

**FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA
SUBSECRETARIA DE PESCA Y
ACUICULTURA**

INFORME FINAL

PROYECTO F.I.P. N° 2014 – 28

**ROL ECOLOGICO DEL LOBO MARINO
COMUN EN EL TERRITORIO Y AGUAS
JURISDICCIONALES CHILENAS**

Abril 2016

INTEGRANTES

Directora Proyecto:

Dra. Maritza Sepúlveda

Co-director:

Dr. Sergio Neira

Investigadores:

Doris Oliva

Dr. Hector Pavés

Guido Pavez

Macarena Santos

Ricardo Sarmiento

Muestreador terreno:

Luis Valencia

Asistentes:

Ana María Arriagada

Andrea Colilef

Tamara Martínez

Pamela Nuñez

INDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO.....	1
EXECUTIVE ABSTRACT.....	4
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	7
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
2. ANTECEDENTES.....	8
2.1 MARCO TEÓRICO GENERAL.....	8
2.2 ROL ECOLÓGICO DEL LOBO MARINO COMÚN.....	9
2.3 MODELOS ECOSISTÉMICOS.....	10
3. METODOLOGIA.....	12
3.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1. DETERMINAR LA COMPOSICIÓN DE LA DIETA DEL LMC EN LA COSTA DE CHILE.....	12
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2. CUANTIFICAR LOS REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS Y EL NIVEL DE CONSUMO DE PRESAS NECESARIO PARA SUSTENTAR LA POBLACIÓN DEL LMC EN CHILE.....	29
3.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 3. DETERMINAR EL NICHOS TRÓFICO DEL LMC Y EVALUAR SU SOBREPOSICIÓN CON LA PESCA.....	35
3.4 OBJETIVO ESPECÍFICO 4. MODELAR LA TRAMA TRÓFICA DE LOS ECOSISTEMAS Y EVALUAR SITUACIONES CON DIFERENTES ABUNDANCIAS Y ESTRUCTURAS POBLACIONALES DEL LMC.....	38
4. RESULTADOS.....	67
4.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1. DETERMINAR LA COMPOSICIÓN DE LA DIETA DEL LMC EN LA COSTA DE CHILE.....	67
4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 2. CUANTIFICAR LOS REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS Y EL NIVEL DE CONSUMO DE PRESAS NECESARIO PARA SUSTENTAR LA POBLACIÓN DEL LMC EN CHILE.....	85
4.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 3. DETERMINAR EL NICHOS TRÓFICO DEL LMC Y SU SOBREPOSICIÓN CON LA PESCA.....	96
4.4 OBJETIVO ESPECÍFICO 4. MODELAR LA TRAMA TRÓFICA DE LOS ECOSISTEMAS Y EVALUAR SITUACIONES CON DIFERENTES ABUNDANCIAS Y ESTRUCTURAS POBLACIONALES DEL LMC.....	105
5. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....	119
6. CONCLUSIONES.....	127
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	129
8. ANEXOS.....	142

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. FECHAS DE COLECTA DE MUESTRAS DE PIEL DE LOBOS MARINOS EN LA ZONA NORTE Y ZONA SUR, PARA LAS ESTACIONES DE VERANO E INVIERNO DE 2015.....	13
TABLA 2. NÚMERO DE MUESTRAS DE PIEL DE LOBOS MARINOS COMUNES COLECTADAS EN LA ZONA NORTE DE CHILE. MA: MACHOS ADULTOS, MSA: MACHOS SUBADULTOS; HA: HEMBRAS ADULTAS, J: JUVENILES; IND: INDETERMINADOS.	14
TABLA 3. NÚMERO DE MUESTRAS DE PIEL DE LOBOS MARINOS COMUNES COLECTADAS EN LA ZONA SUR DE CHILE. MA: MACHOS ADULTOS, MSA: MACHOS SUBADULTOS; HA: HEMBRAS ADULTAS, J: JUVENILES; INDET: INDETERMINADOS.	14
TABLA 4. LISTA DE ESPECIES DE PECES, MOLUSCOS Y CRUSTÁCEOS MUESTREADOS COMO POSIBLES PRESAS DEL LOBO MARINO COMÚN EN LA ZONA NORTE DE CHILE.	18
TABLA 5. LISTA DE ESPECIES DE PECES Y CRUSTÁCEOS CONSIDERADOS PARA EL ANÁLISIS DE DIETA DEL LOBO MARINO COMÚN EN LA ZONA SUR DE CHILE.	20
TABLA 6. NÚMERO DE MUESTRAS DE FECAS COLECTADAS EN LAS ZONAS NORTE Y SUR DE CHILE, PARA LAS ESTACIONES DE VERANO E INVIERNO DE 2015.....	23
TABLA 7. ESPECIES DE PRESAS COLECTADAS EN LAS ZONAS NORTE Y SUR PARA ANÁLISIS DE CALORIMETRÍA	29
TABLA 8. LISTA GENÉRICA DE GRUPOS FUNCIONALES A SER CONSIDERADOS EN LA MODELACIÓN DE LAS TRAMAS TRÓFICAS EN LAS QUE INTERVIENE EL LOBO MARINO COMÚN (LMC) EN LAS REGIONES NORTE Y SUR DE CHILE.	42
TABLA 9. MODELO BALANCEADO PARA EL SISTEMA DEL MAR INTERIOR DE CHILOÉ. FUENTE: PAVÉS <i>ET AL.</i> (2013) Y PAVÉS <i>ET AL.</i> (2015).	53
TABLA 10. MATRIZ DE DIETA CONSIDERADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO ECOSISTÉMICO DEL MAR INTERIOR DE CHILOÉ, REGIÓN DE LOS LAGOS.	55
TABLA 11. VALORES ISOTÓPICOS DE $\Delta^{15}\text{N}$ Y $\Delta^{13}\text{C}$ (PROMEDIO \pm DE) DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES CONSIDERADOS EN EL MODELO BAYESIANO SIAR, PARA LOS LOBOS MARINOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE.	68
TABLA 12. PORCENTAJE DE FRECUENCIA RELATIVA DE OCURRENCIA (%N) EN LAS FECAS DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES UTILIZADOS EN EL MODELO 2 (MM+F, ISÓTOPOS ESTABLES + FECAS), PARA LOS LOBOS MARINOS DE LA ZONA NORTE DE CHILE.....	69
TABLA 13. VALORES ISOTÓPICOS DE $\Delta^{15}\text{N}$ Y $\Delta^{13}\text{C}$ (PROMEDIO \pm DE) DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES CONSIDERADOS EN EL MODELO BAYESIANO SIAR, PARA LOS LOBOS MARINOS DE LA ZONA SUR DE CHILE.	74
TABLA 14. PORCENTAJE DE FRECUENCIA RELATIVA DE OCURRENCIA (%N) EN LAS FECAS DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES UTILIZADOS EN EL MODELO 2 (MM+F, ISÓTOPOS ESTABLES + FECAS), PARA LOS LOBOS MARINOS DE LA ZONA SUR DE CHILE.	75
TABLA 15. NÚMERO (N), PORCENTAJE DE FRECUENCIA DE OCURRENCIA (%FO) Y PORCENTAJE DE FRECUENCIA RELATIVA DE OCURRENCIA (%N) PARA LAS PRESAS DEL LOBO MARINO COMÚN EN LA ZONA NORTE, DURANTE LAS CAMPAÑAS DE VERANO E INVIERNO DE 2015.	80
TABLA 16. NÚMERO (N), PORCENTAJE DE FRECUENCIA DE OCURRENCIA (%FO) Y PORCENTAJE DE FRECUENCIA RELATIVA DE OCURRENCIA (%N) PARA LAS PRESAS DEL LOBO MARINO COMÚN EN LA ZONA SUR, DURANTE LAS CAMPAÑAS DE VERANO E INVIERNO DE 2015 ..	83

TABLA 17. CONTENIDO ENERGÉTICO (CAL/G) DE MUESTRAS DE PECES PROVENIENTES DE LA DÉCIMA REGIÓN. D.E INDICA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.	86
TABLA 18. NÚMERO DE LOBOS MARINOS COMUNES Y PESO PROMEDIO POR CLASE DE EDAD/SEXO PARA LAS ZONAS NORTE (XV, I Y II REGIONES) Y SUR (X REGIÓN) DE CHILE.	87
TABLA 19. CONSUMO PROPORCIONAL DIARIO DE ALIMENTO DE LOBOS MARINOS COMUNES DE DISTINTAS CLASES DE EDAD/SEXO. MODIFICADO DE WINSHIP <i>ET AL.</i> (2006)	87
TABLA 20. CONSUMO PROPORCIONAL DIARIO (%) DE LOS DISTINTOS GRUPOS FUNCIONALES DE PRESAS POR LOBOS MARINOS COMUNES DE DISTINTAS CLASES DE EDAD/SEXO EN VERANO E INVIERNO EN LA ZONA NORTE DE CHILE.	88
TABLA 21. CONSUMO PROPORCIONAL DIARIO (%) DE LOS DISTINTOS GRUPOS FUNCIONALES DE PRESAS POR LOBOS MARINOS COMUNES DE DISTINTAS CLASES DE EDAD/SEXO EN VERANO E INVIERNO EN LA ZONA SUR DE CHILE.	88
TABLA 22. CONSUMO TOTAL DIARIO DE LAS DISTINTAS CLASES DE EDAD/SEXO DEL LOBO MARINO COMÚN SOBRE LOS DISTINTOS GRUPOS FUNCIONALES DE PRESAS EN LA ZONA NORTE DE CHILE PARA LAS ESTACIONES DE VERANO E INVIERNO. DATOS SE MUESTRAN EN TONELADAS.	90
TABLA 23. CONSUMO TOTAL DIARIO DE LAS DISTINTAS CLASES DE EDAD/SEXO DEL LOBO MARINO COMÚN SOBRE LOS DISTINTOS GRUPOS FUNCIONALES DE PRESAS EN LA ZONA SUR DE CHILE PARA LAS ESTACIONES DE VERANO E INVIERNO. DATOS SE MUESTRAN EN TONELADAS.	91
TABLA 24. CONSUMO ANUAL DE LAS DISTINTAS CLASES DE EDAD/SEXO DEL LOBO MARINO COMÚN SOBRE LOS DISTINTOS GRUPOS FUNCIONALES DE PRESAS EN LA ZONA NORTE DE CHILE. DATOS SE MUESTRAN EN TONELADAS.	92
TABLA 25. CONSUMO TOTAL ANUAL DE LAS DISTINTAS CLASES DE EDAD/SEXO DEL LOBO MARINO COMÚN SOBRE LOS DISTINTOS GRUPOS FUNCIONALES DE PRESAS EN LA ZONA SUR DE CHILE. DATOS SE MUESTRAN EN TONELADAS.	92
TABLA 26. PROMEDIO (\pm DE) DE $\Delta^{13}\text{C}$ AND $\Delta^{15}\text{N}$ Y LOS VALORES DE LAS MÉTRICAS DE LOS VALORES ISOTÓPICOS DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN AGRUPADA POR ZONA. CR: RANGO DE CARBONO, NR: RANGO DE NITRÓGENO, SEA_c : ÁREA DE LA ELIPSE ESTÁNDAR EXPRESAD EN $\%_0^2$	96
TABLA 27. PROMEDIO (\pm DE) DE $\Delta^{13}\text{C}$ AND $\Delta^{15}\text{N}$ Y LOS VALORES DE LAS MÉTRICAS DE LOS VALORES ISOTÓPICOS DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN AGRUPADA POR ESTACIÓN DEL AÑO (INVIERNO Y VERANO) Y CLASE DE EDAD/SEXO TANTO PARA VERANO COMO PARA INVIERNO, PARA LA ZONA NORTE. CR: RANGO DE CARBONO, NR: RANGO DE NITRÓGENO, SEA_c : ÁREA DE LA ELIPSE ESTÁNDAR EXPRESAD EN $\%_0^2$	98
TABLA 28. PROMEDIO (\pm DE) DE $\Delta^{13}\text{C}$ AND $\Delta^{15}\text{N}$ Y LOS VALORES DE LAS MÉTRICAS DE LOS VALORES ISOTÓPICOS DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN AGRUPADA POR ESTACIÓN (INVIERNO Y VERANO) Y CLASE DE EDAD TANTO PARA VERANO COMO PARA INVIERNO, PARA LA ZONA SUR. CR: RANGO DE CARBONO, NR: RANGO DE NITRÓGENO, SEA_c : ÁREA DE LA ELIPSE ESTÁNDAR EXPRESAD EN $\%_0^2$	101
TABLA 29. PARÁMETROS DE ENTRADA Y RESULTADOS DEL MODELO ZONA NORTE DE CHILE, DÉCADA 1990.	110

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FOTOGRAFÍA QUE MUESTRA EL RIFLE PAXARMS CALIBRE 22 UTILIZADO PARA EL MUESTREO DE LOBOS MARINOS.	15
FIGURA 2. FOTOGRAFÍA QUE MUESTRA UN DARDO CON MUESTRAS DE PELO, PIEL Y GRASA DE UN LOBO MARINO COMÚN.	16
FIGURA 3. ESQUEMA DE UN DARDO UTILIZADO PARA TOMAR BIOPSIAS DE LOBOS MARINOS. 16	
FIGURA 4. FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO EN TERRENO PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES. FOTOGRAFÍAS: MACARENA SANTOS.	17
FIGURA 5. FOTOGRAFÍA DE UNA BIOPSIA TOMADA AL ÍTEM PRESA PEJERREY DE MAR (<i>ODONTESTHES REGIA</i>). FOTOGRAFÍA: GUIDO PAVEZ.	19
FIGURA 6. RECIPIENTE DE PAPEL ALUMINIO CON MUESTRA DE PIEL DE LOBO MARINO.	21
FIGURA 7. ESQUEMA DE UN EXTRACTOR SOXHLET (DERECHA) Y FOTOGRAFÍA DE LAS MUESTRAS DENTRO DE LA CÁMARA DE EXTRACCIÓN (IZQUIERDA).	22
FIGURA 8. LOBOS MARINOS SOBRE BOYAS EN Y SOBRE PLATAFORMA ABANDONADA EN LA LOCALIDAD DE CHULLEC.	24
FIGURA 9. FOTOGRAFÍA DE LA BOMBA CALORIMÉTRICA PARR 1261 UTILIZADA PARA OBTENER EL CONTENIDO ENERGÉTICO DE LAS PRESAS DE LOBOS MARINOS.	30
FIGURA 10. SIMULACIÓN DE LOS FLUJOS ENTRE LA BIOMASA DISPONIBLE (V_I) Y NO DISPONIBLE ($B_I - V_I$) DE LA PRESA EN EWE. EL PARÁMETRO A_{IJ} ES LA TASA DE BÚSQUEDA DE LA PRESA “I” POR EL DEPREDADOR “J”, “V” ES LA TASA DE INTERCAMBIO ENTRE EL ESTADO VULNERABLE Y EL INVULNERABLE.	51
FIGURA 11. ÁREA DE ESTUDIO (LÍNEA ROJA) PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO ECOTRÓFICO QUE REPRESENTA AL MAR INTERIOR DE LA REGIÓN DE LOS LAGOS (LÍNEA AZUL).	52
FIGURA 12. CONTRIBUCIÓN PROMEDIO EN LA DIETA DEL LOBO MARINO COMÚN DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE FECAS (F), MODELO 1 (MM, SÓLO ISÓTOPOS ESTABLES) Y MODELO 2 (MM+F, ISÓTOPOS ESTABLES + FECAS) DE LA ZONA NORTE. PP: PECES PELÁGICOS; PD: PECES DEMERSALES; PBP: PECES BENTOPELÁGICOS; CB: CRUSTÁCEOS BENTÓNICOS; CFB: CEFALÓPODOS BENTÓNICOS.	70
FIGURA 13. CONTRIBUCIÓN PROMEDIO DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES EN LA DIETA DEL LOBO MARINO COMÚN DE ACUERDO AL ANÁLISIS DE FECAS (F), MODELO 1 (MM, SÓLO ISÓTOPOS ESTABLES) Y MODELO 2 (MM+F, ISÓTOPOS ESTABLES + FECAS), SEGÚN LAS ESTACIONES DEL AÑO, PARA LA ZONA NORTE DE CHILE. PP: PECES PELÁGICOS; PD: PECES DEMERSALES; PBP: PECES BENTOPELÁGICOS; CB: CRUSTÁCEOS BENTÓNICOS; CFB: CEFALÓPODOS BENTÓNICOS.	71
FIGURA 14. CONTRIBUCIÓN PROMEDIO DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES EN LA DIETA DEL LOBO MARINO COMÚN DE ACUERDO AL ANÁLISIS DEL MODELO 1 (MM, SÓLO ISÓTOPOS ESTABLES), SEGÚN LA CLASE DE EDAD/SEXO, PARA LA ZONA NORTE DE CHILE. PP: PECES PELÁGICOS; PD: PECES DEMERSALES; PBP: PECES BENTOPELÁGICOS; CB: CRUSTÁCEOS BENTÓNICOS; CFB: CEFALÓPODOS BENTÓNICOS.	73
FIGURA 15. CONTRIBUCIÓN PROMEDIO EN LA DIETA DEL LOBO MARINO COMÚN DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE FECAS (F), MODELO 1 (MM, SÓLO ISÓTOPOS ESTABLES) Y MODELO 2 (MM+F, ISÓTOPOS ESTABLES + FECAS) EN LA	

ZONA SUR. PP: PECES PELÁGICOS; PD: PECES DEMERSALES; PBP: PECES BENTOPELÁGICOS; CP: CRUSTÁCEOS PELÁGICOS; SC: SALMÓNIDOS DE CULTIVO.	76
FIGURA 16. CONTRIBUCIÓN PROMEDIO EN LA DIETA DEL LOBO MARINO COMÚN DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE FECAS (F), MODELO 1 (MM, SÓLO ISÓTOPOS ESTABLES) Y MODELO 2 (MM+F, ISÓTOPOS ESTABLES + FECAS), DE ACUERDO A LA ESTACIÓN DEL AÑO, PARA LA ZONA SUR DE CHILE. PP: PECES PELÁGICOS; PD: PECES DEMERSALES; PBP: PECES BENTOPELÁGICOS; CP: CRUSTÁCEOS PELÁGICOS; SC: SALMÓNIDOS DE CULTIVO.	77
FIGURA 17. CONTRIBUCIÓN PROMEDIO EN LA DIETA DEL LOBO MARINO COMÚN DE LOS CINCO GRUPOS FUNCIONALES UTILIZADOS EN EL MODELO 1 (MM, SÓLO ISÓTOPOS ESTABLES) DE ACUERDO A LA CLASE DE EDAD/SEXO, PARA LA ZONA SUR DE CHILE. PP: PECES PELÁGICOS; PD: PECES DEMERSALES; PBP: PECES BENTOPELÁGICOS; CP: CRUSTÁCEOS PELÁGICOS; SC: SALMÓNIDOS DE CULTIVO.	79
FIGURA 18. REPRESENTACIÓN DE LA FRECUENCIA DE OCURRENCIA (FO_i) Y DE LA FRECUENCIA RELATIVA DE OCURRENCIA (N_i) PARA DE LAS PRESAS DEL LOBO MARINO COMÚN COLECTADAS EN LA ZONA NORTE EN VERANO E INVIERNO DE 2015.	81
FIGURA 19. REPRESENTACIÓN DE LA FRECUENCIA DE OCURRENCIA LAS PRESAS DEL LOBO MARINO COMÚN COLECTADAS EN LA ZONA SUR EN VERANO E INVIERNO DE 2015.	84
FIGURA 20. COMPARACIÓN ENTRE LA REMOCIÓN DE BIOMASA DE ESPECIES/GRUPOS FUNCIONALES EN LAS ZONAS NORTE DE CHILE CAUSADA POR EL LOBO MARINO COMÚN (A) Y LAS PESQUERÍAS (B).	93
FIGURA 21. COMPARACIÓN ENTRE LA REMOCIÓN DE BIOMASA DE ESPECIES/GRUPOS FUNCIONALES EN LA ZONA SUR DE CHILE CAUSADA POR EL LOBO MARINO COMÚN (A) Y LAS PESQUERÍAS (B).	93
FIGURA 22. ANÁLISIS COMPARADO DE LA MORTALIDAD POR DEPREDACIÓN CAUSADA POR LOBO MARINO COMÚN Y LA MORTALIDAD POR PESCA EN AQUELLOS GRUPOS FUNCIONALES EN LOS CUALES EXISTE SOBREPOSICIÓN. A) ZONA NORTE DE CHILE; B) ZONA SUR; BARRAS NEGRAS=MORTALIDAD POR PESCA; BARRAS BLANCAS=MORTALIDAD POR DEPREDACIÓN CAUSADA POR LOBO MARINO COMÚN.	95
FIGURA 23. ÁREA TOTAL (TA) Y ELIPSES ESTÁNDAR PARA LOS VALORES ISOTÓPICOS $\Delta^{13}C$ Y $\Delta^{15}N$ DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN PARA LAS ZONAS NORTE (CÍRCULOS NEGROS) Y SUR (TRIÁNGULOS ROJOS).	97
FIGURA 24. ÁREA TOTAL (TA) Y ELIPSES ESTÁNDAR PARA LOS VALORES ISOTÓPICOS $\Delta^{13}C$ Y $\Delta^{15}N$ DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN PARA LAS ESTACIONES DE INVIERNO (CÍRCULOS NEGROS) Y VERANO (TRIÁNGULOS ROJOS), PARA LA ZONA NORTE.	99
FIGURA 25. ÁREA TOTAL (TA) Y ELIPSES ESTÁNDAR PARA LOS VALORES ISOTÓPICOS $\Delta^{13}C$ Y $\Delta^{15}N$ DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN PARA LAS CLASES DE EDAD HEMBRA (CÍRCULOS NEGROS), MACHO ADULTO (TRIÁNGULOS ROJOS) Y MACHOS SUBADULTOS (SIGNO MÁS EN VERDE), EN LA ESTACIÓN DE VERANO PARA LA ZONA NORTE.	99
FIGURA 26. ÁREA TOTAL (TA) Y ELIPSES ESTÁNDAR PARA LOS VALORES ISOTÓPICOS $\Delta^{13}C$ Y $\Delta^{15}N$ DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN PARA LAS CLASES DE EDAD HEMBRA (CÍRCULOS NEGROS), MACHO ADULTO (TRIÁNGULOS ROJOS) Y MACHOS SUBADULTOS (SIGNO MÁS EN VERDE), EN LA ESTACIÓN DE INVIERNO PARA LA ZONA NORTE.	100
FIGURA 27. ÁREA TOTAL (TA) Y ELIPSES ESTÁNDAR PARA LOS VALORES ISOTÓPICOS $\Delta^{13}C$ Y $\Delta^{15}N$ DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN PARA LAS ESTACIONES DE INVIERNO (CÍRCULOS NEGROS) Y VERANO (TRIÁNGULOS ROJOS), PARA LA ZONA SUR.	102

