UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
Y DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE BIOLOGIA MARINA

Variaciones del nicho trófico del lobo marino común (*Otaria flavescens*) en respuesta al consumo de salmónidos en el sur de Chile

TESIS

Constanza Balbontín López

2013

marc 63521

M
B173v
2013

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE BIOLOGÍA MARINA

Variaciones del nicho trófico del lobo marino común (*Otaria flavescens*) en respuesta al consumo de salmónidos en el sur de Chile



TESIS

CONSTANZA BALBONTÍN LÓPEZ

2013

CONSTANZA BALBONTÍN LÓPEZ

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título profesional de Biólogo Marino

COMISIÓN DE TÍTULO

Maritza Sepúlveda Martínez
Director
Universidad de Valparaíso

Mauricio Landaeta Díaz
Miembro de la Comisión
Universidad de Valparaíso

Doris Oliva Ekelund
Miembro de la comisión
Universidad de Valparaíso

2013

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS iv

ÍNDICE DE TABLAS v

INDICE DE FIGURAS vii

RESUMEN x

1.- INTRODUCCIÓN 1

1.1 Introducción de salmónidos en el sur de Chile 1

1.1.1 Antecedentes generales 1

1.2 El lobo marino común y su interacción con los salmónidos 5

1.2.1 Distribución y abundancia 5

1.2.2 Hábitos tróficos e interacción con pesquerías y acuicultura 7

1.2.3 Antecedentes y patrones de interacción entre el lobo marino común y la salmonicultura en el sur de Chile. 9

1.3.- Nicho ecológico 12

1.4.- Ecología trófica con isótopos estables 15

1.4.1 Definición y aplicaciones 15

1.4.2 Fraccionamiento isotópico 19

1.4.3 Isótopos estables para análisis de nicho trófico 22

1.4.4 Métricas para la cuantificación de nicho trófico 25

1.5 Finalidad del estudio 29

2.- HIPOTESIS 30

3.- OBJETIVOS 31

3.1 Objetivo Principal 31

3.2 Objetivos Específicos 31

4.- MATERIALES Y MÉTODOS 32

4.1 Área de estudio 32

4.2 Recolección de las muestras 33

4.3 Procesamiento de las muestras 40
4.4 Proporción Isotópica de carbono ($\delta^{13}C$) y nitrógeno ($\delta^{15}N$) 41
4.5 Determinación del nicho isotópico 42
4.6 Determinación de la dieta mediante modelos mixtos 42
4.7 Análisis estadísticos 44
5.- RESULTADOS 45
5.1 Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ entre tejidos 45
5.2 Determinación de nicho isotópico 46
5.2.1 Variación del nicho isotópico de acuerdo a la estación del año 46
5.2.2 Variación del nicho isotópico de acuerdo a la ubicación geográfica de la lobera de origen 48
5.2.3 Variación del nicho isotópico de acuerdo al sexo 51
5.2.4 Variación del nicho isotópico de acuerdo a la clase de edad 53
5.3 Composición de la dieta del lobo marino común 57
5.3.1 Variación de la dieta de acuerdo a la estación del año 62
5.3.2 Variación de la dieta de acuerdo a la ubicación geográfica de la lobera de origen 63
5.3.3 Variación de la dieta de acuerdo al sexo 65
5.3.4 Variación de la dieta de acuerdo a la clase de edad 68
6.- DISCUSION 71
6.1 Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ entre tejidos 71
6.2 Importancia de los salmónidos en la dieta de los lobos marinos 73
6.7 Alcances y proyecciones de este estudio 83
7.- CONCLUSIONES 85
8.- LITERATURA CITADA 87

AGRADECIMIENTOS

Mamá y Papá muchas gracias por apoyarme en este hermoso camino, por todas esas veces que se alegraron conmigo cada vez que me acercaba más y más a esta meta soñada desde hace ya mucho años. Los amo.

Quiero agradecer, también, a mi profesora Maritza Sepúlveda por darme la oportunidad de trabajar con ella, por enseñarme todo lo que pudo en este corto tiempo, por su ayuda y preocupación constante, y por la paciencia que tuvo para corregir una y otra vez hasta el último detalle de mi tesis. Muchas gracias Mari.

A mis compañeras y amigas Paulina y Alejandra, por estos años de amistad incondicional llenos de alegrías, sufrimientos, risas y colapsos. Pero sobre todo, les agradezco por prestarme sus cuadernos y mandarme los audios durante toda la carrera. Sin ustedes, no habría sido posible.

A Lily, Maca y Guido por todos sus consejos, pero sobre todo por la compañía y la buena onda que dan al laboratorio, con ustedes fue un agrado llegar todos los días a trabajar.

A Rodrigo, mi amigo y compañero durante la etapa más importante de mi carrera universitaria. Muchísimas gracias por todo tu apoyo, ánimo, retos y cariños. Gracias por toda tu ayuda, por hacer esta tesis tan tuya como mía.

Y finalmente, le quiero dar infinitas gracias a Dios y a la Mater por estar siempre a mi lado.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Pág.

1 Resumen de sistemas isotópicos usados comúnmente y patrones esperados de valores δ utilizados para examinar las dimensiones de los ejes scenopoético y bionómico del nicho isotópico. Fuente: Newsome *et al.* (2007)..... 38

2 Muestras de lobos marinos obtenidas por localidad, estación del año y clase de edad. MA: Macho adulto, MSA: Macho Subadulto, HA: Hembra Adulta, J: Juvenil e I: Indeterminado..... 48

3 Caracteres secundarios utilizados para diferenciar sexo y clase de edad del lobo marino común. 49

4 Número de muestras de potenciales presas del lobo marino colectadas en la Décima Región. Se detalla nombre común y científico de cada especie..... 53

5 Promedio (*X*) y desviación estándar (DE) de los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de los lobos marinos según el tejido. Se indica el número de animales muestreados por especie..... 60

6 Métricas de nicho isotópico obtenidas de los valores isotópicos de piel, para las estaciones de verano e invierno. Se muestran los valores promedio (± DE) de los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$, y las medidas Rango de Nitrógeno (RN), Rango de Carbono (RC), Área Total (AT), Distancia media al centroide (DC) y Distancia entre vecinos cercanos (DVC)..... 62

7 Métricas de nicho isotópico obtenidas de los valores isotópicos de pelo y piel, para la zona interior y exterior de la región de Los Lagos. Se muestran los valores promedio (± DE) de los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$, y las medidas Rango de Nitrógeno (RN), Rango de Carbono (RC), Área Total (AT), Distancia media al centroide (DC) y Distancia entre vecinos cercanos (DVC)..... 64

8 Métricas de nicho isotópico obtenidas de los valores isotópicos de pelo y de piel en machos y hembras del lobo marino común en la Décima Región de Los Lagos. Se muestran los valores promedio (± DE) de los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$, y las medidas Rango de Nitrógeno (RN),Rango de Carbono (RC), Área Total (AT), Distancia media al centroide (DC) y Distancia entre vecinos cercanos (DVC)..... 66

9 Métricas de nicho isotópico obtenidas de los valores isotópicos de pelo y piel, de las cuatro categorías de edad del lobo marino común en la Décima

Región de Los Lagos. Se muestran los valores promedio (± DE) de los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$, y las medidas Rango de Nitrógeno (RN), Rango de Carbono (RC), Área Total (AT), Distancia media al centroide (DC) y Distancia entre vecinos cercanos (DVC)..... 69

10 Promedio (*X*) y desviación estándar (DE) de los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de cada ítem presa, el grupo al que pertenece la especie y el promedio (±DE) del grupo trófico. Se indica, además, el número de animales muestreados por especie (N)..... 72

INDICE DE FIGURAS

Figura Pág.

1 Producción anual bruta (t) de salmónidos de cultivo de mayor importancia en Chile al año 2004. Fuente: Buschmann *et al.* (2006)..... 17

2 Cultivo de salmones en fiordos de Chiloé, indicados con una flecha negra. Fuente: Buschmann *et al.* (2009)..... 18

3 Distribución del lobo marino común *Otaria flavescens*..... 20

4 Estimación de la abundancia poblacional del lobo marino común, separados región, a lo largo del litoral chileno. (Fuente: Venegas *et al.* 2001, Bartheld *et al.* 2008, Sepúlveda *et al.* 2011, Oliva *et al.* 2012)..... 21

5 Histograma de las categorías de uso de los recurso por parte de una especie del cual es posible obtener la amplitud del nicho..... 27

6 Recorrido de una molécula de CO_2 a través de un espectrómetro para isótopos estables de flujo continuo (arriba) y de un espectrómetro para isótopos estables de doble entrada (abajo). Fuente: Sulzman (2007)..... 33

7 Ejemplo que muestra como los ejes $\delta^{13}C$/ $\delta^{15}N$ permiten entregar información de los ejes bionómico y scenopoético del nicho ecológico. Fuente: Newsome *et al.* (2007)..... 37

8 Modelos conceptuales (B – D) de diferentes formas en que se puede ver afectada una trama trófica mediante la adición de tres nuevas especies a una cadena ya caracterizada (A). Los símbolos abiertos son las especies iniciales de la cadena y los símbolos cerrados son las especies nuevas. Los rombos corresponden a peces, los triángulos a moluscos y los cuadrados a crustáceos. Las diferentes medidas de amplitud de comunidad van a variar entre cada escenario y es expresado debajo de cada gráfico usando flechas. Fuente: Layman *et al.* (2007)..... 42

9 Localidades en que fueron tomadas las muestras de lobos marinos, ubicadas en la Región de los Lagos, Chile..... 47

10 Dardos especialmente acondicionados para la extracción de tejido de lobos marinos. Fotografía: Maritza Sepúlveda. 50

11 Obtención de una muestra de tejido mediante el rifle desde una embarcación en el agua. Fotografía: Maritza Sepúlveda. 51

12 Obtención de una muestra de piel y músculo de pejerrey de mar *Odontenthes regia*. Fotografía: Guido Pavez..... 52

13 Valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ en pelo y piel de los lobos marinos muestreados. 59

14 Nicho isotópico del lobo marino común durante el invierno (negro) y verano (rojo) en la Región de Los Lagos. 61

15 Nicho isotópico del lobo marino común de la zona exterior (negro) e interior (rojo) de la Región de Los Lagos, según los valores isotópicos de pelo y piel. 63

16 Nicho isotópico de individuos hembras (negro) y machos (rojo) de lobo marino común en la Región de Los Lagos, según los valores isotópicos de pelo y piel. 65

17 Nicho isotópico según clases de edad de la población del lobo marino común en la Región de Los Lagos, según los valores isotópicos de pelo y piel..... 68

18 Promedio de los valores de $\delta^{13}C$ de piel para las clases de edad machos adultos (MA), hembras adultas (HA), machos subadultos (MSA) y juveniles (J). Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre las clases de edad 70

19 Promedio de los valores de $\delta^{15}N$ de pelo para las clases de edad machos adultos (MA), hembras adultas (HA), machos subadultos (MSA) y juveniles (J). Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre las clases de edad. 70

20 Valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ de las potenciales presas del lobo marino común, diferenciados de acuerdo al grupo trófico asignado..... 73

21 Valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ de piel y pelo de lobos marinos comunes y de los cinco grupos de presas potenciales. Los lobos marinos corresponden a valores individuales y las presas a los valores promedio (± DE)..... 74

22 Contribución porcentual promedio de cada ítem presa en la dieta del lobo marino común, según los valores isotópicos obtenidos de pelo y piel. Las barras corresponden a la DE..... 75

23 Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta del lobo marino común muestreados en invierno y verano, basados en los valores isotópicos de piel..... 77

24 Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta de los individuos de lobo marino común muestreados en la zona interior y exterior de la Región de Los Lagos, basados en los valores isotópicos de pelo..... 78

25 Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta de los individuos de lobo marino común muestreados en la zona interior y exterior de la Región de Los Lagos, basados en los valores isotópicos de piel..... 79

26 Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta de individuos machos y hembras de lobo marino común muestreados en la Décima Región, basados en los valores isotópicos de pelo..... 80

27 Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta de individuos machos y hembras de lobo marino común muestreados en la Décima Región, basados en los valores isotópicos de piel..... 81

28 Contribución porcentual de los distintos grupos de presas en la dieta de las diferentes clases de edad del lobo marino común muestreados en la Décima Región, basados en los valores isotópicos de pelo. 83

29 Contribución porcentual de los distintos grupos de presas en la dieta de las diferentes clases de edad del lobo marino común muestreados en la Décima Región, basados en los valores isotópicos de piel. 84

RESUMEN

La introducción de salmónidos en Chile ha ocasionado fuertes impactos en las comunidades nativas de peces a través de la depredación y/o competencia. Sin embargo, se desconoce el efecto de los salmónidos sobre depredadores tope y potenciales reguladores naturales de estas especies en Chile, como es el caso del lobo marino común (*Otaria flavescens*). Evidencias previas indican que el lobo marino ha sido capaz de aprovechar esta nueva fuente de alimento, constituyéndose en uno de sus principales ítems alimentarios. Sin embargo, la importancia del salmón en la dieta no es homogénea para todos los animales, sino que se presentan diferencias de acuerdo a la época del año, a la localidad de origen, al sexo y a la clase de edad de los animales. Es de esperar por tanto, que el consumo de salmones haya impactado el nicho trófico del lobo marino en la Región de los Lagos, pero que se evidencien diferencias de acuerdo a las variables antes planteadas. En este contexto, el objetivo principal de esta tesis fue cuantificar el nicho trófico del lobo marino común en la Región de los Lagos y determinar sus potenciales variaciones en respuesta al consumo de salmones a escala temporal, espacial, según sexo y clase de edad.

Para la estimación del nicho trófico se analizaron los isótopos estables de carbono ($\delta^{13}C$) y nitrógeno ($\delta^{15}N$) en piel y pelo de 229 lobos marinos muestreados en la Región de los Lagos en marzo (N=124) y julio (N=105) de 2012, en loberas de la zona del mar interior y exterior de la Región. Adicionalmente, se recolectaron muestras de músculo de 18 potenciales presas del lobo marino para determinar la composición de su dieta. Los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ de todas las muestras fueron cuantificados utilizando un espectrómetro de masa para isótopos estables en la University of Wyoming, USA. Para

evaluar el nicho trófico de los lobos marinos, se determinaron las medidas métricas propuestas por Layman *et al.* (2007): área mínima total de nicho, rango de carbono, rango de nitrógeno, distancia media al centro o centroide, y distancia media entre vecinos cercanos. El cálculo de estas métricas se realizó utilizando la plataforma SIAR en R. Adicionalmente, se determinó la composición de la dieta utilizando el software MixSIR. Para determinar las diferencias significativas entre las variables antes mencionadas se utilizó estadística paramétrica y no-paramétrica en Statistica.

Los resultados obtenidos en esta tesis indican que aunque los salmónidos no resultaron ser un ítem dietario importante para el lobo marino, se registraron variaciones en el nicho trófico de acuerdo a las distintas variables analizadas. En el caso de las variaciones de acuerdo a la época del año, se registró una mayor amplitud de nicho trófico de los lobos marinos en la época de invierno. Este incremento en la amplitud puede deberse a que los animales intensifican su alimentación en estos meses, con una mayor dispersión espacial y en el consumo de un mayor espectro de presas.

En la comparación entre localidades de origen, se encontró que los animales de la zona interior presentaron un nicho más amplio que los de la zona exterior. Esto puede deberse a una mayor diversidad de presas presentes en la zona interior, lo que aumentaría el nicho trófico de los individuos. Asimismo, la influencia de ríos y la presencia de la salmonicultura en la zona interior altera los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ que pueden impactar en la trama trófica marina de esa zona.

En cuanto al sexo de los individuos, se encontró que los machos presentaron un nicho considerablemente más amplio que las hembras. Esto se explicaría porque los machos poseen mayores capacidades fisiológicas que les permiten trasladarse a zonas más alejadas

y bucear a mayores profundidades, permitiéndoles consumir una mayor diversidad de presas que las hembras. Adicionalmente, las hembras no pueden alejarse demasiado de las colonias debido a que deben regresar a lactar a sus crías, por lo que se espera que se alimenten en la misma zona y presumiblemente de un menor espectro de presas.

Finalmente, para el caso de las clases de edad, se encontró que los machos y los juveniles presentaron el nicho isotópico de mayor y menor amplitud, respectivamente. Para el caso de los juveniles, esto se explicaría porque estos animales están restringidos fisiológicamente a bucear a grandes profundidades y alejarse demasiado de la costa.

En cuanto a la composición de la dieta del lobo marino común en el área de estudio, se obtuvo que las principales presas fueron merluza austral (*Merluccius australis*), merluza común (*Merluccius gayi*), tollo (*Mustelus mento*), sierra (*Thyrsites atun*), corvina (*Cilus gilberti*) y jurel (*Trachurus murphyi*) en el análisis de piel, mientras que para el análisis de pelo, las principales presas fueron congrio dorado (*Genypterus blancodes*), pejegallo (*Callorhynchus callorhynchus*), cabrilla (*Sebastes oculatus*) y rollizo (*Pinguipes chilensis*). Los salmónidos no fueron un ítem importantes dentro de la dieta de los lobos marinos, lo que potencialmente se explica por la crisis provocada por el virus ISA en la Región de los Lagos.

En conclusión, los lobos marinos presentan variaciones en su nicho trófico en cuanto a la época del año, la ubicación de su lobera de origen, el sexo y la clase de edad. No obstante, y a diferencia de lo predicho inicialmente, estas diferencias no están asociadas al consumo de salmónidos, ya que durante la época de estudio estas presas no constituyeron un ítem dietario relevante para el lobo marino. Los resultados obtenidos en esta tesis generan nuevas interrogantes sobre la capacidad de adaptación de este depredador a nuevas

fuentes de alimento, y las consecuencias que tendrá la expansión de la salmonicultura hacia zonas más australes sobre la ecología trófica del lobo marino común.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción de salmónidos en el sur de Chile

1.1.1 Antecedentes generales

Las perturbaciones ecológicas, tales como la degradación de un hábitat, la sobreexplotación de especies, la introducción de una especie exótica o la extinción de una nativa, pueden afectar la dinámica de las tramas tróficas, ya que influencian la abundancia y/o comportamiento de una o más especies que interactúan con otras en distintos niveles tróficos (Simon & Towsend 2003, Iriarte *et al.* 2005, Beyer *et al.* 2007). En particular, la introducción de especies no nativas o exóticas puede alterar, directa o indirectamente, la composición y diversidad de una comunidad biológica, ocasionando cambios permanentes en la biodiversidad, estructura y función de los ecosistemas naturales (Grosholz 2002, Stachowickz *et al.* 2002, Thompson & Townsend 2003, Naylor *et al.* 2005, Svanback & Bolnick 2007).

En los ecosistemas acuáticos, se sabe que las especies introducidas causan cambios en la dinámica de las especies nativas a través de la competencia y/o la depredación (McIntosh & Townsend 1994, 1995). En particular, se han observado disminuciones en la abundancia, cambios en la distribución e incluso en el tamaño corporal de las especies nativas en respuesta a la introducción de especies exóticas (Huryn 1998, Arismendi *et al.* 2009, Sepúlveda *et al.* 2009). Estos efectos a nivel individual y poblacional ocasionan, a través de un efecto indirecto, potenciales modificaciones a nivel comunitario. Aunque no ha sido aun bien estudiado, se piensa que la alteración en el flujo de nutrientes y energía en las

tramas tróficas puede ocasionar modificaciones incluso a nivel ecosistémico (Soto *et al.* 2006, Niklitschek *et al.* 2013).

La salmonicultura se ha desarrollado fuertemente en diversos países del mundo. Sin embargo, los salmones son endémicos del hemisferio norte, teniendo que ser importados a los países del hemisferio Sur, convirtiéndose de este modo, en especies exóticas (Arismendi *et al.* 2009). En Chile, la introducción de especies exóticas comenzó a mediados del siglo XIX con la introducción de ovas de trucha café (*Salmo trutta*) provenientes del hemisferio norte. Sin embargo la industria salmonera experimenta un auge a partir de la década de los 80' del siglo XX (Basualto 2003, Buschmann *et al.* 2006, Soto *et al.* 2006). A partir de la década de los 90' esta industria se consolida en el sur de Chile con un aumento exponencial en la producción, convirtiéndose en uno de los pilares más importantes para la economía Chilena, siendo el cuarto ingreso más importante a nivel nacional (Buschmann *et al.* 2006) (Figura 1). En el 2010, Chile produjo 701.062 t en productos acuícolas, principalmente provenientes de la salmonicultura, convirtiéndose en el décimo productor acuícola mundial, y en el segundo productor de salmónidos, luego de Noruega (FAO 2012). Hoy en día, las principales especies de salmónidos que se cultivan son el salmón del Atlántico *Salmo salar*, el salmón coho *Oncorhynchus kisutsh* y la trucha arcoíris *O. mykiss* (Buschmann *et al.* 2006). La salmonicultura se desarrolla principalmente en la Región de Los Lagos (Décima Región), pero se expande rápidamente a la XI Regiones de Aysén y XII Región de Magallanes, donde se desarrolla la fase de engorda en el mar.

