere al respaldo que el proveedor del sistema ofrece, tales como servicio técnico o remplazo en caso de fallas. El peso específico para este ítem será de 0,12.

4.- Disponibilidad de insumos y repuestos: serán mejor evaluados si existen en el mercado nacional (insumos y repuestos) por las complicaciones (tiempo y costo) que tiene traerlos del extranjero. Su peso específico será de 0,13.

5.- Poca mano de obra: en este aspecto nos referimos al personal y elementos adicionales que se necesita para operar los sistemas. De preferencia serán los que ocupen poco personal y elementos adicionales. Se ponderara con un 0,12.

6.- Costos: interesan los costos más bajos con el mismo volumen de producción, por lo que es más conveniente escoger el más económico. Su peso específico será de 0,18.

7.- Volumen de jaulas por unidad: durante la investigación se encontró que por motivos de operación y las necesidades biológicas de los salmones las jaulas ocupadas tienen volúmenes de 18.000 m³. Además por restricciones legales en Chile no se puede superar los 15 kg/ m³ esto limitaría el uso de cualquier sistema de jaulas que supuestamente estén (como los sistemas rígidos sumergibles o semisumergibles) diseñados para soportar mayores densidades de cultivo por las condiciones offshore. Debido a la importancia de este factor para el cultivo de salmones el peso específico de este factor será de 0,18.

3.3 Objetivo Específico 3. Evaluar económicamente un sistema de cultivo offshore en la VIII Región.

Luego de seleccionar el sitio y el sistema de cultivo se desarrolló en términos teóricos, la implementación de centro de cultivo con el fin de establecer los flujos del centro. Para

comenzar se desarrolló la operación solo con una unidad de producción del sistema de cultivo seleccionado. Además se consideró para la evaluación el volumen máximo de producción y sus respectivos costos. Para estimar otros costos asociados se estimaron a través de costos promedio de centros de la X Región.

Los flujos de caja se consideraron para cinco años de funcionamiento con una tasa de descuento del 19,6% que representa la rentabilidad mínima que se le debe exigir a un proyecto de inversión que se desee realizar en el sector pesquero-acuícola chileno, es decir, representa la rentabilidad mínima que los inversionistas obtendrían en una alternativa de inversión de riesgo similar; es decir, representa el costo de oportunidad del capital. (Zúñiga y Soria 2009). Se calcularon los flujos de caja usando una unidad de producción para el centro de cultivo, de no tener un VAN ≥ 0 , se rearan los flujos de caja pero ahora considerando dos unidades de producción y así sucesivamente hasta que el VAN de los flujos de caja sea ≥ 0 , en este punto se determina el mínimo de producción para que el centro sea rentable.

En la estimación de los costos fijos y variables se consideraran los supuestos de mejora que supone la producción offshore en peces como crecimiento más rápido (15%) y Menor mortalidad (50%).

Par determinar los precios de venta se analizaran la variación del precio de exportación a través del cálculo de promedios y desviación estándar, además de ver la elasticidad de precio demanda e indagar como es la composición en cuanto a las especies cultivadas.

Capítulo 4: Resultados

4.1 Características oceanográficas de la VIII Región

En la tabla 8 se resumen las principales características oceanográficas re la VIII Región a considerar a la hora de implementar un centro de cultivo de peces

Tabla 8. Características oceanográficas de la VIII Región

| Parámetro | Promedios | Mínimos y máximos | Observación | Autor |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Temperaturas superficiales norte de la Zona Subpolar | 15° a 19° C en verano | Bajo los 11° C en invierno | La VIII Región pertenece a la Zona Subpolar | EULA, 1993 |
| Salinidad norte de la Zona Subpolar | 34,2 a 34,5 ‰ constante todo el año | S A | S A | EULA, 1993 |
| Temperaturas superficiales sur de la Zona Subpolar | 6° a 13°C relativamente constantes todo el año | S A | S A | EULA, 1993 |
| Temperatura superficial del agua de mar en la VIII región | 12° a 13° C promedio | Mínimas en Invierno de 8° C Máximas en verano 16° a 17° C | S A | EULA, 1993 |
| Salinidad para la VIII región | 33.8 a 34.5 ‰ | S A | Dato corresponde a valores obtenidos por sondeo de Inversiones Pelicano (2015) Por datos obtenidos por Díaz et al., (2014) en el golfo de las mayores variaciones en la salinidad en la columna de agua se produjeron en Junio, Agosto y Octubre del 2009. La salinidad y la temperatura fueron más homogénea en primavera verano. | EULA, 1993 |
| Corrientes en la VIII región | S A | Velocidad máxima es de 100cm/seg | S A | Instituto Hidrográfico de la Armada 1967 |
| Rama oceánica de la corriente de Humboldt | S A | Velocidad máxima en invierno de 27 cm/seg Velocidad | Esta corriente fluye con dirección norte a la altura de los 80° longitud W, afectando hasta los 400 metros | SHOA, 1994 |

| | | | | |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| | | máxima en verano 11 cm/seg | | |
| Rama costera de la corriente de Humboldt | S A | Mayores velocidades en otoño llegan a los 14 cm/seg | Esta corriente tiene dirección norte centrada en la longitud de 73° W, afecta hasta una profundidad de 300 metros | SHOA, 1994 |
| Contracorriente oceánica del Perú | S A | Velocidad máxima de 20 cm/seg en primavera y otoño | Afecta hasta aproximadamente la latitud 48° S y centrada alrededor de los 75° longitud W | SHOA, 1994 |
| Contra corriente costera de Chile | S A | S A | Dirección sur centrada aproximadamente 72° afecta hasta los 150 metros | SHOA, 1994 |
| Corriente sub superficial Perú-Chile | velocidades están alrededor de los 4 a 10 cm/seg | S A | S A | SHOA, 1994 |
| Olas de la VIII región | 0,8 a 2.2 metros | Olas máximas de 4 a 9 metros que se producen en invierno | Son olas largas de fondo que se producen en latitudes altas del océano pacífico. La dirección de las olas es sur-surweste formando corriente litoral hacia el norte. | EULA (1993) |
| Mareas en la VIII región | S A | Amplitud máxima de dos metros. | Olas semidiurnas de régimen mixto. | EULA (1993) |
| Vientos en la VIII | 11 a 29 nudos, con un porcentaje de ocurrencia del 69% | Máximos de 41 según Herrera (1994) 45 nudos según el Instituto Geográfico de la Armada (1967) | Herrera (1994) describe que los vientos máximos están en el rango de los 31 nudos o superiores con un porcentaje de ocurrencia de entre 2,4 a 2,8 % durante el año | Herrera (1994) y Instituto Geográfico de la Armada (1967) |
| Centros de surgencias | S A | Centros Mayores: Punta Lava Pie, Tirua, Lebu. Centros Menores: Arauco, Punta Hualpén, Punta Lobería, Fondo de la Bahía de Concepción, Punta Nugurme. | Las surgencias ocurren en un periodo de 8 meses en primavera verano, duran entre 1 a 7 días, alcanzan una distancia de 32km. y una profundidad de 20 a 70 metros. | Ahumada 1989. Pontificia Universidad católica de Chile |
| Fondos de la VIII región | Formados Principalmente por arena y rocas | S A | S A | Díaz et al., (2014) Informe Técnico de Inversiones Pelicano |

Nota: S A: Sin Antecedentes

Fuente: Elaboración propia

4.2 Determinación de sitios de Cultivo

4.2.1 Sistema portuario en la VIII Región

La VIII Región es privilegiada en cuanto la calidad y cantidad de puertos que posee y que en ciertas circunstancias podrían servir de base a un para un sistema suministros a cualquier centro de cultivos off shore en la región; sin embargo, estos puertos se encuentran concentrados en la zona centro de la región, en la zona des sistema de bahías, existiendo los puertos de uso público de Penco, Lirquén, Talcahuano, San Vicente y Coronel, estando todos ubicados en la provincia de Concepción (Dirección Nacional de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, 2005), lo que aumentaría los tiempos y costos , económicos a los lugares o sitios más alejados de la región en caso de necesitar de su uso.

4.2.2 Acceso carretero en las comunas costeras de la VII Región

La región cuenta en general con un buen acceso carretero siendo principalmente las comunas del norte y centro de la región las que cuentan con mejores accesos, como se observa en la Figura 10.

Las comunas del norte principalmente Cobquecura y en menor medida Trehuaco, existe camino por todo el borde costero. No existe acceso directo por tierra a través del Río Itata por el borde costero. Al sur del Río Itata por el borde costero solo se encuentran algunos puntos en los que caminos acceden al borde costero hasta la bahía de Coliumo. Desde este punto hasta la ciudad de Laraquete, en donde existe camino pavimentado ubicado cerca a la costa, y diversos accesos a través de caminos de tierra al borde costero.

Desde Punta Lava Pie hacia el sur de la región solo existe camino por el borde costero en caletas y ciudades ubicadas cerca de la costa como Lebu, Quidico y Tirua, pero en general el acceso carretero al borde costero es muy escaso o nulo.

4.2.3 Descripción borde costero de la VIII Región

Desde la costa hacia el mar existen básicamente dos tipos de accidentes geográficos que son las playas de arena y los acantilados de roca hacia el mar.

En la zona norte de la Región (comunas de Cobquecura, Trehuaco y Coelemu) se encuentran principalmente grandes extensiones de playa con pequeños acantilados de roca, luego en el límite de la comuna de Coelemu dominan el borde costero los acantilados de roca con pequeñas playas de arena, luego en la zona de las bahías Tome hasta Arauco, están formado por playas de arena el interior de las bahías y acantilados de roca en el exterior de estas.

Desde Punta Lava Pie al sur los acantilados dominan el paisaje del borde costero, existiendo tramos en los que la cordillera de la costa cae casi directamente sobre el mar además de tramos de playa arenosa.