FIGURA 28. ÁREA TOTAL (TA) Y ELIPSES ESTÁNDAR PARA LOS VALORES ISOTÓPICOS DE $\Delta^{13}\text{C}$ Y $\Delta^{15}\text{N}$ DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN PARA LAS CLASES DE EDAD HEMBRA (CÍRCULOS NEGROS), MACHOS ADULTOS (TRIÁNGULOS ROJOS) Y MACHOS SUBADULTOS (SIGNO MÁS EN VERDE), EN LA ESTACIÓN DE VERANO PARA LA ZONA SUR.....	102
FIGURA 29. ÁREA TOTAL (TA) Y ELIPSES ESTÁNDAR PARA LOS VALORES ISOTÓPICOS $\Delta^{13}\text{C}$ Y $\Delta^{15}\text{N}$ DE LA PIEL DEL LOBO MARINO COMÚN PARA LAS CLASES DE EDAD HEMBRAS (CÍRCULOS NEGROS), MACHOS ADULTOS (TRIÁNGULOS ROJOS) Y MACHOS SUBADULTOS (SIGNO MÁS EN VERDE), EN LA ESTACIÓN DE INVIERNO PARA LA ZONA SUR.	103
FIGURA 30. ÍNDICE DE SOBREPOSICIÓN ENTRE LA DIETA DE LMC Y LA PESQUERÍA COMO UN TODO ESTIMADO A PARTIR DE MODELOS DE TRAMAS TRÓFICAS PARA LAS ZONAS NORTE Y SUR DE CHILE.	104
FIGURA 31. DIAGRAMA DE FLUJO QUE REPRESENTA LAS RELACIONES DE DEPREDACIÓN EN EL MODELO DE LA REGIÓN DE LOS LAGOS, AÑO 2006. EL COLOR Y GROSOR DE LA LÍNEA INDICAN MAYORES/MENORES MAGNITUDES DE ACUERDO A LA ESCALA PRESENTADA EN LA FIGURA.	106
FIGURA 32. IMPACTOS TRÓFICOS COMBINADOS ENTRE LOS GRUPOS TRÓFICOS INCLUIDOS EN EL MODELO PARA LA REGIÓN DE LOS LAGOS, AÑO 2006.	107
FIGURA 33. RANKING DE ESPECIE CLAVE USANDO EL INDICADOR DE LIBRALATO <i>ET AL.</i> (2006) PARA EL MODELO QUE REPRESENTA LA TRAMA TRÓFICA QUE SE DESARROLLA EN EL MAR INTERIOR DE CHILOÉ.	108
FIGURA 34. RANKING DE ESPECIE CLAVE USANDO EL INDICADOR DE POWER <i>ET AL.</i> (1996) PARA EL MODELO QUE REPRESENTA LA TRAMA TRÓFICA QUE SE DESARROLLA EN EL MAR INTERIOR DE CHILOÉ.	108
FIGURA 35. DIAGRAMA DE FLUJO QUE REPRESENTA LAS RELACIONES DE DEPREDACIÓN EN EL MODELO DE LA ZONA NORTE DE CHILE PARA EL PERÍODO FINES DE LOS AÑOS 1990. EL COLOR Y GROSOR DE LA LÍNEA INDICAN MAYORES/MENORES MAGNITUDES DE ACUERDO A LA ESCALA PRESENTADA EN LA FIGURA.	111
FIGURA 36. IMPACTOS TRÓFICOS COMBINADOS ENTRE LOS GRUPOS TRÓFICOS INCLUIDOS EN EL MODELO PARA LA ZONA NORTE DE CHILE PARA EL PERÍODO FINES DE LOS AÑOS 1990.	112
FIGURA 37. RANKING DE ESPECIE CLAVE USANDO EL INDICADOR DE LIBRALATO <i>ET AL.</i> (2006) PARA EL MODELO QUE REPRESENTA LA TRAMA TRÓFICA QUE SE DESARROLLA EN LA ZONA NORTE DE CHILE PARA EL PERÍODO FINES DE LOS AÑOS 1990.	113
FIGURA 38. RANKING DE ESPECIE CLAVE USANDO EL INDICADOR DE POWER <i>ET AL.</i> (1996) EN LA ZONA NORTE DE CHILE PARA EL PERÍODO FINES DE LOS AÑOS 1990.	113
FIGURA 39. AJUSTE MODELO DE TRAMA TRÓFICA CON DINÁMICA TEMPORAL PARA LA ZONA NORTE DE CHILE. LOS CÍRCULOS REPRESENTAN OBSERVACIONES MIENTRAS QUE LA LÍNEA CONTINUA ES LA PROYECCIÓN DEL MODELO. CLAVE: B=BIOMASA; Y=DESEMBARQUES; LCOL=LANGOSTINO COLORADO; P ANCH=ANCHOVETA; SARD=SARDINA; LMC=LOBO MARINO COMÚN; PEL MED=PELÁGICOS MEDIANOS.	114
FIGURA 40. AJUSTE MODELO DE TRAMA TRÓFICA CON DINÁMICA TEMPORAL PARA LA ZONA SUR DE CHILE. LOS CÍRCULOS REPRESENTAN OBSERVACIONES MIENTRAS QUE LA LÍNEA CONTINUA ES LA PROYECCIÓN DEL MODELO. CLAVE: SSL: LOBO MARINO COMÚN; COSTEROS: PECES COSTEROS. LAS OTRAS SEGÚN INDICADO EN PANEL.	115
FIGURA 41. CAMBIOS EN LA BIOMASA DE LOBO MARINO COMÚN Y OTROS GRUPOS FUNCIONALES CON LOS QUE INTERACTÚA COMO PRESA, DEPREDADOR Y COMPETIDOR EN	

EL ECOSISTEMA DE LA ZONA NORTE DE CHILE. LOS CAMBIOS SON RELATIVOS A LA BIOMASA DE CADA GRUPO EN EL AÑO 2015.	116
FIGURA 42. CAMBIOS EN LA BIOMASA DE LOBO MARINO COMÚN Y OTROS GRUPOS FUNCIONALES CON LOS QUE INTERACTÚA COMO PRESA, DEPREDADOR Y COMPETIDOR EN EL ECOSISTEMA DE LA ZONA SUR DE CHILE. LOS CAMBIOS SON RELATIVOS A LA BIOMASA DE CADA GRUPO EN EL AÑO 2015.....	117
FIGURA 43. CAMBIOS EN LA CAPTURA POTENCIAL DE LAS DISTINTAS FLOTAS PESQUERAS ANTE REMOCIÓN DE LA BIOMASA DE LMC EN LA ZONA NORTE (A) Y SUR (B) DE CHILE.	118

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. PESCA DE INVESTIGACIÓN.....	142
ANEXO 2. ACTAS REUNIONES CON CONTRAPARTE TÉCNICA	143
ANEXO 3. PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD	148

RESUMEN EJECUTIVO

Con el fin de determinar el rol ecológico que juega el lobo marino común (*Otaria flavescens*) en las tramas tróficas y ecosistemas marinos de la costa chilena, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura licitó y adjudicó a la Universidad de Valparaíso el proyecto titulado “Rol ecológico del lobo marino común (LMC) en el territorio y aguas jurisdiccionales chilenas”. El presente Informe Final da cuenta de todas las actividades comprometidas y realizadas durante la ejecución del proyecto, y que básicamente se estructuran en: (1) la determinación de la composición de la dieta del LMC en base al análisis de fecas y de isótopos estables; (2) cuantificar los requerimientos energéticos y consumo de presas por el LMC; (3) determinar el nicho trófico de esta especie y su superposición con la pesca; y finalmente (4) modelar la trama trófica de los ecosistemas en distintos escenarios de abundancia y estructura poblacional del LMC.

En el marco del Objetivo Específico 1, para el análisis de isótopos estables en piel de lobos marinos, se colectaron un total de 377 muestras, 221 en la zona norte (117 en verano y 104 en invierno) y 156 en la zona sur (76 en verano y 80 en invierno). Adicionalmente, se colectaron muestras de 20 especies de presas potenciales para la zona norte. Para la zona sur se utilizaron los valores de isótopos de 16 especies de presas obtenidas en proyectos previos. Asimismo se colectaron un total de 298 fecas en las zonas norte y sur, 141 en la estación de verano (118 en la zona norte y 23 en la zona sur) y 157 en la de invierno (100 en la zona norte y 57 en la zona sur). Para analizar la composición de la dieta se utilizó un modelo mixto (Modelo 1) que permitió estimar la dieta de los lobos marinos a partir sólo de los datos isotópicos de las presas, y un Modelo 2 donde, además de la firma isotópica de las presas (grupos funcionales), se incorporó como información a priori los datos de contribución en la dieta obtenidos a partir del análisis de fecas. Para este análisis las presas fueron agrupadas en grupos funcionales.

A modo descriptivo, el análisis de fecas mostró que para la zona norte las principales presas fueron la anchoveta y el langostino. La riqueza y abundancia de presas en la dieta del LMC fue mayor en verano, registrándose un solapamiento medio de la dieta entre ambas estaciones. Para el caso de la zona sur, las principales especies presa fueron la merluza

austral y el mote o bacaladillo, tanto en verano como en invierno. Destacaron asimismo la sardina austral en verano y el pejerrey en invierno. Al igual que en la zona norte la diversidad fue mayor en el verano, con un solapamiento trófico medio entre ambas estaciones.

En cuanto a los modelos mixtos, en la zona norte, y para ambos modelos, los peces pelágicos presentaron la mayor contribución en la dieta de los lobos marinos, seguidos de los peces bentopelágicos. El consumo de peces pelágicos fue similar entre las dos estaciones del año analizadas, e igualmente importantes para todas las clases de edad/sexo. En tanto el consumo de peces bentopelágicos fue mayor en verano y para las hembras. Por otro lado, para la zona sur los Modelos 1 y 2 destacan a los peces demersales como los más importantes en la dieta del LMC, seguidos de los peces bentopelágicos. Ambos grupos funcionales tuvieron una representación importante en ambas estaciones del año. Es importante destacar que los salmónidos fueron importantes en el Modelo 1, pero no en el 2. Esto puede deberse a que el LMC sólo consume las partes blandas de los salmones, por lo que este ítem puede estar notoriamente subestimado en el análisis de fecas.

Para dar cumplimiento al Objetivo Específico 2 se estimó el nivel de consumo diario y anual de presas consumidas por el LMC utilizando un modelo de consumo que incluyó el número de individuos de cada clase de edad/sexo, el peso promedio de los individuos y el consumo total por tipo de presa. Los resultados indican que el consumo total anual de los lobos marinos es de 106.544 t y 68.744 t, en las zonas norte y sur de Chile, respectivamente. Por otro lado se realizó un análisis calorimétrico en 16 potenciales especies presa del LMC. Los resultados de las ocho muestras de cuatro especies de presas indican que la trucha arcoíris y el salmón coho, ambas de cultivo, poseen un contenido energético superior a la de otras especies nativas de la zona sur de Chile.

En relación al Objetivo Específico 3, se observó una escasa superposición de nicho entre las zonas norte y sur, dado por valores de $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ significativamente diferentes. Dentro de cada zona geográfica, se observó asimismo una escasa superposición trófica entre verano e invierno para la zona norte, y una baja superposición entre machos adultos y

hembras para esta misma zona. Caso distinto fue en la zona sur, en que se registró una superposición media (51,4%) entre verano e invierno. En este caso la superposición trófica entre las distintas clases de edad fue mayor.

Para los Objetivos Específicos 2, 3 y 4 se construyeron dos modelos cuantitativos que representaron las tramas tróficas marinas de la zona norte (Regiones XV a IV) y sur (X Región interior) de Chile. Los modelos fueron estandarizados en cuanto a su estructura (número y tipo de grupos funcionales) y parámetros de entrada (biomasas, tasas de producción y consumo, composición de la dieta, etc.). Luego, se aplicó en cada modelo rutinas de análisis de redes de interacción trófica (directa e indirecta) y se identificó la especie clave de cada sistema. Posteriormente, se simuló en cada modelo distintos niveles de extracción de LMC y en cada escenario se cuantificó los cambios en la biomasa de LMC y de otros grupos funcionales. Tanto la modelación como las simulaciones se realizaron utilizando el software Ecopath with Ecosim (EwE). Los resultados indican que el LMC es parte de intrincadas tramas tróficas en las zonas norte y sur de Chile. En cuanto a su rol ecológico, en ambos sistemas el LMC puede caracterizarse como un depredador omnívoro, de nivel trófico alto y con un índice alto de especie clave. El nivel de sobreposición trófica entre el LMC y la pesquería sería media en la zona sur y alta en la zona norte. Sin embargo, la magnitud de la remoción de presas por consumo del LMC es relativamente baja, comparada con la remoción que realiza la pesca en esas mismas especies/grupos. Pese a lo anterior y debido a su rol como especie clave, la disminución de la biomasa del LMC por pesca (u otra fuente) podría afectar fuertemente la biomasa de sus depredadores, competidores y presas. Estos cambios se amplificarían en la trama trófica y afectar negativamente indicadores de desempeño de las pesquerías. Todo ello evidencia que la disminución o remoción de estos especímenes no genera el incremento esperado en las capturas pesqueras sino más bien, generaría efectos negativos sobre los distintos componentes de las tramas tróficas modeladas.

EXECUTIVE ABSTRACT

The Undersecretary of Fisheries of the Chilean Government called for proposals to determine the ecological role of the South American sea lion (SASL, *Otaria flavescens*) in the marine food webs and ecosystems of the Chilean coast. The Project FIP 2014-28 entitled “Ecological role of the SASL in the Chilean jurisdictional territory and waters” was adjudicated by open contest to Universidad de Valparaíso and the present document represents the Final Report detailing all the activities developed during the project. The document is structured according to the main specific objectives: (1) to determine the diet composition of the SASL based on the analysis of faeces and stable isotopes; (2) To quantify the energetic requirements and prey consumption by SASL; (3) To determine the trophic niche of this species and the overlap with fisheries; and finally (4) to model the food web of the ecosystems under several scenarios of abundance and population structure of the SASL.

To fulfill the Specific Objective 1, a total of 377 samples of SASL skin were collected to perform the analysis of stable isotopes. 221 samples came from the northern zone (117 in summer and 104 in winter) and 156 samples came from the southern zone (76 in summer and 80 in winter). In addition, in the southern zone we used the isotopic values of 16 prey species obtained in past projects. Likewise 298 fecal samples were collected, 141 in summer (118 in the northern zone and 23 in the southern zone) and 157 in winter (100 in the northern zone and 57 in the southern zone). The SASL diet composition was analyzed using i) a mixed model (Model 1) that allowed to estimate the diet of SASL using only information from the isotopic data of prey, and ii) a model that included prior information about the contribution of prey obtained from fecal analysis (Model 2). For this analysis, preys were grouped in functional groups.

The fecal analysis indicated that anchovy and squat lobster were the main preys of the SASL in the northern zone. In the southern zone the main preys were southern hake and mote sculpin, both in summer and winter, whereas the fuegian sprat and the Chilean silverside were important in winter. In both zones, prey richness and abundance were higher in summer compared to winter, with medium diet overlap between seasons.

In the northern zone Model 1 and Model 2 indicated that pelagic fish comprised most of the diet followed by benthopelagic fish. The consumption of pelagic fish was similar among seasons, and equally important in all age/sex classes. On the other hand, the consumption of benthopelagic fish was higher in summer and in females. In the southern zone Model 1 and Model 2 highlighted demersal fish as the main item in the diet of SASL, followed by benthopelagic fish. These two fish groups were important in both seasons. Salmonids were important in Model 1, but not in Model 2. This result could be explained by the feeding behavior of SASL, which only consumes the soft parts of salmon and therefore this item can be notorious underestimated in the analysis of faeces.

To accomplish Specific Objective 2, we estimated the daily and yearly prey consumption by SASL using a consumption model that considered the number of individuals on each age/sex class, the mean weight of individuals and the consumption by prey type. Results indicated that the yearly consumption of SASL is about 106,544 t and 68,744 t in the northern and southern zones, respectively. The calorimetric analysis performed in 16 potential prey for the SASL indicated that rainbow trout and coho salmon, both introduced and farmed species, have a higher energetic content compared to native species from the southern zone of Chile.

Results from Specific Objective 3 indicated low niche overlap between northern and southern zones as revealed by significant differences in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values. In the southern zone, there was a low trophic overlap between summer and winter as well as between males and females. In the southern zone, however, the overlap between summer and winter was medium (54%) and the overlap between age/sex classes was higher.

For Specific Objectives 2, 3 and 4, we built quantitative models to represent the marine food webs of the northern (Administrative regions XV to IV) and southern (Administrative region X interior) zones of Chile. Models were standardized in terms of their structure (number and type of functional groups) and input parameters (biomass, production and consumption rates, diet composition, etc.). Later, we applied computational routines for network analysis and keystoneity (quality of being a keystone species) of functional groups in each model/system. We also performed time-dynamic simulations to analyze potential effects of several levels biomass removal of SASL on the biomass of other functional groups in each model. We used

the Ecopath with Ecosim software model (EwE). Results indicated that the SASL is part of rather intricate food webs in the northern and southern zones of Chile. Regarding the ecological role of the SASL, results allow to characterize this species as an omnivorous predator, with high trophic level and a relatively high index of keystoneity. The trophic overlap between the SASL and the fishery was medium in the southern zone and high in the northern zone. However, the magnitude of prey removal by SASL consumption is relatively low compared with fishery removal of the same species. In spite of this and considering its potential role as keystone species, a reduction in the biomass of the SASL due to hunting (or other sources) could strongly affect the biomass of predators and prey in both zones. These changes could be amplified in the food web and negatively affect performance indicators of the fisheries. In this sense, a decline in the biomass of SASL may not result in an increase in the catch of important fishery resources, but rather in negative impacts on several components of the modelled food webs including the fishery.

1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 *OBJETIVO GENERAL*

Determinar el rol del lobo marino común en las tramas tróficas de la costa de Chile.

1.2 *OBJETIVOS ESPECIFICOS*

- Determinar la composición de la dieta del LMC en la costa de Chile
- Cuantificar los requerimientos energéticos y el nivel de consumo de presas necesario para sustentar la población del LMC en Chile
- Determinar el nicho trófico del LMC y evaluar su sobreposición con la pesca
- Modelar la trama trófica de los ecosistemas y evaluar situaciones con diferentes abundancias y estructuras poblacionales del LMC

2. ANTECEDENTES

2.1 *Marco teórico general*

Los ecosistemas se caracterizan por estar constituidos por una serie de organismos interconectados que se ubican en distintos niveles tróficos. Por ello, una de las formas más típicas de representar un ecosistema es a través de una trama trófica (Begon *et al.* 2006). Estas tramas pueden contener cadenas tróficas cortas o largas y ser controladas desde el tope (control top-down o por depredadores) o desde la base (control bottom-up o por presas). El rol que cumple un organismo en su ecosistema puede ser el de productor primario, descomponedor, depredador, presa, entre otros.

Los depredadores en particular juegan un rol crítico en la estructuración de las comunidades, promoviendo la coexistencia de las especies e incluso incrementando su diversidad en una comunidad determinada (Begon *et al.* 2006). En el caso de los mamíferos marinos, debido a su tamaño, peso y abundancia son considerados como uno de los principales depredadores en las tramas tróficas marinas (Bowen 1997), jugando un rol esencial en la estructura y funcionamiento de las comunidades marinas (Katona & Whitehead 1988). Los mamíferos marinos pueden afectar la abundancia de otras especies por consumo directo y/o por competencia (incluido las actividades humanas como la pesca y acuicultura), o indirectamente afectar a especies que no son presas a través del consumo de sus depredadores (Trites 2002). En este contexto, el efecto top-down de los mamíferos marinos, a través de lo que se conoce como cascada trófica, puede controlar la abundancia de los niveles tróficos inferiores, y de ese modo afectar el flujo de materia y energía a través de las poblaciones y comunidades (Shears & Babcock 2002, Fanshawe *et al.* 2003, Halpern *et al.* 2006). Asimismo, un rol menos resaltado pero igualmente importante, es que los mamíferos marinos pueden llegar a ser indicadores de cambio y degradación de un ecosistema.

Los pinnípedos (focas, lobos marinos y la morsa) son depredadores que tienen serios conflictos con la pesquería y la acuicultura en diversas partes del mundo (Wickens 1995,

Reeves & Reijnders 2002, Würsig & Galey 2002). Debido a esta interacción, los pinnípedos son a menudo culpados de ocasionar un impacto negativo en la pesca comercial y que han sido, al menos en parte, responsables de la disminución de los stocks pesqueros (Baraff & Loughlin 2000, Stenson & Hammill 2004). No obstante, no existe evidencia científica donde se haya demostrado que los pinnípedos sean los responsables de las disminuciones de los stocks pesqueros (Yodzis 2001). Esta falta de evidencia se debe en parte a la dificultad de evaluar el rol e impacto de los pinnípedos como depredadores, cuando prácticamente se desconoce la composición de su dieta, sus variaciones espaciotemporales, y los niveles de consumo de presas (Beverton 1985, Bowen 1997). Por este motivo, investigadores de diversas partes del mundo han realizado esfuerzos importantes para evaluar la composición de la dieta y las tasas de consumo de estas especies en diversas regiones donde la pesquería comercial es altamente relevante (*e.g.* Hammill *et al.* 1997, Bjørge *et al.* 2002, Winship & Trites 2003, Cornick *et al.* 2006).

2.2 Rol ecológico del lobo marino común

El lobo marino común (LMC) (*Otaria flavescens*) (= *O. byronia*) se distribuye a lo largo de toda la costa chilena, con una abundancia estimada de 140.000 animales (Venegas *et al.* 2002, Bartheld *et al.* 2008, Sepúlveda *et al.* 2011, Oliva *et al.* 2012). Las mayores abundancias de esta especie se encuentran en los extremos norte y sur del país. En estas dos zonas, al comparar las últimas estimaciones con censos históricos (Sielfeld *et al.* 1997, Oporto *et al.* 2000), se sugiere un aumento de las abundancias poblacionales de esta especie en las últimas décadas (Bartheld *et al.* 2008, Oliva *et al.* 2012).

La dieta del lobo marino común se compone principalmente por peces, y en menor importancia por moluscos y crustáceos (Cappozzo & Perrin 2008). Sin embargo, su dieta es altamente variable tanto temporal como espacialmente, ya que este animal es capaz de adaptarse rápidamente a la abundancia local de presas (Cappozzo & Perrin 2008, Muñoz *et al.* 2013), siendo considerado como una especie de hábitos tróficos generalista y oportunista. Este comportamiento trófico, sumado a las mayores abundancias de la especie en las zonas norte y sur del país, y a su superposición espacial con importantes pesquerías comerciales, ha provocado una serie de conflictos operacionales entre el LMC y la

pesquería, que ha sido documentado en diversos estudios (*e.g.* Sepúlveda *et al.* 2007, Bartheld *et al.* 2008, Goetz *et al.* 2008, de la Torre *et al.* 2010). Todos estos conflictos llevaron a la generación del Primer Plan de Manejo de esta especie en Chile, específicamente en la X Región (Oliva *et al.* 2008).

Sin embargo, pese a la existencia de este Plan de Manejo, existen aún varios parámetros biológicos básicos que aún se desconocen (Oliva *et al.* 2008). Autores como Harwood (1987) y Szteren & Páez (2002) han enfatizado que para desarrollar un plan de manejo adecuado en este tipo de especies es necesario conocer las dinámicas depredador-presa, para lo que se requiere contar con información espacial y temporal de la composición de la dieta. Asimismo, y pese a que existen diversos estudios de la composición de la dieta de esta especie en Chile (*e.g.* Aguayo *et al.* 1973, Oliva 1983, Sielfeld *et al.* 1997, George-Nascimento *et al.* 1985, Hückstädt *et al.* 2007, Muñoz *et al.* 2013), su rol ecológico no ha sido evaluado a cabalidad. La caza del lobo marino común en las costas de Chile se interrumpió oficialmente hace décadas. Sin embargo, esta especie aún es considerada como un recurso hidrobiológico y las modificaciones a la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPYA) aprobadas en diciembre de 2012, reconocen que para alcanzar la conservación y sustentabilidad pesqueras es necesario aplicar el enfoque precautorio y el enfoque ecosistémico. En este sentido, la LGPYA señala que en el marco del enfoque ecosistémico es necesario considerar las interacciones tróficas principales de los recursos hidrobiológicos dentro de un área específica.

2.3 Modelos ecosistémicos

Tradicionalmente, el rol de una especie de depredador en su ecosistema se ha evaluado a través de la descripción y cuantificación de la(s) especie(s) que componen su dieta. Esta información también es útil para monitorear la salud y el estado de nutrición de la población del depredador. Aunque importante, la dieta solamente nos entrega información sobre los impactos tróficos directos del predador. Además, incluso los depredadores tope pueden ser presas de otras especies en algún momento de su ontogenia.

Entonces, las relaciones tróficas (y por ende los impactos de un depredador) en el ambiente marino son mejor representadas por una red de interacciones, *i.e.*, una trama trófica, donde el foco de análisis incluye todos los niveles tróficos y la mayor cantidad posible de grupos funcionales. Este enfoque nos permite evaluar el impacto del depredador en su ecosistema y también su interacción con la(s) pesquería(s).