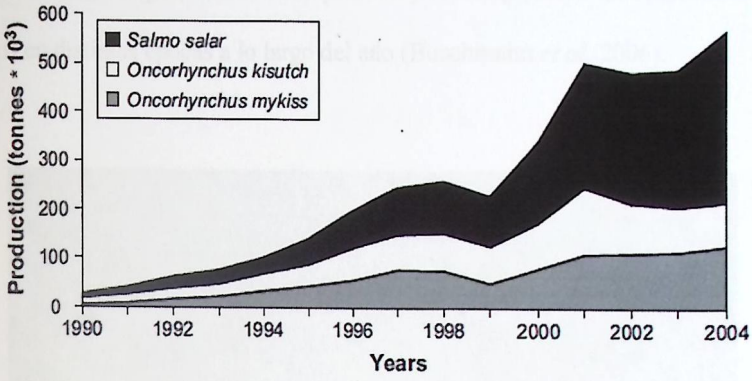


Figura 1: Producción anual bruta (t) de salmónidos de cultivo de mayor importancia en Chile al año 2004. Fuente: Buschmann *et al.* (2006).

Los salmónidos son peces anádromos, esto es, nacen en ríos donde pasan sus primeras etapas de vida, posteriormente migran al mar para crecer y finalmente regresan al río donde nacieron, para desovar y morir (Soto *et al.* 2001). El cultivo de salmones en cautiverio imita el ciclo natural de los salmónidos, cultivando los distintos estadios de edad en diferentes cuerpos de agua como ríos, lagos y fiordos (Soto *et al.* 2006). La primera fase de crecimiento (alevines) se desarrolla en fuentes de agua dulce (lagos y ríos) para posteriormente ser trasladados al mar. Es en este medio donde se produce el crecimiento y maduración sexual de los animales (Soto *et al.* 2001, Rojas & Wadsworth 2007), en que los salmones son cultivados en balsas-jaulas (cuadradas o circulares) hasta que alcanzan su talla comercial (a los 1-3 años de edad), luego de lo cual son cosechados y comercializados (Arismendi *et al.* 2009). La densidad actual de salmónidos a cosecha en cada balsa-jaula es de 16-20 kg m^{-3}, aunque previo al 2008 se registraron mayores densidades (~30 kg m^{-3}) en

algunos sitios. La manipulación del fotoperiodo y la temperatura han permitido cosechar salmónidos en distintas épocas a lo largo del año (Buschmann *et al.* 2006).



Figura 2: Cultivo de salmones en fiordos de Chiloé, indicados con una flecha negra. Fuente: Buschmann *et al.* (2009).

El periodo de cultivo en el mar conlleva un alto riego de escape de peces, ya sea por mal manejo de las balsas durante el cambio de redes, por zonas frontales o por roturas de mallas (Soto *et al.* 1997, Arismendi *et al.* 2009), convirtiéndose en uno de los principales impactos ambientales de esta actividad en el sur de Chile (Buschmann *et al.* 2009, Sepúlveda *et al.* 2009), Esto último puede deberse a ataques de lobos marinos a las jaulas o por intervención de pescadores artesanales con la intención de liberarlos (Soto *et al.* 1997). Actualmente, las poblaciones de salmónidos que se encuentran en estado silvestre han ido

en aumento debido al gran crecimiento que ha tenido la industria salmonera en el sur de Chile (Figueroa *et al.* 2010).

En Chile se han realizado diversos estudios que han evaluado el efecto que tienen los salmones sobre el comportamiento y sobrevivencia de las especies nativas que compiten directa o indirectamente con esta especie introducida (e.g. Soto *et al.* 2006, Arismendi *et al.* 2009). Sin embargo, se desconoce el efecto de la introducción y escapes de salmones sobre depredadores y potenciales reguladores naturales de estas especies, como el lobo marino común (*Otaria flavescens*).

1.2 El lobo marino común y su interacción con los salmónidos

1.2.1 Distribución y abundancia

El lobo marino común *Otaria flavescens* (=*O. byronia*) (Shaw 1800) es una especie con amplia distribución en América del sur. Por el océano Pacífico, es posible encontrarlo desde Zorritos en Perú (4°S) hasta el Cabo de Hornos en Chile y desde Rio de Janeiro en Brasil (23°S) hasta Tierra del Fuego en Argentina, incluyendo las islas Fakland o Malvinas (Vaz-Ferreira 1982), por el Océano Atlántico (Figura 3). Cabe mencionar que existen registros de avistamiento esporádicos de la especie en Ecuador y en las costas de Colombia (Capella *et al.* 2002, Felix 2002).



Figura 3: Distribución del lobo marino común *Otaria flavescens*

La abundancia total estimada del lobo marino común (LMC), a lo largo de todo su rango de distribución, se estima en 400.000 individuos, de los cuales 250.000 habitan en las costas del Pacífico oriental y 150.000 en el Atlántico occidental (Dans *et al.* 2012). Sobre la base de los últimos censos realizados, en Chile se estima una abundancia relativa de aproximadamente 168.000 ejemplares (Venegas *et al.* 2001, Bartheld *et al.* 2008, Sepúlveda *et al.* 2011, Oliva *et al.* 2012). Como se aprecia en la Figura 4, la mayor parte de la población de la especie se concentra en la Décima Región, albergando al 26% de la población de lobo marino común en el litoral chileno, mientras que la segunda mayoría se

encuentra en la zona norte de Chile, específicamente en la Región de Antofagasta, albergando al 17% del total de la población (Figura 4).

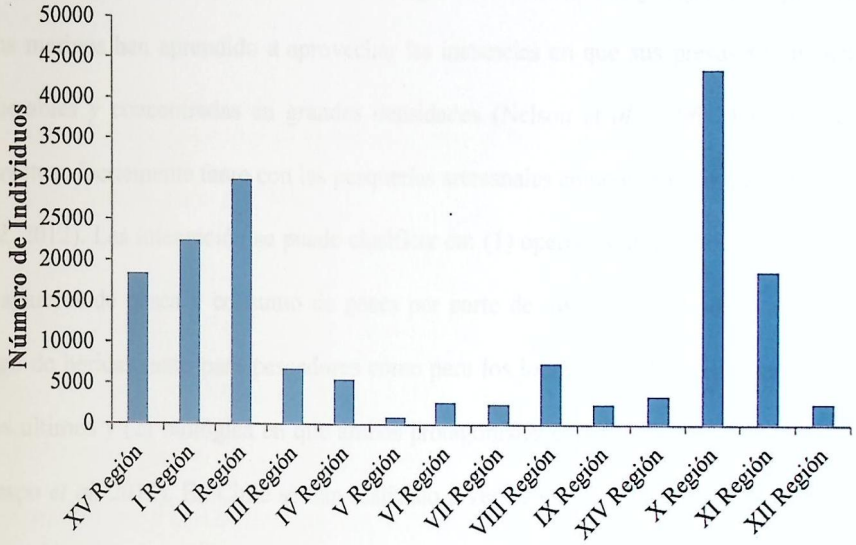


Figura 4: Estimación de la abundancia poblacional del lobo marino común, por región en el litoral chileno. (Fuente: Venegas *et al.* 2001, Bartheld *et al.* 2008, Sepúlveda *et al.* 2011, Oliva *et al.* 2012).

1.2.2 Hábitos tróficos e interacción con pesquerías y acuicultura

El lobo marino común se clasifica como un depredador oportunista y generalista que consume una amplia variedad de presas y que es capaz de adaptarse al lugar donde habita, para consumir las especies más abundantes (Vaz-Ferreira 1979, George-Nascimento

et al. 1985, Koen-Alonso *et al.* 2000, Cappozzo & Perrin 2009). Su dieta se compone principalmente de peces y en menor medida de moluscos y crustáceos (Koen-Alonso *et al.* 2000).

Debido a la plasticidad en sus estrategias de alimentación y captura de presas, los lobos marinos han aprendido a aprovechar las instancias en que sus presas se encuentran vulnerables y concentradas en grandes densidades (Nelson *et al.* 2006). Esto lo lleva a interactuar fuertemente tanto con las pesquerías artesanales como con las industriales (Dans *et al.* 2012). Las interacción se puede clasificar en: (1) operacional donde existe un daño a los aparejos de pesca y consumo de peces por parte de los lobos marinos y a su vez un riesgo de heridas tanto para pescadores como para los lobos y en algunos casos, muerte a estos ultimos y (2) biológica en que ambos protagonistas compiten por un mismo recurso (Crespo *et al.* 2012). En Chile se han realizado diversos estudios que han cuantificado las interacciones operacionales, tanto con la pesca artesanal (e.g. Sepúlveda *et al.* 2007, Goetz *et al.* 2008, De la Torriente *et al.* 2010), como con la pesca industrial (Hückstädt & Antezana 2003). A la fecha, sin embargo, no existen estudios que hayan estimado la interacción biológica entre pesquerías y lobos marinos.

La alta densidad de peces en espacios reducidos, como es el caso de la fase de engorda de salmónidos, ha provocado que en las últimas décadas las interacciones operacionales se hayan extendido a una nueva actividad, la salmonicultura en el sur de Chile (Sepúlveda & Oliva 2005, Sepúlveda *et al.* 2009, Vilata *et al.* 2010). Las interacciones más frecuentes se relacionan con el consumo de peces a través de las balsas-jaulas, lo que en ocasiones genera rompimiento de las redes y consecuentes escapes de

peces (Sepúlveda & Oliva op cit, Vilata *et al.* op cit), ocasionando pérdidas anuales millonarias para la industria (Oliva *et al.* 2003). Para el caso del lobo marino, los mayores riesgos se relacionan con enmalles en las redes loberas y consecuentemente, muerte por asfixia (Vilata 2008).

1.2.3 Antecedentes y patrones de interacción entre el lobo marino común y la salmonicultura en el sur de Chile.

Los estudios de Sepúlveda & Oliva (2005) y Vilata *et al.* (2010) demuestran una fuerte interacción operacional entre el lobo marino común y la salmonicultura, principalmente referida al consumo de salmones desde las balsas-jaulas. Esto fue recientemente corroborado por el estudio de Pavez (2012) en base a isótopos estables, quien encontró que el salmón de cultivo constituye uno de los ítems dietarios principales para esta especie en la Región de Los Lagos. Sin embargo, este mismo autor encuentra que la importancia de los salmones en la dieta de los lobos marinos no es la misma para todos los animales, si no que presenta variaciones de acuerdo a la época del año, la ubicación geográfica de la lobera, el sexo y la clase de edad del animal.

La interacción entre este depredador tope y la salmonicultura se presenta con mayor intensidad en los meses de otoño, invierno y primavera (Sepúlveda & Oliva 2005, Vilata *et al.* 2010, Durán *et al.* 2011), lo que sugiere una variación estacional en el consumo de salmones en la dieta del lobo marino común. Los resultados de Pavez (2012), por su parte,

corroboran esta tendencia, encontrando un mayor consumo de salmones durante los meses de otoño e invierno. Estas variaciones estacionales podrían deberse a que el periodo reproductivo de esta especie ocurre en verano (Acevedo *et al.* 2003), periodo en el cual los animales, en especial los machos, reducen notoriamente su actividad de alimentación (Sepúlveda & Oliva 2005, Pavez 2012).

Otro patrón reconocido en la interacción entre pinnípedos y la salmonicultura, es la relación positiva entre la distancia que hay desde una lobera a un centro de cultivo y la intensidad de la interacción. Pemberton & Shaugnessy (1993), en el lobo fino australiano (*Arctocephalus pusillus*) y posteriormente Nelson *et al.* (2006), en la foca común (*Phoca vitulina*), encontraron que a menor distancia de un apostadero de animales se registró un mayor consumo de salmones. En Chile, sin embargo, Sepúlveda & Oliva (2005) no encuentran una relación entre la intensidad de ataque del lobo marino común a los centros de cultivo de salmónidos y la distancia a la lobera más cercana. De acuerdo a estos autores, esta falta de relación se debería a que los viajes de alimentación de esta especies a menudo superan los 70 km (Campagna *et al.* 2001, Sepúlveda *et al.* en revisión) por lo que prácticamente cualquier centro de cultivo queda a su alcance. Contrario a lo esperado, Pavez (2012) encuentra que son los animales de la zona exterior los que depredan con mayor intensidad sobre los centros de cultivos, en comparación a los de la zona interior, en la Región de Los Lagos.

Con respecto a la diferencia en la intensidad de depredación entre los distintos sexos y clases de edad del lobo marino común y la salmonicultura, no existe certeza de si se encuentra una preferencia de consumo de salmones por parte de algún sexo y/o clase de edad en particular. De acuerdo a lo mencionado por los propios salmonicultores en Chile y a lo encontrado por Pemberton & Shaughnessy (1993) en el lobo fino australiano en Tasmania, son los machos adultos y subadultos los que depredan con mayor intensidad sobre los salmones de cultivo. Sin embargo, Vilata (2008) encontró que eran las hembras del lobo marino común las que interactúan con mayor intensidad sobre los salmónidos de cultivo. Pavez (2012) por su parte, en su estudio de dieta del lobo marino común, no encontró diferencias en el consumo de salmones entre machos adultos, hembras adultas y machos subadultos. Por lo tanto, a la fecha, no existe claridad sobre si presenta una diferencia en el consumo de salmones de cultivo de acuerdo a las clases de edad y/o sexo de los animales.

La depredación de salmones por parte de los lobos marinos no ocurre al azar, sino que puede presentar ciertos patrones en relación a la época del año, ubicación geográfica y clases de edad y sexo de los animales. En este sentido, es de esperar que estos patrones se reflejen en el nicho trófico de los lobos marinos de la zona sur del país. En este estudio, por tanto, se pretende estimar el impacto que ha tenido la salmonicultura sobre el nicho trófico del lobo marino, y sus potenciales variaciones de acuerdo a la época del año, ubicación geográfica, clase de edad y sexo de los animales.

1.3.- Nicho ecológico

Hutchinson (1957) definió *nicho ecológico* como "un hipervolumen n-dimensional determinado por los valores de diversos factores (recursos) que afectan a una especie, dentro de los cuales una población se puede mantener viable por un tiempo indefinido". Bajo este concepto, las n-dimensiones corresponden a cada recurso que determinará la amplitud del nicho, asociando cada recurso a un eje del gráfico (Jaksic & Marone 2007). Cuando el eje de los recursos es cuantificable, en términos de categorías discretas, y la frecuencia de uso puede medirse, entonces se podrá generar un histograma del cual se obtendrá la amplitud del nicho (Jaksic & Marone 2007). Esta amplitud corresponde al número de categorías de recursos usados por una población o especie, ponderado por la frecuencia de uso de cada categoría (Figura 5).

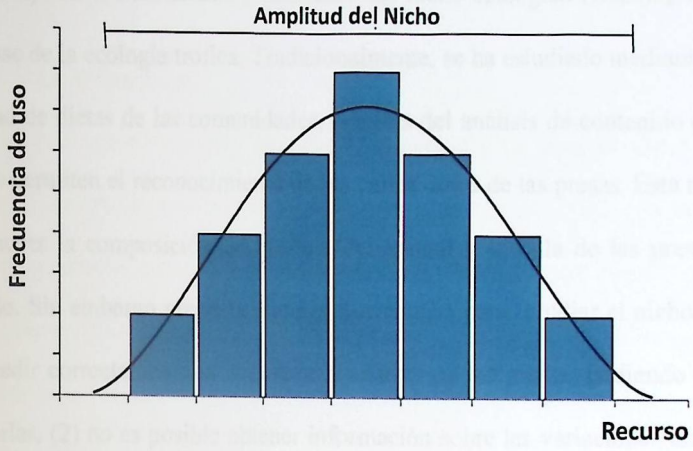


Figura 5: Histograma de las categorías de uso de los recurso por parte de una especie del cual es posible obtener la amplitud del nicho.

Del concepto de nicho se desprenden dos conceptos: *nicho fundamental*, que corresponde al área total en que la especie puede establecer su nicho y el *nicho realizado,* que corresponde al área que ocupa realmente la especie (Hutchinson 1978). Generalmente las especies no utilizan todo su nicho fundamental ya sea por la presencia de competidores o por factores ambientales (Krebs 1985, Pearman *et al.* 2008). Es por esto que se hace tan importante el estudio de los nichos y determinar si existen variaciones en él, ya que el nicho realizado puede cambiar muy rápidamente en respuesta a variaciones intra e interespecificas de la especie (Bearhop *et al.* 2004, Martinez del Rio *et al.* 2009a).

El nicho ecológico posee diferentes componentes al ser considerado como un hipervolumen. Uno de ellos es el nicho trófico, que corresponde al rol que cumple la especie, desde el punto de vista alimentario, dentro de una comunidad (Whittaker 1975).

Este es el componente más tratado y estudiado del nicho ecológico (Bearhop *et al.* 2004), siendo la base de la ecología trófica. Tradicionalmente, se ha estudiado mediante el análisis de diversidad de dietas de las comunidades, a través del análisis de contenido estomacal o de fecas que permiten el reconocimiento de las partes duras de las presas. Esta metodología permite conocer la composición de la dieta del animal y la talla de las presas que está consumiendo. Sin embargo presenta algunas desventajas para estudiar el nicho trófico: (1) es difícil medir correctamente la abundancia relativa de las presas, pudiendo tanto sub o sobreestimarlas, (2) no es posible obtener información sobre las variaciones temporales de la dieta puesto que este tipo de análisis entrega una visión inmediata de lo que está consumiendo el animal, (3) esta técnica no considera la tasa de asimilación de las diferentes presas en el organismo y finalmente (4) el análisis de dieta mediante contenido estomacal es una técnica altamente invasiva para los individuos (Bearhop *et al.*. 2004).

En vista de lo anterior, se ha hecho necesario desarrollar nuevas metodologías para el estudio del nicho trófico y su amplitud. En las últimas dos décadas se ha estado desarrollado una nueva metodología para el análisis de dieta y de nicho trófico, mediante el uso de isótopos estables (Bearhop *et al.* 2004). La utilización de esta técnica ha ido en aumento de forma exponencial a través del tiempo en estudios ecológicos, especialmente, en ecología trófica (Newsome *et al.* 2010), ya que permite explorar diversas dimensiones de los nichos (Martinez del Rio *et al.* 2009b) y obtener información integrada de espacio y tiempo en las variaciones de la dieta (Newsome *et al.* 2009).

1.4.- Ecología trófica con isótopos estables

1.4.1 Definición y aplicaciones

El uso de isótopos estables en estudios ecológicos ha surgido como una de las herramientas clave en los estudios ecológicos (Newsome *et al.* 2007), ya que permiten realizar estudios sobre el forrajeo, análisis de niveles tróficos, uso del hábitat, migraciones, conectividad entre poblaciones y estudios fisiológicos, entre otros (Newsome *et al.* 2010). Son especialmente útiles para este tipo de estudios puesto que proporcionan información sobre las redes tróficas de los organismos (Layman *et al.* 2012). Además permiten detectar cambios de la composición de la dieta en el tiempo, debido a que cada tejido del depredador provee de información a diferentes escalas de tiempo (Newsome *et al.* 2007).

Los isótopos estables son átomos de un mismo elemento que difieren en el número de neutrones, por lo que poseen masas atómicas diferentes (MacNeil 2008). El isótopo pesado es aquel que posee un mayor número de neutrones respecto al isótopo liviano (Peterson & Fry 1987). Los isótopos estables más utilizados son el deuterio (^{2}H), carbono (^{13}C) y nitrógeno (^{15}N) y en menor medida, azufre (^{34}S), oxígeno (^{16}O) y estroncio (^{87}Sr) (Karasov & Martinez del Rio 2007). En estudios de dieta y nicho trófico, los isótopos más utilizados son el Nitrógeno (N) y el Carbono (C) (Layman *et al.* 2012). El carbono es adquirido principalmente de las proteínas, lípidos y carbohidratos que obtiene de sus presas, mientras que la mayor fuente de nitrógeno es la proteína que consumen en su dieta (Newsome *et al.* 2007).

El carbono suele utilizarse para evaluar el uso de hábitat por parte de un individuo (Crawford *et al.* 2008). Cuando se estudian tramas tróficas terrestres, el $\delta^{13}C$ se utiliza para diferenciar entre dietas basadas en plantas con diferentes rutas fotosintéticas (plantas C3, C4, CAM). En el mar, es útil para diferenciar entre fuentes de energía que se encuentren en zonas litorales (cercanas a la costa) como plantas acuáticas o en zonas pelágicas (aguas interiores) como fitoplancton, ya que las fuentes de carbono del litoral suelen estar más "enriquecidas" en este átomo (Newsome *et al.* 2007). El enriquecimiento de ^{13}C en sistemas acuáticos varía entre un 0,2% para sistemas de agua dulce y un 1,1% para sistemas oceánicos, considerando estuarios y sistemas costeros (France 1999, Davenport & Bax 2002).

Por su parte, el nitrógeno se utiliza como indicador de nivel trófico, ya que se produce un incremento en los valores de $\delta^{15}N$ a través de grupos taxonómicos y tramas tróficas de +2‰ a +5‰, por cada nivel trófico (Hansson *et al.* 1996, Newsome *et al.* 2010). Este enriquecimiento de nitrógeno en los distintos niveles tróficos se produce durante la desaminación en el ciclo de Krebs y durante el reciclado de urea en el cuerpo (Balter *et al.* 2006) En estos procesos bioquímicos se produce mayor retención del isótopo pesado (^{15}N), respecto del liviano (^{14}N) acumulándose en el organismo (Aursand *et al.* 2000, Martínez del Rio *et al.* 2009a).