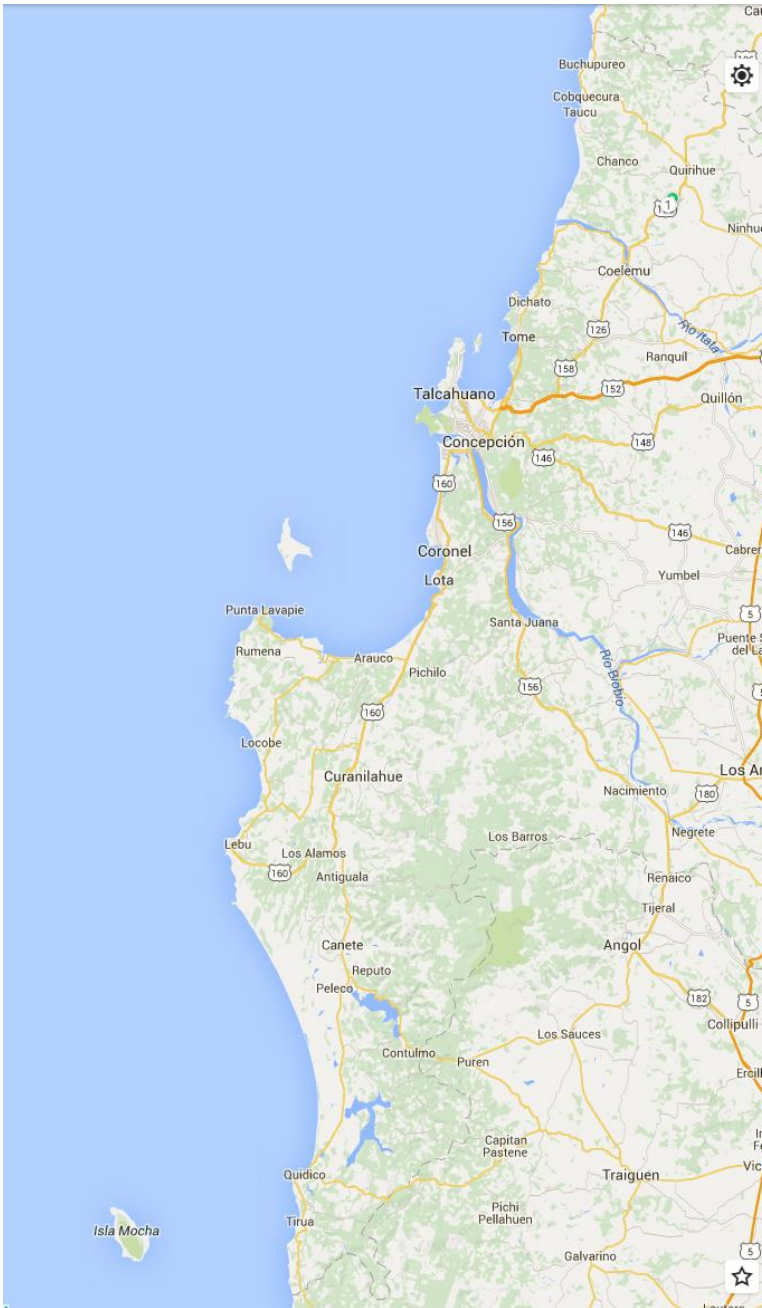


Figura 10: Mapa de carreteras de la VIII Región.
Fuente: Elaboración propia a través de Google Earth

4.2.4 Determinación del sitio de cultivo (macrolocalización)

En la Tabla 9 podemos ver el puntaje y la ponderación de los puntajes de cada comuna hecha por el investigador. Las localizaciones que obtienen mayor puntaje son Cobquecura en primer lugar y Arauco sur en segundo lugar. La diferencia de puntaje entre ambas localidades es mínima (0.21 puntos) lo que da a notar la calidad y similitud de ambas localidades.

Tabla 9. Determinación de sitio de cultivo (Macrolocalización)

| | Peso específico | Comunas | Cobquecura | Coelemu | Arauco sur | Lebu | Cañete |
|------------------------------------------|-----------------|---------|------------|---------|------------|------|--------|
| Factores ambientales | | | | | | | |
| Profundidad | 0.14 | 3 | 0.42 | 4 | 0.56 | 4 | 0.56 |
| Cercanía a la costa | 0.08 | 3 | 0.24 | 4 | 0.32 | 3 | 0.24 |
| Ausencia de fuentes contaminantes | 0.14 | 4 | 0.56 | 2 | 0.28 | 4 | 0.56 |
| Ausencia de desembocadura de ríos | 0.14 | 3 | 0.42 | 1 | 0.14 | 3 | 0.42 |
| Ausencia de surgencias | 0.1 | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 | 1 | 0.1 |
| Criterios socioeconómicos y de operación | | | 0 | | 0 | | 0 |
| Accesos al mar | 0.07 | 3 | 0.21 | 2 | 0.14 | 3 | 0.21 |
| Calidad de Caminos | 0.05 | 4 | 0.2 | 2 | 0.1 | 3 | 0.15 |
| Existencia de sitios de desembarco | 0.08 | 3 | 0.24 | 3 | 0.24 | 3 | 0.24 |
| Disponibilidad de mano de obra | 0.05 | 4 | 0.2 | 3 | 0.15 | 4 | 0.2 |
| Cercanía a puertos | 0.05 | 3 | 0.15 | 3 | 0.15 | 3 | 0.15 |
| Cercanía a Concepción | 0.05 | 3 | 0.15 | 3 | 0.15 | 3 | 0.15 |
| Vigilancia | 0.05 | 4 | 0.2 | 4 | 0.2 | 4 | 0.2 |
| | | 1 | 3.39 | | 2.83 | 3.18 | 2.95 |
| | | | | | | | 2.78 |

Nota: Arauco sur es la parte costera de esta comuna que esta fuera del golfo de Arauco

Fuente: Elaboración propia

Cobquecura supera a Arauco sur solo por no poseer surgencias en comparación con Arauco sur que en punta Lava Pies es el mayor centro de surgencias de la VIII Región

Punta Lavapie es el sitio en el que se produce mayor cantidad de surgencias en la VIII Región, lo que constituiría un factor de mucho riesgo en un cultivo de salmónes debido a las bajas de oxígeno que se producen con la ocurrencia de estos fenómenos, además

también limita al norte con el Golfo de Arauco que también posee antecedentes de contaminación. Por otro lado Cobquecura limita al sur con Trehuaco, que posee el ducto submarino de la celulosa Nueva Aldea que debido a la contaminación que libera y a las corrientes marinas predominantes podría llevar contaminantes a los centros de cultivos ubicados al Norte.

Sin embargo la comuna elegida debido al mejor puntaje obtenido es Cobquecura que según los criterios usados en esta investigación sería la comuna que presenta las mejores condiciones para el cultivo de salmones en la VIII Región.

4.2.5 Determinación del sitio de cultivo (microlocalización)

Los resultados de la microlocalización (Tabla 10) determinaron que los mejores sitios para instalar cultivos serían primero La Achira y segundo Buchupureo siendo el factor determinante la profundidad mayor que posee La Achira.

Tabla 10. Determinación de sitio de cultivo (Microlocalización)

| | Peso específico | Colmuyao | La Achira | Playa de Cobquecura | Buchupureo | Pullay |
|------------------------------------------|-----------------|----------|-----------|---------------------|------------|--------|
| Factores ambientales | | | | | | |
| Profundidad | 0.14 | 3 0.42 | 4 0.56 | 4 0.56 | 4 0.56 | 4 0.56 |
| Cercanía a la costa | 0.08 | 2 0.16 | 4 0.32 | 3 0.24 | 3 0.24 | 3 0.24 |
| Ausencia de fuentes contaminantes | 0.14 | 4 0.56 | 4 0.56 | 3 0.42 | 4 0.56 | 4 0.56 |
| Ausencia de desembocadura de ríos | 0.14 | 3 0.42 | 4 0.56 | 3 0.42 | 3 0.42 | 3 0.42 |
| Ausencia de surgencias | 0.10 | 4 0.4 | 4 0.4 | 4 0.4 | 4 0.4 | 4 0.4 |
| Criterios socioeconómicos y de operación | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Accesos al mar | 0.07 | 4 0.28 | 4 0.28 | 4 0.28 | 4 0.28 | 4 0.28 |
| Calidad de Caminos | 0.05 | 3 0.15 | 4 0.2 | 4 0.2 | 4 0.2 | 4 0.2 |
| Existencia de sitios de desembarco | 0.08 | 2 0.16 | 4 0.32 | 4 0.32 | 4 0.32 | 2 0.16 |
| Disponibilidad de mano de obra | 0.05 | 4 0.2 | 4 0.2 | 4 0.2 | 4 0.2 | 3 0.15 |
| Cercanía a puertos | 0.05 | 3 0.15 | 3 0.15 | 3 0.15 | 3 0.15 | 3 0.15 |
| Cercanía a Concepción | 0.05 | 3 0.15 | 3 0.15 | 3 0.15 | 3 0.15 | 3 0.15 |
| Vigilancia | 0.05 | 3 0.15 | 4 0.2 | 3 0.15 | 4 0.2 | 3 0.15 |
| | 1.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 3.20 | 3.90 | 3.49 | 3.68 | 3.42 |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: para la Microlocalización se utilizó el nombre de las localidades costeras de la comuna de Cobquecura.

4.3 Determinación de Sistema de Cultivo

Para el mejor análisis de los sistemas de cultivo se ocupó la clasificación propuesta por Scott y Muir (2000). Previamente se analizó si cada sistema puede operar en las condiciones de olas de la VIII región en que todos los sistemas resultaron pueden ser ocupados (investigación bibliográfica)

En la Tabla 11 se muestra la evaluación de los distintos sistemas de cultivo, según esta evaluación la mejor opción resultó ser los sistemas de jaulas flotantes de jaulas flexibles de 25000 m³. Las mejores de estos sistemas es que son las de más bajos costos, hay disponibilidad de insumos en el mercado nacional y además poseen un volumen adecuado para el cultivo del salmón². Sin embargo los demás sistemas presentan muy buenas puntuaciones en los demás ítems evaluados siendo básicamente el volumen y la disponibilidad de repuestos de las jaulas el único ítem en que las jaulas flotantes flexibles no tienen ninguna competencia.