Actualmente, existen una serie de modelos que describen el ecosistema a través de la representación cuantitativa de su trama trófica. El modelo Ecopath with Ecosim (Christensen & Pauly 1992, Walters *et al.* 1997) es uno de ellos y ha sido propuesto como un enfoque práctico y flexible a la hora de desarrollar el enfoque ecosistémico para pesquerías (Plagányi 2007, FAO 2008). Los modelos ecosistémicos pueden utilizarse para una gran variedad de propósitos, que pueden clasificarse en: i) mejorar nuestra comprensión de un sistema (estructura, funcionamiento e interacciones), ii) proveer información y consejo para informar la planificación estratégica (asociadas a objetivos de manejo de largo alcance e inherentemente adaptables) y la toma de decisiones, y iii) proveer información y consejo para informar la planificación táctica (decisión de corto plazo asociada a un objetivo operacional) y la toma de decisiones.

3. METODOLOGIA

El presente Informe Final da cuenta de la metodología y resultados de todos los Objetivos Específicos solicitados por el Fondo de Investigación Pesquera.

3.1 ***Objetivo Específico 1. Determinar la composición de la dieta del LMC en la costa de Chile***

A.- Zonas de estudio

De acuerdo a lo comprometido en la propuesta técnica, se trabajó en colonias localizadas en dos zonas geográficas: norte y sur del país. En la zona norte se trabajó en las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta; y en la zona sur se trabajó en la Región de Los Lagos (Ver Anexo 1 autorización de Pesca de Investigación). Dado que uno de los investigadores se encuentra realizando su tesis doctoral en la Universidad de Antofagasta en el marco de este proyecto, es que se solicitó a la Subsecretaría de Pesca el incorporar a la Región de Antofagasta como una región adicional de la zona norte (ver R.Ex.Nº 1586 en Anexo 1).

B.- Análisis de Isótopos estables

B.1.- Fecha de muestreo

Las fechas de toma de biopsias de lobos marinos para el análisis de isótopos estables se indican en la Tabla 1. Debido a que la piel de los lobos marinos representa la dieta de los animales entre veinte días y tres meses atrás (Tieszen *et al.* 1983, Kurle & Worthy 2001), las muestras fueron tomadas a comienzos de otoño (dieta de verano) y comienzos de primavera (dieta de invierno) de 2015. Como se aprecia en la Tabla 1 se trabajó en cuatro colonias en la zona norte, y en tres de la zona sur. En la zona norte, las loberas fueron Punta Blanca (Arica y Parinacota), Punta Patache y Punta Lobos (Tarapacá), y Punta Campamento (Antofagasta). En el caso de la zona sur, las loberas correspondieron a Chullec Leoman (Isla de Quinchao, Chiloé), Caleta La Arena (Seno Reloncaví) y Cahuelmó (Fiordo Cahuelmó).

Tabla 1. Fechas de colecta de muestras de piel de lobos marinos en la zona norte y zona sur, para las estaciones de verano e invierno de 2015.

Zona	Ubicación geográfica		Colonia	Estación	
	Latitud	Longitud		Verano	Invierno
Zona Norte	18°34'32"	70°20'19"	Punta Blanca	-	15 de Septiembre
	20°48'39"	70°12'34"	Punta Patache	04 al 07 de Abril	11 y 14 de Septiembre
	21°01'07"	70°10'34"	Punta Lobos	07 de Abril	14 de Septiembre
	23°03'54"	70°33'16"	Punta Campamento	16 de Mayo	10 de Septiembre
Zona Sur	42°28'50"	73°32'00"	Chullec	11 y 12 de Abril	26 de Septiembre
Sur	41°42'53"	72°41'15"	Caleta La Arena	14 de Abril	22 de Septiembre
	42°15'57"	72°26'09"	Cahuelmó	15 de Abril	23 de Septiembre

B.2.- Recolección de muestras

Las Tablas 2 y 3 muestran el número de muestras de piel de lobos marinos colectadas en las zonas norte y sur, respectivamente. Para el caso de la zona norte, en verano se colectaron un total de 117 muestras en tres colonias (Pta. Patache, Pta. Lobos y Pta. Campamento). En invierno se colectaron 104 muestras en cuatro colonias (Pta. Blanca, y las tres anteriormente mencionadas). En el caso de la zona sur, se colectaron un total de 76 y 80 muestras en verano e invierno, respectivamente. Todas estas biopsias se tomaron en tres colonias (Chullec (Isla de Chiloé), Caleta La Arena y Cahuelmó).

El número de muestras de piel de lobos marinos colectadas estuvo dentro del número estipulado en la propuesta. Se tomaron biopsias de las siguientes clases de edad/sexo: (1) machos adultos, (2) machos subadultos, y (3) hembras adultas. Para la clasificación de los animales en las distintas clases de edad se utilizaron los caracteres diagnósticos definidos por Hamilton (1934), Scheffer (1958) y King (1983). El principal inconveniente en el terreno fue el bajo número de machos registrados en las colonias, por lo que se muestreó mayor cantidad de hembras. Los juveniles estuvieron escasamente representados en el

muestreo y fueron eliminados del análisis. Además, para la zona norte hubo un número marginal de muestras donde no se pudo identificar la clase de edad de los individuos, por lo que fueron clasificados como indeterminados, también siendo descartados para el análisis por clase de edad.

Tabla 2. Número de muestras de piel de lobos marinos comunes colectadas en la zona Norte de Chile. MA: machos adultos, MSA: machos subadultos; HA: hembras adultas, J: juveniles; Ind: Indeterminados.

Colonia	Verano						Invierno					
	M	MS	H	J	Ind	Tota	M	MS	H	J	Ind	Tota
	A	A	A		.	l	A	A	A		.	l
Punta Blanca	0	0	0	0	0	0	1	4	12	0	0	17
Punta Patache	0	7	44	1	3	55	5	7	32	0	0	44
Punta Lobos	17	5	7	0	0	29	9	4	0	0	0	13
Punta Campamento	0	5	28	0	0	33	7	2	20	0	1	30
TOTAL	17	17	79	1	3	117	22	17	64	0	1	104

Tabla 3. Número de muestras de piel de lobos marinos comunes colectadas en la Zona Sur de Chile. MA: machos adultos, MSA: machos subadultos; HA: hembras adultas, J: juveniles; Indet: Indeterminados.

Colonia	Verano						Invierno					
	M	MS	H	J	Inde	Tota	M	MS	H	J	Inde	Tota
	A	A	A		t	l	A	A	A		t	l
Chullec	0	2	8	1	0	11	0	1	6	0	0	7
Caleta La Arena	11	13	19	0	0	43	3	2	18	0	0	23
Cahuelmó	5	8	9	0	0	22	17	11	21	1	0	50
Total	16	23	36	1	0	76	20	14	45	1	0	80

Para la obtención de las biopsias se utilizó un rifle modelo PaxArms calibre 22 (Figura 1), que permite tomar biopsias de tejidos a distancia, sin tener que capturar los animales. Este rifle utiliza dardos especialmente acondicionados para sacar las biopsias, que en este caso corresponde a pelo, piel y grasa (Figura 2). Estos dardos están compuestos por una cabeza metálica que penetra la piel del animal y extrae la muestra; y un cuerpo y cola plásticos que cumplen la doble función de prolongar la extensión del mismo dardo para ser disparado con el rifle y dar flotabilidad (Figura 3). Para una rápida recuperación del material, el dardo es amarrado con un hilo de pesca y sujeto a una caña de pescar.



Figura 1. Fotografía que muestra el rifle PaxArms calibre 22 utilizado para el muestreo de lobos marinos.



Figura 2. Fotografía que muestra un dardo con muestras de pelo, piel y grasa de un lobo marino común.

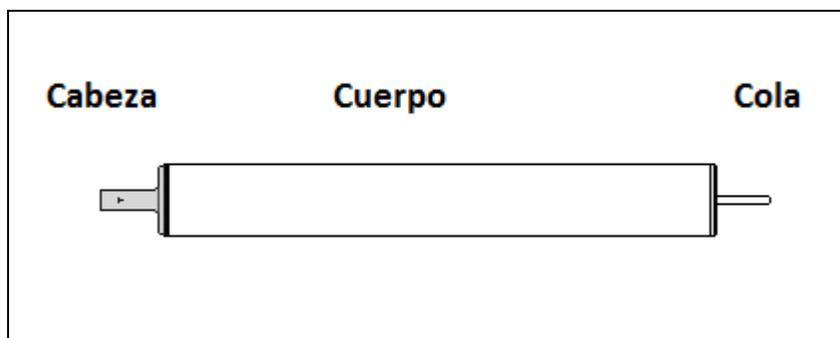


Figura 3. Esquema de un dardo utilizado para tomar biopsias de lobos marinos.

Los dardos fueron disparados desde mar o tierra a una distancia aproximada de 5 - 10 m del animal. La Figura 4 muestra algunas fotografías de trabajo en terreno para la obtención de muestras. Todas las muestras obtenidas en terreno fueron congeladas, almacenadas en tubos Eppendorf y posteriormente trasladadas al laboratorio.

Adicionalmente, y tal como se comprometió en la propuesta, en la zona norte se colectaron muestras de 102 individuos de 20 taxa que incluyeron peces, moluscos y crustáceos. La Tabla 4 muestra la lista de especies muestreadas. Estas muestras fueron obtenidas a través de la compra directa a pescadores artesanales en caletas ubicadas en las ciudades de Arica y Antofagasta. A los peces recolectados se les extrajo una biopsia de músculo con un bisturí,

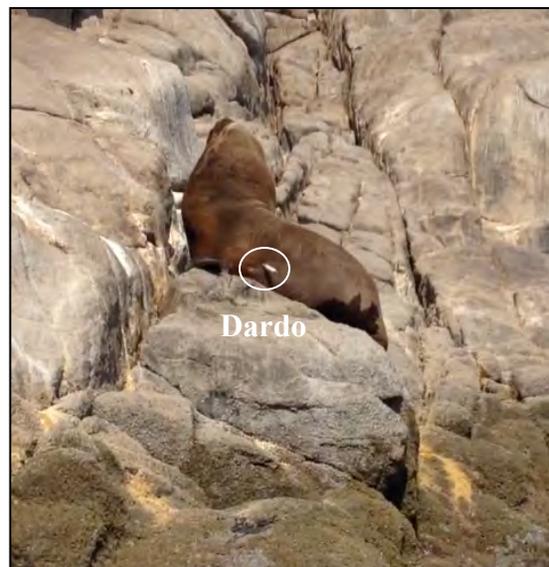
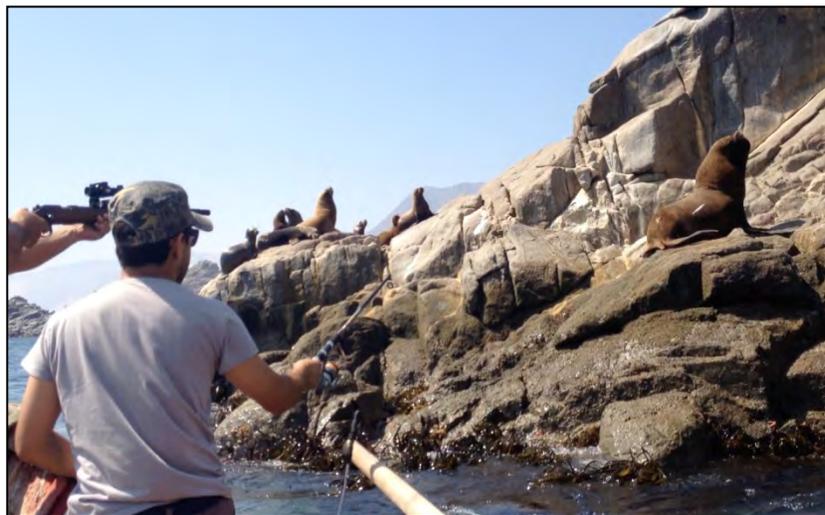


Figura 4. Fotografías del trabajo en terreno para la obtención de muestras para el análisis de isótopos estables. Fotografías: Macarena Santos.

de 1 cm³ aproximadamente (Figura 5), y a los crustáceos se les extrajo músculo de las pinzas (propodito, carpopodito y meropodito). Todas las muestras se almacenaron congeladas dentro de tubos Eppendorf y fueron rotuladas, para su posterior procesamiento en el laboratorio.

Tabla 4. Lista de especies de peces, moluscos y crustáceos muestreados como posibles presas del lobo marino común en la zona norte de Chile.

Clase	Nombre común	Especie	n
Actinopterygii	Albacora	<i>Xiphias gladius</i>	4
	Bonito	<i>Sarda chiliensis</i>	7
	Caballa	<i>Scomber japonicus</i>	8
	Cabinza	<i>Isacia conceptionis</i>	3
	Cabrilla	<i>Paralabrax humeralis</i>	5
	Cojinoba del norte	<i>Seriolella violacea</i>	5
	Dorado	<i>Seriola lalandi</i>	3
	Jurel	<i>Trachurus murphyi</i>	8
	Lenguado	Fam. Paralichthyidae	5
	Lisa	<i>Mugil cephalus</i>	5
	Pejerrey	<i>Odontesthes regia</i>	5
	Rollizo	<i>Pinguipes chilensis</i>	5
	Sardina española	<i>Sardinops sagax</i>	5
	Sargo	<i>Anisotremus scapularis</i>	5
	Tomoyo	<i>Labrisomus philippii</i>	5
Bilagay	<i>Cheilodactylus variegatus</i>	10	
Chondrichthyes	Azulejo	<i>Prionace glauca</i>	1
	Tollo	<i>Mustelus mento</i>	1
Malacostraca	Jaiba	<i>Cancer</i> spp.	5
Cephalopoda	Pulpo	Fam. Octopodidae	7
Total			102

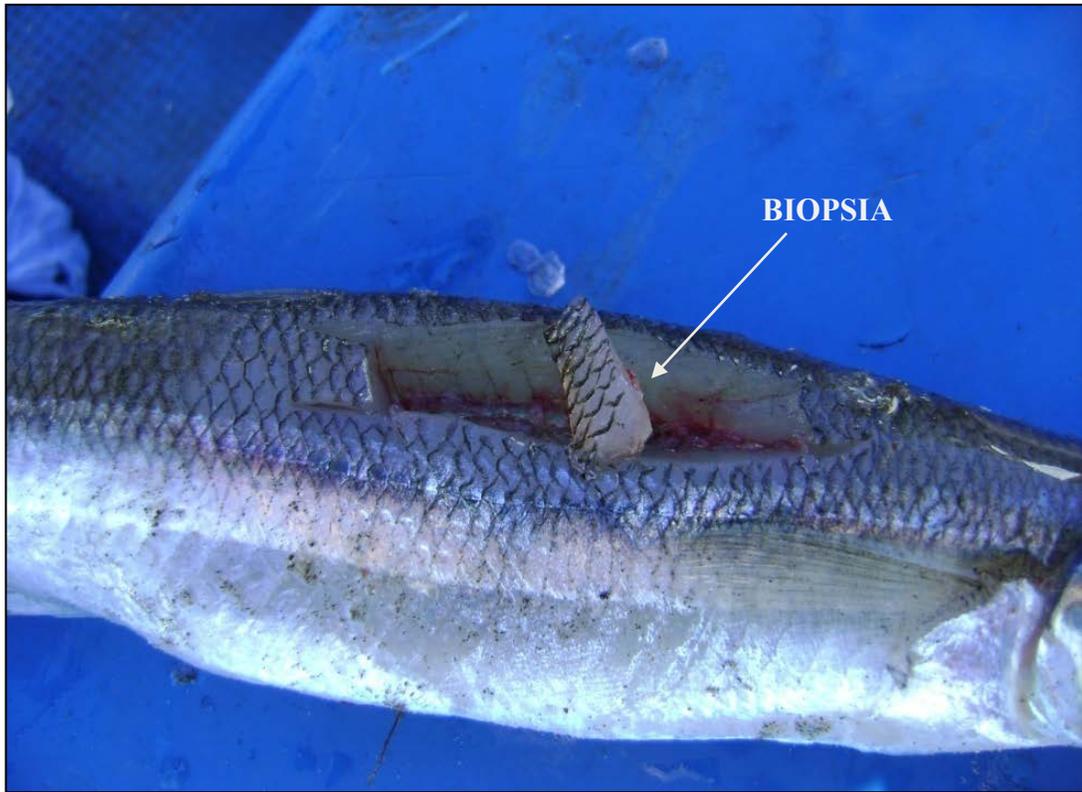


Figura 5. Fotografía de una biopsia tomada al ítem presa pejerrey de mar (*Odontesthes regia*). Fotografía: Guido Pavez.

En el caso de la zona sur, se utilizó la base de datos de valores isotópicos de presas obtenidas a través de distintos proyectos de investigación ya finalizados (INNOVA CHILE 07CN13 IPM-170, Fondecyt N° 11110081). La Tabla 5 muestra la lista de especies de presas utilizadas en el análisis de dieta del lobo marino común. En este caso, se consideraron los valores isotópicos de 132 individuos pertenecientes a 16 taxa.

Tabla 5. Lista de especies de peces y crustáceos considerados para el análisis de dieta del lobo marino común en la zona sur de Chile.

Clase	Nombre común	Especie	n
Actinopterygii	Salmónidos de cultivo	<i>Oncorhynchus kisutch</i> , <i>O. mykiss</i> , <i>Salmo salar</i>	30
	Róbalo	<i>Eleginops maclovinus</i>	12
	Sierra	<i>Thyrsites atun</i>	7
	Cabrilla	<i>Paralabrax humeralis</i>	3
	Pejerrey	<i>Odontesthes regia</i>	16
	Sardina austral	<i>Sprattus fuegensis</i>	7
	Jurel	<i>Trachurus murphyi</i>	4
	Merluza austral	<i>Merluccius australis</i>	27
	Corvina	<i>Cilus gilberti</i>	3
	Congrio	<i>Genypterus spp.</i>	11
	Rollizo	<i>Pinguipes chilensis</i>	5
Chondrichthyes	Pejegallo	<i>Callorhynchus callorhynchus</i>	3
	Tollo	<i>Mustelus mento</i>	2
Malacostraca	Langostino de los canales	<i>Munida spp.</i>	2
Total			132

B.3.- Procesamiento de las muestras

En el laboratorio, las muestras de lobos marinos y de las presas fueron separadas por tipo de tejido: pelo, piel y grasa en el caso de los lobos marinos; y músculo en el caso de las presas, con la ayuda de bisturíes y pinzas quirúrgicas. Las muestras de grasa y pelo de lobo marino no fueron utilizadas para el análisis de isótopos estables.

Las biopsias fueron colocadas individualmente en pequeños recipientes de papel de aluminio (Figura 6), y luego secadas por 72 h a 60°C en una estufa de secado (modelo UNE400, Memmert, Alemania). Luego de este período, las muestras de piel de lobos marinos fueron cortadas con un bisturí hasta el nivel más fino posible sobre una base de porcelana. En el caso de las muestras de músculo de las presas, éstas fueron molidas en un

mortero de porcelana con fondo poroso de 9 cm de diámetro, hasta que se transformaron en polvo. Todas las muestras fueron rotuladas y almacenadas en papel filtro.

Posteriormente, las muestras fueron lavadas en un extractor Soxhlet con éter de petróleo por 2 horas para extraer los lípidos (Figura 7). Este procedimiento se realiza porque los lípidos se encuentran empobrecidos en $\delta^{13}\text{C}$ entre 6-7‰, respecto a las proteínas y carbohidratos (DeNiro & Epstein 1978, Tieszen *et al.* 1983, McCutchan *et al.* 2003, Zhao *et al.* 2004). Esto se produce por efectos cinéticos que ocurren en la biosíntesis de los lípidos, especialmente en la formación de acetil-CoA (McCutchan *et al.* 2003). Por lo tanto, los tejidos que poseen un alto contenido de lípidos tienen un $\delta^{13}\text{C}$ menor que aquellas con un bajo contenido lipídico.



Figura 6. Recipiente de papel aluminio con muestra de piel de lobo marino.

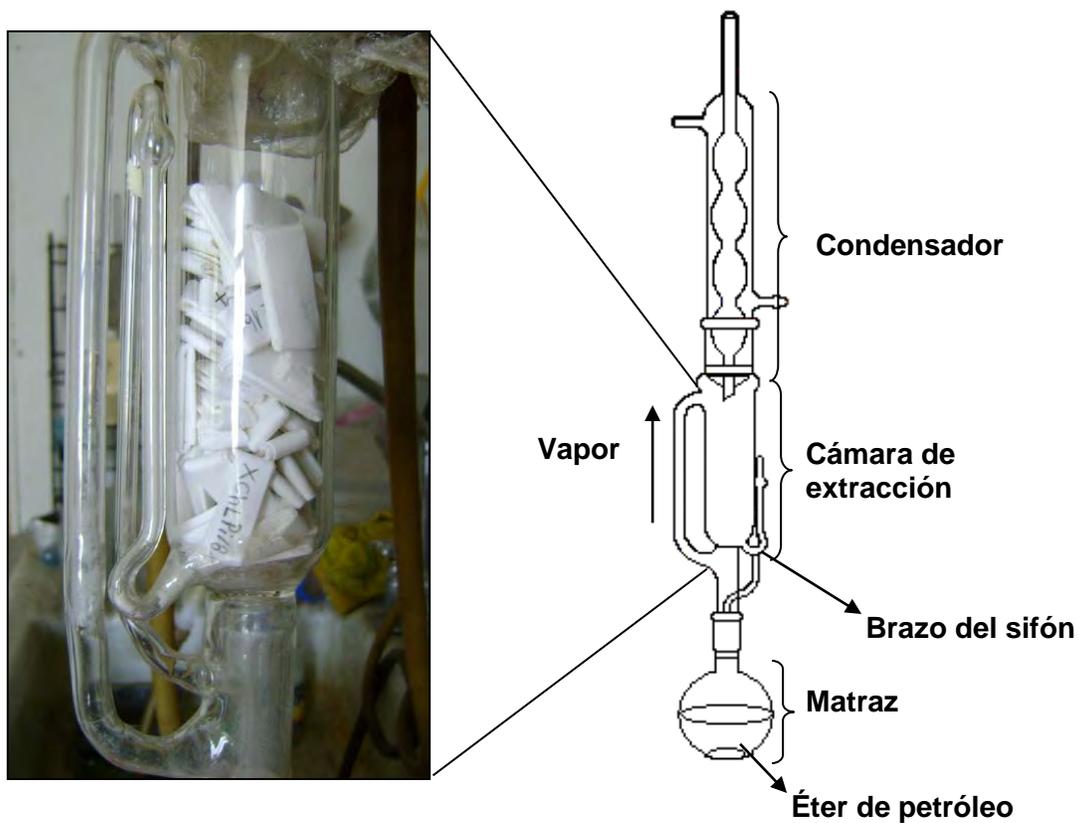


Figura 7. Esquema de un extractor Soxhlet (derecha) y fotografía de las muestras dentro de la cámara de extracción (izquierda).

Finalmente, las muestras fueron nuevamente almacenadas en tubos Eppendorf y enviadas al laboratorio del Dr. Seth Newsome, en la University of New Mexico (USA), donde fueron analizadas en un espectrómetro de masa para isótopos estables de flujo continuo.

C.- Análisis de fecas

C.1.- Obtención de las muestras

Tal como fue comprometido, en los mismos sectores en que se muestrearon lobos marinos para el análisis de isótopos estables se realizó la colecta de fecas de lobos marinos.

Para el análisis de fecas, y dado que la dieta en base a este método refleja exactamente el periodo del año en que fueron colectadas, los muestreos fueron realizados en los meses de enero a marzo de 2015 para la estación de verano, y de julio y agosto para la de invierno.