La abundancia relativa de estos isótopos en una muestra en particular es expresada como la razón entre el isótopo pesado y el liviano (expresadas en valor delta (δ; Parnell *et*

al. 2010) y corresponde a la proporción isotópica. Esta proporción, se calcula en relación a un estándar mediante la siguiente fórmula,

$$\delta X = \frac{R \text{ muestra} - R \text{ estandar}}{R \text{ estandar}} \times 1000$$

donde δX corresponde a la diferencia en la composición isotópica entre la muestra y el estándar, expresada en partes por mil (‰), y R a la razón entre el isótopo pesado y el liviano ($^{13}C/^{12}C$, $^{15}N/^{14}N$) de la muestra y el estándar.

Para medir la abundancia relativa de isótopos estables en un tejido, se utiliza un espectrómetro de masa para isótopos estables (Sulzman 2007). En este espectrómetro se trasforma la muestra en un gas purificado (CO^2, N^2 o H^2) que luego es analizado en un equipo que separa los átomos y las moléculas de acuerdo a su masa molecular y al movimiento que presenten en un campo gravitatorio constante (Karasov & Martinez del Rio 2007).

Existen dos tipos de espectrómetro: (1) el de flujo continuo y (2) el de doble entrada. La principal diferencia entre estos dos radica en que el espectrómetro de flujo continuo admite muestras de componentes múltiples (Sulzman 2007). El espectrómetro de masas de flujo continuo permite analizar varias muestras paralelamente y en pequeñas cantidades (0,1 a 5 mg). Para analizarlas, deben haber sido previamente molidas, secadas y almacenadas en contenedores de lata. Luego, estas muestras son calcinadas a 1600°C con

una corriente de oxígeno. Los gases resultantes de este procedimiento son separados por un cromatóforo de gases (Karasov & Martinez del Rio 2007).

El espectrómetro para isótopos estables de doble entrada, a diferencia del de flujo continuo, requiere muestras de mayor tamaño (5 a 20 mg). Como su nombre lo indica, analiza paralelamente dos muestras de gas: una del gas que se quiere analizar para isótopos y otra de un gas de referencia (Karasov & Martinez del Rio 2007). Para esto, las muestras deben ser previamente tratadas con un compuesto oxidante (CuO) y luego calcinadas a 900°C por 1 o 2 h y luego por 2 h más a 650°C.

En ambos espectrómetros, una vez que los gases están separados, se introducen a una cámara donde son ionizados con un haz de electrones. Luego, las moléculas ya cargadas, pasan por un tubo produciendo un campo magnético generando una separación de las moléculas según su carga y peso molecular. Cada tipo de molécula cae en unas tazas de Faraday generando una corriente eléctrica que será utilizada para calcular la proporción isotópica de la muestra. En la Figura 6 se ejemplifica el funcionamiento de ambos espectrómetro para isótopos estables, con una molécula de CO_2.

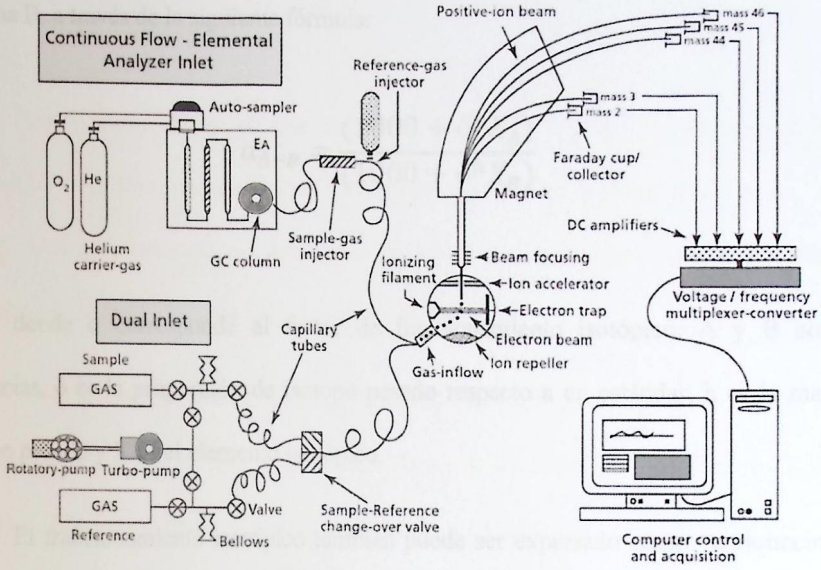


Figura 6: Recorrido de una molécula de CO_2 a través de un espectrómetro para isótopos estables de flujo continuo (arriba) y de un espectrómetro para isótopos estables de doble entrada (abajo). Fuente: Sulzman (2007).

1.4.2 Fraccionamiento isotópico

Debido a la diferencia en su masa atómica, los isótopos se comportan de manera diferente en los procesos bioquímicos y fisicoquímicos, generando variaciones naturales en su abundancia relativa. El isótopo liviano forma enlaces más débiles y reacciona más rápido que el isótopo pesado generándose una acumulación del isótopo pesado en desmedro del liviano. Este proceso recibe el nombre de fraccionamiento isotópico (Crawford *et al.* 2008, Newsome *et al.* 2010). Este fraccionamiento isotópico se describe mediante factores de

fraccionamiento (α), los que describen la fragmentación de los isótopos entre una sustancia A y una B, a través de la siguiente fórmula:

$$\alpha_{A-B} = \frac{(1000 + \delta^h X_A)}{(1000 + \delta^h X_B)}$$

donde α corresponde al factor de fraccionamiento isotópico, A y B son dos sustancias, δ es la proporción de isótopo pesado respecto a un estándar, h es la masa del isótopo pesado y X es el elemento isotópico.

El fraccionamiento isotópico también puede ser expresado como "enriquecimiento isotópico", según la fórmula utilizada por Sulzman (2007):

$$\varepsilon_{A-B} = (\alpha_{A-B} - 1) \cdot 1000$$

donde ε corresponde al enriquecimiento isotópico, A y B son dos sustancias y α es el factor de fraccionamiento. Si ε es mayor a 0, significa que existe un enriquecimiento, pero si ε es menor a 0, significa que existe un empobrecimiento del isótopo pesado en el compuesto B respecto al A, expresado en ‰ (Sulzman 2007).

En estudios de ecología trófica, el fraccionamiento isotópico generalmente es descrito usando la definición geoquímica, llamado factor de discriminación trófica (Δ) (Martínez del Río *et al.* 2009b) expresado de la siguiente forma:

$$\Delta^h X_{A-B} = \delta^h X_A - \delta^h X_B$$

Donde Δ es el factor de discriminación trófica, A y B son dos sustancias, δ es la proporción de isótopo pesado respecto a un estándar y h es la masa atómica del isótopo pesado. Con esta ecuación se determina la diferencia en la composición isotópica del consumidor (A) y su dieta (B) utilizando un tipo de tejido.

La magnitud de este fraccionamiento es diferente en cada tejido de un mismo individuo debido a que cada uno posee tasas de recambio diferente (Martínez del Río *et al.* 2009**b**). A nivel de especie, la tasa de renovación o de recambio va a depender del tamaño corporal del animal, la calidad nutricional de su alimento y de su tasa de crecimiento (Caut *et al.* 2008). Por otro lado, a nivel individual, el fraccionamiento es diferente en cada tejido debido a que su composición lipídica y proteica es diferente y las rutas metabólicas que siguen son distintas (Newsome *et al.* 2010). Los tejidos metabólicamente más activos (e.g hígado, páncreas, tejido graso y plasma) poseen tasas de recambio isotópico más altas, por lo que reflejan los valores isotópicos de las presas consumidas en los últimos días o semanas. En cambio, tejidos de metabolismo más lento (e.g huesos, células sanguíneas, músculo y tejido conectivo), reflejan los valores isotópicos de presas consumidas hace meses, años, e incluso toda la vida del individuo (Newsome *et al.* 2010). Este principio es una ventaja sobre las otras técnicas ya que permite hacer análisis de dieta a distintas escalas de tiempo (Post 2002).

Hobson (1993) indica que el tiempo que representa un tejido equivale a 2-3 veces la vida media del isótopo, por lo tanto para el caso de la piel, que presenta una vida media entre 6 y 27 días (Tieszen *et al.* 1983) representa la dieta ingerida por el animal desde 1 a 3 meses. El pelo, por su parte, al ser un tejido inerte que una vez sintetizado no presenta recambio isotópico, es más importante analizarlo según su tasa de crecimiento y no según su tasa de recambio (Newsome *et al.* 2010, Todd & Holm 2010). Los lobos marinos poseen una muda anual que se produce durante los meses de otoño, por lo que el pelo representa la dieta asimilada durante el periodo de formación del tejido (Orr *et al.* 2011).

1.4.3 Isótopos estables para análisis de nicho trófico

Hutchinson (1957) define dos ejes del nicho ecológico: el scenopoético que corresponde al eje que determina el hábitat en que se desarrolla una especie, y el bionómico, que corresponde a los recursos que un animal utiliza. Basándose en esto, Newsome *et al.* (2007) definieron el "nicho isotópico" como el espacio en que se distribuyen los valores isotópicos de los individuos en un gráfico δ/δ (Figura 7). En este gráfico los ejes corresponden a los valores isotópico de diferentes elementos (C, N, O, etc.) asemejándolos a los ejes scenopoético y bionómico descrito por Hutchinson (1957). En esta figura se observa que estos ejes pueden combinarse al analizar individuos que se alimenten y habiten en tierra o en agua.

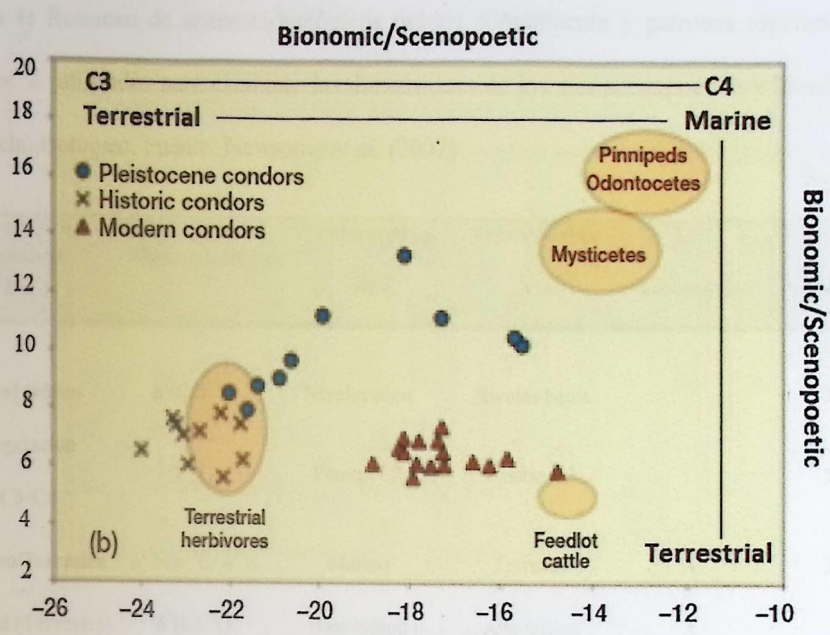


Figura 7: Ejemplo que muestra como los ejes $\delta^{13}C$/ $\delta^{15}N$ permiten entregar información de los ejes bionómico y scenopoético del nicho ecológico. Fuente: Newsome *et al.* (2007).

El análisis de isótopos estables permite estudiar diferentes patrones de distribución de isótopos a lo largo de estos dos ejes (Gibbs *et al.* 2011). Newsome *et al.* (2007) enumera algunos usos que se le pueden dar a isótopos de diferentes elementos y como esto se relaciona a ambos ejes (Tabla 1).

Tabla 1: Resumen de sistemas isotópicos usados comúnmente y patrones esperados de valores δ utilizados para examinar las dimensiones de los ejes scenopoético y bionómico del nicho isotópico. Fuente: Newsome *et al.* (2007)

Gradiente	Sistema Isotópico	Valores altos de δ	Valores bajos de δ	Eje Scenopoético	Eje Bionómico
Nivel trófico	$\delta^{13}C/\delta^{15}N$	Niveles altos	Niveles bajos		X
Vegetación C3-C4	$\delta^{13}C$	Plantas C4	Plantas C3		X
Marino/Terrestre	$\delta^{15}N/\delta^{13}C/\ \delta^{34}S$	Marino	Terrestre	X	X
Latitud (Terrestre)	$\delta^{2}H/\delta^{18}O$	Baja latitud	Alta latitud	X	
Latitud (Marino)	$\delta^{13}C/\delta^{15}N$	Baja latitud	Alta latitud	X	
Altitud	$\delta^{13}C$	Alta latitud	Baja latitud	X	
Altitud	$\delta^{2}H$	Baja latitud	Alta latitud	X	
Bentónico/ Pelágico	$\delta^{13}C/\delta^{34}S$	Bentónico	Pelágico	X	X
Aridez	$\delta^{13}C/\delta^{15}N$	Xérico	Mésico/Hídrico	X	
Eutrofización	$\delta^{15}N/\delta^{13}C$	Contaminado	Prístino	X	
Temperatura	$\delta^{18}O$	Frio	Cálido	X	
Substrato Geológico	$\delta^{87}Sr$	Rocas jóvenes	Rocas Viejas	X	
Oxico/Anóxico	$\delta^{15}N/\delta^{13}C/\ \delta^{34}S$	Oxico	Anóxico	X	
Metalogénesis	$\delta^{13}C$	Fotosintético	Metanogénico	X	

1.4.4 Métricas para la cuantificación de nicho trófico

En años recientes se han desarrollado medidas cuantitativas que permiten describir y cuantificar el nicho trófico y analizar como varía dependiendo de factores tales como especie, población, localidad, época del año, etc. (Bearhop *et al.* 2004). Layman *et al.* (2007) propuso 6 métricas aplicables al nicho isotópico tanto a nivel de especies como de poblaciones:

- *Rango Nitrógeno (RN):* Distancia entre la especie más enriquecida y la menos enriquecida de N. Un mayor RN sugiere más niveles tróficos y un mayor grado de diversidad trófica.

- *Rango Carbono (RC):* Distancia entre las especies con mayor y menor carbono. Un RC alto se espera en tramas tróficas con múltiples recursos basales con diferentes valores de C, indicando una diversificación de nichos en la base de la red alimentaria.

- *Área total (AT):* Área total que incluye a todos los organismos que integran la comunidad. El AT se ve influida por especies con posiciones extremas en cualquiera de los dos ejes (N o C). Esta es una de las métricas más utilizadas para realizar estudios de superposición y segregación de nichos, ya que permite compararlos directamente (Newsome *et al.* 2010).

- *Distancia media al centro o centroide (DC):* Distancia promedio (euclidiana) de cada especie, al centro de C y N, donde el centro corresponde al promedio de los valores de N y C de todas las especies. Este índice muestra el grado de diversidad trófica observada en la comunidad.

- *Distancia media entre vecinos más cercanos (DVC):* Distancia euclidiana promedio entre cada vecino cercano en el bi-plot. Es una medida de la densidad de aglomeración de las especies. La DVC será menor a medida que exista mayor proporción de especies con ecología trófica similar (mayor redundancia trófica).

- *Desviación estándar de la distancia entre vecinos más cercanos (DSDVC):* Es una medida de la igualdad en la agrupación de la especies, que es menos influenciada por el tamaño de la muestra que DVC. Bajos valores de DSDVC sugieren una distribución más equitativa de los nichos tróficos.

En la Figura 8 se muestra un ejemplo de los comportamientos de cada una de estas métricas al alterar de diferentes formas una comunidad. En principio (Figura 8A) se tiene una comunidad conformada por peces (rombos), crustáceos (cuadrados) y moluscos (triángulos), y se entregan los valores de cada métrica. Luego en el caso B, se produce una migración de tres depredadores tope (rombos de color negro). Esta situación altera el rango de nitrógeno ya que estos depredadores poseen una firma isotópica más enriquecida en nitrógeno que los demás individuos, mientras que el rango del carbono no se ve afectado ya

que poseen una firma isotópica similar a las de los otros organismos de la comunidad; el área total aumenta debido al incremento en el rango de nitrógeno. El centroide también aumenta debido a que se desplaza hacia arriba en el eje del nitrógeno. Finalmente, la distancia entre vecinos cercanos y la desviación estándar entre ellos disminuye puesto que estos tres depredadores se encuentran cercanos entre ellos. El escenario C por otro lado representa un cambio en la trama trófica donde se observa una nueva componente de la trama trófica (en este ejemplo corresponde a pasto marino), la migración de consumidores primarios para alimentarse de esta nueva fuente de alimento, y un aumento de la diversidad de organismos en la trama trófica. Este proceso se verá reflejado en un aumento del área total (AT), del centroide (DC), rango del carbono (RC) y en la distancia entre vecinos cercanos (DVC). Finalmente, el escenario D representa la inmigración de especies que no alteran la diversidad trófica en el nicho isotópico (Layman *et al.* 2007).

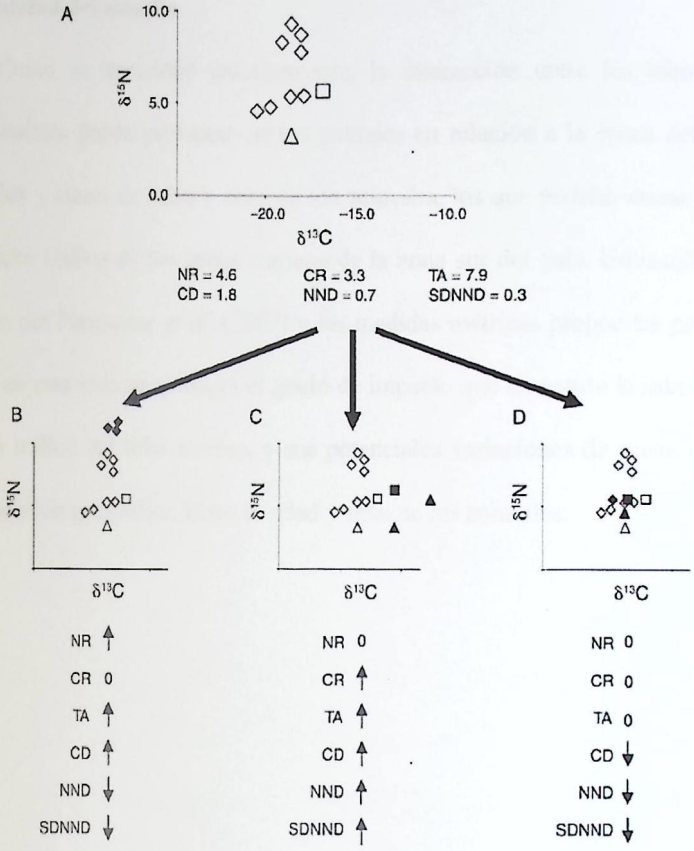


Figura 8: Modelos conceptuales (B –D) de diferentes formas en que se puede ver afectada una trama trófica mediante la adición de tres nuevas especies a una cadena ya caracterizada (A). Los símbolos abiertos son las especies iniciales de la cadena y los símbolos cerrados son las especies nuevas. Los rombos corresponden a peces, los triángulos a moluscos y los cuadrados a crustáceos. Las diferentes medidas de amplitud de comunidad van a variar entre cada escenario y es expresado debajo de cada gráfico usando flechas. Fuente: Layman *et al.* (2007).

1.5 Finalidad del estudio

Como se mencionó anteriormente, la interacción entre los lobos marinos y la salmonicultura puede presentar ciertos patrones en relación a la época del año, ubicación geográfica y clases de edad y sexo de los animales, los que podrían causar modificaciones en el nicho trófico de los lobos marinos de la zona sur del país. Utilizando los conceptos descritos por Newsome *et al.* (2007) y las medidas métricas propuestas por Layman *et al.* (2007), en esta tesis se evaluará el grado de impacto que ha tenido la salmonicultura sobre el nicho trófico del lobo marino, y sus potenciales variaciones de acuerdo a la época del año, ubicación geográfica, clase de edad y sexo de los animales.

2.- HIPOTESIS

La hipótesis de este estudio es que el consumo de salmones por parte de los lobos marinos ha impactado en el nicho trófico de estos depredadores. No obstante, si este consumo sigue ciertos patrones, entonces se espera que el nicho trófico de los lobos marinos presente variaciones en relación a la ubicación de las colonias, la época del año, y las clases de edad y sexo de los animales. Al respecto se predice que:

1.- Animales que se alimentan preferentemente de salmones tendrán un nicho trófico de menor amplitud que aquellos que consumen una diversidad de presas más amplia.

2.- Los lobos marinos que habitan en las colonias de la zona del mar interior de la región de los lagos tendrán un nicho trófico de menor amplitud que los que habitan en la zona expuesta, debido al mayor consumo de salmones por parte de los lobos de la zona interior.