Tabla 11. Evaluación de sistemas de cultivo

| | Peso específico | Flotantes flexibles | Flotante rígido | Semisumergible rígidas | Semisumergible flexibles | Sumergible rígidas | Sumergible |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|------------------------|--------------------------|--------------------|------------|
| Sistema de fondeo | 0.12 | 3 | 0.36 | 4 | 0.48 | 4 | 0.48 |
| Autonomía | 0.15 | 1 | 0.15 | 4 | 0.6 | 4 | 0.6 |
| Garantías | 0.12 | 3 | 0.36 | 2 | 0.24 | 2 | 0.24 |
| Disponibilidad de insumos y repuestos | 0.13 | 4 | 0.52 | 2 | 0.26 | 2 | 0.26 |
| Utilización de mano de obra | 0.12 | 2 | 0.24 | 3 | 0.36 | 4 | 0.48 |
| Costo | 0.18 | 4 | 0.72 | 1 | 0.18 | 2 | 0.36 |
| Volumen de unidad de Jaulas | 0.18 | 4 | 0.72 | 3 | 0.54 | 2 | 0.36 |
| | 1.00 | 3.07 | 2.66 | 2.78 | 2.72 | 2.00 | |

Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto interesante para mencionar que en estos momentos las jaulas de HDPE (comúnmente conocido como planza) son las que dominan el mercado de las jaulas para

² de los demás sistemas lo más grande que se encuentra en cuanto a volumen es de 6000 m³ muy inferiores a los 18000 m³ de las jaulas normales de la X región

sitios offshore en Chile, no habiéndose encontrado ninguna jaula flexible de goma en el mercado Chileno. Debido a esto las jaulas de HDPE es el mejor sistema en la actualidad para el cultivo de salmones en la VIII Región. Además por la referencia de Scott y Muir (2000) además de la entrevista a expertos se determino que las jaulas utilizadas son jaulas circulares de 40 m de diámetro y 20 m de profundidad (jaulas con 25000 m³).

Los sistemas de jaulas sumergibles rígidos estuvieron mal evaluados básicamente porque no se pudo obtener ningún antecedente de sus costos pero en general estos sistemas además no tendrían un buen desempeño en la región para el cultivo del salmón debido a las bajas concentraciones de oxígeno que se encuentra en las capas bajas del océano.

De los otros sistemas de cultivo se encuentran relativamente igual evaluados (entre 3 y 2.5 puntos) lo que manifiesta que cada sistema tiene sus pro y contras, además en términos generales tampoco tenemos un sistema que sobresalga demasiado de los demás lo que demuestra que aún queda por seguir mejorando en diversos aspectos en estos sistemas de cultivo más aun si consideramos en particular el cultivo de salmones.

4.4 Determinación del volumen de producción

4.4.1 Determinación de precio de venta del Salmón Chileno

Como se observa en la Tabla 12 las exportaciones de salmón en Chile desde el 2005 se han mantenido constantes teniendo un aumento desde el 2011 tanto en cantidad como en el retorno económico. Al analizar con estos datos el precio del kilo de salmón al que los productores chilenos han logrado exportar estos productos, podemos ver que se ha mantenido relativamente estable en los últimos 10 años, teniendo un promedio de US \$ 6.163 el kilo de salmón exportado por Chile. La variación estándar también demuestra la estabilidad del precio de venta de salmones y truchas los últimos 10 años teniendo un valor de 0,973 dólares el kilo de salmón un 15,79% del valor de venta promedio

Dado que el estudio se elabora en la fase de engorde de salmón que no corresponde a la venta final que es el faenado y procesamiento (fase final de la producción del salmón), que es donde efectivamente se producen los ingresos por venta, se ha hecho el ajuste de acuerdo a Fernández y Briones (2005) que determinaron que los precios de transferencia³ se determinan por que la relación costos/ ingresos, que para los centros de engorda es de 89.73% para Chile. De acuerdo a esto podemos generar la ecuación $\text{costos/ingresos}=0,8973$; por lo que nos queda que $\text{Costo} = \text{Ingreso} * 0.8973$ y de acuerdo a los valores promedio de la venta de salmónes Chilenos $5.53=6.163*0.8973$, por lo que para la evaluación al final como venta de sistema de cultivo es de US \$5.53 / kilo para evaluar los flujos de caja.

³Un precio de transferencia es el precio que una subunidad cobra por un producto o servicio otorgado a otra de la misma organización

Tabla 12. Cantidades (en Toneladas métricas) y precio (millones de US\$ FOB) de exportaciones de Salmón Chileno 2005-2015

| Año | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Toneladas Salmon y Trucha en Toneladas | 383704 | 387144 | 397041 | 445083 | 368992 | 296903 | 385325 | 488124 | 527770 | 566250 | 527375 |
| Ingresos por exportación de Salmon y trucha en millones de US \$ | 11721 | 22207 | 22242 | 22393 | 22100 | 22060 | 22926 | 22890 | 33517 | 4361 | 3201 |
| Precio de venta de salmón y trucha en US \$/kg | 44.485 | 55.701 | 55.647 | 55.377 | 55.691 | 66.938 | 77.594 | 55.921 | 66.664 | 7.702 | 6.07 |
| Promedio de precio de salmón y trucha en US \$/kg | | | 6.163 | | | | | | | | |
| Desviación Estándar de precio de salmón y trucha en US \$/kg | | | 0.973 | | | | | | | | |
| Varianza de precio de salmón y trucha en US \$/kg | | | 0.947 | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia a través de datos de la Asociación de la Industria del Salmón de Chile A.G.

En la tabla 13 podemos ver que existen cinco períodos con demanda elástica y cinco periodos con demanda inelástica por lo que no se puede asegurar desde este punto de vista que los precios se mantengan a cualquier nivel de demanda. Por otro lado los periodos 2009-2010 y 2011-2012 son periodos con un alto valor de elasticidad y al realizar el promedio simple de los valores de elasticidad analizados resulta una elasticidad promedio 3.680 por lo que podemos asumir que en general la demanda de precios del salmón Chileno es normalmente elástica (como resulta al analizar la desviación estándar de los precios que es un 15.79% del precio total), con lo que en general los precios se han mantenido relativamente estables independientes de las cantidades demandadas.

Tabla 13. Estimación de Elasticidad Precio Demanda del Salmón Chileno desde el año 2005 al 2015

| Periodo | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Elasticidad Precio | 0.036 | 11.604 | 11.751 | 11.433 | 111.26 | 0.746 | -19.01 | 0.399 | 0.328 | 0.232 |

Fuente: Elaboración propia a través de datos de la Asociación de la Industria del Salmón de Chile A.G.

4.4.2 Ajuste de parámetros de producción

Como se mencione anteriormente se considerara una mejora en la de un 15% en el ciclo de producción y de un 50% en la mortalidad total del sitio. De acuerdo a la metodología de evaluación de proyectos se consideraron valores promedio de la industria Chilena estos valores se consiguieron a través de expertos que trabajan en la industria que proporcionaron diversos datos y cifras⁴.

Para la elaboración de los flujos de caja se utilizo el ciclo del salmón Atlántico o Salar, que es la especie cultivada por los centros de los que se obtuvieron los datos de costos y

⁴ Los nombres de las empresas no fueron revelados a petición de los informantes, sin embargo fueron confirmados por el profesor guía.

mortalidad. Debido a esto podemos determinar que debido a que el ciclo promedio de cultivo del salmón Salar en Chile es de 17.5 meses, reduciéndolo en un 15% nos queda que el ciclo se puede mejorar a 14.875 meses que aproximado nos queda en 15 meses, con lo que obtendríamos una mejora en 2.5 meses de reducción en el ciclo de cultivo offshore. Con esta mejora al hacer producir un centro de forma continua durante cinco años (lo que corresponde al objetivo de investigación) podríamos realizar cuatro ciclos completos de cultivo, uno más que lo que normalmente se realiza en los ciclos actuales en la que solo se alcanzan a producir tres y medio en cinco años. En la tabla 14 se observan los meses correspondiente al año en que ocurrirían las cosechas, quedando el primer año sin cosecha.

Tabla 14. Meses de cosecha para el proyecto

| Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Meses | 1-12 | 13-24 | 25-36 | 37-48 | 49-60 |
| Mes en que se cosecha | Sin cosecha | 15 | 30 | 45 | 60 |

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos los centros en Chile en forma normal tiene una mortalidad promedio de alrededor de un 13% en todo el ciclo de cultivo, al reducirlo en un 50% tenemos que las mortalidades mejorarían en un 6.5% en todo el ciclo de cultivo offshore.

En Chile la densidad máxima de cultivo se encuentra regulada por ley, solo se puede llegar hasta 15 kg/m³ dentro de jaulas de cultivo de salmón⁵. Con esto además de que cada jaula tiene un volumen de 25000 m³, se determina que cada jaula puede contener como máximo 375000 kilogramos de salmón, si además consideramos que en Chile el peso promedio de un salmón Atlántico es de 4,75 kg. se determina que la cantidad máxima de salmónes en una jaula de 25000 m³, es de 78947 salmónes. Y si consideramos la mortalidad de un 6,5% en el ciclo de cultivo obtenemos que la cantidad inicial de salmónes que se debe sembrar es de 84079 smolt.

⁵ Sernapesca ajusta estos valores según ubicación del centro y especie cultivada.

Según los datos obtenidos el valor promedio de un smolt de salmón en Chile está alrededor de US\$ 1,968 o \$1287 chilenos⁶. Con lo que se obtiene que en Smolt, se gastará un total de \$ 108 215 727 chilenos por jaula para cumplir con la estimación final.