En la zona norte, se colectaron fecas en tres localidades: Punta Blanca – Arica, XV Región de Arica y Parinacota; Punta Patache – Iquique en la I Región de Tarapacá; y Punta Campamento (Mejillones) – Antofagasta en la II Región de Antofagasta. En Punta Blanca y Punta Patache la logística de los muestreos fue apoyada por un grupo de trabajo de la Universidad Arturo Prat (Iquique), mientras que para Punta Campamento se contó con el acompañamiento de investigadores de la Universidad de Antofagasta y prestadores de servicios turísticos de la zona. En Antofagasta, considerando una menor existencia de antecedentes tróficos para *O. flavescens*, se aumentó el esfuerzo de muestreo para asegurar una mayor representatividad en las estimaciones.

En la Tabla 6 se indica el número de muestras colectadas para cada localidad de estudio, tanto en verano como en invierno.

Tabla 6. Número de muestras de fecas colectadas en las zonas norte y sur de Chile, para las estaciones de verano e invierno de 2015.

Localidad	Estación del año	
	Verano	Invierno
Zona norte:		
Arica	32	29
Iquique	29	36
Antofagasta	57	35
Zona sur:		
Chiloé	17	4
La Arena	6	16
Cahuelmó	-	37
TOTAL	141	157

Para el caso de la zona sur, las muestras de fecas de lobo marino común se obtuvieron en la localidad de Chullec, ubicada en la Isla de Quinchao en Chiloé. Las muestras fueron obtenidas desde boyas y plataformas de centros de mitilicultura (Figura 8). En tanto, las muestras en caleta La Arena fueron obtenidas con la colaboración de pescadores artesanales de la zona, y las de Cahuelmó fueron colectadas con la colaboración de Fundación Huinay.



Figura 8. Lobos marinos sobre boyas en y sobre plataforma abandonada en la localidad de Chullec.

En cada colonia, y buscando la menor intervención de las colonias durante en el período reproductivo, se ingresó cuidadosamente por uno de los extremos de la agregación de animales. En el caso de Punta Blanca y Punta Campamento en la zona norte, así como en las localidades de la zona sur, el acceso a las colonias se realizó desde una embarcación menor (<12m de eslora), que fue aproximada cuidadosamente hasta un punto que permitiera el acceso de los investigadores a tierra. En Iquique, debido a las facilidades dadas por la geomorfología de la zona, se accedió a la lobera Punta Patache a pie, luego de ingresar por una vía anteriormente adecuada con fines de observación pasiva y turismo.

Para cada caso, las colectas de fecas se realizaron utilizando espátulas plásticas y frascos o bolsas plásticas, debidamente sellados y rotulados. Las fecas fueron seleccionadas considerando que fuesen frescas, consistentes, e individualizadas de otras fecas. Las muestras fueron almacenadas en alcohol al 85%, y posteriormente trasladadas al laboratorio.

C.2.- Procesamiento de las muestras

Una vez en el laboratorio, las fecas se suspendieron en una solución de detergente (1%) (Orr *et al.* 2003) en un vaso precipitado de vidrio. Cada muestra fue lavada varias veces utilizando agua abundante, pasando por tres tamices de un tamaño de malla de 2,5 mm, 1,5 mm y 1 mm, con el fin de separar los restos de presas de la materia orgánica. Se colocaron las fecas en el tamiz de mayor apertura de malla y se roció con agua (con una presión suave) hasta que todo el material de desecho orgánico pasara al siguiente tamiz. Se repitió la operación con los tamices menores. Las partes duras de las presas (otolitos, escamas, cristalinós, exoesqueletos de crustáceos, conchas de bivalvos) se separaron de los restos de materia y se almacenaron en seco (Orr *et al.* 2003).

En el caso de los otolitos se analizaron los otolitos *sagitta* que son más conspicuos (Green *et al.* 2009, Morales-Nim 1994). Para determinar las presas se compararon con muestras obtenidas de material de referencia (Boyd *et al.* 2010) y con la literatura (*e.g.*, Lombati *et al.* 1991, Tomari *et al.* 2005, Aranís *et al.* 2007).

C.3.- Composición de la dieta del lobo marino común en base a las fecas

Las especies presas fueron analizadas utilizando lupas estereoscópicas, e identificadas al nivel más bajo posible utilizando literatura científica, manuales de identificación y literatura de osteología de peces (*e.g.*, Pequeño & Inzunza 1987, Inzunza & Pequeño 1988, Montecinos 1988, Jaramillo 1989, Falabella *et al.* 1995, Murillo 1998, Bravo *et al.* 1999, Aranís *et al.* 2007, Silva & Pequeño 2007).

Para el caso de los peces, el número de individuos de una especie particular (NI) encontrados en una muestra fue calculado de acuerdo a lo expuesto por Koen Alonso *et al.* (1998) y Riet-Sapriza *et al.* (2013) como:

$$NI = OI \pm 0,5OI \quad \text{si } OI > OD$$

$$NI = OD \pm 0,5ON \quad \text{si } OD > OI$$

Donde OI es el número de otolitos izquierdo; OD es el número de otolitos derecho y ON es el número de otolitos no identificados.

En el caso de moluscos y crustáceos se estimó el número mínimo de ejemplares contabilizando el número de partes duras completas para cada especie. En cefalópodos en particular se utilizó el pico inferior para la identificación de la especie, ya que es este segmento el que se utiliza para fines taxonómicos (Koen Alonso *et al.* 1998, Riet-Sapriza *et al.* 2013).

Para estimar la contribución de los distintos ítems de presas a la dieta del LMC en ambas zonas de estudio se utilizaron dos índices dietarios: Frecuencia de ocurrencia y Frecuencia relativa de ocurrencia. La frecuencia de ocurrencia (FOi) se define como el porcentaje de fecas que contiene uno o más individuos de una especie de presa, de acuerdo a la fórmula:

$$FOi = (Si/St) \times 100$$

Donde Si corresponde al número de fecas que contienen a la especie i , y St al total de fecas analizadas.

En tanto, la frecuencia relativa de ocurrencia (Ni) de cada ítem de presa se define como:

$$Ni = (ni/nt) \times 100$$

Donde ni es el número de individuos de la especie i y nt es el número total de individuos de todas las categorías de presas encontradas en las fecas.

En cada zona geográfica se comparó la diversidad de especies entre las fecas de verano e invierno utilizando el índice de diversidad de Shannon (H'). Este índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (*riqueza de especies*), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (*abundancia*).

Asimismo, se calculó el solapamiento de nicho, utilizando la fórmula simétrica propuesta por Pianka (1973) en base a la de McArthur & Levins (1967). Este índice varía entre 0 (ningún solapamiento) y 1 (solapamiento completo).

B.4.- Composición de la dieta del lobo marino común en base a isótopos estables y fecas

Para determinar la contribución de la dieta de las potenciales presas de los lobos marinos mediante el análisis de isótopos estables, se utilizaron modelos mixtos a través del paquete SIAR de la plataforma R (versión 3.2.3). Este software utiliza un modelo probabilístico basado en estadística Bayesiana, que calcula todas las potenciales combinaciones de dieta que podría arrojar los valores isotópicos de los tejidos del depredador, y determina cual es la dieta más probable (Parnell *et al.* 2010). Además de incorporar la firma isotópica del depredador (lobos marinos) y de sus potenciales presas, este programa considera los factores de discriminación trófica (FDT) de los tejidos del depredador, y fuentes de incertidumbre, como la desviación estándar de la firma isotópica de las presas y de los FDT. Actualmente no existe una estimación de los FDT de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para *O. flavescens*, por lo que se usaron los valores registrados para otras especies de pinnípedos. En este caso, se emplearon los FDT determinados por Hobson *et al.* (1996) en tres especies de focas (*Phoca hispida*, *P. vitulina* y *Pagophilus groenlandicus*) alimentadas en cautiverio. De acuerdo a estos autores, se utilizó un FDT de 2,5‰ y 3,0‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ y el $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente (Hobson *et al.* 1996). Además, se asumió una desviación estándar de 0,5‰ para todos los factores de discriminación trófica.

Debido a que los modelos mixtos para isótopos estables no permiten diferenciar presas con firma isotópica similar (Phillips *et al.* 2005, Moore & Semmens 2008), las potenciales presas de los lobos marinos fueron agrupadas en cinco grupos funcionales, tanto para la zona norte, como para la zona sur (ver Resultados). Estos grupos fueron definidos de acuerdo a la similitud en los valores isotópicos y al hábitat y rol funcional de las presas en el ecosistema. En el caso de la zona norte, los grupos fueron: peces pelágicos, peces demersales, peces bentopelágicos, crustáceos bentónicos y cefalópodos bentónicos. En el caso de la zona sur, los grupos funcionales fueron: peces pelágicos, peces demersales, peces bentopelágicos, crustáceos pelágicos y salmónidos de cultivo.

Una de las ventajas de los modelos Bayesianos como SIAR es que permite incorporar información *a priori* sobre la dieta del depredador, es decir, la composición de la dieta obtenida de la literatura o a través de métodos tradicionales (*e.g.* análisis de fecas; Parnell *et al.* 2010, Franco-Trecu *et al.* 2013). La incorporación de esta información previamente conocida, permite guiar el modelo y obtener un resultado más preciso. Debido a lo anterior, es que se aplicaron dos análisis a los datos. Un primer modelo (denominado en Resultados como *Modelo 1* y con las siglas MM) permitió estimar la dieta de los lobos marinos a partir sólo de los datos isotópicos de las presas (como grupos funcionales), sin incluir información previa. Luego, se realizó un segundo modelo (denominado como *Modelo 2* y con las siglas MM+F) donde además de la firma isotópica de las presas (grupos funcionales), se incorporó como información *a priori* los datos de contribución en la dieta obtenidos a partir del análisis de fecas. En este último caso, las especies de presas encontradas en las fecas fueron agrupadas en los mismos grupos funcionales usados para el análisis de isótopos estables. Se utilizó el índice de frecuencia de ocurrencia relativa como input a este Modelo 2 (ver Resultados de fecas). Para ambos modelos, se determinó la contribución de la dieta por zona (norte y sur), por estación del año (verano e invierno) y por clase de edad/sexo (machos adultos, machos subadultos y hembras adultas).

3.2 Objetivo Específico 2. Cuantificar los requerimientos energéticos y el nivel de consumo de presas necesario para sustentar la población del LMC en Chile

A.- Colecta de muestras

En el transcurso del año 2015 se colectaron muestras de nueve especies de presas en la zona norte, y de otras nueve en la zona sur. En la Tabla 7 se detallan las especies de presas, su número y las zonas en que fueron colectadas. Debido al rango geográfico, las presas colectadas fueron diferentes en ambas zonas, a excepción del jurel y del rollizo, que se colectaron en ambas zonas de estudio.

Tabla 7. Especies de presas colectadas en las zonas norte y sur para análisis de calorimetría

Nombre común	Nombre científico	N° de muestras	
		Zona norte	Zona sur
Bilagay	<i>Cheilodactylus variegatus</i>	3	
Jurel	<i>Trachurus murphyi</i>	3	3
Cabinza	<i>Isacia conceptionis</i>	3	
Caballa	<i>Scomber japonicus</i>	3	
Cabrilla	<i>Paralabrax humeralis</i>	3	
Rollizo	<i>Pinguipes chilensis</i>	3	1
Dorado	<i>Coryphaena hippurus</i>	2	
Anchoveta	<i>Engraulis rigens</i>	4	
Pulpo	<i>Octopus mimus</i>	2	
Merluza austral	<i>Merluccius australis</i>		6
Sierra	<i>Thyrstites atun</i>		2
Congrio dorado	<i>Genypterus blacodes</i>		3
Trucha arcoíris (cultivo)	<i>Oncorhynchus mykiss</i>		1
Salmon coho (cultivo)	<i>Oncorhynchus kisutch</i>		3
Sardina austral	<i>Spratus fuegensis</i>		3
Pejerrey	<i>Odontesthes regia</i>		4

En terreno, a estas muestras se les extrajo una biopsia de músculo con un bisturí (2 cm³) y posteriormente almacenadas en criotubos y congeladas para su traslado al laboratorio. Una vez en el laboratorio las muestras fueron secadas por 72h a 60°C en una estufa de secado (modelo UNE400, Memmert, Alemania). Una vez pasado este tiempo el músculo fue molido en un mortero de porcelana con fondo poroso de 9 cm de diámetro hasta el nivel más fino posible. Finalmente, para determinar el contenido energético de las presas de lobos marinos, las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Ecofisiología Animal de la Universidad de Chile.

Para las mediciones de contenido calórico se utilizó una bomba calorimétrica Parr 1261 (Parr Instrument Company, Moline, IL, Figura 9). Brevemente, se agregó entre 0,5 – 1g de muestra en un pocillo metálico. Luego, el pocillo con muestra fue introducido dentro de una bomba metálica, se conectó un electrodo a la muestra y se le agregó O₂ a una presión de 450 psi. Posteriormente, la bomba cargada con muestra y O₂ fue introducida dentro de la unidad de medición en un baño de agua deionizada, para proceder a la combustión de la muestra y determinar su contenido energético (cal/g).



Figura 9. Fotografía de la bomba calorimétrica Parr 1261 utilizada para obtener el contenido energético de las presas de lobos marinos.

A.- Modelo energético de Trites (1997)

Se realizaron estimaciones de consumo de presas a través de modelación de cambios en el tamaño poblacional, requerimientos energéticos y composición de la dieta. La estimación del nivel de consumo diario de presas consumidas por el lobo marino se calculó utilizando un modelo de consumo (

consideraron los juveniles puesto que no se dispone de información de la composición de la dieta de esta clase de edad ya que no se colectaron muestras de tejido de juveniles. Esto debido a que por su bajo tamaño se optó por no perturbarlos con la extracción de una biopsia.

En los censos de Bartheld *et al.* (1998) y Oliva *et al.* (2012) se considera una categoría de indeterminados, que corresponde a animales que por su disposición en la lobera no pueden ser asignados a ninguna de las demás categorías. No obstante, y debido principalmente a las características de tamaño y coloración, estos animales no corresponden ni a machos adultos (que son fácilmente reconocibles por su tamaño) ni a crías (fácilmente reconocibles por su tamaño y coloración). Es decir, los indeterminados corresponden casi con seguridad a machos subadultos, hembras adultas o juveniles.

Para efectos de estimar el consumo de esta especie es necesario asignar a estos indeterminados a una categoría determinada. En base a lo mencionado anteriormente, en cada lobera los indeterminados fueron asignados equitativa y proporcionalmente a las clases de edad de machos subadultos, hembras y juveniles.

A.2.- Estimación del peso promedio individual por clase de edad/sexo S:

La estimación del peso de un individuo de clase de edad/sexo S fue modelada utilizando la curva de crecimiento de Von Bertalanffy (Hammill *et al.* 1997). Para esto se utilizaron las curvas de crecimiento de machos y hembras de animales colectados entre 1990 y 1997 en la zona norte de Chile por Grau (1998). Estas estimaciones fueron asimismo contrastadas con los datos expuestos por Winship *et al.* (2006) para *O. flavescens*.

A.3.- Consumo total de alimento por tipo de presa:

Winship *et al.* (2006) estimaron el consumo diario de alimento de lobos marinos comunes de distintas clases de edad y sexo, los que fueron estimados utilizando un modelo bioenergético desarrollado por Winship *et al.* (2002). Utilizando esta información se estimó el consumo diario de las distintas presas a través de la siguiente ecuación (Riet-Sapriza *et al.* 2013):

donde Q_{ij} es el consumo de la presa i por el depredador j (LMC en este caso); B_j es la biomasa del depredador j ; Q/B_j es la razón consumo/biomasa del depredador j ; DC_{ij} es la proporción de la presa i en la composición de la dieta de j (en peso). Se comparó el consumo de presas por parte del lobo marino común con la remoción realizada por la pesquería (capturas).

C.- Mortalidad por depredación

Usando un enfoque similar se calculó la mortalidad por depredación (M_2) causada por el LMC sobre sus principales presas usando la siguiente ecuación:

3.3 Objetivo Específico 3. Determinar el nicho trófico del LMC y evaluar su sobreposición con la pesca

A.- Determinación de nicho trófico:

Para cada estación, zona geográfica y clase de edad/sexo de los lobos marinos, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ fueron graficados en un biplot $\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{N}$. En este espacio se calcularon cuatro métricas comunitarias de amplitud del nicho trófico (nicho isotópico) de los lobos marinos, para cada zona, estación y clase de edad/sexo:

Rango de carbono (CR): CR es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de $\delta^{13}\text{C}$ de los lobos marinos, y representa la diversidad de presas que consume el depredador, en el sentido de presas de distintos hábitats (Layman *et al.* 2007).

Rango de nitrógeno (NR): NR es la diferencia entre el valor máximo y mínimo de $\delta^{15}\text{N}$ de los lobos marinos, e indica si la especie está consumiendo presas de niveles tróficos diferentes (Layman *et al.* 2007).

Área total (TA): TA analiza los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en el espacio isotópico ($\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{15}\text{N}$), y es una medida directa de la amplitud de nicho trófico, y una aproximación a la diversidad de presas que consume el depredador (Layman *et al.* 2007).

Área estándar de la elipse (SEA): SEA representa el área núcleo del nicho trófico del depredador (Jackson *et al.* 2011), corregido para tamaños de muestra pequeños (SEA_C expresado en $\% ^2$; Jackson & Britton 2014). Adicionalmente se calculó un estimado Bayesiano del SEA (SEA_B), para hacer comparaciones estadísticas del tamaño de la elipse entre zonas geográficas, estaciones y clases de edad/sexo (Jackson *et al.* 2011). Tanto SEA_C como SEA_B son independientes del tamaño de la muestra, otorgando una mejor y más completa descripción del nicho isotópico para los diferentes escenarios (factores) analizados (Jackson *et al.* 2011, 2012).

B.- Análisis de los datos:

Para analizar si la amplitud del nicho del LMC difiere entre zonas (norte y sur), épocas del año (verano e invierno), y clases de edad/sexo (machos adultos, machos subadultos y hembras), para cada factor se calculó la proporción del área estándar de la elipse en el Grupo 1 (*e.g.* verano) en relación a la del Grupo 2 (*e.g.* invierno), lo que permitió determinar similitudes o diferencias en la posición y extensión del nicho trófico (Hahn *et al.* 2013). Todos los cálculos de métricas de nicho, SEA_c, SEA_B y superposición de nicho de las variables de interés fueron calculados utilizando los paquetes SIBER y SIAR (“Stable Isotope Analysis”) en R (Parnell *et al.* 2008).

C.- Superposición con la pesquería:

Adicionalmente, y gracias a las ventajas de contar con un modelo de trama trófica para cada una de las zonas de estudio (ver Objetivo Específico 4), se complementó el enfoque expuesto anteriormente con el índice modificado de Pianka (1973). Con ello se calculó un índice de sobreposición de nicho trófico (O) basado en los coeficientes de competencia de las ecuaciones de Lotka-Volterra entre dos grupos funcionales. La ecuación para O es la siguiente:

$$\hat{O}_{jk} = \frac{\sum_i^n \hat{p}_{ij} \hat{p}_{ik}}{\sqrt{\sum_i^n \hat{p}_{ij}^2 \sum_i^n \hat{p}_{ik}^2}}$$

donde P_{ji} y P_{ki} son las proporciones del recurso i depredado por las especies/grupos funcionales j y k , respectivamente.

De acuerdo al autor, O_{jk} evalúa el grado en que dos depredadores comparten presas. El indicador se distribuye entre 0 (no comparten presas) y 1 (sobreposición completa), siendo valores intermedios los más comunes.

Adicionalmente, y gracias a las ventajas de contar con un modelo de trama trófica para cada una de las zonas de estudio (ver Objetivo Específico 4), lo expuesto anteriormente se complementó utilizando el índice modificado de Pianka (1973) para calcular un índice de

sobreposición de nicho trófico (ISN). Este índice se basa en los coeficientes de competencia de las ecuaciones de Lotka-Volterra entre dos grupos funcionales. La ecuación para ISN es la siguiente:

3.4 Objetivo Específico 4. Modelar la trama trófica de los ecosistemas y evaluar situaciones con diferentes abundancias y estructuras poblacionales del LMC

Tal como se propuso en nuestra Oferta Técnica, previo a la construcción de los modelos se procedió a analizar la literatura existente con el fin de estandarizar cada modelo. Modelos tróficos con balance de masa de gran escala han sido desarrollados para distintas regiones del norte y sur de Chile (*e.g.*, Medina *et al.* 2007, Pavés & González 2008, Pavés *et al.* 2013, 2015, Barros *et al.* 2014).

Considerando que el objetivo central de este proyecto es establecer el rol ecológico del lobo marino común (LMC), se procedió a comparar inicialmente la estructura de estos modelos publicados. Se constató que los autores consideran entre 13 y 36 grupos en sus respectivos modelos, lo que se explica principalmente por los distintos grados de agregación de los componentes del plancton y los peces (Medina *et al.* 2007, Pavés *et al.* 2013, 2015, Barros *et al.* 2014).

Considerando lo anterior, se procedió a definir una estructura estándar para los modelos que se usaron en este proyecto para cuantificar el rol ecológico del LMC en cada una de las tramas tróficas a considerar. Con ello se buscó que los resultados de cada modelo fueran comparables entre sí. No considerar una estructura estándar para los modelos podría resultar en que las diferencias o similitudes encontradas en el rol del LMC en cada modelo así como los impactos de cambios en su biomasa sean espurios, *i.e.*, dependan de la estructura (número de grupos) y no de verdaderos efectos ecológicos (Moloney *et al.* 2005). Debe aclararse que los grupos funcionales considerados en los modelos se registran en forma natural en cada ecosistema, aunque pueden estar constituidos por otras especies. Sin embargo tienen la misma función ecológica en las comunidades consideradas.

Este proceso fue guiado considerando las mejores prácticas para la modelación ecológica dirigida a informar el manejo pequero (FAO 2008). En este sentido, expertos en esta área señalan que es el primer paso y el más crítico en la construcción de un modelo es su

especificación, ya que se ocupa de las preguntas particulares a ser respondidas, los criterios de validación y todos los demás pasos de la modelación (si se usa como un proceso iterativo). Sin este paso previo, existe el riesgo de desarrollar modelos extremadamente simples o extremadamente complejos que no logren responder al propósito de la investigación. Un modelo tiene un nivel de detalle suficiente si captura los procesos, forzantes y resolución críticos para los componentes bajo escrutinio. De acuerdo con FAO (2008), los pasos a considerar en construcción de un modelo son:

- i) Definir la pregunta que se abordará.

- ii) Realizar una lista de las características potencialmente importantes del sistema en estudio y usar modelos conceptuales para descartar componentes que no sea necesario incluir en el modelo final.

- iii) Las escalas (y distribución) de cada proceso y componente, *e.g.*, escala espacial, resolución temporal, resolución taxonómica, factores forzantes, etc.

- iv) Resolución del modelo pesquero.

A partir de dos reuniones de trabajo internas más una reunión con la contraparte técnica, se definió lo siguiente (Ver Actas Reuniones con Contraparte técnica, Anexo 2):

1. La principal pregunta que se pretende responder con este proyecto mediante la construcción y análisis de modelos tiene relación con la determinación del rol ecológico del LMC en el territorio y aguas jurisdiccionales de Chile. Luego de esta, se generaron una serie de preguntas secundarias, aunque igualmente importantes, las cuales estaban orientadas en conocer cuáles son los impactos sobre la trama trófica producto de cambios en la abundancia del LMC.

2. Con respecto a los componentes, se realizó una revisión de modelos existentes para las áreas de estudio seleccionadas y se consensuó una estructura estándar que permitió responder las preguntas diseñadas en (1).