3.- Un mayor consumo de salmones en los meses de invierno se reflejará en un nicho trófico más estrecho durante este periodo en comparación con los meses de verano.

4.- Los juveniles presentaran el nicho trófico de menor tamaño debido a que poseen una capacidad de desplazamiento menor a las otras clases de edad.

3.- OBJETIVOS

3.1 Objetivo Principal

Cuantificar el nicho trófico del lobo marino común en la Región de Los Lagos y determinar sus potenciales variaciones en respuesta al consumo de salmones a escala temporal, espacial, según sexo y clase de edad.

3.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar las métricas de nicho trófico propuestas por Layman *et al.* (2007) en la población de lobo marino común en la Región de Los Lagos.

- Determinar las posibles variaciones de los nichos tróficos a nivel temporal (verano/invierno), espacial (mar interior/exterior), y de acuerdo a las diferentes clases de edad y sexo de los lobos marinos.

- Estimar la composición de la dieta del lobo marino común en el área de estudio.

- Determinar la relación de estas variaciones con la contribución de salmones en la dieta de los lobos marinos.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Región dė Los Lagos, en el sur de Chile (41°33'S a 43°27'S). Esta región posee una de las mayores poblaciones de *O. flavescens* del litoral Chileno, albergando un total aproximado de 48.000 individuos (Oliva *et al.* 2012). Esta población se reparte entre 47 loberas, de las cuales 6 son reproductivas y 41 no lo son (Oliva *et al.* op cit).

Las localidades en que se realizaron los muestreos fueron Caleta La Arena (41°42'S – 72°38'W), Cahuelmo (42°15'S – 72°30'W), Chullec (42°28'S – 73°32'W), Isla Metalqui (42°11'S – 74°08`W) e Isla Doña Sebastiana (41°44'S – 73°48'W). De estas 5 localidades, las primeras 3 están ubicadas en las costas protegidas de la Región, mientras que las dos restantes se ubican en la costa expuesta de la isla de Chiloé (Figura 9). Tanto Isla Metalqui como Isla Doña Sebastiana son loberas reproductivas.

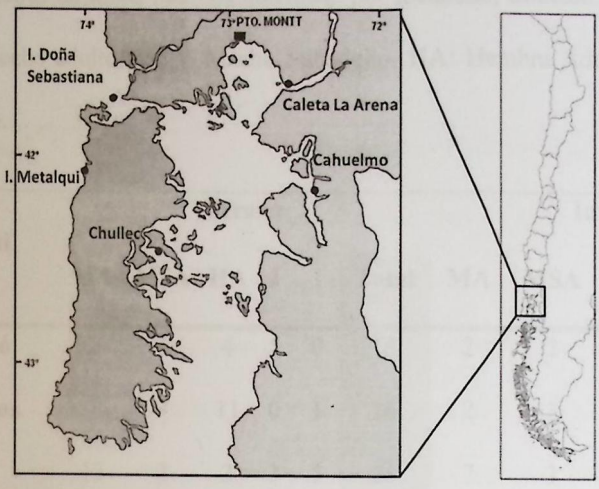


Figura 9: Localidades en que fueron tomadas las muestras de lobos marinos, ubicadas en la Región de los Lagos, Chile.

4.2 Recolección de las muestras

Se recolectaron muestras de un total de 229 lobos marinos durante el verano (febrero/marzo) (N=124) e invierno (julio) (N=105) de 2012. 224 de estas 229 muestras estuvieron compuestas por pelo y piel, mientras que las 5 restantes estuvieron compuestas solo pelo. En la tabla 2 se muestra el número de muestras obtenidas de acuerdo a la localidad, estación del año y clase de edad del lobo marino.

Tabla 2: Muestras de lobos marinos obtenidas por localidad, estación del año y clase de edad. MA: Macho adulto, MSA: Macho Subadulto, HA: Hembra Adulta, J: Juvenil e I: Indeterminado.

Localidad	Verano						Invierno					
	MA	MSA	HA	J	I	Total	MA	MSA	HA	J	I	Total
Cahuelmó	2	4	4	5	0	**15**	2	2	20	-	-	**24**
C. La Arena	7	7	11	0	1	**26**	2	3	18	0	2	**25**
Chullec	13	2	3	3	5	**26**	7	3	6	4	0	**20**
I. Doña Sebastiana	7	5	27	7	11	**57**	2	2	25	0	1	**30**
I. Metalqui	-	-	-	-	-	**0**	3	0	3	0	0	**6**
Total	29	18	45	15	17	**124**	16	10	72	4	3	**105**

Las clases de edad fueron diferenciadas basándose en los caracteres secundarios propuestos por Hamilton (1934), Carrara (1952) y King (1983), separando a la población en categorías según sexo (macho o hembra) y edad (macho adulto, macho sub-adulto, hembra adulta, juvenil y cría) (Tabla 3). Se incluyó la categoría de Indeterminados, correspondiente a aquellos individuos que no pudieron ser asignados a ninguna de las categorías señaladas anteriormente

Tabla 3: Caracteres secundarios utilizados para diferenciar sexo y clase de edad del lobo marino común.

Individuos	Caracteres Secundarios
Machos Adultos	Longitud superior a 2 metros, melena larga amarillenta evidente alrededor del cuello, hocico romo, cuello macizo. Cintura pélvica estrecha en relación a la cintura escapular. Normalmente se encuentra en el centro de un grupo de hembras formando harenes.
Machos Sub-adultos	Longitud inferior a 2 metros, cuello grueso, hocico romo y cintura pélvica estrecha. Sólo indicios de melena.
Hembras Adultas	Raramente más de 1.8 metros. Cuello esbelto, perfil aguzado, sin indicio de melena. Cintura pélvica ancha, zona de la cintura escapular redondeada. Variedad de color en el pelaje (pardo o amarillento).
Juveniles	Comprende a machos y hembras de entre 1 y 3 años de edad, variando su longitud entre 120 y 150 cms. para los machos; y 112 a 125 cms. para las hembras.
Cachorros o Popes	Animales nacidos durante la temporada. Presentan pelaje oscuro lustroso durante su primera etapa.

Las muestras fueron obtenidas utilizando un rifle modelo PaxArms calibre 22 con dardos especialmente acondicionados para obtener biopsias de pelo, piel y grasa de los animales, sin ocasionar ningún tipo de perjuicio al animal. Estos dardos están compuestos

por una cabeza metálica que penetra la piel del animal y recoge la muestra, y una cola de plástico con el fin de permitir la flotabilidad del dardo y poder recuperar la muestra (Figura 10). Con este mismo fin, los dardos fueron amarrados con hilo a una caña de pescar y así poder recuperarlos más rápidamente. Esta metodología, permitió tomar muestras a una distancia de 5-10 m del animal, tanto desde tierra como del agua (Figura 11). Las muestras fueron almacenadas en tubos Eppendorf o bolsas Ziploc® indicando con una etiqueta la fecha y lugar de obtención. Posteriormente, fueron congeladas y trasladadas al laboratorio para los análisis posteriores.



Figura 10: Dardos especialmente acondicionados para la extracción de tejido de lobos marinos. Fotografía: Maritza Sepúlveda.



Figura 11: Obtención de una muestra de tejido mediante el rifle desde una embarcación en el agua. Fotografía: Maritza Sepúlveda.

Adicionalmente, en cada localidad de muestreo se recolectaron muestras de aquellas potenciales presas del lobo marino. Todas las presas recolectadas fueron peces, incluyendo salmónidos de cultivo y solo una especie de crustáceo llamado Munida (*Munida gregaria*). Las muestras fueron obtenidas utilizando aparejos de pesca o recolectándolas en caletas de pescadores artesanales. En el caso de los salmónidos de cultivo, las muestras fueron conseguidas desde los propios centros de cultivo. En la Tabla 4 se detalla el número de ejemplares recolectados para cada una de las presas consideradas. A cada espécimen se le

extrajo una pequeña muestra de piel y músculo (Figura 12), la que fue almacenada en tubos Eppendorf, congelada y trasladada al laboratorio para su posterior análisis.



Figura 12: Obtención de una muestra de piel y músculo de pejerrey de mar *Odontesthes regia*. Fotografía: Guido Pavez.

Tabla 4: Número de muestras de potenciales presas del lobo marino recolectadas en la Región de Los Lagos. Se detalla nombre común y científico de cada especie.

Nombre Común	Nombre científico	N° de muestras
Múnida	*Múnida gregaria*	2
Salmón del Atlántico	*Salmo salar*	6
Trucha arcoíris	*Oncorhynchus mykiss*	9
Salmon Chinook	*Oncorhynchus tshawytscha*	1
Salmón Coho	*Oncorhynchus kisutch*	3
Róbalo	*Eleginops maclovinus*	12
Pejerrey de mar	*Odontesthes regia*	16
Sardina austral	*Sprattus fuegensis*	7
Merluza austral	*Merluccius australis*	26
Merluza común	*Merluccius gayi*	1
Tollo	*Mustelus mento*	2
Sierra	*Thyrsites atun*	7
Corvina	*Cilus gilberti*	3
Jurel	*Trachurus murphyi*	4
Congrio dorado	*Genypterus blancodes*	11
Pejegallo	*Callorhynchus callorhynchus*	3
Cabrilla	*Sebastes oculatus*	3
Rollizo	*Pinguipes chilensis*	5

4.3 Procesamiento de las muestras

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron separadas por tejido utilizando bisturí y tijeras quirúrgicas. Las biopsias de los lobos marinos se separaron en pelo, piel y grasa, mientras que las de las presas se separaron en piel y músculo. Sin embargo, las muestras de grasa de los lobos marinos y de piel de las presas no fueron consideradas en los análisis. Cada muestra individual fue depositada en pequeños recipientes de aluminio y puestas a secar durante 72 h a 60°C en una estufa de secado marca Memmert. Una vez finalizada esta etapa, las muestras de piel y pelo de los lobos marinos se cortaron en trozos pequeños, utilizando para ello un bisturí; mientras que las de músculo de las presas se pulverizaron utilizando un mortero de fondo poroso de 9 cm de diámetro. Posteriormente, las muestras se almacenaron en pequeños sobres de papel filtro, con la rotulación correspondiente, y fueron sometidas a una extracción de lípidos utilizando éter de petróleo en un extractor Soxhlet durante 2 h. Esto, con el fin de evitar el error producido por el empobrecimiento de ^{13}C que tienen en comparación con las proteínas y los carbohidratos, debido a la biosíntesis de lípidos (especialmente de acetil-CoA) (McCutchan *et al.* 2003).

Finalmente, las muestras ya procesadas fueron enviadas a la University of Wyoming (USA) para su análisis utilizando un espectrómetro de masa para isótopos estables de flujo continuo de marca VG Isotech, Optima.

Este espectrómetro permite analizar un gran número de muestras de pequeño tamaño (de entre 0,1 y 5 mg). En primer lugar, la muestra se calcina a una temperatura aproximada de 1.800°C en una corriente de oxígeno. Los gases generados durante la calcinación son llevados a un cromatóforo de gases para ser separados por compuesto. Las

moléculas de CO_2 son desplazadas a una cámara donde son ionizadas por un haz de electrones, producido por un filamento ionizante. Finalmente, los iones son propulsados hacia un tubo curvo, produciendo un campo magnético separando los gases según su carga/masa. Esta separación se produce debido a que los compuestos más livianos poseen un *momentum* menor y se desvían a mayor distancia que los compuestos más pesados. De esta forma, es posible calcular la proporción de los isótopos estables $^{13}C/^{12}C$ en base a la proporción de CO_2 de masa 45/44 y 46/44 encontrada en la muestra (Karasov & Martinez del Rio 2007).

4.4 Proporción Isotópica de carbono ($\delta^{13}C$) y nitrógeno ($\delta^{15}N$)

La razón isotópica de carbono y nitrógeno (en notación δ) expresada en partes por mil (‰), fue calculada en relación al estándar internacional Pee Dee Belemnite (VPDB) para el carbono (0,011180‰), y al nitrógeno atmosférico para el nitrógeno (0,0036765‰) (Fry 2006), según la siguiente ecuación:

$$\delta X = \frac{R \text{ muestra} - R \text{ estandar}}{R \text{ estandar}} \times 1000$$

Donde δX corresponde a la diferencia en la composición isotópica entre la muestra y el estándar en partes por mil (‰), y R es la razón entre el isótopo más pesado y el más liviano ($^{13}C/^{12}C$, $^{15}N/^{14}N$) de la muestra y el estándar.

4.5 Determinación del nicho isotópico

Para dimensionar el nicho isotópico de la poblaciones de LMC y determinar si existe superposición o segregación de nicho trófico entre los lobos marinos, se calcularon 5 métricas poblacionales, de acuerdo a lo propuesto por Layman *et al.* (2007): rango de carbono $\delta^{13}C$ (RC), rango de nitrógeno $\delta^{15}N$ (RN), área total (AT), distancia media al centro $\delta^{13}C$/ $\delta^{15}N$ (DC) y la distancia media entre vecino más cercanos (DVC).

A partir de estas métricas, se compararon las firmas isotópicas de $\delta^{15}N/\delta^{13}C$ de los ejemplares muestreados en relación a las variables: sexo (machos vs. hembras), clases de edad (juveniles vs. subadultos vs. adultos) y zona geográfica (interior vs. exterior), tanto para la piel como para el pelo. Se analizó también la variación estacional de los nichos (verano vs. invierno), pero solo en base a los valores isotópicos obtenidos de piel, puesto que el pelo representa sólo una época del año. Para realizar estas comparaciones, se asumió que el nicho isotópico (nicho definido por las firmas isotópicas en el gráfico) es similar al nicho trófico de los animales. Finalmente se graficaron las coordenadas $\delta^{15}N/\delta^{13}C$ de cada lobo marino muestreado.

4.6 Determinación de la dieta mediante modelos mixtos

Como una forma de explicar las potenciales diferencias en los nichos tróficos, se requiere estimar la composición de la dieta de cada animal muestreado. Para ello se calculó la contribución de cada ítem presa en la dieta de los lobos marinos, utilizando el software MixSIR desarrollado por Moore & Semmens (2008). Este programa se basa en un modelo probabilístico de estadística bayesiana, que calcula todas las combinaciones posibles de dietas de un consumidor, según los valores isotópicos de los tejidos de las presas y de esta

forma, determinar la dieta más probable (Moore & Semmens 2008). Una ventaja de este programa es que permite ingresar información previa, como valores de desviación estándar, que luego es integrada a través de las fuentes de incertidumbre (Moore & Semmens 2008).

Las presas se agruparon en 5 grupos diferentes, basándose en la similitud de las firmas isotópicas de cada especie. Esto se hizo con el fin de disminuir las fuentes de error al momento de calcular la dieta más probable de los lobos marinos. A partir de ello, se crearon diferentes archivos de texto con los promedios y desviaciones estándar de las firmas isotópicas de cada grupo de presa y los promedios y desviaciones estándar de los factores de discriminación trófica. La firma isotópica de cada lobo marino fue almacenada en un archivo de texto diferente para poder determinar la dieta más probable de cada animal muestreado.

Los factores de discriminación utilizados para cada tipo de tejido de los lobos marinos se obtuvieron de los valores determinados por Hobson *et al.* (1996) en 3 especies de foca (*Pagophilus groenlandicus, Phoca hispida y Pusa vitulina*), donde se determinó un factor de discriminación de 2,5 ‰ para el carbono y 3,5 ‰ para el nitrógeno en el pelo y 2,5 ‰ de carbono y 3,0 ‰ de nitrógeno, para la piel. Por otro lado, se consideró una desviación estándar de 0,5 para todos los factores de discriminación. Finalmente se realización 10^6 iteraciones en el software para aumentar la robustez de los resultados y minimizar las fuentes de error.

4.7 Análisis estadísticos

Se analizó la normalidad de los datos utilizando el test de Shapiro-Wilk. En aquellas variables que no cumplieron con los requisitos de normalidad, se utilizaron los test para datos no-paramétricos de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney. Se analizaron las diferencias entre nichos tróficos según la época del año, el sexo, la localidad y la clase de edad utilizando un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para aquellos datos normales o el test de Kruskal-Wallis para aquellos datos que no satisficieron los requisitos señalados anteriormente. En caso de encontrar diferencias significativas entre los grupos, se utilizó el test *post-hoc* de Tukey o el de Mann-Whitney para determinar que grupos eran los que diferían. El test de Mann-Whitney, fue utilizado, además, para analizar la relación entre nichos. Las medidas métricas de nicho trófico fueron analizadas en el paquete estadístico Stable Isotope Analysis (*SIAR*) en R. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando los software estadísticos R y Statistica (8.0). Se consideraron diferencias significativas con un $P < 0,05$.

5.- RESULTADOS

5.1 Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ entre tejidos

En la Figura 13 se muestra la firma isotópica de pelo y piel de los lobos marinos muestreado. En esta figura es posible apreciar que los valores de $\delta^{15}N$ de la piel de lobos marinos se encuentran significativamente más enriquecidos que los de pelo (U = 4444; P=0,001). Por el contrario, para el caso del $\delta^{13}C$, el pelo se vio significativamente más enriquecido en este isótopo que la piel (U = 20793; P = 0,0097; Tabla 5).

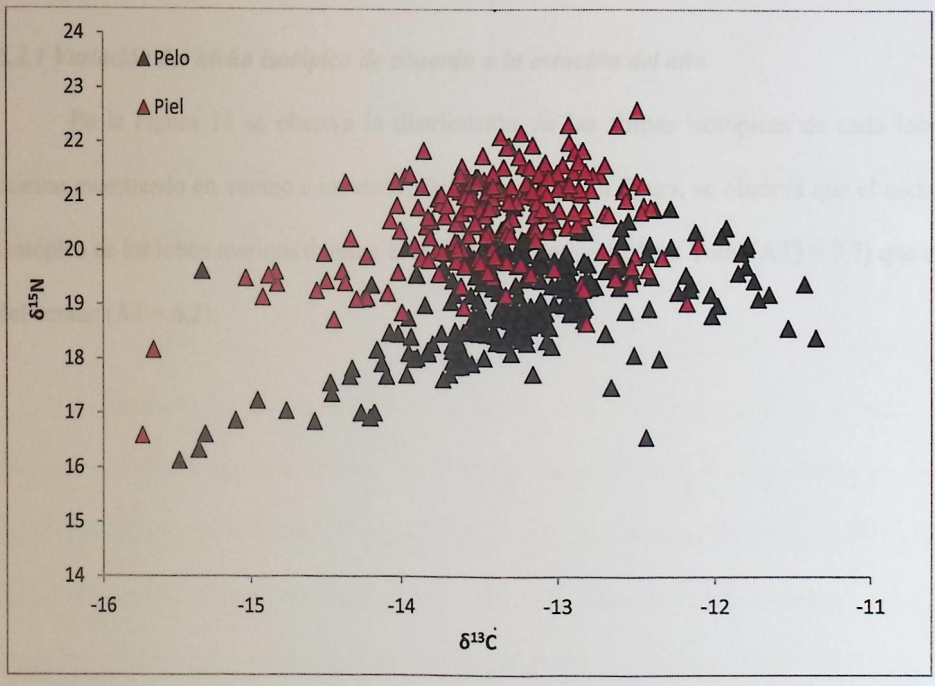


Figura 13: Valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ en pelo y piel de los lobos marinos muestreados.

Tabla 5: Promedio (*X*) y desviación estándar (DE) de los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de los lobos marinos según el tejido. Se indica el número de animales muestreados por especie.

Tejido	N	$\delta^{13}C$		$\delta^{15}N$	
		X	DE	*X*	DE
Pelo	214	-13,2	0,7	19,0	0,9
Piel	229	-13,4	0,6	20,6	0,9

5.2 Determinación de nicho isotópico

5.2.1 Variación del nicho isotópico de acuerdo a la estación del año

En la Figura 14 se observa la distribución de las firmas isotópicas de cada lobo marino muestreado en verano e invierno. De acuerdo a esta figura, se observa que el nicho isotópico de los lobos marinos durante el invierno fue mayor (Área Total (AT) = 9,7) que el del verano (AT = 6,2).

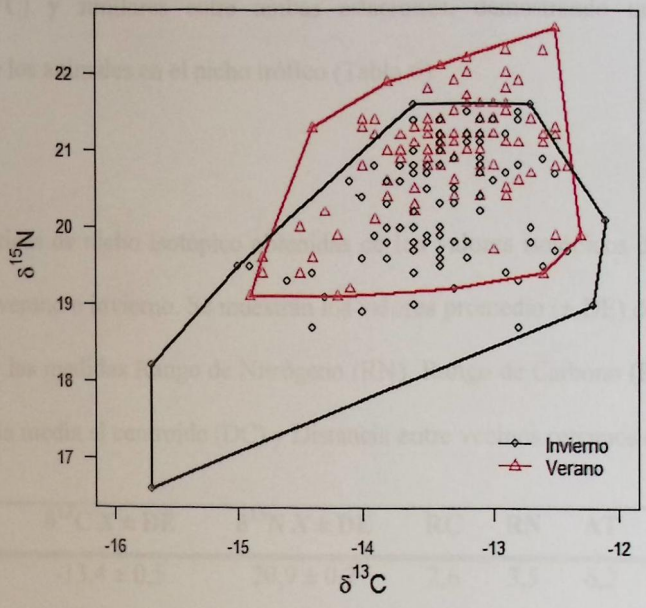


Figura 14: Nicho isotópico del lobo marino común durante el invierno (negro) y verano (rojo) en la Región de Los Lagos.