En la tabla 15 podemos ver los diferentes valores e índices promedio de los costos fijos y variables que se consideran en un centro de cultivo de salmónes con la desviación estándar de cada promedio, en la que podemos observar que en general todos los valores son bastante estables, no existiendo valores que se alejen demasiado de los costos⁷. También es importante mencionar que si bien las empresas consideran el factor de conversión (peso de alimento / peso de peces) como referencial y debido a que muchas de las empresas salmoneras chilenas producen incluso el alimento de sus peces logrando optimizar este proceso logrando producir alimentos con factores de conversión más altos pero más rentables económicamente (alimentos más baratos), con lo que desde el punto de vista económico logran bajar los costos para las mismas producciones, con lo que en definitiva cobra más relevancia para la Costo de alimento/aumento de peso de salmón (US\$ de alimento/kg. salmón) que es lo que están ocupando las empresas.

⁶ Considerando como valor promedio del 2015 del dólar que fue de \$654 Chilenos.

⁷ Los diversos ítems que detalla cada costo se pueden observar en la sección de anexos.

Tabla 15. Valores promedio de centros de cultivo de salmón en Chile

| Ítem | Promedio | Desviación estándar | Porc. Desv. Con resp. al promedio |
|-------------------------------------|------------|---------------------|-----------------------------------|
| Relación de producción US\$/kg | 6,35 | 1,148 | 18,08% |
| Relación US\$alimento/Kg. de salmón | 1,541 | 0,180 | 11,707% |
| Mortalidad (%) | 13,089 | 2,475 | 18,91% |
| Costo de Alimento (US\$) | 419 673,00 | 80 553,00 | 19,19% |
| Sueldos total personal (US\$) | 19 145,00 | 3 903,00 | 20,39% |
| Gastos por producción (US\$) | 62 137,00 | 16 416,00 | 26,42% |
| Gastos por operaciones (US\$) | 166 802,00 | 26 298,00 | 15,77% |
| Gatos Generales (US\$) | 5 104,00 | 1 476,00 | 28,93% |
| Depreciación (US\$) | 13 453,00 | 2 409,00 | 17,91% |
| Costos Indirectos (US\$) | 90 254,00 | 19 047,00 | 21,10% |

Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos por investigador⁸

Para hacer funcionar el proyecto en el caso de la VIII región que la operación principal se efectuaría por mar a través de algún puerto de la bahía de concepción de donde saldrían las embarcaciones que trasladarían el grueso de los materiales, insumos y alimento para los peces, etc.⁹, pero además se contempla la compra de algún lugar en la punta achira en donde construirían instalaciones para el funcionamiento, vigilancia y acceso rápido al centro en caso de emergencias. Las estimaciones de la inversión inicial se detallan en la tabla 16.

⁸ Datos verificados por profesor guía

⁹ Esta operación se hace de forma similar en los centros de la X región

Tabla 16. Estimación de Inversión inicial (en UF)

| | |
|---------------------|-------------------|
| Instalaciones | 1995,291 |
| Jaulas | 54192,107 |
| Fondeos | 52196,816 |
| Terrenos | 798,116 |
| Permisos | 35,000 |
| Equipos adicionales | 5985,873 |
| Total | 115203,203 |

Fuente: Elaboración propia

Los costos variables y las ventas se determinaron como se indica en la tabla 17.

Tabla 17. Estimaciones para costos variables (en UF)

| | |
|----------------------------------------------|-----------|
| Valor de Venta Salmon (\$/kg) | 0,144 |
| Relación Costo alimento/peso (\$/kg.) | 0,040 |
| Valor promedio dólar 2015 | 0,026 |
| Valor promedio UTM 2015 | 1,750 |
| Costo de smolts por jaula | 4318,438 |
| Costo total de alimento por ciclo por jaula | 15086,511 |
| Costo de alimento estimado por mes por jaula | 1005,767 |
| Costo de Jaula por unidad instalada | 5419,211 |
| Producción por jaula (en kg.) | 375 000 |
| Venta de producción jaula | 5419,211 |

Fuente: Elaboración propia

La operación del centro se realizará a través de un barco que zarpará desde un puerto de la bahía de Concepción hacia el centro, costo que se equipara al uso de barcos trasladan el alimento a los centros que está incluido en los operacionales como arriendo de embarcaciones.

Al elaborar y sensibilizar los flujos de caja para con respecto a la cantidad de balsas jaulas, se determino que es necesario contar con diez balsas jaulas instaladas para como mínimo para hacer que sea rentable económicamente (Tabla 19). En la Tabla 18 podemos ver el resultado de los flujos de caja en los que además se observa que además de la inversión inicial el primer año el centro tendría una rentabilidad negativa debido a que no se alcanza a completar el ciclo de producción para la venta, lo que ocurre a partir del segundo año.

Tabla 18. Flujos de Caja para el proyecto (en UF)

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Inversión Inicial | 115203,20 | | | | | |
| Capital de Trabajo | 304256,16 | | | | | |
| Venta de Producción | | 0,00 | 541277,11 | 541277,11 | 541277,11 | 541277,11 |
| Costos variables | | 163876,46 | 163876,46 | 163876,46 | 163876,46 | 120692,09 |
| Costos Fijos | | 88144,34 | 88144,34 | 88144,34 | 88144,34 | 88109,34 |
| Depreciación | | 4213,70 | 4213,70 | 4213,70 | 4213,70 | 4213,70 |
| Utilidad antes de Impuesto | | -256234,50 | 285042,60 | 285042,60 | 285042,60 | 328261,98 |
| Impuesto de primera Categoría (23%) | | 0,00 | 65559,80 | 65559,80 | 65559,80 | 75500,25 |
| Utilidad después de Impuesto | | -256234,50 | 219482,80 | 219482,80 | 219482,80 | 252761,72 |
| Depreciación | | 4213,70 | 4213,70 | 4213,70 | 4213,70 | 4213,70 |
| Recuperación del Capital de Trabajo | | | | | | 304256,16 |
| Valor de desecho | | | | | | 57983,16 |
| Flujo de caja | | -252020,80 | 223696,50 | 223696,50 | 223696,50 | 619214,74 |
| Valor Actual | 419459,36 | -210719,74 | 156385,63 | 130757,21 | 109328,77 | 253037,79 |
| Periodo de recuperación | | -210719,74 | -54334,11 | 76423,11 | 185751,88 | 438789,67 |

Fuente: Elaboración propia

Al usar la tasa de descuento del 19.6%, se obtuvo un VAN de 19330,311 UF chilenos y el TIR resultó de un 20,678%. El periodo de recuperación de la inversión se da en el cuarto año del Proyecto.

Tabla 19. Evolución del VAN del proyecto según el Número de jaulas

| N° de jaulas | VAN |
|--------------|-------------|
| 1 | -277009,432 |
| 2 | -241775,467 |
| 3 | -206541,502 |
| 4 | -171307,537 |
| 5 | -136073,572 |
| 6 | -100839,608 |
| 7 | -86371,584 |
| 8 | -51137,619 |
| 9 | -15903,654 |
| 10 | 19330,311 |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 11 se observa como el VAN se incrementa de forma lineal al aumentar el número de jaulas, hasta hacerse positivo con 10 jaulas, la distorsión que ocurre entre la jaula 6 y 7 se debe al aumento en la inversión inicial al aumentar la inversión en fondeos.

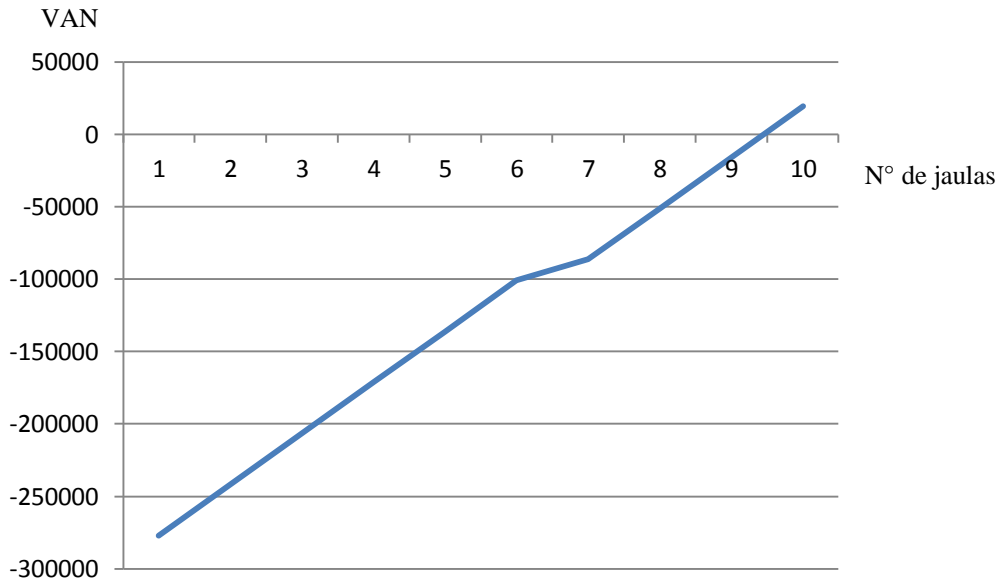


Figura 11: Gráfico de evolución del Van al aumentar el número de jaulas.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Tabla 19.

5. Conclusión

Para responder al objetivo principal de esta tesis se concluye que es totalmente factible el realizar cultivo de salmones de forma rentable y segura en condiciones offshore en la VIII región. La tecnología, experiencia, los recursos y conocimientos están totalmente disponibles.

Las características ambientales de la VIII Región resultaron apropiadas para el desarrollo de los salmones, solo resultando como inconveniente el fenómeno de las surgencias que provocaría bajas de oxígeno a niveles letales para los salmones. La tecnología actual permite implementar sistemas de aireación en jaulas que solucionaría esta variable, aunque aumentarían los costos y dificultades en la operación. El fenómeno de las surgencias marinas presente principalmente en la parte centro y sur de la Región dificultaría la operación en sitios que de no ser por esto serían muy buenos para el cultivo como por ejemplo Punta Lavapie, y es lo que daría ventaja a los sitios de Cobquecura.