3. La escala espacial se definió de acuerdo a las bases técnicas del proyecto y nuestra oferta técnica, que indicaron como áreas de estudio a la zonas norte (Regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá) y a la sur (Región de Los Lagos). La escala temporal corresponde a períodos lo más acotados posibles (idealmente un año) donde se disponga de información ecológica necesaria para parametrizar el modelo. El período de tiempo corresponde a fines de la década de los noventa en la zona norte y a mediados de los años dos mil en la zona sur. Se consideró estos períodos apropiados, ya que existe información suficiente para parametrizar los modelos. Además, es la época a partir de la cual existen evaluaciones directas de stock para peces y también de otros grupos funcionales para cada zona considerada. Esta información permite proyectar el modelo desde ese punto inicial y ajustarlo a series de abundancia observadas en un lapso de tiempo importante, o series de tiempo. La resolución taxonómica de los modelos depende de la(s) pregunta(s) abordada(s) y los subsistemas relevantes. FAO (2008) considera la utilización del concepto de grupo funcional como la mejor forma de lograr una buena agregación. Un grupo funcional puede constar de un conjunto de especies que cumplen un rol similar (*e.g.* fitoplancton), una especie o bien, un grupo de edad/talla dentro de una especie. Nuestros modelos consideran todos los niveles tróficos del ecosistema, aunque el detalle taxonómico es mayor en los grupos con los cuales el lobo marino común interactúa directamente.

4. El modelo pesquero corresponde a las distintas flotas que operan en las áreas de estudio, las que se incluyeron en el modelo como un depredador más, a través de las capturas o desembarques. En este sentido la recomendación de FAO (2008) es separar la captura total del sistema en las distintas flotas, ya que ellas tienen distintos impactos en las especies objetivo y del by-catch, en el hábitat, así como también afectan distintos aspectos sociales y económicos.

A.- Estandarización de la estructura de los modelos

1. Se consideraron siete grupos funcionales ubicados en niveles tróficos superiores, que pueden ser depredadores y/o competidores para el LMC en cada sistema. Debe considerarse, además, que varios de estos grupos funcionales son normalmente considerados como especies emblemáticas o banderas para la conservación marina.
2. Se consideró siete grupos funcionales de peces óseos ubicados en niveles tróficos intermedios a bajos y que son presas conocidas o potenciales del LMC. Se destaca que estos grupos son explotados por pesquerías artesanales y/o industriales, y su inclusión permitirá evaluar la interacción ecológica del LMC con estas actividades pesqueras en cada sistema. Algo similar ocurrió al considerar la Salmonicultura en el modelo de la zona sur, mediante la incorporación del grupo funcional “Salmones” escapados y “asilvestrados” en dicho lugar.
3. Se consideró cuatro grupos funcionales de macroinvertebrados, dentro de los que destacan presas de LMC tales como pulpo, calamares (jibia), organismos bentónicos (moluscos, crustáceos) y múnida/langostino (crustáceo pelágico-bentónico). Algunos de ellos son explotados por pesquerías artesanales y/o industriales.
4. Se consideró cinco grupos funcionales para el zooplancton, a saber: zooplancton gelatinoso filtrador, zooplancton gelatinoso carnívoro, macrozooplancton quitinoso, mesozooplancton quitinoso y microzooplancton quitinoso.
5. Se consideró tres grupos funcionales para el fitoplancton (autótrofos o mixotrofos).
6. Se consideró un grupo funcional para el detrito (caja sumidero que recibe la fracción de la producción de cada grupo que no es explicada por pesca o depredación, i.e., otras mortalidades) junto con la fracción del alimento ingerido que no es asimilado. Alternativamente, se puede separar este grupo en dos: material orgánico particulado (MOP) y el material orgánico disuelto (MOD).

El detalle de los grupos funcionales se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Lista genérica de grupos funcionales a ser considerados en la modelación de las tramas tróficas en las que interviene el lobo marino común (LMC) en las regiones norte y sur de Chile.

N°	Grupo funcional	Justificación/Descripción
1	Orcas	<i>Orcinus orca</i> ; depredador de LMC
2	Otros depredadores	e.g., tiburones pelágicos que pueden ser depredadores/competidores de LMC
3	Lobo marino común	Especie objetivo del estudio.
4	Lobo fino austral	Competidor de LMC
5	Aves costeras-marinas	e.g., pingüinos, cormoranes, petreles, fardelas, pelicanos, albatros, etc. Especies competidores de LMC
6	Mysticetes	Ballenas barbadas (e.g., azul, jorobada, franca austral, minke)
7	Odontocetos	Competidores de LMC (ballenas dentadas – cachalote; delfines, marsopas y toninas)
8	Pelágicos pequeños	Sardinas y anchovetas son especies importantes, ya que sustentan a muchos grupos del ecosistema, incluido el LMC y la pesquería. Puede considerar otros peces pelágicos como el pejerrey en la zona sur.
9	Pelágicos medianos	Jurel, caballa, u otros como la corvina, sierra, reineta entre otros, son recursos pesqueros y presas de LMC.
10	Pelágicos mayores	Pez espada y túnidos pueden ser competidores para LMC.
11	Demersales 1	Peces demersales con hábitos tróficos bentónicos y pelágicos. Son presas de LMC. Dependiendo del nivel de canibalismo en estas especies en cada sistema, es posible considerar más de un grupo de talla o edad.
12	Demersales 2	Peces demersales con hábitos tróficos bentónicos y demersales, especialmente cartilagosos.

13	Mesopelágicos		Los peces mesopelágicos son presas importantes para grupos que interactúan con LMC (Mictofidos – peces linternas)
14	Peces costeros		Peces del submareal que son presas de LMC (depende de la zona, zona sur – robalo, corvina, rollizo, cabrilla.
15	Pulpos		Presa de LMC
16	Calamares		Presa de LMC
17	Bentos		Organismos bentónicos que pueden ser presa de LMC
18	Munida		Presa de LMC
19	Zoop.	Gelatinoso	Meduzas, ctenoforos, quetognata y sifonóforos
		Carnívoro	
20	Zoop.	Gelatinoso	Salpas y apendicularias
		Filtrador	
21	Macrozooplancton		Eufáusidos
22	Mesozooplancton		Copépodos (calanoideos y ciclopoideos) y larvas de decápodos y cladóceros
23	Microzooplancton		Ciliados, flagelados y larvas de copépodos
24	Microfitoplancton		Diatomeas y dinoflagelados
25	Nanozooplancton		Nanoflagelados heterótrofos
26	Nanofitoplancton		Nanoflagelados autótrofos
27	Baterioplancton		Bacterias marinas
28	Detrito 1		Material orgánico particulado (MOP)
29	Detrito 2		Materia orgánica disuelta (MOD)

B.- Modelos

B.1.- Modelo matemático Ecopath with Ecosim (EwE):

Para la construcción de los modelos de trama trófica de cada zona de estudio, se seleccionó el enfoque EwE (Christensen & Pauly 1992, Walters *et al.* 1997). EwE posee dos supuestos básicos determinados a partir de dos ecuaciones principales: (1) estado estable en términos de la producción de cada grupo funcional incluido en el modelo y (2) su balance de masa. La producción de cada grupo está balanceada por la depredación, las exportaciones y las mortalidades, a saber:

Producción = capturas + mortalidad por depredación + acumulación de biomasa + migración neta + otras mortalidades

La expresión matemática es:

$$P_i = Y_i + B_i M_{2i} + E_i + BA_i + MO_i$$

donde P_i es la tasa de producción total de grupo i ; Y_i es la captura total de i ; B_i es la biomasa total de i ; M_{2i} es la mortalidad por depredación de i ; E_i es la tasa de migración neta de i (emigración menos inmigración); BA_i es la acumulación de biomasa de i ; MO_i es otras mortalidades, independiente de la depredación y capturas, y se calcula como $P_i * (1 - EE_i)$. EE_i es la eficiencia ecotrófica de i , que corresponde a la fracción de la producción de cada grupo que es utilizada dentro del sistema como depredación o captura. La ecuación puede reordenarse como:

$$B_i (P/B)_i EE_i - \sum_{j=1}^n B_j (Q/B)_j DC_{ij} - Y_i - E_i - BA_i = 0$$

donde $(P/B)_i$ es la tasa de producción por unidad de biomasa (igual a Z en condición de equilibrio, *sensu* Allen 1971); $(Q/B)_i$ es el consumo por unidad de biomasa; DC_{ij} es la fracción en peso de la presa i en la dieta del depredador j ; E_i corresponde a las

exportaciones de i (por emigración o capturas). Se recomienda ingresar siempre B_i , $(P/B)_i$, $(Q/B)_i$, DC_{ji} y Y_i . Sin embargo, cuando se desconoce uno de los tres primeros parámetros el modelo puede estimarlo si se ingresa un valor para la eficiencia ecotrófica (EE). EE representa la fracción de la producción de cada grupo que es utilizada dentro del ecosistema, ya sea a la forma de depredación o capturas. EE se distribuye entre 0 (la producción del grupo no es consumida por depredadores ni por la pesquería, *e.g.*, el caso de un depredador tope) y 1 (la producción del grupo es utilizada completamente por los depredadores y/o la pesquería, *e.g.*, un pez pelágico pequeño). Suponer $EE=0.99$ implica que el modelo estimará B_i o $(P/B)_i$ mínima para sustentar los requerimientos de los depredadores y/o la pesquería de i .

El balance de masa de cada grupo del sistema está dado por:

$$Q = P + R + U$$

donde Q es consumo de la presa, P es la producción, R la respiración y U alimento no asimilado por depredadores.

El modelo presentado arriba es estático en cuanto no considera la componente temporal. Sin embargo, EwE contiene un modelo con dinámica temporal denominado Ecosim.

Para determinar el nivel trófico de cada grupo funcional bajo consideración, se aplica la formulación teórica de los niveles tróficos fraccionados de Odum & Heald 1975 in Christensen *et al.* 2000). El nivel trófico uno (TL1) corresponde a los productores primarios y el detritus. Los consumidores se ubican en el nivel $1 +$ el peso promedio del nivel trófico de las presas (Christensen *et al.* 2000). De esta forma, un consumidor que depreda sobre 40% plantas (TL=1) y 60% herbívoros (TL=2) estará ubicado en el nivel trófico:

$$1 + (0.4 * 1 + 0.6 * 2) = 2.6$$

Para cada modelo se calcularon índices que permitieron caracterizar la trama trófica y el rol del LMC. A continuación se describen dichos indicadores:

Nivel trófico (TL): El nivel trófico corresponde a la posición que ocupa un grupo funcional en la cadena trófica Lindeman (1942). EwE calcula el NT de cada grupo como número fraccional asignando primero un NT=1 a productores primarios y detritus, y un nivel trófico de 1+ (el promedio ponderado de los niveles tróficos de las presas) a consumidores (Odum & Heald 1975).

Índice de omnivoría (OI): indica si el depredador es especializado o si tiene una dieta diversa y se calcula como:

demás grupos del ecosistema en relación a su (baja) biomasa (Power *et al.* 1996). La potencialidad que tiene un grupo funcional de jugar un rol de especie clave en un ecosistema puede aproximarse cuantitativamente a través del indicador KS o keystoneeness (Libralato *et al.* 2006) que se calcula mediante la siguiente ecuación:

requerida para sustentar las capturas, porcentaje de la producción primaria requerida para sustentar el consumo, valores de mortalidad por pesca (F), Eficiencia bruta (capturas/producción primaria neta) para cada ecosistema.

B.2.- Simulación Temporal. Ecosim

Una vez construidos los modelos estáticos de los distintos ecosistemas considerados con Ecopath, se procedió a realizar las simulaciones dinámicas a nivel ecosistémico mediante Ecosim. Esto fue posibilitado por la aplicación de ecuaciones diferenciales que expresan las tasas de flujo de las biomazas entre grupos como una función de la variación temporal de las biomazas y de las capturas. Con ello, Ecosim genera simulaciones dinámicas cuantitativas de las principales relaciones depredador-presa en la trama trófica de un ecosistema dado, utilizando los parámetros básicos ingresados en la primera ecuación. La ecuación diferencial de Ecosim es:

$$\frac{dB_i}{dt} = f(B) - M_o B_i - F_i B_i - \sum_{j=1}^n C_{ij}(B_i, B_j)$$

Aquí, $f(B)$ es una función de B_i ; B_i es la biomasa del grupo funcional “i”; M_o es la tasa de mortalidad del grupo “i” debida a causas diferentes e independientes de la depredación y capturas; F_i es la tasa de mortalidad por pesca del grupo “i”; y $c_{ij}(B_i, B_j)$ es la función que predice el consumo de la presa “i” por el depredador “j”.

Al ingresar estimados de $f(B)$ y $c_{ij}(B_i, B_j)$, el sistema de ecuaciones para todos los grupos considerados descrito por esta última ecuación puede ser integrado en el tiempo con tasas de mortalidad por pesca variables (F), entregando predicciones dinámicas de biomasa para todo “i” (grupo). Estas, serán resultado directo de los cambios en la captura, la depredación y la disponibilidad de alimento para cada grupo “i”, a la vez, de ser reflejo indirecto de cambios en la pesca y la depredación sobre otros grupos con los cuales interactúa el grupo “i”.

B.3.- Estimación de f(B)

Si el grupo “i” es un productor primario, entonces se utiliza una relación simple de saturación expresada por:

$$f(B_i) = v_i B_i / (1 + B_i h_i)$$

Donde v_i es la razón P/B máxima que “i” puede alcanzar cuando B_i es baja; y, v_i/h_i es tasa de producción primaria neta máxima para el grupo “i” cuando B_i no está limitada por la producción.

En el caso que el grupo “i” sea un consumidor, entonces:

$$f(B_i) = g_i \sum_{j=1}^n c_{ij} (B_i, B_j)$$

Donde $g_i = B_i (P_i/B_i)$ representa la eficiencia neta de crecimiento de “i”, obtenida de los parámetros ingresados en Ecopath.

B.4.- Estimación del consumo: $c_{ij} (B_i, B_j)$

Existen varias relaciones funcionales para predecir los flujos de consumo, ya sea aquellos que representan patrones de encuentro entre las presas y los depredadores, o bien, reflejan fenómenos fisiológicos y de comportamiento de las especies (*i.e.*, saciedad). Sin embargo, las interacciones de depredación más utilizadas corresponden aquellas predichas por el modelo de Lotka- Volterra (acción de masa) mediante la siguiente expresión:

$$c_{ij} = B_i, B_j = a_{ij} B_j B_j$$

Donde a_{ij} representa la tasa de mortalidad instantáneas sobre la presa “i” por unidad de biomasa del depredador “j” (Andersen & Ursin 1977, en Christensen *et al.* 2000). En ecología teórica esta interpretación, asemejada a la definición de capturabilidad de a_{ij} , que corresponde a la “tasa de búsqueda efectiva” del consumidor (Holling 1959 en: Christensen *et al.* 2000) medido por unidad de biomasa del consumidor, es decir:

$$a_{ij} = Q_{ij} / (B_i B_j)$$

Sin embargo, en esta ecuación no se incluye la saciedad de los depredadores, ya que como sabemos, los patrones de encuentro entre depredadores y presas raramente son aleatorios en el espacio. Es decir, existen mecanismos físicos y conductuales que limitan las tasas de encuentro entre estos, limitando la disponibilidad de la presa al depredadores, condición incorporada en el modulo Ecosim. Esto implica que las relaciones depredador-presa son más complejas que aquellas descritas mediante ecuaciones tipo Lotka-Volterra (Walters *et al.* 1997). En efecto, los depredadores y las presas no se distribuyen homogéneamente en el espacio, sino que su interacción depende del comportamiento de ambos. Por un lado, la presa utiliza tácticas de escape/refugio que disminuyen la probabilidad de ser depredada, mientras que el depredador puede cambiar los tiempos/energía que destina a la búsqueda de una presa particular, a la vez que se expone a ser depredada.

Es así como, la biomasa de cada grupo presa B_i tiene un componente disponible o vulnerable para cada consumidor/depredador “j” (V_{ij}), en cualquier momento del tiempo, existiendo un valor diferencial de vulnerabilidad para cada la presa “i” por parte del depredador “j”. Esta biomasa disponible/vulnerable V_{ij} puede intercambiarse con la biomasa no disponible ($B_i - V_{ij}$) a una velocidad que está determinada por el parámetro vulnerabilidad (v), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$dV_{ij} / dt = v_{ij} (B_i - V_{ij}) - v_{ij} V_{ij} - a_{ij} V_{ij} B_j$$

Donde V_{ij} gana biomasa desde la fracción actualmente no disponible ($B_i - V_{ij}$) a una tasa v_{ij} , la biomasa vuelve a sus estado inaccesible a una tasa $v_{ij}V_{ij}$ y la biomasa se remueve desde V_{ij} por el consumidor a una tasa de encuentro tipo Lotka-Volterra de $a_{ij} V_{ij}B_j$. Bajo el supuesto que el intercambio de procesos entre V y B opera en escalas de corto plazo relativas a B_i y V_{ij} , estas debería situarse cercano al equilibrio cuando $dV/dt = 0$, generando la siguiente ecuación intercambio:

$$V_{ij} = v_{ij} B_i / (2 v_{ij} + a_{ij} B_j)$$

Como este equilibrio varía con B_i y B_j entonces, la ecuación que predice el flujo de consumo de la presa “i” hacia el depredador “j” tiene la siguiente forma:

$$c_{ij}(B_i, B_j) = a_{ij} v_{ij} B_i B_j / (2 v_{ij} + a_{ij} B_j)$$

De esto se desprende que si el parámetro vulnerabilidad (v) es alto, entonces el reemplazo desde la biomasa invulnerable ($B_i - V_{ij}$) a la vulnerable (V_{ij}) será rápido. Por lo tanto, un valor alto de “ v ” ($v \gg 1$) implica un control por depredadores (*i.e.*, control top-down). Contrariamente, si “ v ” es bajo ($v \sim 1$), entonces el reemplazo de la biomasa desde la fracción invulnerable ($B_i - V_{ij}$) a la vulnerable (V_{ij}) será lento, y la cantidad consumida por el depredador estará determinada principalmente por el valor de “ v ” más que por el valor de la biomasa del depredador. Por lo tanto, un valor bajo de “ v ”, cercano a 0, implica control por presas (*i.e.*, control bottom-up) (Figura 10).

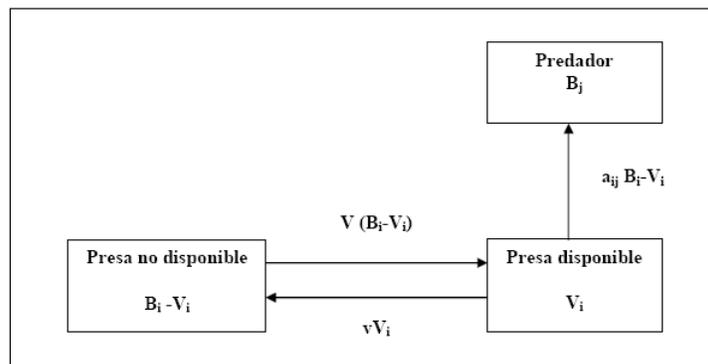


Figura 10. Simulación de los flujos entre la biomasa disponible (V_i) y no disponible ($B_i - V_i$) de la presa en EwE. El parámetro a_{ij} es la tasa de búsqueda de la presa “i” por el depredador “j”, “ v ” es la tasa de intercambio entre el estado vulnerable y el invulnerable.

B.- Modelos de tramas tróficas

A continuación se presenta la estructura de los modelos construidos y balanceados, que representan la trama trófica de la región de Los Lagos y de la región de Arica y Parinacota, respectivamente.

B.1.- Región de Los Lagos

Área de estudio

El mar jurisdiccional de la Región de Los Lagos corresponde a todo el litoral expuesto entre los 40°15'S, 74°55'W y los 43°50'S, 75°14'W, y las aguas interiores de la Región de Los Lagos (Mar interior de Chiloé), desde el borde costero hasta la talud continental (~50 millas marinas) y desde el límite norte hasta Isla Guafo. El área total es de aproximadamente 51.700 km² (Figura 11). Sin embargo, para el presente trabajo la data considerada para el modelo corresponderá a aquella del Mar interior de Chiloé, que tienen un área de aproximadamente 9.675 km² (Figura 11). Esto fue acordado en reunión con la contraparte técnica (Anexo 2).



Figura 11. Área de estudio (línea roja) para la construcción del modelo ecotrófico que represente al mar interior de la Región de Los Lagos (línea azul).

Grupos funcionales

La Tabla 9 presenta los parámetros del modelo Ecopath que representa la trama trófica que se desarrolla en la zona del mar interior de Chiloé. La información de entrada para este modelo se encuentra descrita en Pavés *et al.* (2013) y Pavés *et al.* (2015). Los parámetros

de entrada corresponden al período de mediados de los años 2000 a 2006. La matriz de dieta considerada se presenta en la Tabla 10.

Tabla 9. Modelo balanceado para el sistema del Mar Interior de Chiloé. Fuente: Pavés *et al.* (2013) y Pavés *et al.* (2015).

Nº	Grupo funcional	NT	B (t/km ²)	P/B (año ⁻¹)	Q/B (año ⁻¹)	EE
1	Orcas	5,3	0,076	0,060	9,840	0,200
2	Otros depredadores	4,1	0,091	0,190	10,000	0,989
3	Lobo marino común	5,0	0,499	0,100	6,320	0,583
4	Lobo fino austral	4,6	0,015	0,090	6,150	0,055
5	Aves marinas	4,9	0,134	0,100	7,290	0,997
6	Ballenas barbadas	4,2	2,561	0,040	10,100	0,073
7	Cetáceos dentados	4,8	0,546	0,070	8,920	0,995
8	Pelágicos medianos	4,8	5,742	0,290	1,290	0,999
9	Pelágicos pequeño	3,8	38,245	1,070	5,040	0,726
10	Mesopelágicos	3,9	13,712	0,900	4,000	0,999
11	Demersal 2	4,5	19,696	0,180	0,660	0,993
12	Demersal 3	4,4	14,550	0,140	0,500	0,844
13	Peces costeros	3,4	28,096	0,400	2,000	0,999
14	Salmones	4,3	9,320	0,700	2,500	0,218
15	Pulpos	3,4	2,037	3,380	11,000	0,999
16	Calamares	5,0	0,843	3,500	10,000	0,400
17	Bentos	2,0	36,449	1,200	4,000	0,999
18	Munida	2,6	52,928	0,900	2,700	0,800
19	Zoo gelatinoso 1	3,8	9,541	4,070	12,020	0,500
20	Zoo gelatinoso 2	2,4	0,129	8,900	26,180	0,900
21	Macrozoo	3,1	23,658	5,370	17,580	0,999
22	Mesozoo	2,7	15,189	12,420	29,470	0,999
23	Microzoo	2,5	2,935	174,000	370,090	0,999
24	Microfito	1,0	17,358	180,010	0,000	0,200

25	Nanozoo	3,0	1,058	426,500	878,640	0,500
26	Nanofito	1,0	1,050	479,780	0,000	0,800
27	Bacterio	2,0	1,314	794,600	1623,670	0,900
28	Detritus (POM)	1,0	65,820			0,235
29	Detritus (DOM)	1,0	394,920			0,464

Tabla 10. Matriz de dieta considerada para la construcción del modelo ecosistémico del Mar Interior de Chiloé, Región de Los Lagos.