Al comparar los valores isotópicos de la piel de los lobos marinos entre verano e invierno se observa que para el caso del $\delta^{13}C$ los valores fueron similares entre las dos estaciones del año (W = 6110,5, P = 0,363). Sin embargo, el rango del carbono (RC) fue mayor en invierno (Tabla 6). Para el caso del $\delta^{15}N$, los animales mostraron valores significativamente más enriquecidos en verano, respecto del invierno (W = 8445,5, P < 0,0001). La distancia media al centroide (DC) fue similar entre ambas estaciones y con valores que indican que los individuos se distribuyen de forma similar en el espacio trófico en ambas estaciones. Finalmente, se registraron valores bajos de distancia entre vecinos

cercanos (DVC) y similares entre ambas estaciones, demostrando una distribución homogénea de los animales en el nicho trófico (Tabla 6).

Tabla 6: Métricas de nicho isotópico obtenidas de los valores isotópicos de piel, para las estaciones de verano e invierno. Se muestran los valores promedio (± DE) de los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$, y las medidas Rango de Nitrógeno (RN), Rango de Carbono (RC), Área Total (AT), Distancia media al centroide (DC) y Distancia entre vecinos cercanos (DVC).

Estación	$\delta^{13}C$ $X \pm$ DE	$\delta^{15}N$ $X \pm$ DE	RC	RN	AT	DC	DVC
Verano	-13,4 ± 0,5	20,9 ± 0,7	2,6	3,5	6,2	0,7	0,1
Invierno	-13,4 ± 0,6	20,3 ± 0,8	3,6	5,0	9,7	0,9	0,2

5.2.2 Variación del nicho isotópico de acuerdo a la ubicación geográfica de la lobera de origen

En la Figura 15 se observa la distribución de las firmas isotópicas, tanto de pelo como de piel, de los lobos marinos muestreados en las zonas interior y exterior de la Región. De acuerdo a esta figura, tanto para pelo como para piel, el nicho isotópico de los lobo marinos de la zona exterior fue considerablemente menor que el nicho isotópico de los animales de la zona interior (Tabla 7). Por otro lado, en ambas zonas el nicho isotópico de la piel fue más pequeño que el del pelo.

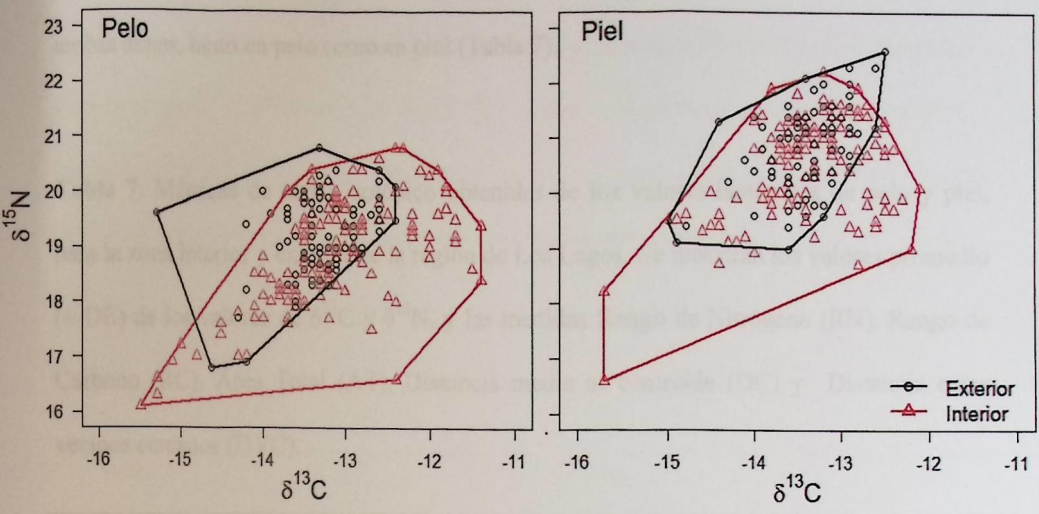


Figura 15: Nicho isotópico del lobo marino común de la zona exterior (negro) e interior (rojo) de la Región de Los Lagos, según los valores isotópicos de pelo y piel.

Se compararon los valores isotópicos de $\delta^{13}C$ en el pelo y en la piel de los lobos marinos. En ambos tejidos se registraron valores similares de este isótopo entre las zonas interior y exterior (Pelo: W = 6991, P = 0,119; Piel: W = 5982, P = 0.2589), aunque la zona interior presentó un rango de carbono mayor (Tabla 7). Para el caso del $\delta^{15}N$, los animales de la zona exterior se encontraron significativamente más enriquecidos respecto en este isótopo que los de la zona interior, tanto en el pelo (W = 4907,5, P = 0.0067), como en la piel (W = 4357, P = 0,011).

Según los valores isotópicos de pelo, la DC de los lobos marinos de la zona interior fue ligeramente mayor respecto a los de la zona exterior, lo que significa que en la zona interior los animales poseen hábitos tróficos más heterogéneos. En el caso de la piel, la DC

fue más similar entre ambas zonas. Finalmente, el DVC, presentó un valor bajo (= 0.1) en ambas zonas, tanto en pelo como en piel (Tabla 7).

Tabla 7: Métricas de nicho isotópico obtenidas de los valores isotópicos de pelo y piel, para la zona interior y exterior de la región de Los Lagos. Se muestran los valores promedio (± DE) de los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$, y las medidas Rango de Nitrógeno (RN), Rango de Carbono (RC), Área Total (AT), Distancia media al centroide (DC) y Distancia entre vecinos cercanos (DVC).

Tejido	Zona	$\delta^{13}C$ $X \pm$ DE	$\delta^{15}N$ $X \pm$ DE	RC	RN	AT	DC	DVC
Pelo	Interior	-13,2 ± 0,8	18,9 ± 0,9	4,1	4,7	11,3	1,1	0,1
	Exterior	-13,3 ± 0,5	19,2 ± 0,7	2,9	4,0	6,7	0,8	0,1
Piel	Interior	-13,4 ± 0,6	20,5 ± 0,9	3,6	5,6	10,7	0.9	0,1
	Exterior	-13,4 ± 0,5	20,8 ± 0,8	2,5	3,6	5,2	0,8	0,1

5.2.3 Variación del nicho isotópico de acuerdo al sexo

En la Figura 16 se muestra el nicho isotópico de machos y hembras para los valores isotópicos de $\delta^{13}C$ $\delta^{15}N$ en pelo y piel. En el caso del pelo, el área total de machos y hembras fue similar (Tabla 8). En cambio, según los valores isotópicos de la piel el área total de los machos es cerca del doble que el de las hembras (Tabla 8).

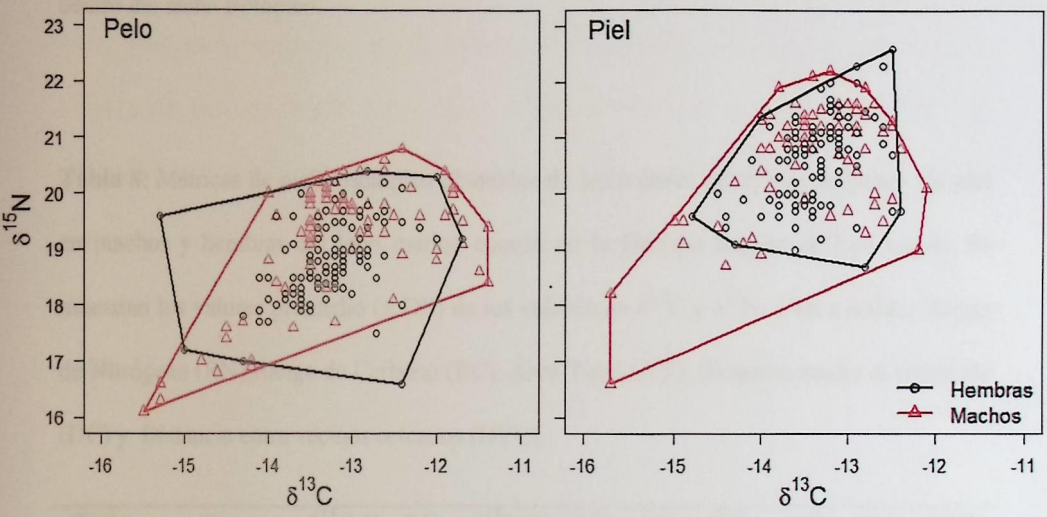


Figura 16: Nicho isotópico de individuos hembras (negro) y machos (rojo) de lobo marino común en la Décima Región, según los valores isotópicos de pelo y piel.

Para el caso del $\delta^{13}C$, no se encontraron diferencias significativas en los valores de este isótopo entre machos y hembras, ni en el pelo (W = 5063,5, *P*= 0,376), ni en la piel (W = 4185, *P* = 0,880). No obstante, en ambos tejidos el RC fue mayor en machos (Tabla 8).

En el caso del $\delta^{15}N$, los machos mostraron valores significativamente mayores que las hembras en el análisis de pelo ($W = 6262$, $P < 0{,}0001$). Sin embargo, para el caso de la piel no se encontraron diferencias significativas en los valores de este isótopo entre ambos sexos ($W = 4449{,}5$, $P = 0.376$). Al igual que en el caso del $\delta^{13}C$, el RN fue mayor en machos (Tabla 8).

La DC y la DVC de las hembras fueron menores que la de los machos (Tabla 8), lo que indica que la distribución de las hembras fue más homogénea que la de los machos dentro del nicho isotópico.

Tabla 8: Métricas de nicho isotópico obtenidas de los valores isotópicos de pelo y de piel en machos y hembras del lobo marino común en la Décima Región de Los Lagos. Se muestran los valores promedio (± DE) de los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$, y las medidas Rango de Nitrógeno (RN),Rango de Carbono (RC), Área Total (AT), Distancia media al centroide (DC) y Distancia entre vecinos cercanos (DVC).

Tejido	Sexo	$\delta^{13}C$ $X \pm$ DE	$\delta^{15}N$ $X \pm$ DE	RC	RN	AT	DC	DVC
Pelo	Macho	-13,1 ± 0,9	19,2 ± 1,1	4,1	4,7	9,2	1,2	0,2
	Hembra	-13,3 ± 0,5	18,8 ± 0,7	3,6	3,8	10,3	0,7	0,1
Piel	Macho	-13,4 ± 0,7	20,6 ± 1,1	3,6	5,6	10,7	1,1	0,2
	Hembra	-13,4 ± 0,4	20,6 ± 0,7	2,4	3,9	5,8	0,7	0,1

5.2.4 Variación del nicho isotópico de acuerdo a la clase de edad

En la Figura 17 se muestra el nicho isotópico de las distintas clases de edad del lobo marino común, conformados por las firmas isotópicas de los individuos muestreados. De acuerdo a esta figura, el área total de los juveniles es la menor, tanto para los valores de pelo como para los de piel. De acuerdo al análisis de pelo, los machos adultos y las hembras adultas son los que mostraron áreas totales de mayor tamaño (8,5 y 8,1, respectivamente) (Tabla 9). Los juveniles mostraron un área notoriamente menor a la de las demás clases de edad. En el caso de la piel, los machos subadultos fueron los que mostraron un área total mayor, seguidos por los machos adultos y las hembras. Nuevamente los juveniles presentaron el nicho de menor tamaño, siendo tan solo un 37% del tamaño del nicho de los machos subadultos (Tabla 9).

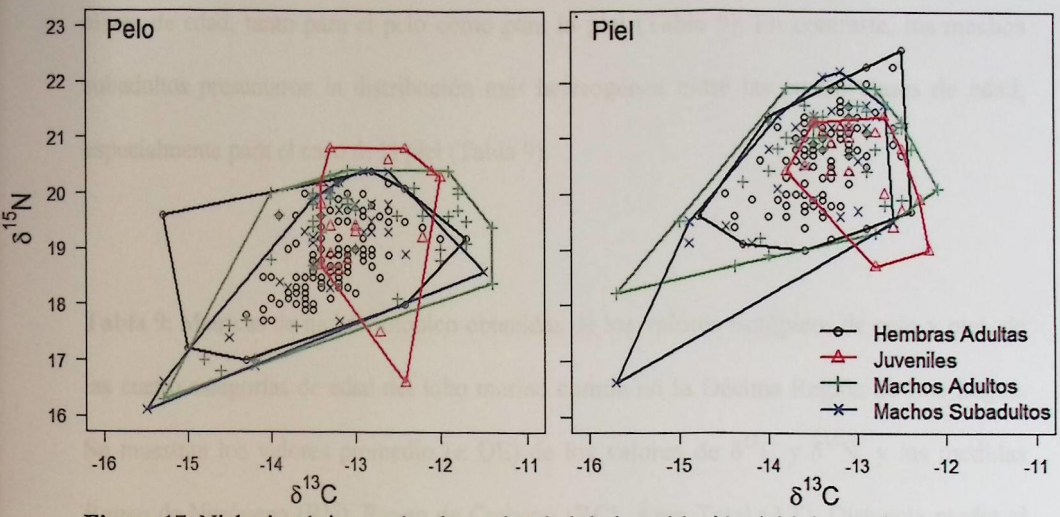


Figura 17: Nicho isotópico según clases de edad de la población del lobo marino común en la Región de Los Lagos, según los valores isotópicos de pelo y piel.

Los valores de $\delta^{13}C$ en el pelo fueron similares entre las distintas clases de edad (χ^2 = 6,47, P = 0,091). No obstante, para el caso de la piel sí se registraron diferencias significativas entre las distintas categorías (χ^2= 12,88, $P < 0,01$). Al compararlas entre sí, se determinó que los juveniles difirieron con las demás clases etarias en la composición isotópica de carbono (Figura 18). Para el caso del $\delta^{15}N$, se registraron diferencias significativas para el pelo (χ^2 = 17,03, $P < 0,001$), pero no para la piel (χ^2= 2,91, P = 0,405). En el pelo, se encontró que las hembras adultas con los machos adultos, así como las hembras adultas con los juveniles fueron quienes presentaron valores de $\delta^{15}N$ diferentes (Figura 19).

Las hembras adultas presentaron una distribución más uniforme que las demás clases de edad, tanto para el pelo como para la piel (Tabla 9). En contraste, los machos subadultos presentaron la distribución más heterogénea entre las cuatro clases de edad, especialmente para el caso de la piel (Tabla 9).

Tabla 9: Métricas de nicho isotópico obtenidas de los valores isotópicos de pelo y piel, de las cuatro categorías de edad del lobo marino común en la Décima Región de Los Lagos. Se muestran los valores promedio (± DE) de los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$, y las medidas Rango de Nitrógeno (RN), Rango de Carbono (RC), Área Total (AT), Distancia media al centroide (DC) y Distancia entre vecinos cercanos (DVC).

Tejido	Categoría	$\delta^{13}C$ $X \pm$ DE	$\delta^{15}N$ $X \pm$ DE	RC	RN	AT	DC	DVC
Pelo	Macho Adulto	-13,0 ± 1,0	19,2 ± 1,1	3,9	4,1	8,5	1,2	0,3
	Macho Subadulto	-13,3 ± 0,8	19,0 ± 1,2	4,0	4,3	6,4	1,2	0,3
	Hembra Adulta	-13,3 ± 0,5	18,8 ± 0,7	3,6	3,4	8,1	0,7	0,1
	Juvenil	-12,9 ± 0,5	19,3 ± 1,1	1,4	4,2	4,0	1,0	0,3
Piel	Macho Adulto	-13,4 ± 0,7	20,7 ± 0,9	3,6	3,7	6,6	0,9	0,3
	Macho Subadulto	-13,6 ± 0,8	20,4 ± 1,2	3,1	5,6	7,3	1,2	0,4
	Hembra Adulta	-13,4 ± 0,4	20,6 ± 0,7	2,4	3,6	5,3	0,7	0,1
	Juvenil	-12,9 ± 0,5	20,4 ± 0,8	1,6	2,7	2,7	0,8	0,3

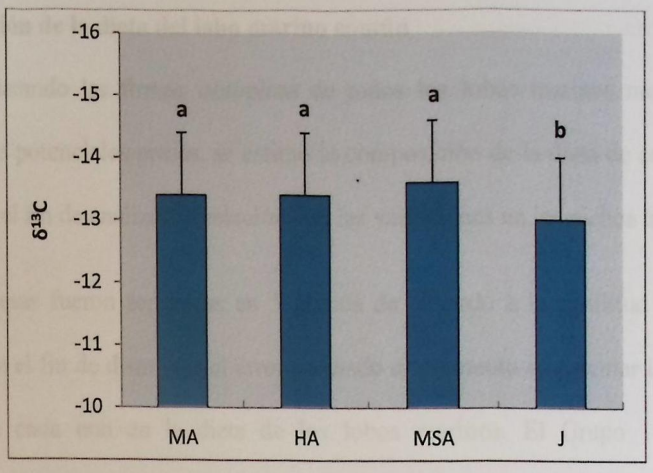


Figura 18: Promedio de los valores de $\delta^{13}C$ de piel para las clases de edad machos adultos (MA), hembras adultas (HA), machos subadultos (MSA) y juveniles (J). Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre las clases de edad.

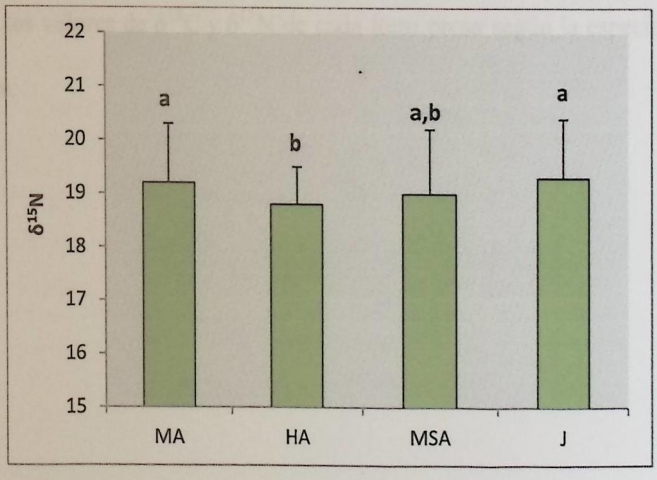


Figura 19: Promedio de los valores de $\delta^{15}N$ de pelo para las clases de edad machos adultos (MA), hembras adultas (HA), machos subadultos (MSA) y juveniles (J). Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre las clases de edad.

5.3 Composición de la dieta del lobo marino común

Considerando las firmas isotópicas de todos los lobos marinos muestreados, así como el de sus potenciales presas, se estimó la composición de la dieta de cada uno de los animales, con el fin de analizar su relación con las variaciones en los nichos tróficos

Las presas fueron separadas en 5 grupos de acuerdo a la similitud de sus firmas isotópicas, con el fin de disminuir el error asociado al momento de calcular la contribución porcentual de cada uno en la dieta de los lobos marinos. El Grupo 1 se conformó únicamente por múnida; el Grupo 2 por salmones de cultivo y silvestres. El Grupo 3 lo formaron las especies róbalo, pejerrey y sardina austral. El Grupo 4 está conformado por merluza austral, merluza común, tollo, sierra, corvina y jurel. Finalmente el Grupo 5 está formado por congrio dorado, pejegallo, cabrilla y rollizo. La Tabla 10 muestra los promedios de los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ de cada ítem presa según la especie y el grupo al que pertenecen.

Tabla 10: Promedio (X) y desviación estándar (DE) de los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de cada ítem presa, el grupo al que pertenece la especie y el promedio (± DE) del grupo trófico. Se indica, además, el número de animales muestreados por especie (N).

Grupo	Ítem	N	$\delta^{13}C$		$\delta^{15}N$		$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$
			X	DE	X	DE	$X \pm$ DE	$X \pm$ DE
1	Múnida	2	-19,6	1,24	9,4	0.48	-19,6 ± 1,24	9,4 ± 0,48
2	Salmónidos de cultivo	18	-18,0	1,4	13,1	1,5	-18,6 ± 1,10	12,4 ± 1,29
	Salmónidos silvestres	12	-19,4	0,4	11,3	0,7		
3	Róbalo	12	-16,7	2,50	15,3	0,82	-16,4 ± 1,76	15,5 ± 0,75
	Pejerrey de mar	16	-16,0	1,48	15,8	0,74		
	Sardina Austral	7	-16,4	0,3	15,0	0,2		
4	Merluza austral	26	-15,3	0,38	17,2	1,00	-15,4 ± 0,45	17,2 ± 0,88
	Merluza común	1	-15,0		16,6			
	Tollo	2	-15,2	0,18	16,6	0,61		
	Sierra	7	-16,1	0,25	17,4	0,88		
	Corvina	3	-15,4	0,22	17,7	0,13		
	Jurel	4	-15,4	0,38	17,1	0,39		
5	Congrio dorado	11	-15,9	1,07	15,3	0,73	-14,4 ± 1,14	17,1 ± 0,85
	Pejegallo	3	-14,3	0,4	18,0	0,1		
	Cabrilla	3	-14,3	0,7	17,1	1,2		
	Rollizo	5	-14,3	0,65	16,8	0,41		

En la Figura 20 se muestra la firma isotópica individual de las presas, según su grupo. En general, los grupos definidos difieren tanto en $\delta^{13}C$ como en $\delta^{15}N$. Se observa que el Grupo 1 es quien presenta un mayor empobrecimiento en estos dos elementos. Por otro lado, se observa que el Grupo 3 presentó un rango pequeño de nitrógeno, sin embargo

fue el más amplio en carbono. Los grupos 4 y 5 presentaron valores similares de nitrógeno, aunque este último está más enriquecido en carbono.