Una ventaja comparativa de la VIII región es que presenta una amplia plataforma continental, la que por un lado dificulta encontrar sitios con una profundidad adecuada cerca de la costa, pero debido a que los cultivos offshore se pueden efectuar lejos de la costa generan un amplio espacio para poder instalarlos.

Según la evaluación de esta tesis las jaulas flexibles de HDPE resultaron ser mejor sistema de cultivo en la actualidad para cultivar salmones en la VIII Región. Se evaluaron las jaulas de 40 m de diámetro y 20 m de profundidad. Poseen una serie de ventajas comparativas con respecto a otros sistemas de jaula de cultivo de peces, pero el principal resultó ser el volumen de encierro que es bajo en los demás sistemas de cultivo. Otro factor a tener en cuenta para seleccionar estos sistemas de cultivo sobre otros como los sumergibles es que por los datos obtenidos, en las capas inferiores del océano en la VIII Región las concentraciones de oxígeno tienden a ser muy bajas pudiendo llegar a ser letales para los salmones situación que no ocurre en la superficie de no presentarse surgencias.

El estudio de mercado en general los resultados mostraron que el precio de venta del salmón chileno es bastante estable además de poseer elasticidad en la relación precio demanda lo que indica que aún queda espacio para que el mercado continúe creciendo.

En la evaluación económica el VAN resulto ser de de 19330,311 UF, el TIR de 20,678% y el periodo de recuperación de Capital se dio en el cuarto año. El nivel mínimo de jaulas necesarias para que le VAN sea positivo se dio con diez jaulas, lo que da un volumen de producción relativamente parecido al de los centros de la X Región, lo que indica que es factible la implementación de un centro de cultivo desde el punto de vista económico.

A pesar que no estaba dentro de los objetivos de esta investigación, y debido a la metodología, se pudo conocer diferentes datos de operación de diferentes centros de cultivo de la X Región los que resultaron ser bastante consistentes y con poca variación con respecto al promedio de estos. El obtener esta información fue de utilidad para la elaboración de esta investigación, ya que permitió establecer los valores de costo reales de empresas en cuanto a operaciones.

Debido al tiempo en que se comenzó esta tesis se puede comparar el desarrollo que ha existido en este tema, desde hace quince años atrás en donde la situación era de la existencia de poca tecnología offshore en Chile, nulo interés a cultivar en ambientes expuestos sobretudo en la VIII Región a la situación de hoy en día en que se ha incorporado y desarrollado tecnología que permite el cultivo offshore de salmones y la no existencia de centros de engorda de salmones solo por el hecho de que aun no han sido aprobadas las autorizaciones en la VIII Región existiendo en la actualidad 72 concesiones en trámite.

Para seguir avanzado en este tema el investigador además recomienda la implementación de un cultivo experimental de salmones en la región con el fin de evaluar cómo se comportarían en la realidad los diversos sistemas además de poder evaluar de forma más precisa cuales serían las dificultades a solucionar para realizar un cultivo en la región.

6. Bibliografía.

- AHUMADA, R. & L. CUENCAS. 1979. Algunas características hidrográficas de la bahía de Concepción (36°40'S; 73°02'W) y áreas adyacentes. Chile. Gayana Miscelánea N° 8. Instituto de Biología. Universidad de Concepción. Chile.
- AHUMADA, R., A. RUDOLPH, S. MADARIAGA & F. CARRASCO. 1989. Descripción de las condiciones oceanográficas de la bahía de San Vicente y antecedentes sobre los efectos de la contaminación. Biología Pesquera 18.
- BEVERIDGE, M. 1996. Cage Aquaculture. Fishing News Books. Oxford. 2ª Edición.
- CANALES, R. 1992. Informe final de práctica para optar al título de tecnólogo en recursos del mar. Descripción del cultivo de salmones en sistema de balsas jaulas, Salmones Antartico S.A. Chile
- COLL. J. 1986. Acuicultura Marina Animal. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. 2ª Edición.
- EULA. 1993. Gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Bio Bio y del área marina adyacente. Universidad de Concepción. Primera edición.
- EULA. 1993. Los ambientes costeros del golfo de Arauco y las áreas adyacentes. Universidad de Concepción. Primera edición.
- HEEN, K. et. al. 1993. Salmon Aquaculture. Fishing New Books. Great Britain. Primera Edición.
- HERRERA, M. 1994. La brisa Marina superficial en la VIII Región: un análisis temporal y espacial. Seminario para optar al título de Biólogo Marino. Depto. De Oceanografía. U de C.
- INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA ARMADA. 1967. Derrotero de la costa de Chile. Instituto Hidrográfico de la Armada. Chile. Volumen I.
- LAWSON, T, 1995. Fundamentals of Aquacultural Engineering. Chapman & Hall. New York. 1ª Edición.

- LOLAND, G. 1993. Current forces on, and water flow through and around, floating fish farms. *Aquaculture Internacional*. 1.
- MENDEZ, R. y C. MUNITA. 1989. *La Salmonicultura en Chile*. Fundación Chile. Santiago de Chile. Primera Edición.
- PANZARINI, R. 1984. *Introducción a la Oceanografía General*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires. 3ª Edición.
- RODRIGUÉZ, L. Y C. DÍAZ. 1995. “Cultivo de Peces en Ambiente “Offshore” Problemas y Tendencias Tecnológicas”. IV Seminario Internacional de Buques, I Congreso Internacional de Ingeniería Oceánica. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- RUIZ, J., I. YARUR y F. GONZALEZ. 1989. Evaluación económica de diferentes métodos de cultivo de *Gracilaria* spp. Instituto de Fomento Pesquero. Chile.
- SEDGWICK, S.D. 1988. *Salmon Farming Handbook*. Fishing News Books. England. Primera Edición.
- SHOA. 1994. *Atlas Oceanográfico para la Educación*. SHOA. Chile. Primera edición.
- SHOA. 1996. *Atlas Oceanográfico de Chile*. Litografía Carozza. Chile. Primera edición.
- SOBARZO, M. 1993. Oceanografía física entre Punta Nugurne (35°57'S, 72°47'W) y punta Manuel (38° 30' S, 73°31'W): una revisión histórica (1936-1990). *Gayana oceanológica* N° 2.
- SVEÄLV, T. 1991. *Strategies and Technologies in Offshore Farming*. *Fisheries Research* 10: 329 – 349.
- VALLEJOS, A. 1992. Informe final de práctica profesional para optar al título de tecnólogo en recursos del Mar. Crecimiento de salmones en jaulas.

6.1 Linkografía

- EMPRESA PÚBLICA PARA EL DESARROLLO AGRARIO Y PESQUERO DE ANDALUCÍA, Proyecto para el desarrollo de artefactos flotantes de la bahía de Cádiz, “PDF”, 2005. extraído de

http://www.magrama.gob.es/app/jacumar/planes_nacionales/Documentos/82_IF_ARTE_FACTOS.pdf, Mayo 2016

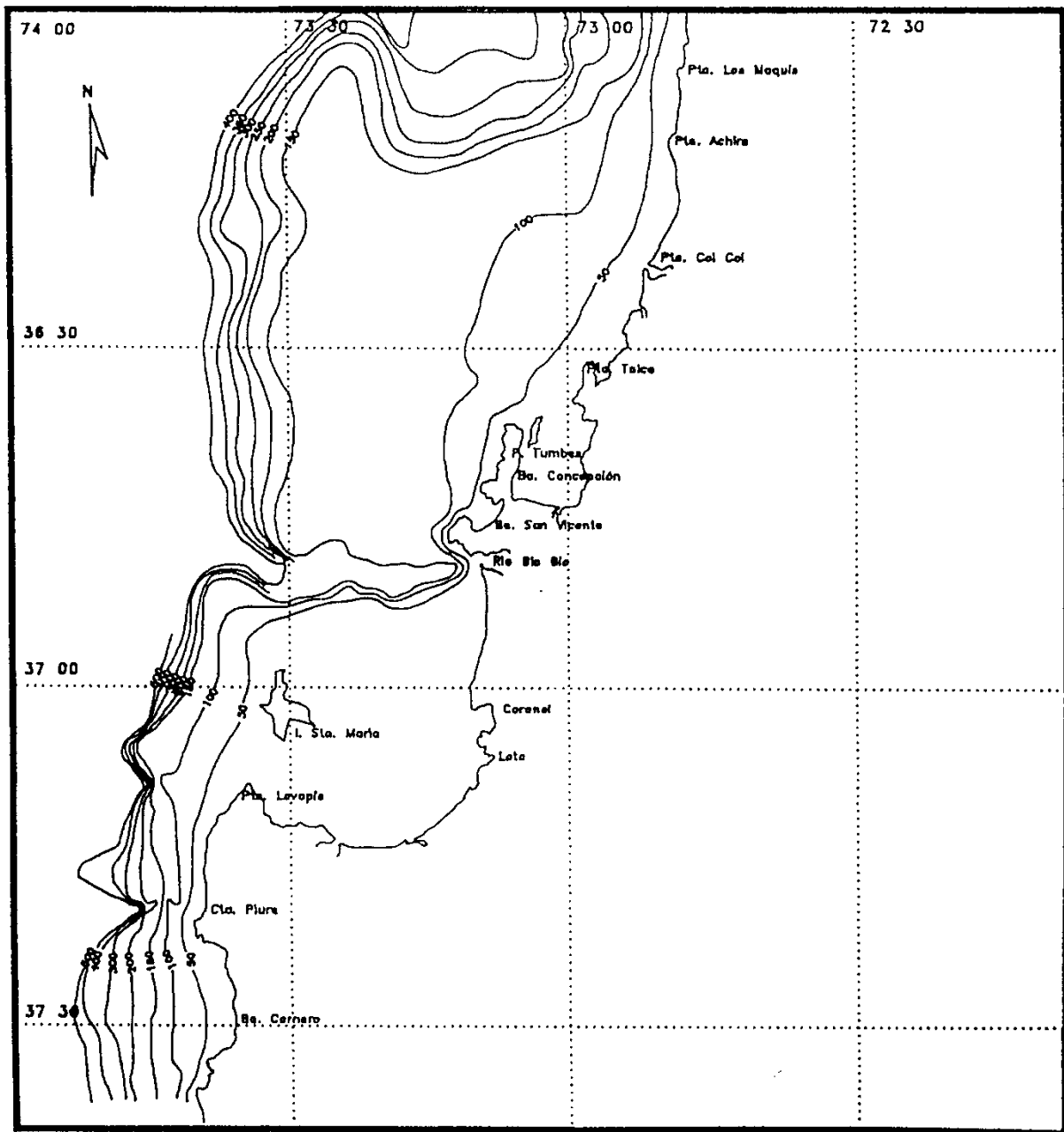
- ARSENAULT, M., T. BEIGBEDER, N. JOHNSON, K. PEARCE (2002). Current and future regulation of marine aquaculture. Extraído de <http://www.lib.noaa.gov/retiredsites/docaqua/wpiprojects/currentrept.htm>, Junio 2016
- REMBRANDT, General Contracting Company L.L.C. Composure of Farmocean2500/3500/4500/6000 cubic meters cage; extraído de <http://www.rembbrandtua.net/composure-of-farmocean.html>, Junio 2016
- Granja oceánica Offshore, 2013; extraído de <http://criarpeces.com.ar/granja-oceanica-offshore.html>, Junio 2016.
- *Fletcher*, 2015. Extraído de <http://www.salmonexpert.cl/noticias/noruega-la-nueva-cara-de-la-produccion-de-salmon-offshore/>, junio 2016
- BASURCO B., RODRÍGUEZ J., SARRIAS F., 2000. Technology used for offshore mariculture in Spain, extraído de <http://om.ciheam.org/om/pdf/b30/00600653.pdf>
- STEVENS C., D. PLEW, N. HARTSTEIN, D. FREDRIKSSON, 2008. The physics of open-water shellfish aquaculture. Extraído de <http://www.sciencedirect.com/>
- LADER F., A. OLSEN, A. JENSEN, J.SVEEN, 2007. Experimental investigation of the interaction between waves and net structures—Damping mechanism. Extraído de <http://www.sciencedirect.com/>
- ZHAO Y., C. BI, C. CHEN, Y. Li, G. Dong, 2015. Experimental study on flow velocity and mooring loads for multiplenet cages in steady current. Extraído de <http://www.sciencedirect.com/>
- PÉREZ O., T. TELFER, L. Ross, 2003. On the calculation of wave climate for offshore cage culture site selection: a case study in Tenerife (Canary Islands). Extraído de <http://www.sciencedirect.com/>
- DÍAZ C., Y. FIGUEROA, C. SOBENES, 2014. Seasonal effects of the seeding on the growth of Chilean mussel (*Mytilus edulis platensis*, d'Orbigny 1846) cultivated in central Chile