Presa \ depredador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 Orcas	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2 Otros depredadores	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3 Lobo marino común	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4 Lobo fino austral	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5 Aves marinas	0,001	0,001	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6 Ballenas barbadas	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7 Cetaceos dentados	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8 Pelágicos medianos	0,080	0,080	0,150	0,000	0,080	0,000	0,050	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9 Pelágicos pequeño	0,290	0,200	0,200	0,100	0,400	0,150	0,350	0,740	0,010	0,000	0,100	0,000	0,000	0,250
10 Mesopelágicos	0,000	0,001	0,050	0,200	0,000	0,001	0,150	0,000	0,000	0,050	0,100	0,300	0,000	0,000
11 Demersal 2	0,210	0,000	0,050	0,200	0,150	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,100	0,000	0,000	0,006
12 Demersal 3	0,001	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,050	0,050	0,000	0,000
13 Peces costeros	0,000	0,100	0,200	0,010	0,100	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010	0,172
14 Salmones	0,001	0,001	0,190	0,000	0,001	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033
15 Pulpos	0,000	0,100	0,100	0,000	0,000	0,000	0,100	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,001
16 Calamares	0,004	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17 Bentos	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,010	0,000	0,000	0,001	0,000	0,500	0,060

18	Munida	0,000	0,200	0,000	0,300	0,050	0,100	0,000	0,001	0,140	0,000	0,039	0,000	0,100	0,092
19	Zoo gelatinoso 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,050	0,050	0,100	0,000	0,000	0,000
20	Zoo gelatinoso 2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
21	Macrozoo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,700	0,000	0,001	0,350	0,300	0,300	0,400	0,100	0,004
22	Mesozoo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300	0,500	0,000	0,000	0,100	0,000
23	Microzoo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24	Microfito	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	Nanozoo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	Nanofito	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
27	Bacterio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
28	Detritus (POM)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	Detritus (DOM)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
30	Import	0,343	0,106	0,055	0,140	0,157	0,049	0,090	0,198	0,095	0,100	0,195	0,250	0,090	0,382
31	Sum	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
32	(1 - Sum)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

...continuación

Presa \ depredador	15	16	17	18	19	20	21	22	23	25	27
1 Orcas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2 Otros depredadores	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3 Lobo marino común	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4 Lobo fino austral	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5 Aves marinas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6 Ballenas barbadas	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7 Cetaceos dentados	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8 Pelágicos medianos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9 Pelágicos pequeño	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10 Mesopelágicos	0,000	0,600	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11 Demersal 2	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12 Demersal 3	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13 Peces costeros	0,200	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14 Salmones	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15 Pulpos	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16 Calamares	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17 Bentos	0,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18 Munida	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19 Zoo gelatinoso 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

20	Zoo gelatinoso 2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	Macrozoo	0,000	0,100	0,000	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22	Mesozoo	0,000	0,000	0,000	0,300	0,360	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000
23	Microzoo	0,000	0,000	0,000	0,100	0,000	0,100	0,500	0,400	0,100	0,000	0,000
24	Microfito	0,000	0,000	0,100	0,000	0,000	0,399	0,250	0,500	0,250	0,000	0,000
25	Nanozoo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,150	0,000	0,150	0,000	0,000
26	Nanofito	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,350	0,050	0,000	0,350	0,001	0,000
27	Bacterio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,010	0,999	0,000
28	Detritus (POM)	0,000	0,000	0,900	0,600	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000
29	Detritus (DOM)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,700
30	Import	0,190	0,100	0,000	0,000	0,444	0,000	0,050	0,020	0,140	0,000	0,300
31	Sum	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
32	(1 - Sum)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Para obtener los modelos energía y masa balanceados, y cuando fue necesario, ajustamos los datos originales de B, P/B y Q/B hasta la obtención del modelo balanceado. Cuando la respiración (R) de un grupo funcional fue negativa, aumentamos los valores de la tasa de ingestión, hasta que el valor de R permita alcanzar una razón $0,5 R / Q$ (Christensen *et al.* 2000). Si el EE de un grupo funcional fue > 1 , modificaciones en el B, P/B, Q/B y DC se hicieron basado en información bibliográfica sobre las historias de vida de la especie (por ejemplo, el promedio de vida larga vida, edad de primera madurez sexual, evaluación de las poblaciones, los datos de comportamiento). Las modificaciones en P/B y Q/B se hicieron hasta que la relación P/Q fue 0,001 a 0,100 en los mamíferos marinos y aves marinas, 0,100-0,300 en grupos de peces, 0,200 a 0,400 en los grupos de macro y meroplancton, 0,300-0,500 en nanoplancton y microplancton, y > 0.500 para el grupo de picoplancton (bacterias). Para realizar estos cambios, hemos validado los valores ajustados de la literatura con el fin de ser fisiológicamente aceptable para cada especie (Christensen *et al.* 2000). En los casos normales, los valores de P/Q varían entre 0,05 a 0,3, lo que significa

que el consumo de la mayoría de los grupos es cerca de 3-10 veces mayor que su producción. Las excepciones son los principales depredadores, por ejemplo, mamíferos marinos, que pueden tener valores de P/Q inferiores y pequeñas larvas de peces de rápido crecimiento o nauplius o bacterias, que pueden tener valores de P/Q altos (Christensen *et al.* 2000).

B.1.- Zona norte de Chile

Área de estudio

El área de estudio corresponde al ecosistema de surgencia de la zona norte de Chile, específicamente entre los 18°20'S y 24°00'S, y desde la costa hasta las 60 nm hacia el oeste. El área de estudio considera una extensión de 65.000 km². Esta área se definió considerando la distribución de las flotas pesqueras y la influencia de la surgencia costera (Thiel *et al.* 2007). La oceanografía del área de estudio está influenciada por el Sistema de la Corriente de Humboldt, que se caracteriza por una alta producción biológica y pesquera (Carr 2002, Freon *et al.* 2010). Las principales características oceanográficas son la baja turbulencia, una anomalía casi permanente de la temperatura superficial del mar y una banda costera de agua fría (Bernal 1990, Cubillos *et al.* 1998). Los eventos de alta frecuencia (*i.e.*, surgencia) son permanentes durante el año (Fuenzalida 1990, Shaffer *et al.* 1999, Blanco *et al.* 2001), mientras que los eventos de baja frecuencia (*i.e.*, El Niño Oscilación del Sur) poseen variabilidad interanual (Fuenzalida 1990). En términos pesqueros, en esta zona se encuentran también las principales zonas de pesca para las flotas industrial y artesanal que capturan anchoveta, sardina, caballa y jurel (Castillo *et al.* 1997, 1999, Braun *et al.* 1999). En años recientes este ecosistema aportó con alrededor de un 30% de los desembarques totales de Chile (www.sernapesca.cl).

Grupos funcionales

El modelo para la zona norte se basa en estudios previos (Medina *et al.*, 2007, Barros *et al.* 2014). Sin embargo, estos modelos no incluyeron todos los grupos funcionales que se consideraron en la estructura estandarizada que se siguió en este proyecto (Tabla 8). Por lo

tanto, a continuación se presenta una descripción de los grupos funcionales y la fuente de información considerada para extraer los parámetros de entrada.

Orcas

La orca (*Orcinus orca*) presenta distribución cosmopolita y en Chile su presencia ha sido informada desde Pisagua (19°35'S) hasta el Mar de Bellingshausen (70°23'S), incluyendo el Archipiélago de Juan Fernández (Aguayo-Lobo *et al.* 1998). Para la zona norte de Chile, no existe estimaciones de abundancia (A), biomasa (B), composición de la dieta (DC), razón producción/biomasa (P/B) ni razón consumo/biomasa (Q/B). Por lo tanto, fue necesario revisar la literatura especializada y considerar valores de dichos parámetros informados para esta especie en otras latitudes y para otras zonas del país. Como primera aproximación, la biomasa de orcas será estimada por EwE en base a la productividad de sus presas. Los valores de P/B y Q/B fueron extraídos de Pavés *et al.* (2013) y corresponden a estimaciones realizadas para la Patagonia de Chile. Debido a que tampoco se cuenta con resultados de la composición de la dieta, esta se supuso a partir del conocimiento que se tiene de esta especie en la sección norte de la corriente de California (Field & Francis 2005) que, por ser un área de surgencia costera, se considera un ecosistema similar para la zona de estudio de este proyecto.

Otros depredadores apicales

Este grupo está compuesto por tiburones pelágicos que son competidores del LMC. Las especies seleccionadas en este avance para la costa norte de Chile son el tiburón mako o marrajo (*Isurus oxirynchus*) y el azulejo (*Prionace glauca*). Los parámetros B, P/B, Q/B y DC fueron extraídos de Barros *et al.* (2014). En la zona de estudio opera sobre ambos grupos una flota pesquera artesanal por lo que es necesario ingresar también un estimado de capturas/desembarques. Las capturas (Y) fueron obtenidas de los anuarios estadísticos de SERNAPESCA.

Lobo marino común

El lobo marino común (*O. flavescens*), presenta una distribución amplia en América del Sur. Por el Océano Pacífico, se ubica desde el extremo norte (4°S) hasta las Islas Diego

Ramírez (56°30' S) en el extremo austral de Chile. Para este grupo, B se obtuvo de Sielfeld *et al.* (1997) y los parámetros P/B, Q/B y DC se extrajeron de Barros *et al.* (2014). En esta zona se capturó LMC y, por lo tanto, valores de Y fueron obtenidos de SERNAPESCA.

Lobo fino austral

Junto al lobo marino común la costa norte de Chile también alberga una población reducida de lobo fino austral (*Arctocephalus australis*). De acuerdo con Sielfeld *et al.* (1997), estos individuos correspondería a la población peruana, mientras la población patagónica de la misma especie solo alcanza hasta la isla de Chiloé. El parámetro B se estimó desde Sielfeld *et al.* (1997), los parámetros P/B, Q/B fueron extraídos de Pavés *et al.* (2013) y la composición de la dieta se obtuvo de Zavalaga *et al.* (1998).

Aves marinas-costeras

Este grupo está compuesto por cormoranes (*Leucocarbo bougainvilli*), piqueros (*Sula variegata*) y pelícanos (*Pelecanus thagus*). Se utilizaron los valores informados por Barros *et al.* (2014) para B, DC, P/B y Q/B.

Mysticetes

Corresponde a las ballenas barbadas. Para esta región no existe estimados de A, B, DC, P/B ni Q/B de este grupo. Por lo tanto, se recurrió a información auxiliar utilizando valores de dichos parámetros informados en la literatura internacional y para otras zonas del país. Como primera aproximación, se estimó su biomasa mediante EwE en base a la productividad de sus presas. Los valores de P/B y Q/B fueron extraídos de Pavés *et al.* (2013), estimados para la Patagonia de Chile. Debido a que tampoco se cuenta con resultados de la composición de la dieta se adaptó DC informada por Field & Francis (2005) para este grupo en la sección norte de la Corriente de California.

Odontocetes

Este grupo está compuesto por cachalotes y delfines. Se utilizó valores informados por Barros *et al.* (2014) para B, DC, P/B y Q/B.

Peces pelágicos pequeños

Grupo compuesto por sardina española (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis ringens*), ambas especies pelágicas neríticas. La sardina española, se distribuye en casi toda la costa occidental de Sudamérica, desde el Golfo de Guayaquil, pasando por las Islas Galápagos en Ecuador y las costas de Perú y Chile. En Chile, se distribuye desde los 18°20'S hasta los 44°00'S. La anchoveta posee una amplia distribución geográfica en el Pacífico Suroriental, ubicándose desde los 6° 00'S, en el norte del Perú, hasta los 44° 00'S en Chile. Se utilizó los valores informados por Barros *et al.* (2014) para biomasa, composición de la dieta, P/B y Q/B. Las capturas fueron extraídas desde los anuarios estadísticos de SERNAPESCA.

Peces pelágicos medianos

Grupo compuesto por la caballa (*Scomber japonicus*), el jurel (*Trachurus murphyi*), el bonito (*Sarda chilensis*) y la cojinova (*Seriolella violacea*). La caballa se distribuye en Chile desde Arica a Puerto Chacabuco. También se encuentra en Perú y Ecuador. La distribución geográfica del jurel abarca principalmente el Océano Pacífico Suroriental (frente a la costa sudamericana) y, secundariamente, el Océano Pacífico Suroccidental al sur de Nueva Zelanda. El bonito se distribuye entre Arica y Antofagasta, llegando a Valparaíso en el verano y en forma ocasional al área de Concepción y Valdivia. La cojinova vive en la superficie del mar sobre la plataforma continental, próxima a la costa formando pequeños cardúmenes asociados con el jurel. Los valores de los parámetros de B, P/B, Q/B y DC fueron extraídos desde Barros *et al.* (2014). Las capturas fueron obtenidas desde los anuarios estadístico de SERNAPESCA.

Peces pelágicos mayores

Se consideró el pez espada (*Xiphias gladius*) y el atún (*Thunnus* sp.). Ambas son especies pelágicas altamente migratorias, con distribución cosmopolita. Los valores de los parámetros de B, P/B, Q/B y DC fueron extraídos desde Barros *et al.* (2014). Las capturas fueron obtenidas desde los anuarios estadístico de SERNAPESCA.

Peces Demersales 1

Grupo representado por el bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*). Esta especie se distribuye a lo largo de la costa chilena y peruana (al menos hasta Callao) y del Océano Atlántico en la Patagonia Argentina hasta Uruguay. También se distribuye en la zona subantártica atlántica y en el Océano Índico, en el talud de Sudáfrica en el Plateau de Campbell al sur de N. Zelandia. En la región de Arica y Parinacota las capturas del bacalao de profundidad se realizan entre las 90 y 100 millas de la costa. No existen estimados de biomasa para la zona, por lo que fue estimada por el modelo suponiendo que EE tiene un valor de 0.999. La composición de la dieta se adaptó de Arkhipkin *et al.* (2003), el valor de P/B se obtuvo de Cubillos & Araya (2007) y Q/B se estimó según Palomares & Pauly (1989). Las capturas fueron extraídas desde los anuarios estadísticos de SERNAPESCA.

Peces demersales 2

Grupo representado por el congrio (*Genypterus spp.*) Habita principalmente en cuerpos de agua asociados a la costa. La distribución geográfica de esta especie en Chile va desde Arica, por el norte (18°25'S), hasta El Archipiélago de los Chonos, por el sur (47°75'S), a profundidades que generalmente oscilan entre los 20 y 150 metros en la zona norte y centro del país. El valor de B fue estimada por el modelo suponiendo que EE=0.999. Se utilizó los valores informados por Barros *et al.* (2014) para DC, P/B y Q/B. Las capturas fueron extraídas desde los anuarios estadísticos de SERNAPESCA.

Peces mesopelágicos

La biomasa de peces mesopelágicos fue estimada por el modelo suponiendo que EE=0.999. Los valores de los parámetros de P/B, Q/B y DC fueron extraídos desde Barros *et al.* (2014).

Peces costeros

La zona norte de Chile se caracteriza por una abundancia y diversidad de especies peces costeros, de las cuales muchas de estas son de importancia en la pesca artesanal (Medina *et al.* 2004). Este grupo está compuesto por el lenguado (*Paralichthys* sp.), corvina (*Cilus gilberti*), cabrilla (*Paralabrax humeralis*), Pintacha (*Cheilodactylus variegatus*) y rollizo

(*Pinguipes chilensis*). La biomasa de los peces fue estimada por el modelo suponiendo que $EE=0.999$. Los valores de los parámetros de P/B y Q/B fueron extraídos desde Barros *et al.* (2014). La DC se obtuvo de Medina *et al.* (2004). Las capturas fueron extraídas desde los anuarios estadísticos de SERNAPESCA.

Pulpos

Grupo representado por el pulpo del norte (*Octopus mimus*), cuyo rango de distribución abarca desde el norte del Perú hasta Chile central (Bahía San Vicente) y desde la superficie hasta los 30 m de profundidad en el intermareal y submareal rocoso (Guerra *et al.* 1999). En la zona norte de Chile, esta especie se distribuye principalmente en la plataforma rocosa litoral, habitando madrigueras localizadas principalmente cerca de fondos arenosos. No existen estimados de A, B, DC, P/B ni Q/B para este grupo en la zona norte de Chile. Por lo tanto, se recurrió a información auxiliar utilizando valores de dichos parámetros informados en la literatura internacional. La biomasa fue estimada por el modelo suponiendo que $EE=0.999$. Los valores de los parámetros de P/B, Q/B y DC fueron extraídos y adaptados desde Taylor *et al.* (2008). Las capturas se obtuvieron desde los anuarios estadísticos de SERNAPESCA.

Calamares

Grupo representado por la jibia, *Dosidicus gigas* presa importante en la dieta de varios depredadores del sistema en estudio. La jibia se distribuye en el Pacífico Oriental desde California (37°N) hasta el Sur de Chile (47°S). Los valores de los parámetros de B, P/B, Q/B y DC fueron extraídos desde Barros *et al.* (2014). Las capturas se obtuvieron de los anuarios estadísticos de SERNAPESCA.

Bentos

Grupo compuesto por cangrejos (jaibas) y bivalvos los que son reportados como presas potenciales de LMC, pero que también juegan un rol importante en el ecosistema por alimentarse de detrito y por lo tanto colaborar en el reciclaje de energía. La biomasa fue estimada por el modelo suponiendo que $EE=0.999$ y los valores de P/B, Q/B y DC se

adaptaron de Wolff (1994). Las capturas se obtuvieron de los anuarios estadísticos de SERNAPESCA.

Crustáceo pelágico (Langostino colorado)

El langostino colorado, *Pleuroncodes monodon*, se distribuye entre Isla Lobos de Afuera (Perú) hasta la X Región (Chile). Es una especie demersal detritívora que habita sobre la plataforma continental y el borde superior del talud en sustratos blandos y duros (en época de muda). La biomasa se obtuvo de Allen *et al.* (2010) y de los parámetros de P/B, Q/B y DC se adaptaron de Neira & Arancibia (2004). Las capturas se obtuvieron de los anuarios estadísticos de SERNAPESCA.

Zooplankton gelatinoso 1

Grupo compuesto por zooplankton carnívoro donde se cuentan medusas, ctenóforos, quetognata y sifonóforos. Los parámetros de B, P/B, Q/B y DC se obtuvieron y adaptaron de Pavés & González (2008).

Zooplankton gelatinoso 2

Grupo representado por zooplankton filtrador donde se cuentan salpas y apendicularias. Los parámetros de B, P/B, Q/B y DC se obtuvieron y adaptaron de Pavés & González (2008).

Macrozooplankton

Grupo representado por eufáusidos. La biomasa fue estimada por el modelo suponiendo que EE tiene un valor de 0.999 y los valores de los parámetros de P/B, Q/B y DC se obtuvieron de Barros *et al.* (2014).

Mesozooplankton

Grupo compuesto por copépodos y larvas de decápodos y cladóceros. La biomasa fue estimada por el modelo suponiendo que EE tiene un valor de 0.999 y los valores de los parámetros de P/B, Q/B y DC se obtuvieron de Barros *et al.* (2014).

Microzooplancton

Grupo compuesto por ciliados, flagelados y larvas de copépodos. La biomasa fue estimada por el modelo suponiendo que $EE= 0.999$ y los valores de los parámetros de P/B, Q/B y DC se obtuvieron de Barros *et al.* (2014).

Fitoplancton

El fitoplancton corresponde a todos los microorganismos fotosintetizadores, mayormente microalgas, que habitan los ecosistemas acuáticos. El fitoplancton (productores primarios) es la base de la trama trófica tradicional. La biomasa fue estimada por EwE suponiendo que EE tiene un valor de 0.7 y el valor del parámetro P/B se obtuvo de Barros *et al.* (2014).

Bacterioplancton

Grupo representado por las bacterias marinas. Los parámetros de B, P/B, Q/B y DC se adaptaron de Pavés & González (2008).

Detritus

El detrito corresponde a exudados, cuerpos muertos y productos de excreción de todos los organismos en el sistema. En la mayoría de los ecosistemas marinos, el detrito se acumula en la superficie del suelo y otros tipos de sedimentos superficiales. Esta caja recibe aportes de materia desde otros grupos, ya sea a la forma de material fecal o a través de la mortalidad residual. En el modelo EwE es requisito destinar, al menos, una caja (sumidero) para el detrito proveniente de los distintos grupos. Debido a que este grupo representa materia “muerta”, no se incluye ningún parámetro de entrada.

4. RESULTADOS

4.1 Objetivo Específico 1. Determinar la composición de la dieta del LMC en la costa de Chile

A.- Composición de la dieta del lobo marino común en la zona norte

Los valores isotópicos promedio de los lobos marinos de la zona norte, de acuerdo a la estación del año y la clase de edad se presentan en la sección Resultados del Objetivo 3. La Tabla 11 muestra los valores isotópicos de los cinco grupos funcionales utilizados para la determinación de la dieta de los lobos marinos mediante el Modelo 1 (MM, sólo con isótopos estables). Del mismo modo, la Tabla 12 muestra el porcentaje de frecuencia relativa de ocurrencia (%N) de los mismos cinco grupos funcionales, y que fueron utilizados como información *a priori* para establecer la dieta mediante el Modelo 2 (MM+F, isótopos estables + fecas). Cabe destacar que para calcular los valores de %N que fueron incorporados al Modelo 2 se excluyeron aquellos restos de presas no identificados en las fecas, por lo que los valores presentados en la Tabla 12 difieren levemente del análisis de fecas que se presenta más adelante.

Tabla 11. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DE) de los cinco grupos funcionales considerados en el modelo Bayesiano SIAR, para los lobos marinos de la zona norte de Chile.

Grupo funcional	Nombre común	Especie	n	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
Peces					
pelágicos (PP)	Albacora	<i>Xiphias gladius</i>	4	18,4 \pm 0,8	-17,7 \pm 0,3
	Azulejo	<i>Prionace glauca</i>	1	19,9	-17,3
	Bonito	<i>Sarda chiliensis</i>	7	22,2 \pm 0,8	-17,1 \pm 0,6
	Caballa	<i>Scomber japonicus</i>	8	18,3 \pm 2,8	-17,7 \pm 0,4
	Jurel	<i>Trachurus murphyi</i>	8	21,4 \pm 0,4	-17,4 \pm 0,8
	Pejerrey	<i>Odontesthes regia</i>	5	20,0 \pm 0,2	-17,8 \pm 0,4
	Sardina española	<i>Sardinops sagax</i>	5	20,1 \pm 0,2	-17,7 \pm 0,8
		Promedio		20,2 \pm 2,0	-17,5 \pm 0,6
Peces					
demersales (PD)	Lenguado	Fam. Paralichthyidae	5	22,6 \pm 0,2	-16,1 \pm 0,5
	Rollizo	<i>Pinguipes chilensis</i>	5	22,5 \pm 0,2	-15,6 \pm 0,3
	Sargo	<i>Anisotremus scapularis</i>	5	21,6 \pm 0,7	-14,4 \pm 0,6
	Tollo	<i>Mustelus mento</i>	1	23,5	-15,4
	Tomoyo	<i>Labrisomus philippi</i>	5	21,6 \pm 0,3	-15,1 \pm 0,3
		Promedio		22,2 \pm 0,7	-15,3 \pm 0,7
Peces					
bentopelágicos (PBP)	Cabinza	<i>Isacia conceptionis</i>	3	20,6 \pm 0,5	-18,1 \pm 0,9
	Cabrilla	<i>Paralabrax humeralis</i>	5	22,4 \pm 0,2	-15,4 \pm 1,0
	Cojinoba del norte	<i>Seriola lalandi</i>	5	23,5 \pm 0,1	-18,8 \pm 0,5
	Dorado	<i>Seriola lalandi</i>	3	19,4 \pm 1,6	-16,2 \pm 1,7
	Lisa	<i>Mugil cephalus</i>	5	19,2 \pm 0,7	-16,7 \pm 0,4
	Vilagay	<i>Cheilodactylus variegatus</i>	10	22,2 \pm 0,8	-17,7 \pm 1,9
		Promedio		21,4 \pm 1,6	-17,4 \pm 1,6
Crustáceos					
bentónicos (CB)	Jaiba	<i>Cancer</i> spp.	5	19,7 \pm 0,7	-14,6 \pm 0,2
Cefalópodos					
bentónicos (CFB)	Pulpo	Fam. Octopodidae	7	18,8 \pm 0,6	-15,8 \pm 0,9

Tabla 12. Porcentaje de frecuencia relativa de ocurrencia (%N) en las fecas de los cinco grupos funcionales utilizados en el Modelo 2 (MM+F, isótopos estables + fecas), para los lobos marinos de la zona norte de Chile.