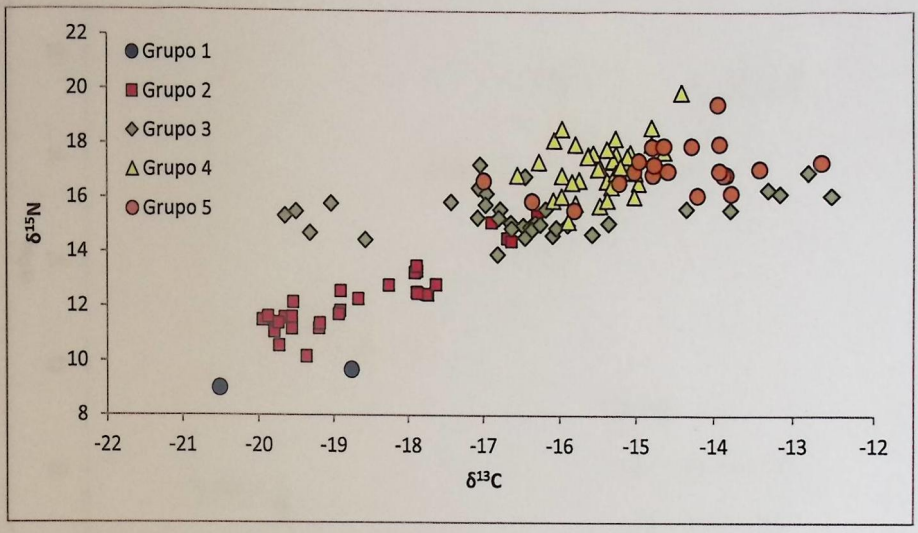


Figura 20: Valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ de las potenciales presas del lobo marino común, diferenciados de acuerdo al grupo trófico asignado.

En la Figura 21 se muestran las firmas isotópicas promedio de cada grupo de presas y los valores isotópicos de piel y pelo de cada lobo marino muestreado. En esta figura, a los valores isotópicos de los lobos marinos se les restaron sus respectivos factores de discriminación trófica (piel C = 2,5‰ y N = 3,0‰; pelo C = 2,5‰ y N = 3,5‰), para corregir la diferencia en la composición isotópica entre los lobos marinos y su dieta. Se

observa que la distribución de los lobos en el espacio isotópico es similar a los Grupos 3, 4 y 5, mientras que están más alejados que los Grupos 1 y 2.

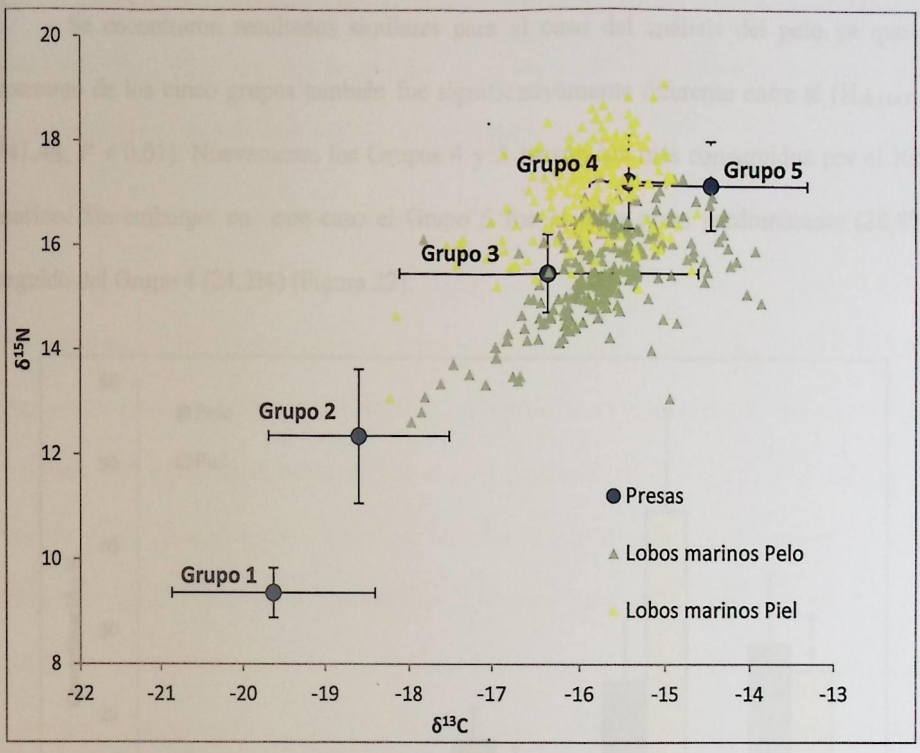


Figura 21: Valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ de piel y pelo de lobos marinos comunes y de los cinco grupos de presas potenciales. Los lobos marinos corresponden a valores individuales y las presas a los valores promedio (± DE).

La contribución de cada ítem presa en la dieta de los lobos marinos varió significativamente entre pelo y piel (U = 524182; P = 0,001). El consumo de los 5 grupos fue significativamente diferente entre sí ($H_{(4,1070)}$ = 918,05; P = 0.01) por parte de los lobos

marinos según la piel, donde el Grupo 4 presentó la mayor contribución porcentual (44,8%) en la dieta de los individuos, seguido por el Grupo 5 (25,7%) (Figura 22).

Se encontraron resultados similares para el caso del análisis del pelo ya que el consumo de los cinco grupos también fue significativamente diferente entre sí ($H_{(4,1145)}$ = 741,48; $P < 0.01$). Nuevamente los Grupos 4 y 5 fueron los más consumidos por el lobo marino. Sin embargo, en este caso el Grupo 5 fue el ítem presa predominante (28,8%) seguido del Grupo 4 (24,2%) (Figura 22).

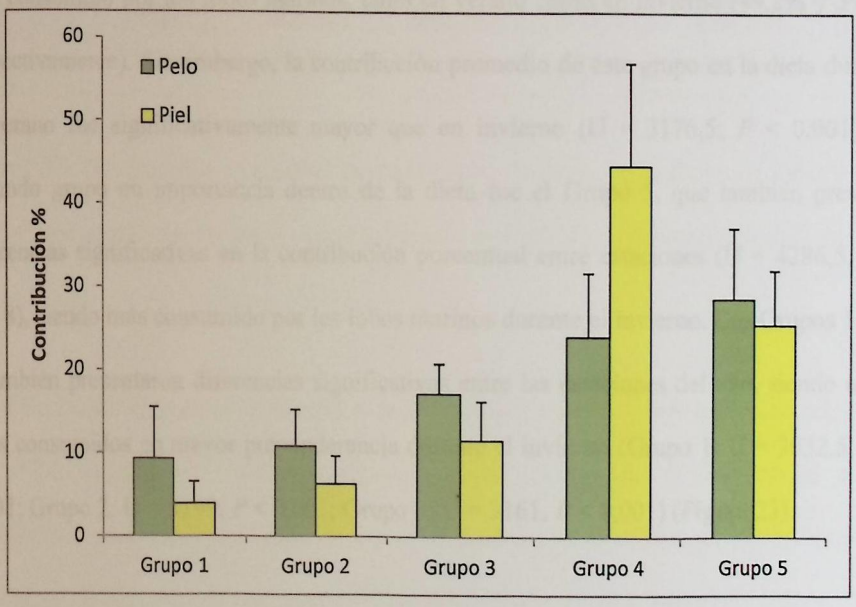


Figura 22: Contribución porcentual promedio de cada ítem presa en la dieta del lobo marino común, según los valores isotópicos obtenidos de pelo y piel. Las barras corresponden a la DE.

5.3.1 Variación de la dieta de acuerdo a la estación del año

Para este análisis, sólo se consideraron los valores isotópicos de la piel. Esto debido a que el pelo sólo se forma en los meses de otoño, por lo que no permite realizar un análisis estacional. Por ello, los resultados que a continuación se muestran corresponden exclusivamente al análisis de la piel de los lobos marinos.

Respecto de la contribución porcentual de cada grupo de presas en la dieta de los individuos muestreados durante el invierno y el verano, se obtuvo que el Grupo 4 fue el más consumido por los lobos marinos, tanto en verano como en invierno (49,2% y 39,8% respectivamente). Sin embargo, la contribución promedio de este grupo en la dieta durante el verano fue significativamente mayor que en invierno ($U = 3176,5$; $P < 0,001$). El segundo grupo en importancia dentro de la dieta fue el Grupo 5, que también presentó diferencias significativas en la contribución porcentual entre estaciones ($U = 4286,5$, $P = 0,018$), siendo más consumido por los lobos marinos durante el invierno. Los Grupos 1, 2 y 3 también presentaron diferencias significativas entre las estaciones del año, siendo todos ellos consumidos en mayor preponderancia durante el invierno (Grupo 1: $U = 3032,5$, $P < 0,001$; Grupo 2: $U = 3199$, $P < 0,001$; Grupo 3: $U = 3161$, $P < 0,001$) (Figura 23).

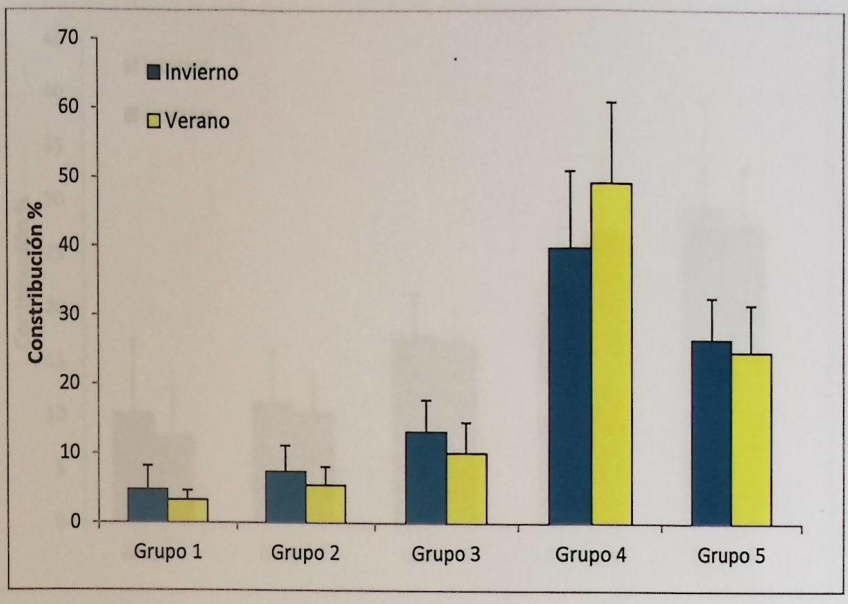


Figura 23: Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta del lobo marino común muestreados en invierno y verano, basados en los valores isotópicos de piel.

5.3.2 Variación de la dieta de acuerdo a la ubicación geográfica de la lobera de origen

De acuerdo los valores isotópicos de pelo, el Grupo 5 presentó la mayor contribución porcentual en la dieta de los lobos marinos, tanto en la zona interior como en la exterior (Figura 24). Al comparar si existen diferencias en el consumo de alguno de los grupos entre las dos zonas, se obtuvo que el Grupo 4 fue el único que mostró un consumo significativamente mayor en la zona exterior ($U = 3922{,}5$; $P < 0{,}001$).

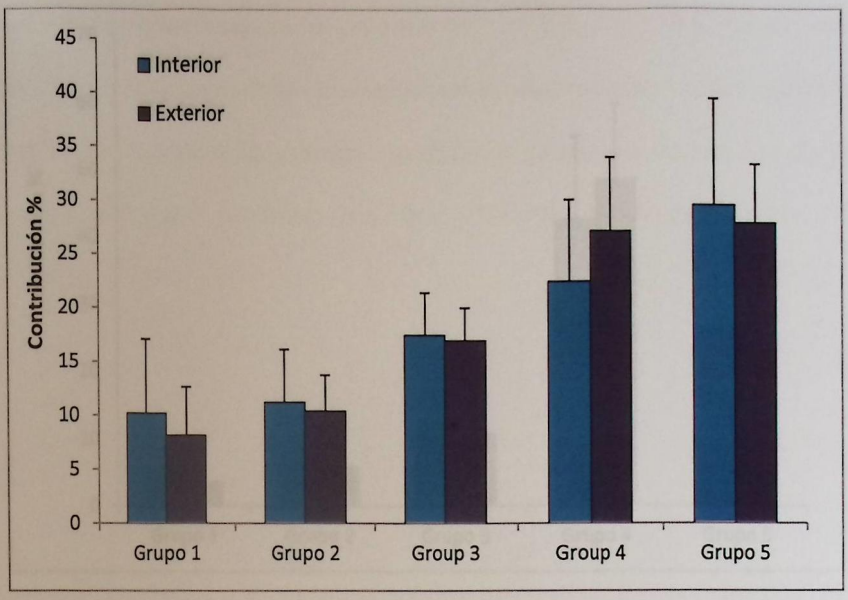


Figura 24: Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta de los individuos de lobo marino común muestreados en la zona interior y exterior de la Región de Los Lagos, basados en los valores isotópicos de pelo.

Con respecto a los valores isotópicos de piel, al comparar la dieta de los lobos marinos de la zona interior con los de la zona exterior, se encontró que en ambas zonas el Grupo 4 fue el ítem presa principal en la dieta de los lobos marinos (interior: 42,5% y exterior: 48,5%). Al comparar si existen diferencias en el consumo de alguno de los grupos entre estas dos zonas, y de modo similar a lo encontrado en el análisis de pelo, se obtuvo que el Grupo 4 fue el único que mostró un consumo significativamente mayor en la zona exterior ($U = 4042$; $P = 0{,}0011$) (Figura 25).

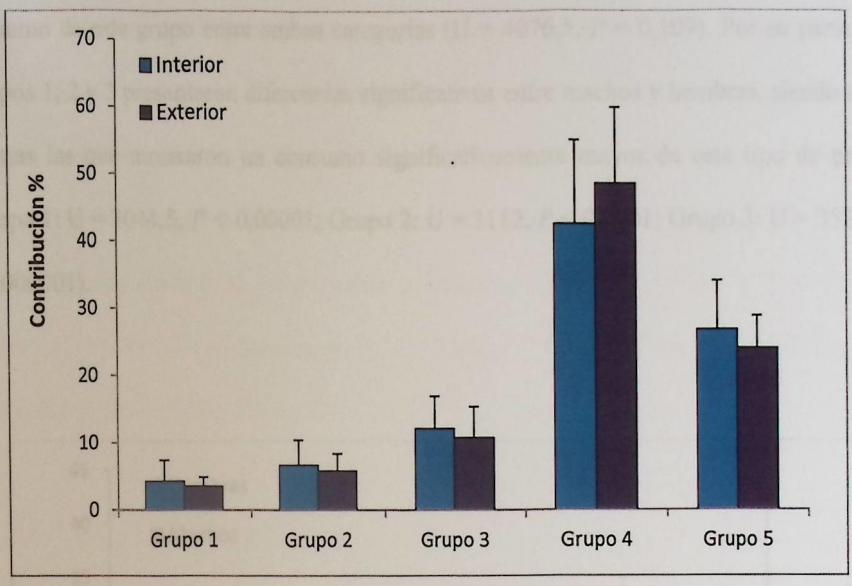


Figura 25: Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta de los individuos de lobo marino común muestreados en la zona interior y exterior de la Décima Región, basados en los valores isotópicos de piel.

5.3.3 Variación de la dieta de acuerdo al sexo

La Figura 26 muestra la contribución porcentual de los distintos grupos de presas en la dieta de machos y hembras del lobo marino común basados en el análisis del pelo. En esta figura se observa que el Grupo 5 fue el que mostró una mayor contribución porcentual para ambos sexos (machos: 30,5%; hembras: 27,6%). Sin embargo, los machos mostraron un consumo significativamente mayor de estas presas respecto de las hembras ($U = 3884,5$, $P = 0,037$). El Grupo 4 fue el ítem que siguió en importancia en la dieta para ambos sexos (machos: 25,3%; hembras: 22,9%), no encontrándose diferencias significativas en el

consumo de este grupo entre ambas categorías (U = 4076,5, P = 0,109). Por su parte, los Grupos 1, 2 y 3 presentaron diferencias significativas entre machos y hembras, siendo estas últimas las que mostraron un consumo significativamente mayor de este tipo de presas (Grupo 1: U = 3044,5, P < 0,00001; Grupo 2: U = 3112, P < 0,0001; Grupo 3: U = 2520, P < 0,000001).

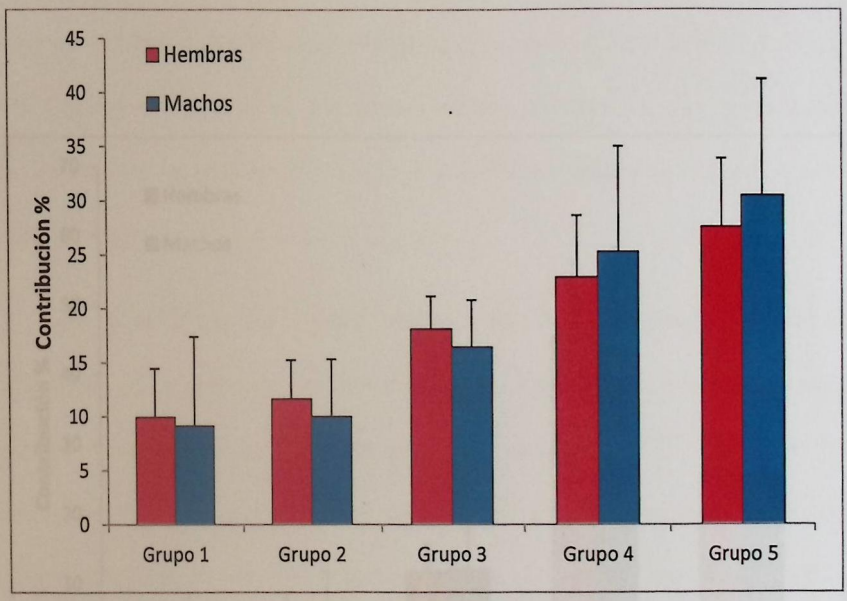


Figura 26: Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta de individuos machos y hembras de lobo marino común muestreados en la Décima Región, basados en los valores isotópicos de pelo.

A diferencia de lo encontrado en el pelo, para el caso de la piel, se obtuvo que el Grupo 4 fue el que presentó una contribución porcentual notoriamente mayor en la dieta de machos y hembras del lobo marino común (43,7% y 45,7% respectivamente) (Figura 27). Al comparar el consumo de cada grupo entre ambos sexos, se tiene que el consumo de los distintos grupos fue similar entre machos y hembras (Grupo 1: U = 3697, P = 0, 307; Grupo 2: U = 3695, P = 0,264; Grupo 3: U = 3763, P = 0,354; Grupo 4: U = 4107,5, P = 0,950; Grupo 5: U = 3689, P = 0,257).

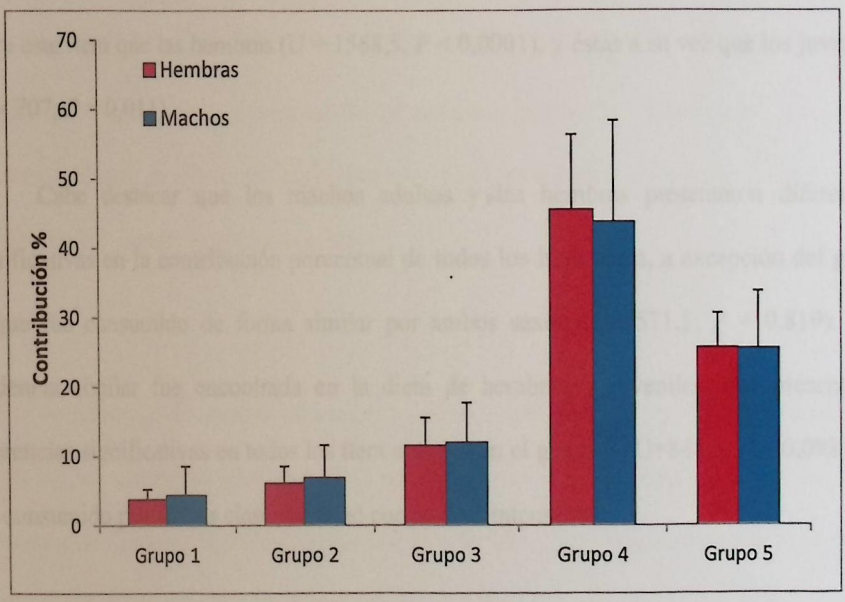


Figura 27: Contribución porcentual de cada grupo de presa en la dieta de individuos machos y hembras de lobo marino común muestreados en la Décima Región, basados en los valores isotópicos de piel.