- JENSEN Ø., A. WROLDSEN, P. FURSET , A. FREDHEIM , M. HEIDE, 2007. Finite element analysis of tensegrity structures in offshore aquaculture installations. Extraído de <http://www.sciencedirect.com/>
- SOBARZO M., L. BRAVO, C. MOFFAT, 2010. Diurnal-period, wind-forced ocean variability on the inner shelf off Concepción, Chile
- DRACH A., I. TSUKROV, J. DECEW, B. CELIKKOL, 2015. Engineering procedures for design and analysis of submersible fishcages with copper netting for exposed marine environment.
- Sepúlveda M., I. Arismendi, D. Soto, F. Jara, Fr. Farías. Extracto de artículo publicado en la revista *Aquaculture Environment Interactions* 4:273-283. 2013. Extraído de <http://www.aqua.cl/reportajes/escapes-de-salmonidos-y-su-impacto-en-el-ecosistema/#>
- SCOTT D.C.B., MUIR J.F. 2000. Offshore cage systems: A practical overview. . “PDF”. Extraído de <http://om.ciheam.org/om/pdf/b30/00600651.pdf>, Mayo 2016
- Primera cosecha de salmones criados en jaulas de cobre antimicrobiano. Extraído de <http://procobre.org/es/noticias/primera-cosecha-de-salmones-criados-en-jaulas-de-cobre-antimicrobiano/>. Junio 2016
- Especies. 2015. Asociación de la Industria del Salmón de Chile A. G.. Extraído de <http://www.salmonchile.cl/es/especies.php>. Marzo 2016
- Salmonicultura. 2015. Asociación de la Industria del Salmón de Chile A. G., 2015. Extraído de <http://www.salmonchile.cl/es/especies.php>. Marzo 2016
-
- FERNÁNDEZ J., L. BRIONES C. 2005. Estudio de la Cadena Productiva del Salmón, a través de un Análisis Estratégico de Costos”. Extraído de <file:///C:/Users/pc17/Downloads/Dialnet-EstudioDeLaCadenaProductivaDelSalmonATravesDeUnAna-2573387.pdf>. Junio 2016
- Nodland, 2015. http://sysla.no/2015/11/30/havbruk/laksen-handterer-forholdene-til-havs_69550/; Junio 2016
- Dirección Nacional de Obras Portuarias del ministerio de Obras públicas del Gobierno de Chile, 2005. Extraído de

- http://www.mop.cl/CentrodeDocumentacion/Documents/Puertos%20y%20Aeropuertos/El_Sistema_Portuario_de_Chile_2005.pdf, mayo 2016
- <http://www.mispecies.com>, tecnología, proveedores, jaulas.
 - <http://www.salmonchile.cl/>, Mayo 2016
 - <http://www.profesorenlinea.cl/Quimica/PH2.htm>, Mayo 2016
 - Valenzuela, 2004. Extraída de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/capitulo3.pdf, Mayo 2016
 - http://www.fusionmarine.co.uk/news_good_future.html, Junio 2016
 - <http://www.oban.cl/difusion-balsas-jaulas-plastico-centros-cultivo-alejados-costa.htm>
 - Pontificia Universidad Católica de Chile, 2006. Extraído de http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h72.html, Mayo 2016
 - Revista Chile Pesquero , junio -julio .1999
 - Catalogo empresa “Ewos” año 2000
 - Catalogo empresa “Corelsa” año 2000
 - www.oceanspar.com, Marzo 2001

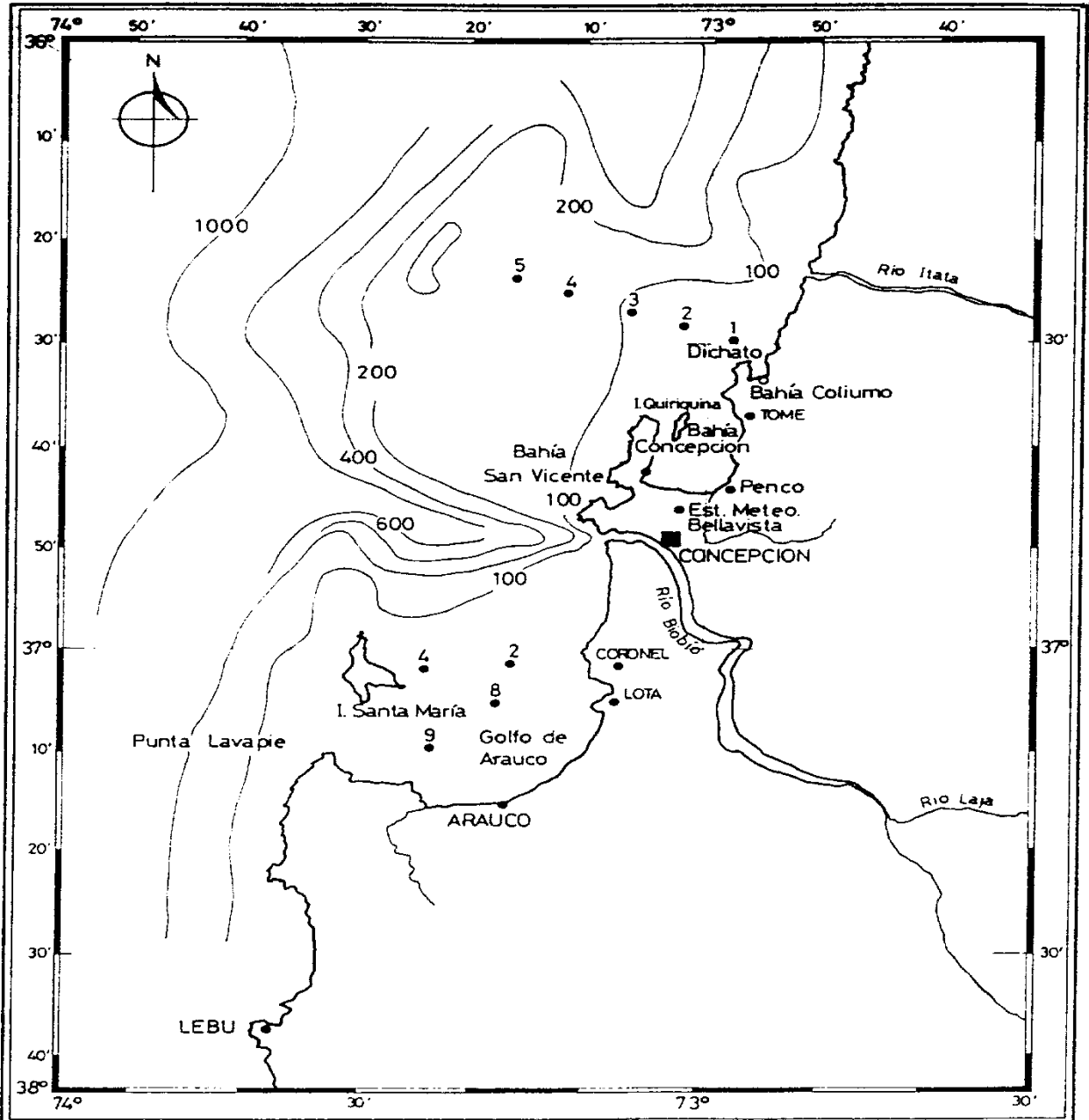
7. Anexos.