Grupo	Especie	Invierno + Verano	Verano	Invierno
		%	%	%
Peces pelágicos (PP)	Anchoveta	38,9	54,1	24,4
	Jurel	4,4	6,9	2,0
	Pejerrey	0,5	0,7	0,3
	Sardina	1,4	2,9	0,0
	Total	45,1	64,6	26,6
Peces demersales (PD)	Corvina	0,1	0,1	0,0
	Roncacho	0,1	0,2	0,0
	Total	0,2	0,3	0,0
Peces bentopelágicos (PBP)	Cabinza	4,6	5,2	4,0
Crustáceos bentónicos (CB)	Jaiba	0,2	0,4	0,1
	Langostino	49,9	29,5	69,2
	Total	50,1	29,9	69,3
Cefalópodos bentónicos (CFB)	Pulpo	0,0	0,0	0,0

Análisis general

Como se aprecia en la Figura 12, los peces pelágicos mostraron la mayor contribución en la dieta de los lobos marinos con un $55,9 \pm 2,6\%$ y un $57,5 \pm 2,5\%$, de acuerdo a los resultados de los Modelos 1 y 2, respectivamente. En segundo lugar de importancia se encontraron los peces bentopelágicos, con un $19,7 \pm 2,5\%$ (MM) y un $20,5 \pm 2,5\%$ (MM+F). Los peces demersales también serían de importancia según los resultados del Modelo 1 ($18,7 \pm 2,2\%$). Sin embargo, la contribución de este grupo disminuye a $12,5 \pm 2,6\%$ según el Modelo 2. Finalmente, los crustáceos y cefalópodos bentónicos no serían importantes en la dieta de los lobos marinos (Figura 12). Al analizar la dieta por grupo funcional de acuerdo al análisis de fecas, también los peces pelágicos fueron el grupo más importante, con un 45,1% de frecuencia relativa de ocurrencia (Figura 12). Para más detalles del análisis de fecas, ver sección correspondiente.

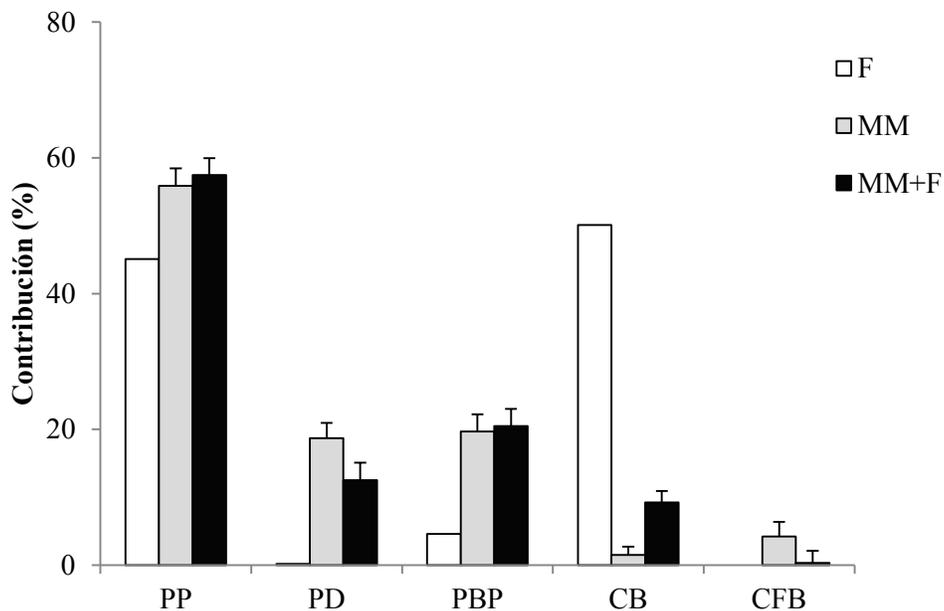


Figura 12. Contribución promedio en la dieta del lobo marino común de los cinco grupos funcionales utilizados en el análisis de fecas (F), Modelo 1 (MM, sólo isótopos estables) y Modelo 2 (MM+F, isótopos estables + fecas) de la zona norte. PP: Peces pelágicos; PD: Peces demersales; PBP: Peces bentopelágicos; CB: Crustáceos bentónicos; CFB: Cefalópodos bentónicos.

Análisis por estación del año

Al analizar la contribución de presas según la estación del año, tanto en verano como en invierno, los peces pelágicos fueron el grupo más importante en la dieta de los lobos marinos (Figura 13). Para este análisis, se consideró como información *a priori* los resultados según el análisis de fecas para cada estación del año por separado (Tabla 12). El consumo de peces pelágicos fue similar entre ambas estaciones según los resultados del Modelo 1 (verano: $53,7 \pm 4,3\%$; invierno: $50,2 \pm 3,3\%$) y el Modelo 2 (verano: $58,9 \pm 3,8\%$; invierno: $54,4 \pm 2,9\%$). En el caso de los peces bentopelágicos, el consumo de este grupo fue mayor en los individuos de verano según el Modelo 1 (verano: $25,9 \pm 3,9\%$; invierno: $15,8 \pm 3,1\%$). Sin embargo, según el Modelo 2 esta tendencia se mantiene, pero disminuye en magnitud (verano: $23,5 \pm 3,6\%$; invierno: $19,0 \pm 2,9\%$). Asimismo, los peces demersales mostraron el mismo patrón, siendo mayor el consumo de este grupo en verano (Modelo 1: $18,2 \pm 2,5\%$; Modelo 2: $12,2 \pm 3,1\%$) respecto al invierno (Modelo 1: $12,8 \pm 3,5\%$; Modelo 2: $0,8 \pm 1,7\%$). Finalmente, el

consumo de crustáceos bentónicos aumenta en invierno sólo de acuerdo a los resultados del Modelo 2 (verano: $5,2 \pm 1,7\%$; invierno: $24,5 \pm 2,6\%$).

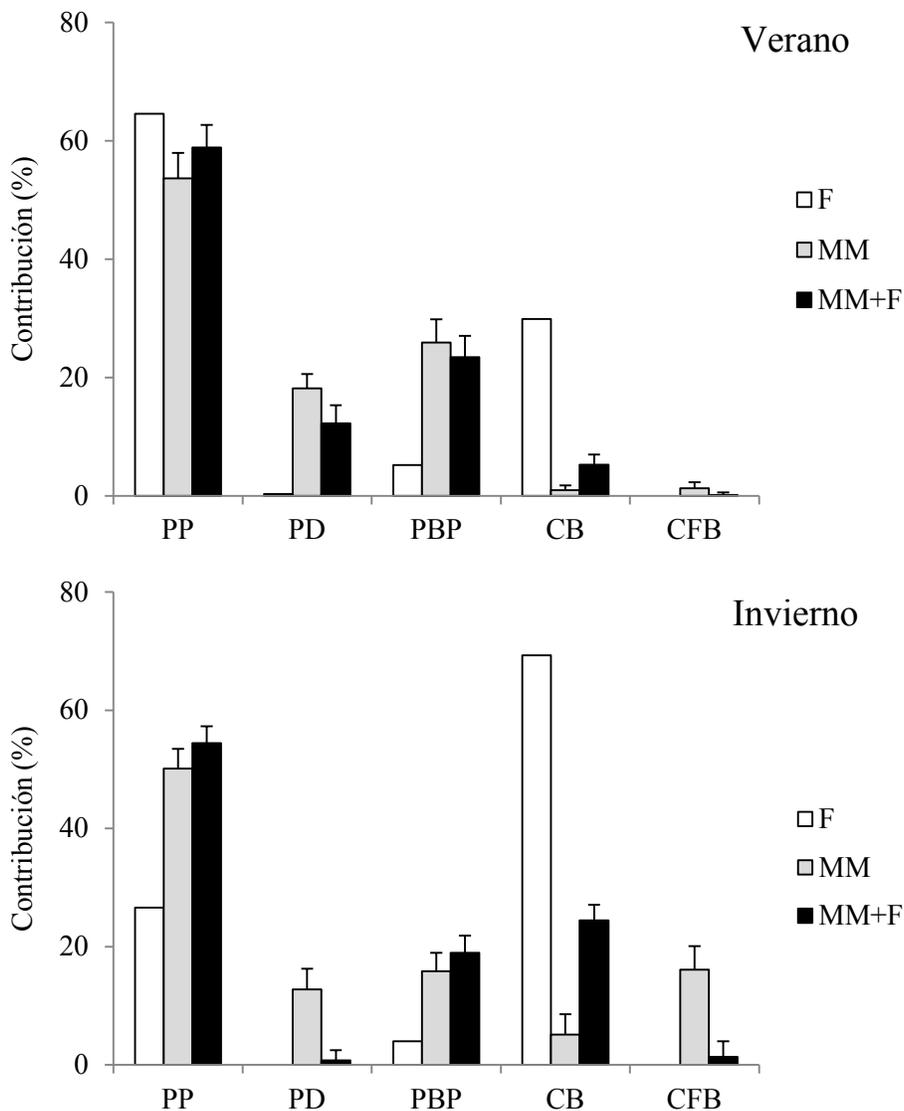


Figura 13. Contribución promedio de los cinco grupos funcionales en la dieta del lobo marino común de acuerdo al análisis de fecas (F), Modelo 1 (MM, sólo isótopos estables) y Modelo 2 (MM+F, isótopos estables + fecas), según las estaciones del año, para la zona norte de Chile. PP: Peces pelágicos; PD: Peces demersales; PBP: Peces bentopelágicos; CB: Crustáceos bentónicos; CFB: Cefalópodos bentónicos.

Finalmente, al analizar la dieta por grupo funcional para el análisis de fecas, en el verano el grupo más consumido fueron los peces pelágicos (64,6%), seguido de los crustáceos bentónicos (29,9%). Contrariamente, en invierno este patrón se invierte, siendo el grupo más importante los crustáceos bentónicos (69,3%), seguido de los peces pelágicos (26,6%; Figura 13).

Análisis por clase de edad/sexo

Para el análisis por clase de edad/sexo sólo se obtuvieron resultados a partir del Modelo 1, ya que no es posible determinar la contribución en la dieta de las presas según clase de edad/sexo mediante el análisis de fecas (ya que en la gran mayoría de los casos no es posible saber a qué animal corresponde cada feca). En este caso, nuevamente los peces pelágicos fueron el grupo de presas más importante para todas las clases de edad/sexo (Figura 14), siendo el consumo de este grupo relativamente similar entre estas (MA: $53,1 \pm 6,5\%$; MSA: $51,3 \pm 7,5\%$; HA: $52,6 \pm 3,4\%$). En el caso de los peces bentopelágicos, las hembras fueron la clase de edad/sexo que presentó el mayor consumo de este grupo ($24,0 \pm 3,2\%$), seguido de los machos subadultos ($20,8 \pm 7,0\%$) y en menor medida los machos adultos ($13,0 \pm 5,7\%$). Este mismo patrón se registró para los peces demersales, y un patrón inverso en el consumo de cefalópodos y crustáceos bentónicos, aunque en menor magnitud (Figura 14).

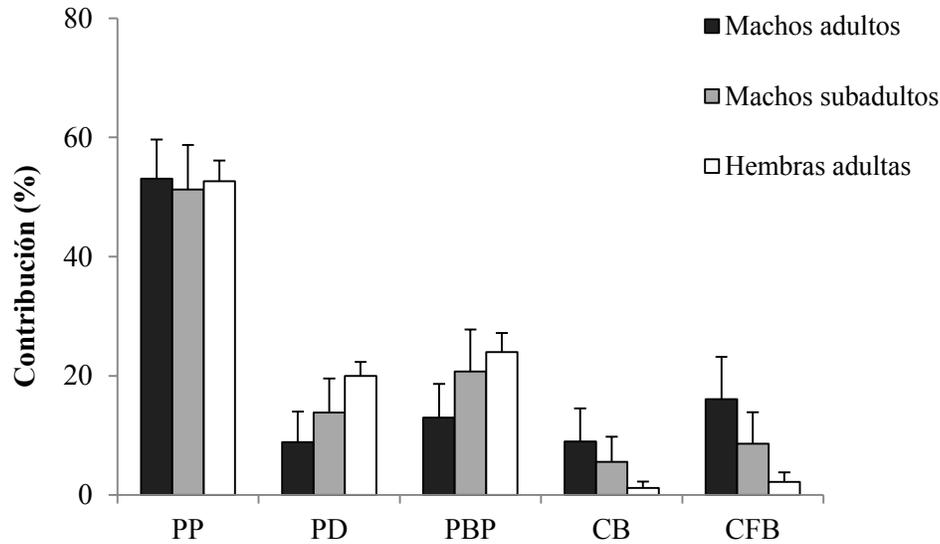


Figura 14. Contribución promedio de los cinco grupos funcionales en la dieta del lobo marino común de acuerdo al análisis del Modelo 1 (MM, sólo isótopos estables), según la clase de edad/sexo, para la zona norte de Chile. PP: Peces pelágicos; PD: Peces demersales; PBP: Peces bentopelágicos; CB: Crustáceos bentónicos; CFB: Cefalópodos bentónicos.

B.- Composición de la dieta del lobo marino común en la zona sur

Los valores isotópicos promedio de los lobos marinos de la zona sur, de acuerdo a la estación del año y la clase de edad, se presentan en la sección Resultados del Objetivo 3. La Tabla 13 muestra los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los cinco grupos funcionales utilizados para la determinación de la dieta de los lobos marinos mediante el Modelo 1 (MM, sólo con isótopos estables). Del mismo modo, la Tabla 14 muestra el porcentaje de frecuencia relativa de ocurrencia (%N) de los mismos cinco grupos funcionales, y que fueron utilizados como información *a priori* para establecer la dieta mediante el Modelo 2 (MM+F, isótopos estables + fecas). Cabe destacar que para calcular los valores de %N que fueron incorporados al Modelo 2 se excluyeron aquellos restos de presas no identificados en las fecas. Además, se excluyó el ítem presa calamar por presentar una baja representación en la dieta de los lobos marinos. Debido a lo anterior, los valores presentados en la Tabla 14 difieren levemente del análisis de fecas que se presenta más adelante.

Tabla 13. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DE) de los cinco grupos funcionales considerados en el modelo Bayesiano SIAR, para los lobos marinos de la zona sur de Chile.

Grupo funcional	Nombre común	Especie	<i>n</i>	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
Peces pelágicos (PP)	Pejerrey	<i>Odontesthes regia</i>	16	15,8 \pm 0,7	-16,0 \pm 1,5
	Sardina austral	<i>Sprattus fueguensis</i>	7	15,0 \pm 0,2	-16,4 \pm 0,3
	Jurel	<i>Trachurus murphyi</i>	4	17,1 \pm 0,4	-15,4 \pm 0,4
		Promedio		15,8 \pm 0,9	-16 \pm 1,2
Peces demersales (PD)	Merluza austral	<i>Merluccius australis</i>	27	17,1 \pm 1,0	-15,3 \pm 0,4
	Corvina	<i>Cilus gilberti</i>	3	17,7 \pm 0,1	-15,4 \pm 0,2
	Congrio	<i>Genypterus spp.</i>	11	17,0 \pm 1,1	-15,0 \pm 1,0
	Pejegallo	<i>Callorhynchus callorhynchus</i>	3	18,0 \pm 0,1	-14,3 \pm 0,4
	Rollizo	<i>Pinguipes chilensis</i>	5	16,8 \pm 0,4	-14,3 \pm 0,6
	Promedio		17,2 \pm 0,9	-15,1 \pm 0,7	
Peces bentopelágicos (PBP)	Róbalo	<i>Eleginops maclovinus</i>	12	15,3 \pm 0,8	-16,7 \pm 2,5
	Tollo	<i>Mustelus mento</i>	2	16,6 \pm 0,6	-15,2 \pm 0,2
	Sierra	<i>Thyrstites atun</i>	7	17,4 \pm 0,9	-16,1 \pm 0,3
	Cabrilla	<i>Paralabrax humeralis</i>	3	17,2 \pm 0,1	-12,6 \pm 0,8
		Promedio		16,3 \pm 1,2	-15,9 \pm 2,2
Crustáceos pelágicos (CP)	Langostino de los canales	<i>Munida spp.</i>	2	9,4 \pm 0,5	-19,6 \pm 1,2
Salmónidos de cultivo (SC)	Salmón del Atlántico, Salmón coho, Trucha arcoiris	<i>Salmo salar, Oncorhynchus kisutch, O. mykiss</i>	30	12,4 \pm 1,3	-18,6 \pm 1,1

Tabla 14. Porcentaje de frecuencia relativa de ocurrencia (%N) en las fecas de los cinco grupos funcionales utilizados en el Modelo 2 (MM+F, isótopos estables + fecas), para los lobos marinos de la zona sur de Chile.

Grupo	Especie	Invierno + Verano	Verano	Invierno
		%	%	%
Peces pelágicos (PP)	Pejerrey	9,5	0,0	12,6
	Sardina austral	5,6	19,5	1,1
	Total	15,1	19,5	13,7
Peces demersales (PD)	Merluza austral	60,8	31,0	70,4
	Congrio	0,8	3,5	0,0
	Mote	15,1	17,2	14,4
	Total	76,8	51,7	84,8
Peces bentopelágicos (PBP)	Róbalo	2,2	4,6	1,5
Crustáceos pelágicos (CP)	Múnida	5,9	24,1	0,0
Salmónidos de cultivo (SC)	Pulpo	0,0	0,0	0,0

Análisis general

Como se aprecia en la Figura 15, los peces demersales presentaron la mayor contribución en la dieta de los lobos marinos con un $67,6 \pm 6,0\%$ y un $77,0 \pm 1,0\%$, de acuerdo a los resultados del Modelo 1 y 2, respectivamente. En segundo lugar de importancia se encontraron los peces bentopelágicos, según los resultados del Modelo 1 ($16,1 \pm 5,3\%$). Sin embargo, según los resultados del Modelo 2, los peces pelágicos se encontrarían en segundo lugar de importancia ($15,1 \pm 0,9\%$). Los crustáceos bentónicos y los salmónidos de cultivo presentaron una contribución marginal en la dieta de los lobos marinos según los resultados de ambos modelos ($<6\%$, Figura 15).

Al analizar la dieta por grupo funcional de acuerdo al análisis de fecas, también los peces demersales son el grupo más importante, con un 76,8% de frecuencia relativa de ocurrencia, seguido de los peces pelágicos con un 15,1% (Figura 15). Cabe destacar que no se encontraron restos de salmónidos de cultivo en las fecas de los lobos marinos (Figura 15). Para más detalles del análisis de fecas, ver sección correspondiente.

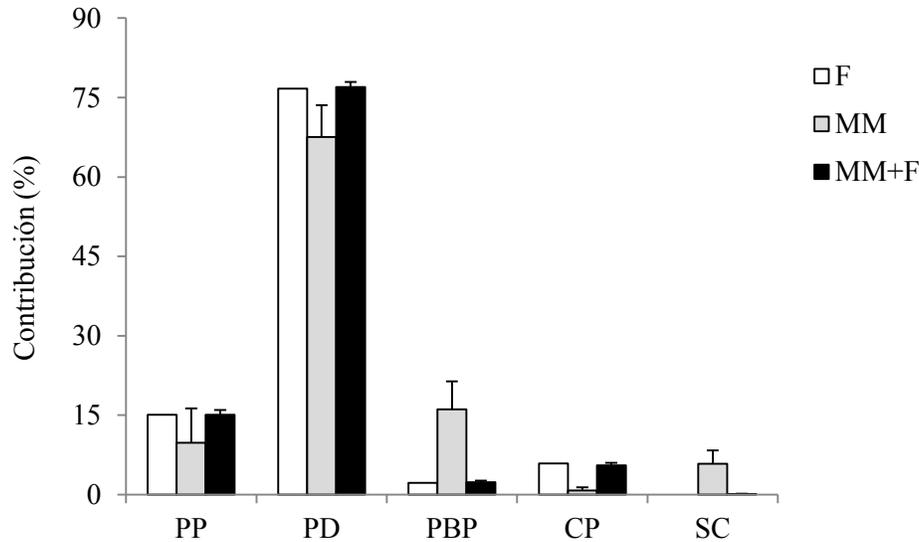


Figura 15. Contribución promedio en la dieta del lobo marino común de los cinco grupos funcionales utilizados para el análisis de fecas (F), Modelo 1 (MM, sólo isótopos estables) y Modelo 2 (MM+F, isótopos estables + fecas) en la zona sur. PP: Peces pelágicos; PD: Peces demersales; PBP: Peces bentopelágicos; CP: Crustáceos pelágicos; SC: Salmónidos de cultivo.

Análisis por estación del año

En este caso, nuevamente los peces demersales fueron el grupo más importante en la dieta de los lobos marinos, tanto en verano como en invierno (Figura 16). Para este análisis, también se consideró como información *a priori* los resultados de dieta según el análisis de fecas para cada estación de año por separado (Tabla 14). El consumo de peces demersales fue mayor en invierno que en verano, según los resultados del Modelo 1 (verano: $61,8 \pm 7,0\%$; invierno: $69,4 \pm 7,0\%$). Esta diferencia se acrecienta según el Modelo 2 (verano: $54,0 \pm 0,9\%$; invierno: $83,8 \pm 0,9\%$). En el caso de los peces pelágicos y bentopelágicos, el Modelo 1 muestra que estos grupos presentaron contribuciones similares, siendo ambos de igual importancia en la dieta de los lobos marinos (Figura 16). Adicionalmente, tampoco se registraron variaciones importantes entre estaciones. Sin embargo, según el Modelo 2 los peces pelágicos son el segundo grupo de mayor importancia (verano: $19,7 \pm 0,7\%$; invierno: $14,3 \pm 0,9\%$), y los peces bentodemersales tendrían un aporte muy bajo, tanto en verano como en invierno. Finalmente, los crustáceos pelágicos no serían consumidos por los lobos marinos según los

resultados del Modelo 1. Sin embargo, el Modelo 2 mostró que este grupo es consumido sólo en verano ($21,5 \pm 0,7\%$ para el verano vs. $0,1 \pm 0,1\%$ para el invierno).

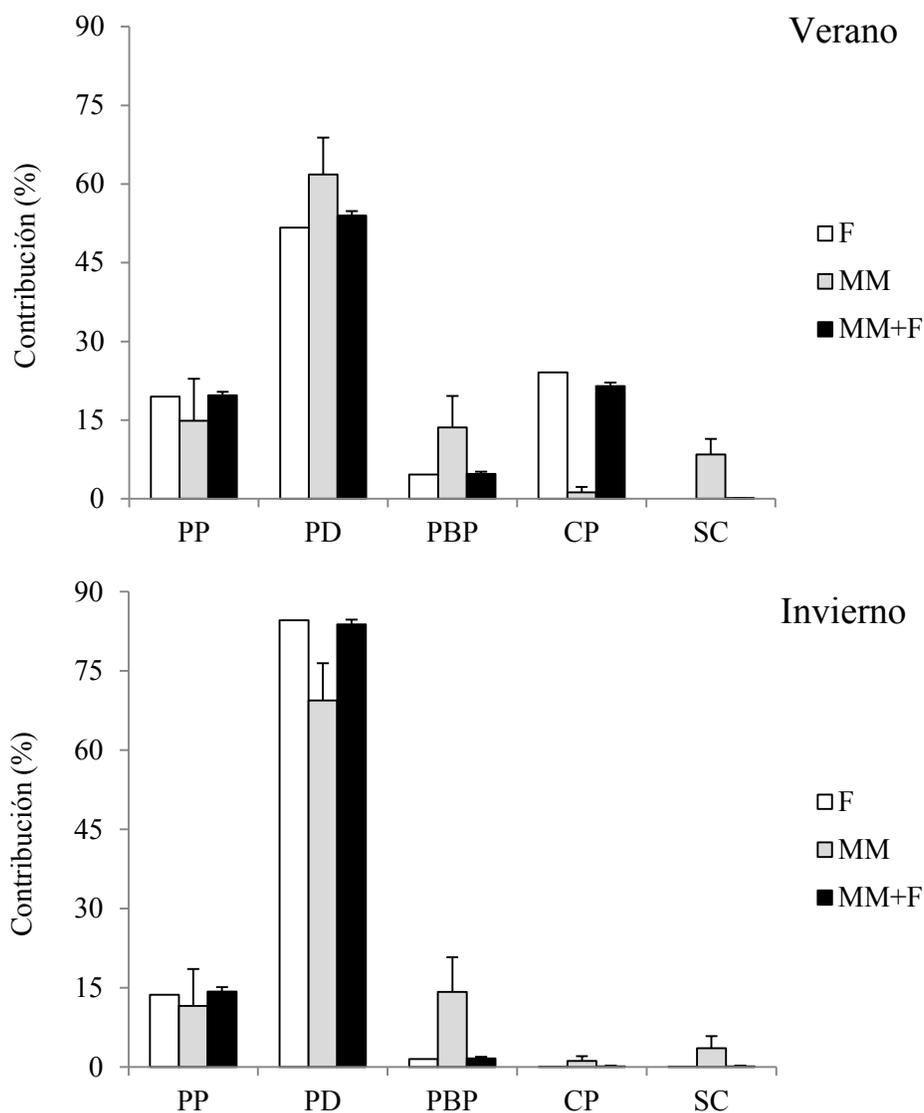


Figura 16. Contribución promedio en la dieta del lobo marino común de los cinco grupos funcionales utilizados para el análisis de fecas (F), Modelo 1 (MM, sólo isótopos estables) y Modelo 2 (MM+F, isótopos estables + fecas), de acuerdo a la estación del año, para la zona sur de Chile. PP: Peces pelágicos; PD: Peces demersales; PBP: Peces bentopelágicos; CP: Crustáceos pelágicos; SC: Salmónidos de cultivo.