5.3.4 Variación de la dieta de acuerdo a la clase de edad

De acuerdo a los valores isotópicos de pelo, el Grupo 5 fue el ítem presa de mayor contribución porcentual en la dieta de las cuatro categorías de edad (Figura 28). Machos adultos y juveniles fueron quienes mostraron un mayor consumo de este ítem, siendo significativamente mayor al consumo mostrado por las hembras (machos adultos-hembras: U = 2108, P = 0,049; juveniles-hembras: U = 798,5, P = 0,047). El Grupo 4, por su parte, fue el ítem presa que siguió en importancia. En este caso, sólo las hembras y juveniles presentaron diferencias significativas entre sí en el consumo de este ítem (U = 795,5, P = 0,047). Con respecto al Grupo 1, los machos adultos consumieron con mayor intensidad sobre este ítem que las hembras (U = 1568,5, $P < 0,0001$), y éstas a su vez que los juveniles (U = 707, P = 0,011).

Cabe destacar que los machos adultos y las hembras presentaron diferencias significativas en la contribución porcentual de todos los ítem presa, a excepción del grupo 4, que fue consumido de forma similar por ambos sexos (U=2571,5; P = 0,819). Una tendencia similar fue encontrada en la dieta de hembras y juveniles, que presentaron diferencias significativas en todos los ítem excepto en el grupo 3 (U=848,5, P = 0,098) que fue consumido por ambas clases de edad con similar intensidad.

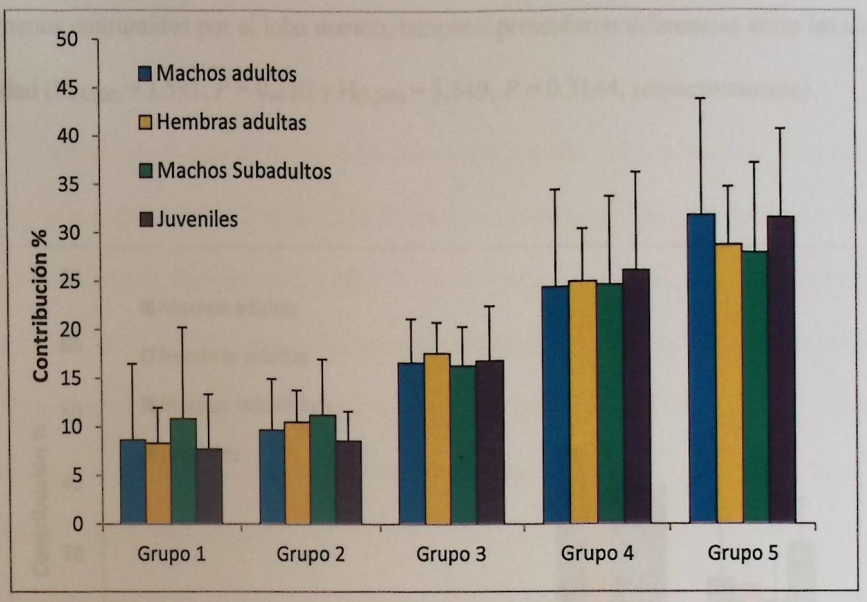


Figura 28: Contribución porcentual de los distintos grupos de presas en la dieta de las diferentes clases de edad del lobo marino común muestreados en la Décima Región, basados en los valores isotópicos de pelo

A diferencia del análisis en base al pelo, en la piel el grupo mayormente consumido por todas las clases de edad fue el Grupo 4 (Figura 29). En este caso, los juveniles mostraron un consumo significativamente menor de este grupo en comparación a las demás clases de edad restantes (J-MA: U=227,5, P = 0,010; J-HA: U=505,5, P < 0,001; J-MSA: U= 109.5, P < 0.001) (Figura 27). En tanto, el Grupo 5 fue el que siguió en importancia. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el consumo de este ítem presa entre las distintas clases de edad ($H_{(3,200)}$ = 3.03, P = 0.3869). Los Grupos 1 y 2, que fueron

los menos consumidos por el lobo marino, tampoco presentaron diferencias entre las clases de edad ($H_{(3,200)} = 3.591$, $P = 0{,}310$ y $H_{(3,200)} = 3.549$, $P = 0.3144$, respectivamente).

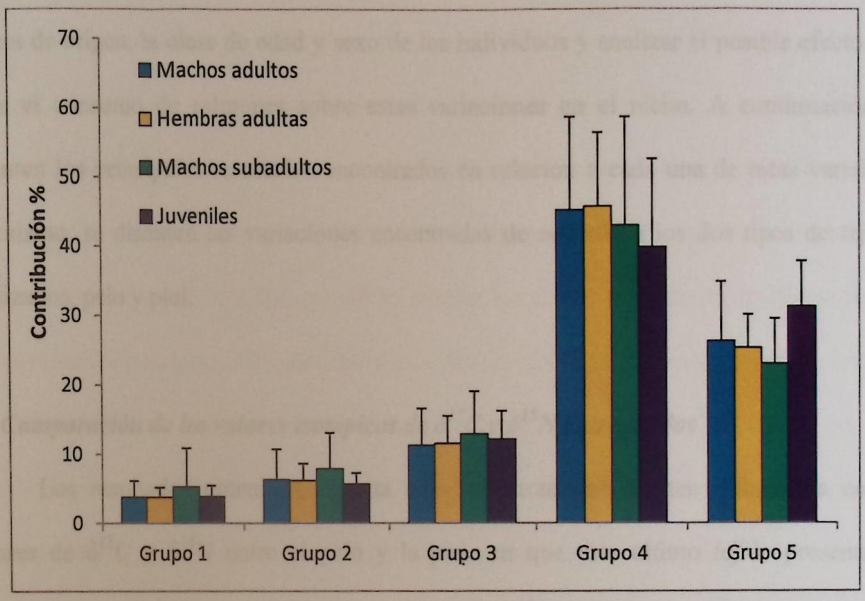


Figura 29: Contribución porcentual de los distintos grupos de presas en la dieta de las diferentes clases de edad del lobo marino común muestreados en la Región de Los Lagos, basados en los valores isotópicos de piel.

6.- DISCUSION

El objetivo de esta tesis fue analizar la variación del nicho trófico del lobo marino común en la Región de Los Lagos, Chile, con respecto a la época del año, la ubicación de la lobera de origen, la clase de edad y sexo de los individuos y analizar el posible efecto que tiene el consumo de salmones sobre estas variaciones en el nicho. A continuación se discuten los principales resultados encontrados en relación a cada una de estas variables. Asimismo, se discuten las variaciones encontradas de acuerdo a los dos tipos de tejidos analizados, pelo y piel.

6.1 Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ entre tejidos

Los resultados obtenidos en esta tesis muestran que existen diferencias en los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ entre el pelo y la piel, en que este último tejido presenta un enriquecimiento de ambos isótopos. Para el caso del $\delta^{15}N$, un enriquecimiento en la piel ha sido descrito previamente por otros autores en esta misma especie (Pavez 2012, Muñoz 2013, Muñoz *et al.* en revisión). De acuerdo a estos autores, estas diferencias se deberían a que ambos tejidos presentan diferencias en sus tasas metabólicas. Mientras que la piel es un tejido altamente inervado que se recambia en forma continua (Hicks *et al.* 1985), el pelo es un tejido inerte con una tasa metabólica lenta (Tieszen *et al.* 1983). Estas diferencias en la composición bioquímica se traduce en una diferencia en la tasa de recambio isotópico que presenta cada uno de los tejidos (Hückstädt *et al.* 2007). De acuerdo a lo señalado por algunos autores, la firma isotópica de la piel refleja la dieta consumida por el animal en los últimos 3 meses o menos (Kurle & Worthy 2001). El pelo por el contrario, representa el

período de crecimiento después de la muda (Orr *et al.* 2011), que en el caso del lobo marino común se produce en los meses de otoño (L. Hückstädt *com. pers.*). Dado que los muestreos se realizaron en los meses de marzo y julio, es de esperar por tanto que los valores isotópicos de la piel representen la dieta consumida en verano y en otoño-invierno.

Una potencial explicación a un mayor enriquecimiento de $\delta^{15}N$ en la piel podría estar relacionada con la época reproductiva y el ayuno de los individuos (ver más adelante). Alternativamente, mayores valores de este isótopo podrían estar relacionados con el consumo diferencial de presas. El análisis de la dieta consumida por los lobos marinos realizado en este estudio indica que efectivamente los animales presentaron diferencias en la contribución porcentual de cada ítem presa, siendo considerablemente mayor el consumo de merluza austral, merluza común, tollo, sierra, corvina y jurel (Grupo 4) para piel, mientras que para pelo, las presas más consumidas fueron congrio dorado, pejegallo, cabrilla y rollizo (Grupo 5), que están ligeramente menos enriquecidas en $\delta^{15}N$.

A diferencia de lo señalado por Pavez (2012) y Muñoz (2013), en esta tesis se encontraron diferencias significativas en los valores de $\delta^{13}C$ entre piel y pelo, con un mayor enriquecimiento en este último tejido. En general, se encuentró una alta variabilidad en los valores de este isótopo en el pelo de los lobos marinos muestreados. Resultados similares a los encontrados en este estudio fueron señalados por Hückstädt *et al.* (2007) en lobos marinos de la zona centro-sur y por Sepúlveda *et al.* (en revisión) en lobos marinos del área de estudio, quienes también encuentran una alta variabilidad, tanto intra como inter-individual, en los valores de $\delta^{13}C$ de los animales muestreados. Estos resultados sugieren que en los meses de otoño esta especie se alimenta en distintas zonas y posiblemente de distintos tipos de presas (ver más adelante), lo que concuerda con la biología de estos

animales, quienes en estos meses se concentran en recuperar la condición disminuida luego de la época reproductiva (Sepúlveda *et al.* 2011).

6.2 Importancia de los salmónidos en la dieta de los lobos marinos

Contrario a lo esperado, y a lo predicho inicialmente, los salmónidos de cultivo no presentaron una contribución porcentual importante dentro de la dieta de los lobos marinos, si no que pasaron a ser el cuarto grupo en importancia. Estos resultados son altamente contrastantes a lo señalado por Pavez (2012) y por Sepúlveda *et al.* (en revisión) quienes encuentran que el salmón es uno de los principales ítems dietarios del lobo marino en la Región de Los Lagos, alcanzando cerca de un 30% de contribución en la dieta.

Este cambio drástico en la composición de la dieta puede atribuirse a la enorme crisis sanitaria y económica que sufrió la salmonicultura hacia comienzos del año 2009 debido a la Anemia Infecciosa del Salmón (Infectious salmon anemia, ISA, en inglés), que provocó disminuciones en la producción de salmones en cerca de un 50% en la Región de Los Lagos y que obligó a las empresas a trasladarse a aguas más australes, hacia la Región de Aysen (Niklitschek *et al.* 2013). Esta disminución en la producción y consecuente cierre de numerosos centros de cultivo, especialmente en la zona de Chiloé podría haber afectado a los lobos marinos que se alimentaban de este ítem dietario, obligándolos a buscar nuevas fuentes de alimento. De hecho, Sepúlveda *et al.* (en revisión) en un análisis de la variación de la dieta a nivel intra-individual por medio del análisis de vibrisas, muestra que dos animales que se alimentaban casi exclusivamente de salmones, a comienzos del año 2009 cambian drásticamente su dieta hacia especies nativas. En este sentido, lo encontrado en este estudio y en comparación a lo registrado por Pavez (2012) podría estar dando cuenta

de la situación pre y post crisis de la salmonicultura en la Décima Región. Situaciones similares a lo encontrado en este estudio, donde el lobo marino ha sido capaz de modificar su dieta en respuesta a variaciones en la abundancia de distintas presas han sido registradas en la zona centro-sur del país (George-Nascimento *et al.* 1985, Hückstädt *et al.* 2007, Quiñones *et al.* 2011).

Es importante señalar, sin embargo, que en este estudio se registraron algunas excepciones, con individuos que presentaron una contribución porcentual de salmónidos en más del 20% de su dieta. Como se discutirá más adelante, esto puede estar relacionado con una especialización trófica como un modo de evitar la competencia intraespecífica.

6.3 Variación del nicho isotópico de acuerdo a la estación del año

Una de las principales predicciones de este estudio es que el nicho trófico de los lobos marinos sería menor en invierno, debido a que en esta época del año los animales muestran un mayor consumo de salmones (Pavez 2012), y por tanto diminuiría su nicho trófico. Los resultados obtenidos rechazaron esta predicción, ya que el cálculo del área total (AT) fue mayor en invierno, lo que demuestra un nicho trófico mayor en esta época del año. Durante los meses de invierno los lobos marinos se dispersan hacia otros lugares de la Región en busca de alimento y descanso (Oliva *et al.* 2012). De hecho, Sepúlveda *et al.* (en revisión) demuestran que en invierno los lobos marinos son capaces de realizar viajes de alimentación de hasta 120 km, y que se mueven tanto en la zona expuesta como protegida de la Región de Los Lagos. De este modo, es posible que los animales tengan acceso a una mayor diversidad de presas, lo que contribuiría a ampliar su nicho trófico. Por el contrario, en verano los animales se encuentran en su época reproductiva (Acevedo *et al.* 2003). En

este período los machos se encuentran defendiendo su territorio, por lo que prácticamente no se alimentan (Sepúlveda *et al.* 2001). Las hembras sí bien realizan los denominados viajes de alimentación, estos no suelen durar más de un día ya que deben regresar pronto a alimentar a sus crías (Muñoz *et al.* 2011). Estas conductas por lo tanto permiten inferir que durante los meses de verano los animales tienen un menor acceso a distintas presas, lo que disminuiría su amplitud de nicho trófico.

Similares resultados a los encontrados en esta tesis fueron reportados por Cherel *et al.* (2007) en el lobo fino antártico (*Arctocephalus gazella*) y en el lobo fino sub-antártico (*A. tropicalis*). Si bien en ambas especies los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ no mostraron diferencias entre las distintas épocas del año, el nicho isotópico de invierno fue más amplio que el de verano. De acuerdo a estos autores, esto se debería a que durante el invierno, estas especies ya no se ven tan limitadas a alimentarse en zona cercanas a sus colonias reproductivas, y se dispersarían hacia zonas más distantes.

En relación a los valores isotópicos encontrados en los lobos marinos en verano e invierno, se tiene que para el caso del $\delta^{13}C$ los valores fueron similares en ambas épocas del año. Estos resultados confirman lo descrito por Pavez (2012) quien determinó que no existe una variación en el $\delta^{13}C$ entre estaciones. Tanto los resultados de Pavez (2012) como los del presente trabajo, sugieren que los lobos marinos de la Región de los Lagos muestreados no están cambiando significativamente su área de alimentación.

Para el caso del $\delta^{15}N$ sí se encontraron diferencias estacionales, en que los animales mostraron valores más enriquecidos de este isótopo durante los meses de verano. Una posible explicación a estas diferencias se relaciona con la contribución porcentual de las presas en la dieta del lobo marino en las distintas épocas. Durante los meses de invierno, las

presas mayormente consumidas fueron congrio dorado, pejegallo, cabrilla y rollizo (Grupo 5). Además, aumentó el consumo de múnida, salmónidos, róbalo, pejerrey y sardina (Grupos 1, 2 y 3). En contraste, en verano las presas más consumidas fueron la merluza austral, merluza común, tollo, sierra, corvina y jurel (Grupo 4). Estas últimas presas, a diferencia de los demás grupos se encuentran más enriquecidas en $\delta^{15}N$, lo que explicaría los valores más altos de este isótopo en los tejidos del lobo marino común.

Una explicación alternativa a los mayores valores de $\delta^{15}N$ en los tejidos de los lobos marinos en verano puede estar relacionada con la época reproductiva y el ayuno de los individuos. De acuerdo a lo señalado por Hobson (1993) en un estudio realizado en aves, se encontró que en los períodos de ayuno se produce una acumulación de $\delta^{15}N$ en los tejidos. Esto se debería a un estrés nutricional provocado por el catabolismo de proteínas de tejidos magros, como es el caso del músculo y la eliminación de desechos más enriquecidos en el isótopo liviano (^{14}N), con la consecuente retención del isótopo más pesado (^{15}N) (Newsome *et al.* 2010). En base a esto, y debido a que parte de los animales muestreados, especialmente los machos, permanecen en ayuno por un período de 2-3 meses durante la época reproductiva, es esperable que los valores de $\delta^{15}N$ en los tejidos incrementen por este estrés nutricional.

Por otro lado, la homogeneidad encontrada en ambas estaciones en los hábitos tróficos de los lobos marinos (verano DC: 0,7 DVC: 0,1 invierno DC: 0,9 DVC: 0,2) difiere a lo encontrado por Muñoz (2013), quien registró una alta variabilidad en la dieta de esta especie entre individuos, por lo que los hábitos tróficos de la población en este estudio serían más homogéneos. Esta diferencia podría deberse a la poca especificidad que presentan las métricas de la distancia media al centroide y la distancia media entre vecinos

cercanos ya que podrían ser métricas poco precisas, no reflejando con exactitud los hábitos tróficos reales que presentan las comunidades estudiadas (Jackson *et al.* 2011).

6.4 Variación del nicho isotópico de acuerdo a la ubicación geográfica de la lobera de origen

De acuerdo a lo predicho inicialmente, se esperaba que los animales de la zona interior mostraran un nicho trófico de menor amplitud debido a un mayor consumo de salmónidos. Contrario a lo predicho, los lobos marinos de la zona interior presentaron un nicho considerablemente más amplio que los de la zona exterior, tanto en el análisis de pelo como de piel. De manera similar, la DC de los lobos marinos de la zona interior fue mayor, lo que indica que en esta zona los animales poseen hábitos tróficos más heterogéneos.

En la zona interior existe una mayor variedad de especies que en la zona exterior (Soto *et al.* 1997), de forma que existe una mayor oferta trófica que eventualmente genera una mayor diversidad en la dieta de los lobos marinos. Además, la presencia de salmones de cultivo, con firmas de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ significativamente más empobrecidas que las presas nativas, otorgan un mayor rango en el espectro isotópico que incrementa el error de estimación de la amplitud de nicho o área total (AT). De hecho, y tal como se visualiza en la Figura 14, la mayor amplitud de nicho de la zona interior se debió a algunos individuos que mostraron un mayor consumo de salmones, y por tanto valores más empobrecidos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$; esto no se detectó en animales de la zona exterior. Esto hace que el AT aumente considerablemente y explique, al menos en parte, los resultados esperados. Uno de los inconvenientes de esta métrica, es que es fuertemente influenciada por los valores extremos, lo que puede sobreestimar los valores de este índice (Jackson *et al.* 2011). Por

otro lado, el número de individuos muestreados en la zona interior fue mayor que los de la zona exterior (140 y 89 respectivamente) lo que pudo afectar el cálculo del AT ya que según lo encontrado por Darimont *et al.* (2009) y Zambrano *et al.* (2010), existe una relación positiva entre el AT y el número de observaciones.

Al comparar los valores isotópicos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ entre las zonas interior y exterior se tiene que, tanto en pelo como en piel, los valores de $\delta^{13}C$ fueron similares entre ambas zonas. No obstante, la zona interior mostró un RC mayor que la zona exterior, lo que podría estar explicado porque la zona interior está fuertemente influenciada por la presencia de ríos, que se caracterizan por tener valores más empobrecidos de $\delta^{13}C$ (Fry 2006).

Para el caso del $\delta^{15}N$, los animales de la zona interior se encontraron significativamente más empobrecidos en los valores de este isótopo respecto a los de la zona exterior. Al menos tres hipótesis alternativas podrían estar dando cuenta de estas diferencias. Por un lado, los animales de la zona exterior mostraron un consumo significativamente mayor de presas del Grupo 4, compuesto por especies tales como merluza, tollo, sierra, jurel, que poseen valores de $\delta^{15}N$ mayores que todos los demás grupos, lo que ocasionaría un enriquecimiento en los valores de este isótopo en los animales de la zona exterior, respecto de los de la interior. En segundo lugar, una fracción de los animales muestreados en la zona interior mostró una alta contribución de salmónidos en su dieta. Los salmones de cultivo se encuentran fuertemente empobrecidos en $\delta^{15}N$ debido a que los pellets con que son alimentados tienen un alto porcentaje de nutrientes de origen vegetal (e.g. trigo, maíz) (Hardy & Castro 1994, Daroch 2002), que ocasionan una disminución en los valores de este isótopo. Finalmente, aunque para los lobos marinos en forma directa el salmón no sea un ítem dietario relevante, la firma isotópica de esta presa

puede ser incorporada en este depredador de manera indirecta. De acuerdo a lo mencionado por Buschmann & Pizarro (2001) sólo el 25% de los pellets son asimilados por los salmones, mientras que el 75% restante es depositado en el bentos o permanece en la columna de agua. De este modo, el nitrógeno proveniente de la salmonicultura puede ser asimilado por micro y macroalgas e ingresar de este modo a las tramas tróficas marinas.