Anexo N° 1: Batimetría de la VIII Región.



EULA 1993

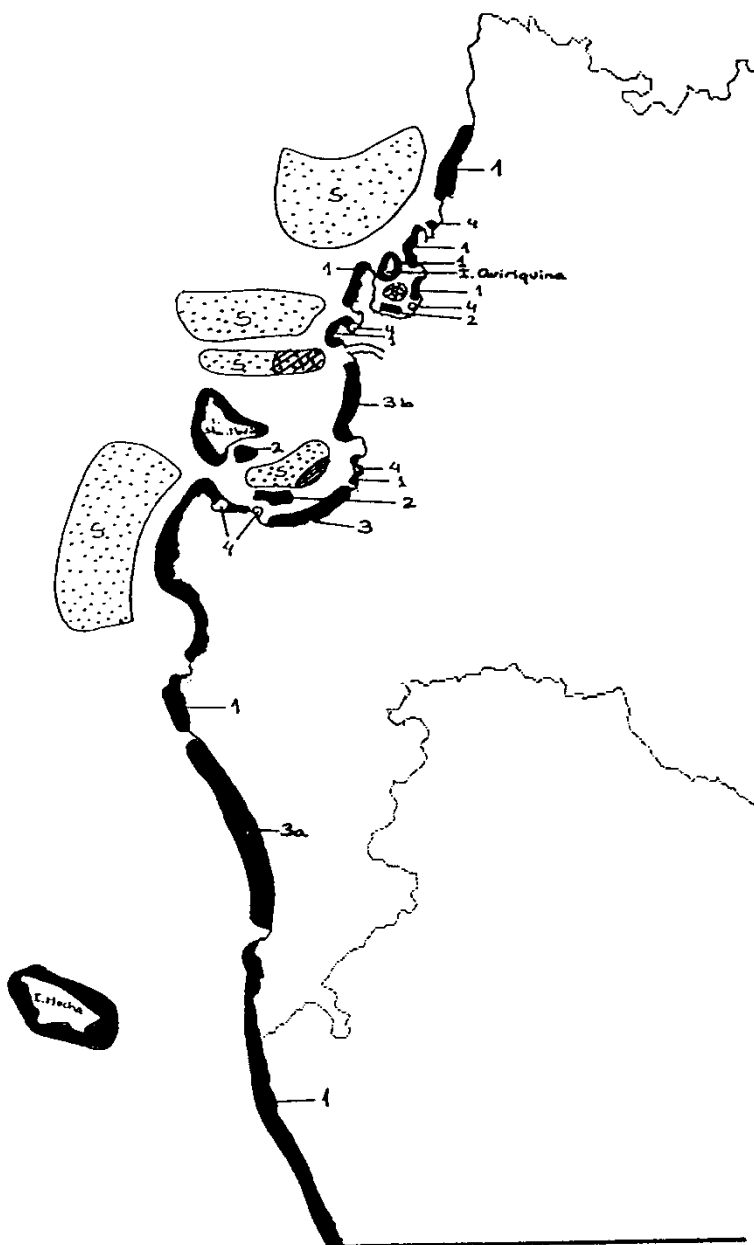
Anexo N° 2: Batimetría de una parte de la plataforma continental de la VIII Región



EULA 1993

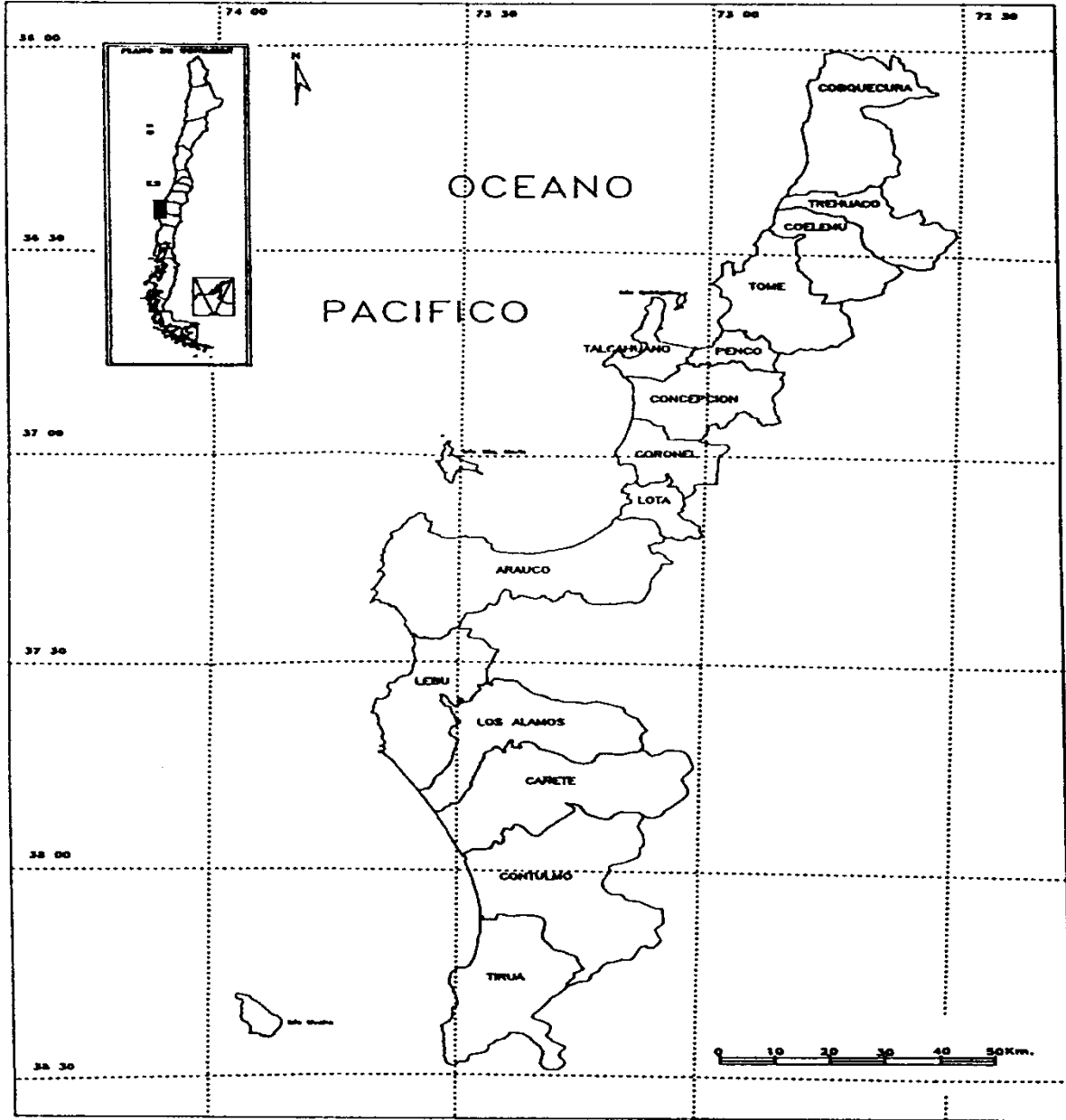
Anexo N° 3: Áreas de pesca artesanal.

1. áreas de explotación de recursos bentónicos: loco, lapa, piure, picoroco, caracoles, congrio colorado, jaibas.
2. áreas explotación recursos bentónicos: navajuela, navaja, tromulco.
3. Pesquerías costeras:
3a machas, 3b peces: robalo, lenguado.
4. áreas de cultivo
5. caladeros de redes, espineles: merluza, corvina, gallo, congrio, bacalao