6.5 Variación del nicho isotópico de acuerdo al sexo

Al analizar potenciales variaciones en la amplitud de nicho entre machos y hembras se encontró que en el análisis de la piel los machos mostraron una amplitud de nicho significativamente mayor (cerca del doble) que las hembras, lo que sugiere que estas últimas se alimentan de una menor diversidad de presas que los machos. Esto coincide con los índices de distancia media al centroide (DC) y distancia media entre vecinos cercanos (DVC), que muestra que las hembras presentaron menores índices que los machos, indicando que estos últimos poseen hábitos tróficos disimiles entre sí, mientras que las hembras poseen hábitos tróficos más homogéneos. Sin embargo, tanto los resultados de la composición de la dieta como lo señalado pór Pavez (2012) indican que no existen diferencias entre ambos sexos en el consumo de presas.

Es posible que tanto las diferencias en la amplitud de nicho como la mayor disimilitud en los hábitos tróficos se deban a que los machos están consumiendo presas que no fueron consideradas en el presente estudio. Aunque se desconoce las distancias de desplazamiento y capacidad de buceo de los machos adultos en Chile, estudios realizados en Argentina muestran que los machos tienen mayores capacidades fisiológicas que las hembras, por lo que son capaces de alejarse más de la costa y bucear a mayores

profundidades (Campagna *et al.* 2001). En este sentido, es de esperar que los machos tengan acceso a una mayor diversidad de presas que las hembras. En forma anecdótica además, se ha visto que en la actualidad los machos subadultos y adultos ingresan por los ríos en busca de salmones Chinook (Roberto Berndt, observación personal), lo que ejemplifica el potencial mayor espectro de presas consumidas y un consecuente aumento de su nicho trófico (Sigler *et al.* 2009).

Las hembras en contraste deben pasar 8-10 meses lactando a su cría (Thompson *et al.* 1998, Cappozzo & Perrin 2009), por lo que están obligadas a realizar viajes cortos de alimentación, posiblemente a menores distancias que los machos, lo que las restringe en la búsqueda de otros tipos de presas. Sepúlveda *et al.* (en revisión) muestran que las hembras suelen alimentarse en los mismos lugares en viajes sucesivos de alimentación. Esta fidelidad a las zonas de alimentación ha sido recientemente demostrada para esta misma especie en la costa Atlántica (Riet-Sapriza *et al.* 2013, Rodríguez *et al.* 2013), así como para otras especies de pinnípedos (e.g. Boyd *et al.* 1998, Bonadonna *et al.* 2001, Hamer *et al.* 2001, Boyd *et al.* 2002, Robson *et al.* 2004). Una fidelidad al sitio, que permite a la hembra una mayor probabilidad de éxito en el forrajeo, puede determinar una menor variabilidad de presas consumidas.

En relación a los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ entre machos y hembras, se encontró que para el caso de la piel no mostraron diferencias significativas. No obstante, en el caso del pelo, los machos mostraron valores de $\delta^{15}N$ significativamente más enriquecidos que las hembras, lo que sugiere que estarían consumiendo presas de un nivel trófico mayor. De hecho, los resultados en el análisis de pelo muestran que los machos consumen un mayor porcentaje de presas de alto nivel trófico, como es el caso del pejegallo, cabrilla y rollizo

(Grupo 5). En contraste, las hembras mostraron un mayor consumo de presas de menor nivel trófico, como por ejemplo múnida, salmones de cultivo, pejerrey, sardina austral (Grupos 1 a 3).

Es interesante señalar que, pese a que no fue uno de los ítems más consumido por los lobos marinos, se encontró que las hembras mostraron un mayor consumo de salmones que los machos. Este hallazgo difiere a lo encontrado por Pavez (2012), quien no encontró diferencias en el consumo de este ítem entre machos y hembras. No obstante, concuerda con lo señalado por Vilata (2008) quien encuentra que son las hembras, y no los machos, las que tienen un mayor grado de interacción con la salmonicultura. Como ya fue señalado anteriormente, durante sus viajes de alimentación las hembras deben encontrar parches de alimento en un corto tiempo. En este sentido, la alta predictibilidad espacial de los centros de cultivo de salmones puede representar una fuente especialmente atractiva para las hembras, quienes ven en la salmonicultura una forma fácil y rápida de obtener su alimento (Sepúlveda *et al.* en revisión).

6.6 Variación del nicho isotópico de acuerdo a la clase de edad

Al comparar la amplitud de nicho entre las cuatro clases de edad consideradas, se encontró que los juveniles mostraron una amplitud significativamente menor a la de las demás clases de edad, lo que indica que consumen una menor diversidad de presas y que se alimentan en un área más restringida. Esto podría ser explicado porque los juveniles presentan una capacidad de buceo y de desplazamiento limitados (Sepúlveda *et al.* en revisión, Hevia 2013), por lo que no serían capaces de realizar viajes de alimentación tan

extensos como las otras clases de edad, limitando su nicho trófico al área cercana a la lobera donde habitan.

Lo anterior se corrobora con los valores de $\delta^{13}C$ encontrados en este grupo, ya que los juveniles presentaron valores significativamente más enriquecidos en este isótopo, y a su vez con un menor rango de variación. Valores enriquecidos de $\delta^{13}C$ indican que el depredador se alimenta en zonas costeras y/o que tiene hábitos más bentónicos (Fry 2006, Karasov & Martínez del Río 2007). En este sentido entonces, se deduce que los juveniles del lobo marino común en el sur de Chile tendrían una dieta compuesta mayormente por presas costeras bentónicas, en comparación a animales de mayor tamaño. Resultados similares fueron reportados por Elorriaga-Verplancken *et al.* (2013) en el lobo marino de California (*Zalophus californianus*), quienes encontraron que los juveniles presentaron una dieta basada en presas costeras bentónicas y no pelágicas como el resto de la población de la misma especie. Al analizar la composición de la dieta de los juveniles, se tiene que el principal ítem dietario correspondió al Grupo 5, compuesto por el congrio dorado, el pejegallo, la cabrilla y el rollizo. Estas cuatro especies se encuentran altamente enriquecidas en $\delta^{13}C$, en comparación a las otras presas analizadas.

En cuanto a las variaciones en el $\delta^{15}N$, se tiene que los juveniles mostraron valores similares de este isótopo con todas las clases de edad, con la excepción de las hembras, quienes mostraron valores más empobrecidos de nitrógeno. Debido a que tanto las hembras (por su restricción debido a la lactancia de sus crías en tierra) como los juveniles (debido a restricciones fisiológicas) están obligados a permanecer cerca de la costa, es posible que esta segregación trófica en los valores de $\delta^{15}N$ sea una estrategia para evitar la competencia intraespecífica. De acuerdo a los resultados de composición de dieta, se tiene que ambas

clases de edad difirieron en la contribución porcentual de todos los ítems presa, a excepción de las presas del Grupo 3 (robalo, pejerrey de mar y sardina austral), lo que apoyaría esta hipótesis. Una potencial segregación trófica como un modo de evitar la competencia también ha sido sugerido para este misma especie por Muñoz (2012) y Sepúlveda *et al.* (en revisión), y para otras especies de mamíferos marinos, como en la foca elefante del sur *Mirounga leonina* (Lewis *et al.* 2006, Hückstädt *et al.* 2012), en el lobo marino de California (Elorriaga-Verplankten *et al.* (2013), y en la nutria de California *Enhydra lutris* (Estes *et al.* 2003).

En relación a las otras clases de edad, se encontró que tanto machos adultos como subadultos presentaron valores de $\delta^{15}N$ enriquecidos. Tal como fue señalado anteriormente, estos resultados estarían explicados por un consumo de presas de mayor nivel trófico. En estas dos categorías de edad, el área total del nicho se vio incrementado por aquellos individuos que consumieron un mayor porcentaje de múnida y salmónidos. Aunque estos ítems dietarios no presentan una contribución relevante en la dieta de los lobos marinos en su conjunto, sí permiten dar cuenta de una mayor diversificación de la dieta.

6.7 Alcances y proyecciones de este estudio

Aunque ya se habían realizado estudios previos en estimaciones de dieta en base a los isótopos estables, este es el primer estudio que utiliza esta técnica para determinar el nicho trófico de la especie y sus potenciales diferencias de acuerdo a las variables aquí analizadas. Esto se presenta como una valiosa herramienta para guiar nuevos estudios en lobos marinos y determinar cómo su ecología trófica puede variar en respuesta a la introducción de nuevas especies o por el contrario, a la disminución y eventual extinción de

otras. Considerando que existe una presión continua por regular las poblaciones de lobos marinos en Chile, este tipo de conocimiento se presenta como un gran aporte para entender el rol regulador del lobo marino en las tramas tróficas y el potencial impacto de la eliminación de este depredador tope.

Uno de los resultados más inesperados e interesantes fue el hecho de que los salmónidos ya no representen un ítem dietario relevante para el lobo marino en la Décima Región. Desafortunadamente se desconoce la composición de la dieta en animales de la Undécima Región, pero es posible predecir que la alta producción de salmónidos que se encuentra en desarrollo hoy en día en esa región tenga una fuerte repercusión en la dieta de los lobos marinos que allí habitan. Asimismo, si la salmonicultura logra re-establecerse en la Décima Región a los niveles de producción alcanzados previo al virus ISA, es posible predecir que los lobos marinos vuelvan a depredar fuertemente sobre estas especies. En este sentido, se recomienda la continuidad de este tipo de estudios, incorporando ahora animales de la Región de Aysen para analizar sus hábitos tróficos, y como esto en forma indirecta podría afectar a las demás especies que componen las tramas tróficas marinas del sur de Chile.

En conclusión, esta tesis puede tomarse un primer inicio en estudios de nicho trófico del lobo marino común en la zona sur del país y sus variaciones en respuesta a distintas variables como la época del año, la ubicación de la lobera y la clase de edad de los individuos. Es de esperar que futuros estudios continúen en esta línea y contribuyan a entender en mayor profundidad los efectos de los cambios en el ecosistema en la ecología trófica de este depredador tope.

7.- CONCLUSIONES

- Se registraron variaciones estacionales en el nicho trófico del lobo marino común de la Región de los Lagos, con un incremento de la amplitud de nicho en invierno y disminución en verano. En verano los lobos marinos mostraron hábitos tróficos con mayor similitud y en invierno los hábitos fueron más heterogéneos.

- En la comparación entre las localidades de origen, se encontró que los lobos marinos de la zona interior de la Región de Los Lagos poseen un nicho isotópico más amplio y hábitos tróficos más heterogéneos que los lobos marinos de la zona exterior.

- En la comparación entre sexos, se encontró que los lobos marinos machos presentan un nicho isotópico considerablemente más amplio que el de las hembras, y a su vez presentan hábitos tróficos más diversos entre los individuos.

- En la comparación entre clases de edad, los juveniles mostraron un nicho isotópico más restringido, tanto en el pelo como en la piel, en comparación a las demás clases de edad. Los machos, tanto adultos como subadultos presentaron el nicho más amplio. Las hembras por su parte, presentaron un nicho de tamaño intermedio y poseen los hábitos tróficos más homogéneos entre las cuatro clases de edad.

- Se registraron diferencias en los valores de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ entre el pelo y la piel. La piel mostró un mayor enriquecimiento de $\delta^{15}N$ mientras que el pelo mostró un mayor enriquecimiento de $\delta^{13}C$.

- Las principales especies que constituyen la dieta del lobo marino común en la Décima Región de los Lagos fueron la merluza austral, la merluza común, el tollo, la sierra, la corvina y el jurel en el análisis de piel, mientras que el congrio dorado, el pejegallo, la cabrilla y el rollizo para el pelo. Variaciones en el consumo de estas presas dan cuenta de las diferencias en los nichos tróficos registrados para cada una de las variables analizadas.

- Contrario a lo esperado, los salmónidos no representaron un ítem dietario importante para el lobo marino común en el área de estudio.

- Se recomienda continuar con este tipo de estudios y ampliarlos hacia la Undécima Región, con el fin de comprender las consecuencias del desarrollo de la salmonicultura sobre la ecología trófica del lobo marino común y sobre la trama trófica de la cual este depredador forma parte.

8.- LITERATURA CITADA

Acevedo JR, A Aguayo-Lobo & W Sielfeld. 2003. Eventos reproductivos del león marino común, *Otaria flavescens* (Shaw 1800), en el norte de Chile (Pacífico suroriental). Revista de Biología Marina y Oceanografía 38(2): 69-75.

Arismendi I, D Soto, B Penaluna, C Jara, C Leal & J León-Muñoz. 2009. Aquaculture, non-native salmonid invasions and associated declines of native fishes in Northern Patagonia lakes. Freshwater Biology 54: 1135 – 1147.

Aursand M, F Mabon & GJ Martin. 2000. Characterization of farmed and wilds salmon (*salmo salar*) by a Combined use of compositional and isotopic analyses. JAOCS 77(6).

Balter V, L Simon, H Fouillet & C Lécuyer. 2006. Box modeling of 15N/14N in mammals. Oecología 147: 212-222.

Bartheld JL, H Pavés, F Contreras, C Vera, C Manque, D Miranda, D Sepúlveda, P Artacho & L Ossman. 2008. Cuantificación poblacional de lobos marinos en el litoral de la I a IV Región, 124 pp. Informe Final Proyecto FIP 2006-50.

Basualto S. 2003. El largo viaje de los salmones: una crónica olcidada, propagación y cultivo de especies acuáticas en Chile, Maval Limitada Editores, Santiago, Chile, 102 pp.

Bearhop S, CE Adams, S Waldron, RA Fuller & H Macleod. 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. Journal of Animal Ecology 73: 1007 – 1012.

Beyer HL, Merrill EH, V Nathan & MS Boyce. 2007. Willow on yellowstone's northern range: Evidence for a trophic cascade? Ecological Applications 17:1563–1571

Bonadonna F, Lea M.A, Dehorter O & Guinet C. 2001. Foraging ground fidelity and route-choice tactics of a marine predator: the Antarctic fur seal *Arctocephalus gazella*. Marine Ecology Progress Series 223: 287–297.

Boyd I, McCaffeerty L, Reid D.J, Taylor K, & T.R Walker. 1998. Dispersal of male and female Antarctic fur seals (Arctocephalus gazella). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55, 845–852

Boyd I, Staniland IJ & AR Martin. 2002. Distribution of foraging by Antarctic fur seals. Marine Ecology Progress Series 242: 285–294

Buschmann AH & R Pizarro. 2001. El costo ambiental de la salmonicultura en Chile. Análisis de Políticas Publicas, 5: 1-7.

Buschmann AH, F Cabello, K Young, J Carvajal, DA Varela & L Henríquez. 2009. Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. Ocean & Coastal Management 52: 243-249.

Buschmann AH, VA Riquelme, MC Hernández-Gonzalez, D Varela, JE Jiménez, LA Henríquez, PA Vergara, R Guiñez & L Filún. 2006. A review of impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeas Pacific. Journal of Marine Science 63: 1338-1345.

Carrara I. 1952. Lobos marinos, pingüinos y guaneras de las costas del litoral marítimo e islas adyacentes de la República Argentina. Ministerio de Educación, Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, 200 pp.

Campagna C, R Werner, W Karesh, MR Marín, F Koontz, R Cook & C Koontz. 2001. Movements and location at the sea of South American sea lions (*Otaria flavescens*). Journal of Zoology, London 257: 205-220.

Capella JJ, L Flórez-González, P Falk-Fernández & DM Palacios. 2002. Regular appearance of otariid pinnipeds along the Colombian Pacific coast. Aquatic Mammals 28(1): 67-72.

Cappozzo HL & WF Perrin. 2009. South American sea lion *Otaria flavescens*. *In*: Perrin WF, B Würsig & JGM Thewissen (eds). Encyclopedia of Marine Mammals: 1076-1079. Academic Press/Elsevier, Amsterdam.

Caut S, E Angulo & F Courchamp. 2008. Discrimination factors (Δ15N and Δ13C) in an omnivorous consumer: effect of diet isotopic ratio. Functional Ecology 22: 255-263.

Cherel Y, KA Hobson, C Guinet & C Vanpe. 2007. Stable isotopes document seasonal changes in trophic niches and winter foraging individual specialization in diving predators from the Southern Ocean. Journal of Animal Ecology 76: 826-836.

Crawford K, RA McDonald & S Bearhop. 2008. Applications of stable isotope techniques to the ecology of mammals. Mammal Review 38(1): 87 – 107.

Crespo E, D Oliva, S Dans & M Sepúlveda. 2012. Estado de situación del Lobo marino común en su área de distribución. Universidad de Valparaíso Editorial, Valparaíso.

Dans S, W Sielfeld, A Aguayo, G Giardino & MA Mandiola. 2012. Estado y tendencia de las poblaciones. En: Crespo E, D Oliva, S Dans & M Sepúlveda (eds). Estado de situación del Lobo marino común en su área de distribución, pp. 18-35. Editorial Universidad de Valparaíso, Valparaíso.

Darimont CT, Paquet PC & TE Reimchen. 2009. Landscape heterogeneity and marine subsidy generate extensive intrapopulation niche diversity in a large terrestrial vertebrate. Journal of Animal Ecology 78: 126–133.

Daroch ES. 2002. Sustitución parcial de la harina de pescado por harina de haba (*Vacia faba* var. *minor* (Harz) Beck) en la formulación de alimento para salmónidos. Tesis de Licenciado en Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, 106 pp.

Davenport SR & NJ Bax. 2002. A trophic study of marine ecosystem off southern Australia using stable isotopes of carbon and nitrogen. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59: 514-530.

De la Torriente A, RA Quiñones, DA Miranda-Urbina & F Echevarría. 2010. South American sea lion and spiny dogfish predation on artisanal catches of southern hake in fjords of Chilean Patagonia. ICES Journal of Marine Science Advance Access 67 (2): 294-303.

Duran R, D Oliva, M Sepúlveda & A Urra. 2011. Interacción entre el lobo marino común y la salmonicultura en Chile: buenas prácticas para su mitigación. Editorial Universidad de Valparaíso, 58 pp.

Elorriaga-Verplancken F, D Auriles-Gamboa, SD Newsome & SF Martinez-Díaz. 2013. Δ15N and δ13C values in dental collagen as a proxy for age- and sex-related variation in foraging strategies of California sea lions. Marine Biology 160: 164 – 152.

Estes JA, Riedman ML, Staedler MM, Tinker MT & Lyon BE. 2003. Individual variation in prey selection by sea otters: patterns, causes and implications. Journal Animal Ecology 72:144–155

FAO. 2012. Fishery and Aquaculture Statistics 2010. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, Italy

Félix F. 2002. Una colonia de lobos marinos sudamericanos (*Otaria flavescens*) en Salinas, Ecuador. Acta Oceanográfica del Pacífico 11(1): 181-184.

Figueroa R, VH Ruiz, P Berrios, A Palma, P Villegas & A Andreau-Soler. 2010. Trophic ecology of native and introduced fish species from the Chillán River, South-Central Chile. Journal of Applied Ichthyology 26: 78 – 83.

France RL. 1999. Carbon-13 enrichment benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. Marine Ecology Progress Series 124: 307-312.

Fry B. 2006. Stable isotope ecology, 308 pp. Springer, New York.

George-Nascimento M, R Bustamante & C Oyarzún. 1985. Feeding ecology of the South American sea lion *Otaria flavescens*: food contents and food selectivity. Marine Ecology Progress Series 21: 135-143.

Gibbs S, RG Harcourt & CM Kemper. 2011. Niche differentiation of bottlenose dolphin species in South Australia revealed by stable isotopes and stomach contents. Wildlife Research 38: 261 – 270.

Goetz S, M Wolff, W Stotz & MJ Villegas. 2008. Interactions between the South American sea lion (*Otaria flavescens*) and the artisanal fishery off Coquimbo, northern Chile. ICES Journal of Marine Science 65: 1739-1746.

Grosholz E. 2002. Ecological and evolutionary consequences of coastal invasions. Trends in Ecology & Evolution 17(1): 22 -27.

Hamilton J. 1934. The southern sea lion, *Otaria byronia* (de Blainville). Discovery Reports Cambridge, 8: 269-318.

Hamer, K.C., Phillips, R.A., Hill, J.K., Wanless, S., and Wood, A.G. 2001. Contrasting foraging strategies of gannets *Morus bassanus* at two North Atlantic colonies: foraging-trip duration and foraging area fidelity. Marine Ecology Progress Series 224: 283–290.

Hansson S, JE Hobbie, R Elmgren, U Larsson, B Fry & S Johansson. 1996. The stable nitrogen isotope ratio as a marker of food-web interactions and fish migration. Ecology 78: 2249 – 2257.

Hardy RW & E Castro. 1994. Characteristics of the Chilean salmonid feed industry. Aquaculture 124(1-4): 307-320.

Hevia K. 2013. Áreas de alimentación del lobo marino común *Otaria flavescens* en la zona norte de Chile. Tesis Pregrado Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, 151 pp.

Hicks BD, DJS Aubin, JR Geraci & WR Brown. 1985. Epidermal growth in the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. The Journal of Investigative Dermatology 85: 60-63.

Hobson KA. 1993. Trophic relationships among high Arctic seabirds: insights from tissue-dependent stable-isotope models. Marine Ecology Progress Series 95: 7-18.