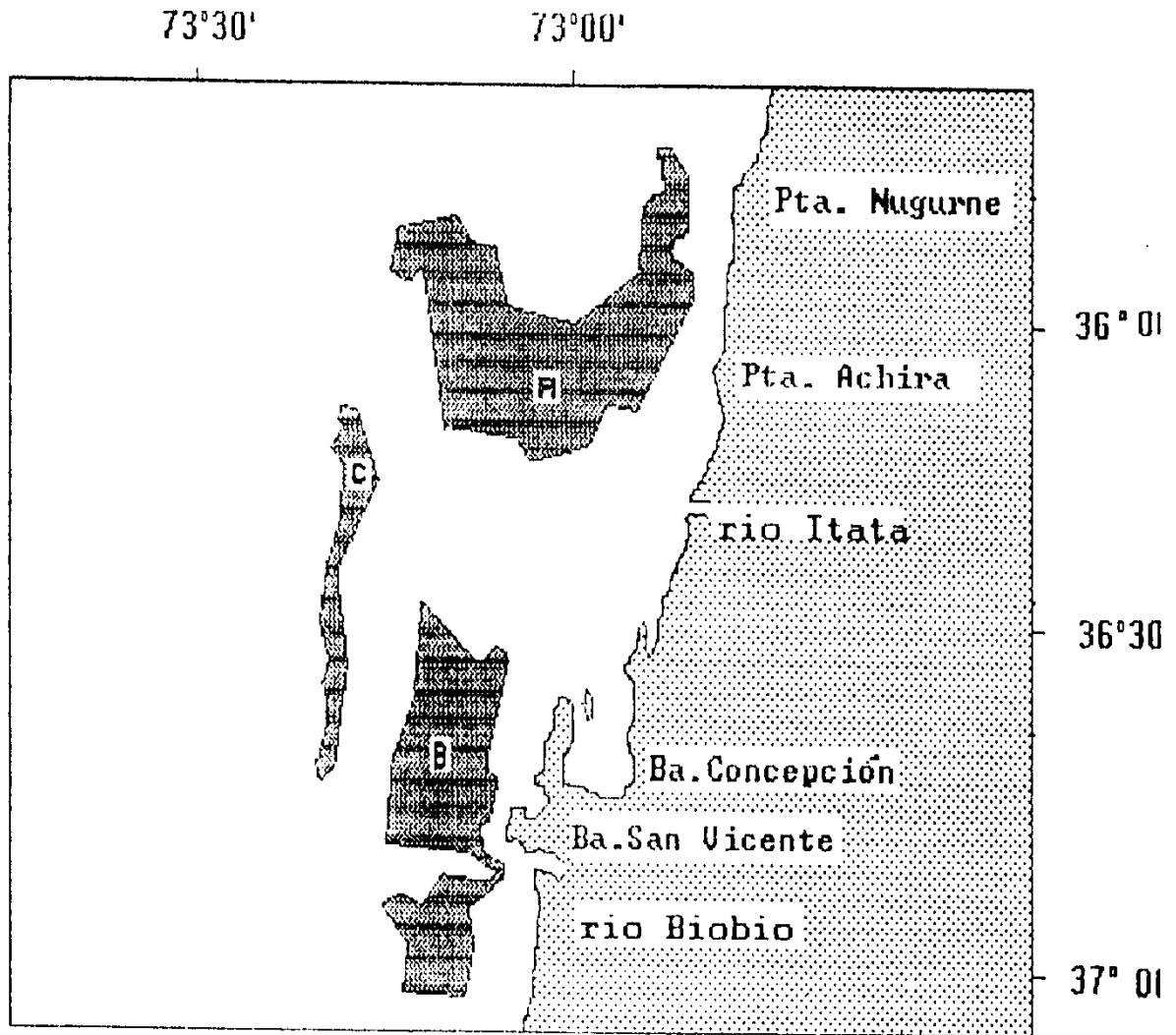
EULA 1993

Anexo N° 4: Comunas costeras de la VIII Región.



EULA 1993

Anexo N° 5: Principales bancos de langostino colorado aptos para la pesca en la VIII región.



EULA 1993

Anexo N° 6: Diversos ítems considerados para la estructura de costos.

| |
|-----------------------------|
| Costo mensual |
| Costo Smolt |
| Costo Acumulado |
| Biomasa cosecha acum |
| \$US/kg |

| |
|---------------------------|
| Produccion |
| Biomasa Final (kg) |
| Biomasa muerta (kg) |
| Biomasa muerta (kg) Acum |
| N° Ingresado |
| Peso Inicio |
| Biomasa ingresada |
| T° |
| Biomasa inicial (kg) |
| Numero Cosecha |
| Peso cosecha (g) |
| Biomasa Cosecha |
| N° Peces |
| Peso Promedio |
| Mortalidad |
| Crecimiento % |
| Calibre |
| Consumo Alim (kg) |
| Consumo Alim (kg) Acum |
| Antibiótico |
| USD Alimento \$ US |

| Personal |
|--------------------------------------------|
| AChS-cotización básica |
| Aguinaldo de Navidad |
| Aguinaldo Fiestas Patrias |
| Aporte empresa al fondo solidario |
| Aporte seguro de cesantía |
| Aporte SIS seguro de invalidez |
| Asistencia a seminarios |
| Becas de estudio |
| Bonificación mano de obra (abono) |
| Bono de Escolaridad |
| Bono días festivos |
| Bono Movilización |
| Bono Producción |
| Colación |
| Elementos de Seguridad Personal |
| Gratificación 25% |
| Horas Extras |
| Indemnización Años de Servicios |
| Indemnización por años de servicios pagada |
| Movilización terrestre |
| Prevención de riesgos del personal |
| Ropa de Trabajo |
| Ropa desechable |
| Sueldos |
| Vacaciones |
| Total Personal \$ US |

| Produccion |
|---------------------------------------|
| Baños de caligus |
| Bencina motores |
| Desinfectantes |
| Fletes varios |
| Gas |
| Gas licuado |
| Herramientas de faenación |
| Instrumental Laboratorio |
| Materiales de embalaje en general |
| Materiales de empaque |
| Materiales laboratorio |
| Otros consumos producción |
| Otros materiales de producción |
| Petroleo diesel |
| Retiro mortalidad peces |
| Servicio de alimentación externa |
| Servicio de fumigación y desinfección |
| Servicio de laboratorio externo |
| Total Produccion \$ US |

| Operaciones |
|-----------------------------------------------|
| Arriendo embarcaciones |
| Contratistas de mantención |
| Equipos para mantención |
| Herramientas menores |
| Impregnación de redes |
| Limpieza fosas septicas |
| Lubricantes de Mantención |
| Mantención de bodegas |
| Mantención edificios |
| Mantención equipos de alimentación |
| Mantención generadores |
| Mantención otros activos fijos |
| Mantención y limpieza de redes |
| Mantención y limpieza set loberos |
| Mantención y reparación lanchas |
| Mantenión y reparación motores fuera de borda |
| Materiales |
| Materiales de Mantención |
| Materiales para fondeo |
| Motores y bombas |
| Otros arriendos para la operación |
| Otros contratistas de mano de obra |
| Otros servicios de fondeo |
| Reparación balsas y jaulas |
| Reparación redes |
| Repuestos |
| Serv. buceo y extracción mortalidad |
| Servicio de vigilancia |
| Servicio retiro de redes |
| Servicio retiro set loberos |
| Tela para confección de redes |
| Total Operaciones \$ US |

| Generales |
|-------------------------------------------------|
| Artículos de aseo 1 |
| Asesorías externas |
| Formularios e impresos |
| Inspección de embarcaciones |
| Materiales de oficina |
| Menaje de casa |
| Menaje y artículos eléctricos uso oficina |
| Otros elementos de seguridad |
| Otros gastos varios |
| Pasajes y estadías viajes en el país (no RR.PP) |
| Radiocomunicaciones |
| Seguros al personal |
| Suministros computacionales |
| Transmisión de datos |
| Total Generales \$ US |

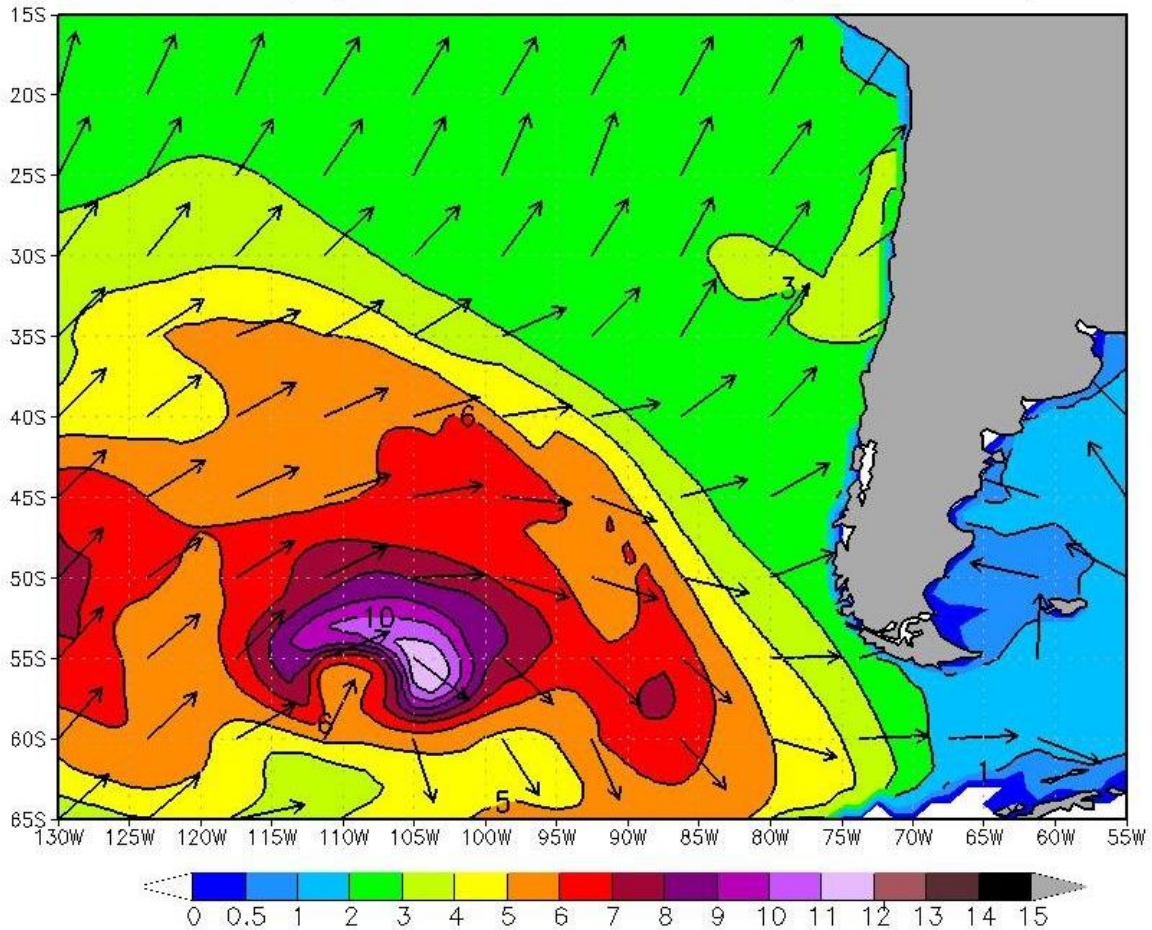
| Depreciación Herramientas y Enseres |
|-----------------------------------------------------|
| Depreciación Herramientas y Enseres |
| Depreciación Instalaciones |
| Depreciación Maquinarias y Equipos |
| Depreciación Muebles y Equipos de Oficina |
| Depreciación Otros Activos Fijos de Infraestructura |
| Total Depreciaciones \$ US |

| Costos Indirectos |
|-------------------------------------|
| Total Costos Indirectos \$US |

Anexo N° 7: Carta de olas de mayor temporal de viento 2016 (14/07/2016)

ARMADA DE CHILE
SERVICIO METEOROLOGICO

ALTURA (m) Y DIRECCION DE OLAS (12Z14JUL2016)



ALTURA DE OLA SIGNIFICATIVA, EN METROS
Datos grib Modelo Global NWW3 corrida 06Z13JUL2016 res 1.25°x1° procesado con GRADS