Al analizar la dieta por grupo funcional de acuerdo al análisis de fecas, al igual que para los modelos mixtos, en ambas estaciones el grupo más consumido son los peces demersales (verano: 51,7%; invierno: 84,8%; Figura 16). Los crustáceos pelágicos son el segundo grupo más importante (24,1%), pero fueron consumidos sólo en verano. Los peces pelágicos presentaron una contribución del 19,5% en verano y 13,7% en invierno. Nuevamente es importante destacar que los salmónidos de cultivo no fueron registrados en las fecas de los lobos marinos (Figura 16).

Análisis por clase de edad/sexo

Para el análisis por clase de edad/sexo, al igual que en la zona norte, sólo se obtuvieron resultados a partir del Modelo 1, ya que no es posible determinar la contribución en la dieta de las presas según clase de edad/sexo mediante el análisis de fecas. En este caso, nuevamente los peces demersales fueron el grupo de presas más importante para todas las clases de edad/sexo (Figura 17). De acuerdo al Modelo 1, las hembras adultas fueron la clase de edad/sexo que consumió la mayor proporción de peces demersales ($68,8 \pm 4,2\%$), seguido de los machos subadultos ($55,5 \pm 10,4\%$) y machos adultos ($47,8 \pm 11,9\%$). Los peces bentopelágicos son mayormente consumidos por los machos adultos ($25,7 \pm 10,9\%$), seguido de machos subadultos ($15,2 \pm 8,1\%$), y en menor medida por hembras adultas ($10,9 \pm 4,1\%$). Los peces pelágicos son consumidos en proporciones similares por las tres clases de edad/sexo ($\sim 18\%$). Finalmente, los crustáceos pelágicos y salmónidos de cultivo prácticamente no serían consumidos por ninguna clase de edad/sexo (Figura 17).

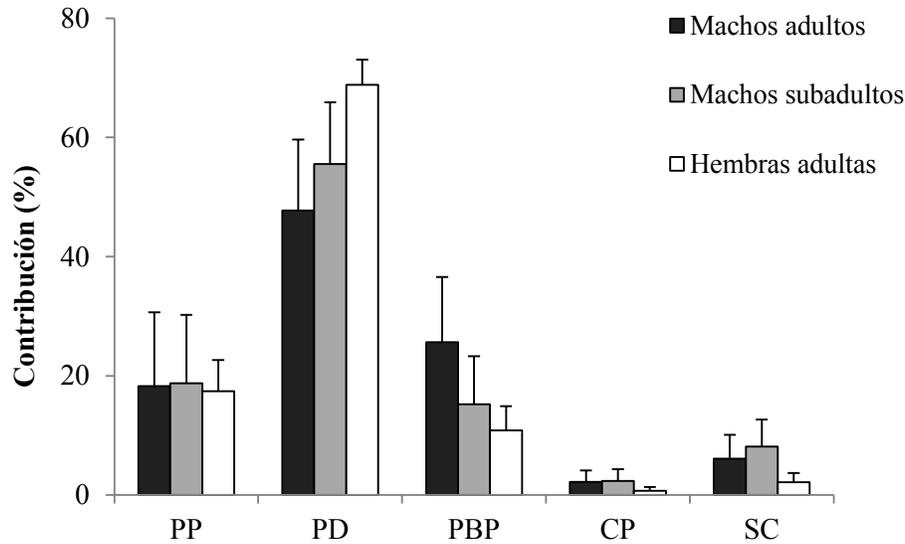


Figura 17. Contribución promedio en la dieta del lobo marino común de los cinco grupos funcionales utilizados en el Modelo 1 (MM, sólo isótopos estables) de acuerdo a la clase de edad/sexo, para la zona sur de Chile. PP: Peces pelágicos; PD: Peces demersales; PBP: Peces bentopelágicos; CP: Crustáceos pelágicos; SC: Salmónidos de cultivo.

C.- Análisis de fecas

Zona norte:

El detalle de los ítems que componen la dieta del LMC en la zona norte en verano e invierno en base al análisis de fecas se muestra en la Tabla 15. De acuerdo a esta tabla, las principales presas consumidas por el LMC en la zona norte, tanto en verano como en invierno fueron la anchoveta y el langostino (que se presentaron en un alto porcentaje en las fecas). Asimismo, se registró la presencia de otras presas, tales como cabinza, jurel y calamar, que se registraron en las dos estaciones del año, y de otras especies tales como corvina, bacalao, sardina y cabrilla, que sólo se registraron en las fecas colectadas en verano (Figura 18).

Los principales ítems alimentarios (anchoveta y langostino) mostraron la mayor frecuencia de ocurrencia para ambas estaciones del año. Llama la atención sin embargo, que en verano la anchoveta muestra una importancia relativa mayor que el langostino, mientras que en

invierno se visualiza lo contrario, con una importancia relativa mayor del langostino (Figura 18).

Tabla 15. Número (n), porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO) y porcentaje de frecuencia relativa de ocurrencia (%N) para las presas del lobo marino común en la zona norte, durante las campañas de verano e invierno de 2015.

Presas	Verano			Invierno		
	n	%FO	%N	n	%FO	%N
Peces						
Anchoveta (<i>Engraulis ringens</i>)	1722	95,8	48,4	814	89,0	23,3
Corvina (<i>Cilus gilberti</i>)	4	1,7	0,1	0	0	0
Cabinza (<i>Isacia conceptionis</i>)	166	44,1	4,7	135	40,0	3,9
Pejerrey (<i>Odontesthes regia</i>)	21	10,2	0,6	9	7,0	0,3
Roncacho (<i>Sciaena deliciosa</i>)	6	4,2	0,2	0	0	0
Sardina (<i>Sardinops sagax</i>)	92	25,4	2,6	1	1,0	0,0
Jurel (<i>Trachurus murphyi</i>)	219	38,1	6,1	66	27,0	1,9
Pez de roca (<i>Sebastes ciliatus</i>)	7	3,4	0,2	0	0	0
No determinados	160	23,7	4,5	86	40,0	2,5
Total	2397	95,8	67,3	1111	92,0	31,8
Moluscos						
Calamar (<i>Loliho gahi</i>)	212	60,2	6,0	71	34,0	2,0
Total	212	60,2	6,0	71	34,0	2,0
Crustáceos						
Jaiba (<i>Callinectes sapidus</i>)	12	10,2	0,3	3	3,0	0,1
Langostino (<i>Pleuroncodes monodon</i>)	940	52,5	26,4	2312	85,0	66,1
Total	952	59,3	26,7	2315	85,0	66,2

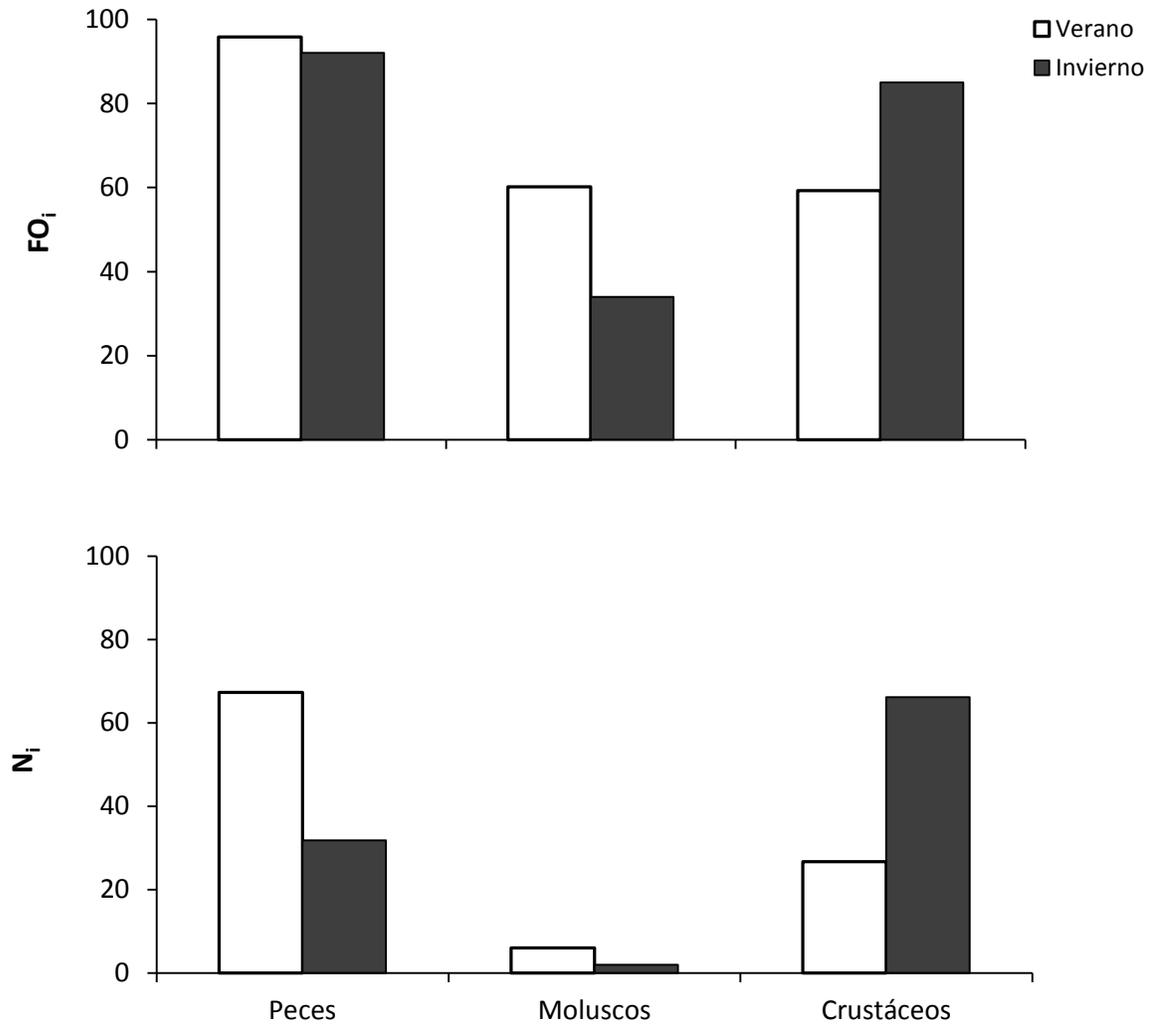


Figura 18. Representación de la frecuencia de ocurrencia (FO_i) y de la frecuencia relativa de ocurrencia (N_i) para de las presas del lobo marino común colectadas en la zona norte en verano e invierno de 2015.

El índice de diversidad de Shannon (H') para la FO de verano fue de 1,80 y para invierno de 2,01, siendo significativamente diferentes entre ambas estaciones del año (Bootstrap $P = 0,004$). Esto quiere decir que la riqueza y abundancia de presas en la dieta del LMC fue mayor en verano que en invierno.

Por otro lado, el índice de solapamiento de nicho de Pianka (1973) fue de 0,42, lo que indica que el solapamiento trófico entre las dietas de verano e invierno es bajo.

Zona sur:

En la Tabla 16 se muestra el detalle de los ítems que componen la dieta del LMC en la zona sur en las épocas de verano e invierno en base al análisis de fecas. Es importante mencionar que en el caso de las almejas, de los choritos y del picoroco no fue posible estimar un número de individuos, ya que se encontraron restos de partes duras que no permitieron su cuantificación. Por ello en la Tabla 16 sólo se indica su presencia o ausencia en las estaciones monitoreadas y su índice de ocurrencia.

Las principales presas consumidas por el LMC en la zona sur fueron la merluza austral y el mote o bacaladillo, que estuvieron fuertemente representados en ambas estaciones del año. En el verano en particular destaca también la sardina austral como una especie relevante, mientras que en el invierno aparece el pejerrey. En la Figura 19 se grafica la frecuencia de ocurrencia para los tres grupos de presas registrados (peces, moluscos y crustáceos). De acuerdo a esta figura el principal grupo taxonómico que se encuentra presente en la dieta del LMC en la zona sur son los peces, tanto en verano como en invierno. Los moluscos, si bien fueron el segundo grupo taxonómico de mayor presencia en la dieta, sólo estuvo representado en la estación de verano.

Tabla 16. Número (n), porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO) y porcentaje de frecuencia relativa de ocurrencia (%N) para las presas del lobo marino común en la zona sur, durante las campañas de verano e invierno de 2015

Presas	Verano			Invierno		
	n	%FO	%N	n	%FO	%N
Peces						
Pejerrey (<i>Odontesthes regia</i>)	0	0	0	34	19,3	12,4
Sardina austral (<i>Sprattus fueguensis</i>)	17	8,7	19,5	3	1,8	1,1
Róbalo (<i>Eleginops maclovinus</i>)	4	4,4	4,6	4	3,5	1,4
Merluza austral (<i>Merluccius australis</i>)	27	43,5	31,0	190	68,4	69,1
Mote o bacaladillo (<i>Normanichthys crockeri</i>)	15	26,1	17,2	39	3,5	14,2
Congrio	3	13,0	3,4	0	0	0
Total						
Moluscos						
Calamar (<i>Loligo gahi</i>)	0	0	0	5	8,8	1,8
Almeja (<i>Venus antiqua</i>)	SI	30,4	-	SI	7,0	-
Choritos (Mitilidae)	SI	21,7	-	SI	7,0	-
Total						
Crustáceos						
Picoroco (<i>Austromegabalanus psittacus</i>)	SI	8,7	-	0	0	-
Munida (<i>Munida gregaria</i>)	21	17,4	24,1	0	0	-
Total						

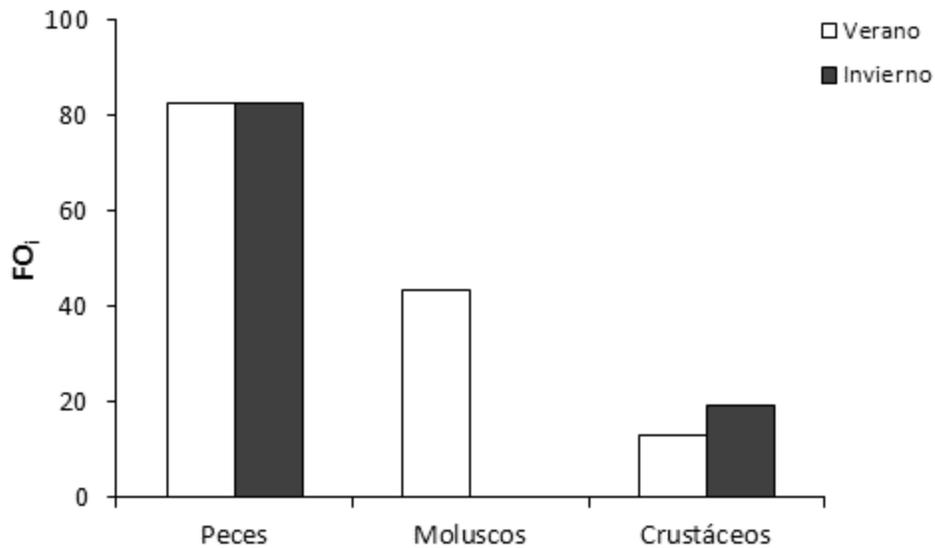


Figura 19. Representación de la frecuencia de ocurrencia las presas del lobo marino común colectadas en la zona sur en verano e invierno de 2015.

El índice de diversidad de Shannon (H') para las muestras de verano fue de 0,71 y para invierno de 0,49, siendo significativamente diferentes entre ambas estaciones del año (Bootstrap $P < 0,001$). Al igual que en la zona norte, la diversidad de presas en la dieta del LMC fue mayor en verano que en invierno. Por otro lado, el índice de solapamiento de nicho de Pianka (1973) fue de 0,46, lo que indica que el solapamiento trófico entre las dietas de verano e invierno es bajo.

4.2 Objetivo Específico 2. *Cuantificar los requerimientos energéticos y el nivel de consumo de presas necesario para sustentar la población del LMC en Chile*

A.- Contenido energético de potenciales presas del LMC:

La Tabla 17 muestra los valores de contenido energético de las potenciales especies presas de lobos marinos colectadas en las zonas norte y sur. En términos generales, Destacan los animales de cultivo (trucha arcoíris y salmón coho) como las presas con mayores contenidos energéticos. La sierra, el jurel y la sardina austral también mostraron un contenido energético elevado, en comparación a las demás especies. Por otro lado, la anchoveta y el pulpo fueron las especies que aportaron un mayor contenido energético.

Tabla 17. Contenido energético (cal/g) de muestras de peces provenientes de la Décima Región. D.E indica la desviación estándar.

Nombre común	n	Contenido calórico (cal/g)	DE
Bilagay	3	4879,5	54,7
Jurel			
Zona Norte	3	4999,0	73,2
Zona Sur	3	5308,2	56,2
Cabinza	3	4818,3	73,8
Caballa	3	5052,7	238,2
Cabrilla	3	5121,9	233,7
Rollizo			
Zona Norte	3	4922,4	68,8
Zona Sur	1	5273,9	-
Dorado	2	5224,4	215,2
Anchoveta	4	4571,1	215,2
Pulpo	2	4333,0	95,4
Merluza austral	6	5191,4	92,6
Sierra	2	5459,0	94,2
Congrio dorado	3	5186,4	80,0
Trucha arcoíris (cultivo)	1	6585,4	-
Salmon coho (cultivo)	3	5735,8	259,2
Sardina austral	3	5569,8	459,2
Pejerrey	4	5276,6	191,2

B.- Estimación del número de lobos marinos y del peso promedio por clase de edad/sexo:

La Tabla 18 muestra el número de lobos marinos censados por Bartheld *et al.* (1998) y por Oliva *et al.* (2012) en las zonas norte (XV, I y II Regiones) y sur (X Región) de Chile, respectivamente. Asimismo, y de acuerdo al estudio de Grau (1998) se incluye el peso promedio para cada clase de edad/sexo considerada.

Tabla 18. Número de lobos marinos comunes y peso promedio por clase de edad/sexo para las zonas norte (XV, I y II regiones) y sur (X Región) de Chile.

Clase de edad/sexo	Abundancia		Peso promedio (kg) ³
	Zona norte ¹	Zona sur ²	
Machos adultos	3.227	795	305 ± 35,4
Machos subadultos	3.227	1.321	190 ± 84,8
Hembras	25.131	19.329	120 ± 56,6
TOTAL	31.585	21.445	-

¹Fuente: Bartheld *et al.* (1998). Es importante destacar que estos autores no diferencian machos adultos de subadultos. Por ello se asumió una misma proporción de animales para ambas clases de edad

²Fuente: Oliva *et al.* (2012)

³Fuente: Grau (1998)

C.- Consumo proporcional de presas:

La Tabla 19 muestra el consumo diario porcentual de machos y hembras de distintas edades, de acuerdo a las estimaciones hechas por Winship *et al.* (2006). Se consideró como machos subadultos a animales de entre 4 y 7 años, y machos adultos a los mayores a 7 años. En el caso de las hembras, los censos no diferencian hembras subadultas de adultas, por lo que se consideraron como adultas a todas aquellas hembras mayores a 4 años.

Tabla 19. Consumo proporcional diario de alimento de lobos marinos comunes de distintas clases de edad/sexo. Modificado de Winship *et al.* (2006)

Edad	Machos		Hembras	
	Masa corporal (kg)	Consumo diario (%) ¹	Masa corporal (kg)	Consumo diario (%)
Subadultos	130-250	5-7	-	-
Adultos	280-330	4-5	80-160	5-9

¹El consumo diario corresponde al porcentaje de la masa corporal que el animal consume diariamente. Por ejemplo, un juvenil macho consume del 9 al 11% de su masa corporal cada día.

Utilizando esta información, y junto con la proporción de los distintos grupos funcionales en la dieta del LMC de acuerdo a las estimaciones realizadas en el Objetivo Específico 1 (Tablas 12 y 14), se tiene el siguiente consumo diario para cada clase de edad/sexo en verano e invierno y para cada zona geográfica (Tablas 20 y 21):

Tabla 20. Consumo proporcional diario (%) de los distintos grupos funcionales de presas por lobos marinos comunes de distintas clases de edad/sexo en verano e invierno en la zona norte de Chile.

Grupos funcionales	Machos adultos		Machos subadultos		Hembras	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
Peces pelágicos	78,6	54,0	80,9	54,0	60,0	61,1
Peces demersales	2,8	3,3	1,3	2,6	1,4	8,0
Peces bentopelágicos	13,6	23,8	16,2	26,8	38,0	27,1
Crustáceos bentónicos	3,5	13,5	1,1	12,8	0,4	3,3
Cefalópodos bentónicos	1,5	4,6	0,4	3,9	0,2	0,5

Tabla 21. Consumo proporcional diario (%) de los distintos grupos funcionales de presas por lobos marinos comunes de distintas clases de edad/sexo en verano e invierno en la zona sur de Chile.

Grupos funcionales	Machos adultos		Machos subadultos		Hembras	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
Peces pelágicos	18,6	11,5	15,5	16,3	17,5	12,4
Peces demersales	49,7	83,9	54,0	78,7	54,4	79,8
Peces bentopelágicos	18,6	3,0	1,0	3,1	4,6	5,1
Crustáceos pelágicos	4,3	0,6	1,6	0,8	3,3	0,3
Salmónidos	8,8	1,0	27,9	1,1	20,2	2,3

D.- Consumo total diario y anual de presas (modelo energético de Trites (1997)):

Finalmente, utilizando los datos de tamaño poblacional, peso corporal y consumo diario de los distintos grupos de presas se estimó el consumo diario para cada estación y zona (Tablas 22 y 23) y el consumo anual de presas por el LMC en las zonas norte y sur utilizando el modelo energético de Trites (1997) (Tablas 24 y 25). Para el cálculo del consumo anual del total de presas y de presas específicas se asumió que los resultados de verano corresponden a 90 días y los de invierno a 275 días. Se asumió de esta manera debido a que en verano los animales modifican su conducta de forrajeo notoriamente debido a que se encuentran en temporada reproductiva; en cambio desde otoño y hasta fines de primavera se estima que sus requerimientos y comportamiento trófico son similares.

Tabla 22. Consumo total diario de las distintas clases de edad/sexo del lobo marino común sobre los distintos grupos funcionales de presas en la zona norte de Chile para las estaciones de verano e invierno. Datos se muestran en toneladas.

Grupos funcionales	Machos adultos		Machos subadultos		Hembras	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
Peces pelágicos	34,8	23,9	29,8	19,9	126,7	129,0
Peces demersales	1,2	1,4	0,5	0,9	3,0	16,9
Peces bentopelágicos	6,0	10,5	6,0	9,9	80,1	57,2
Crustáceos bentónicos	1,6	6,0	0,4	4,7	0,9	6,9
Cefalópodos bentónicos	0,7	2,1	0,2	1,4	0,3	1,1
TOTAL	44,3	43,9	36,8	36,8	211,1	211,1

Tabla 23. Consumo total diario de las distintas clases de edad/sexo del lobo marino común sobre los distintos grupos funcionales de presas en la zona sur de Chile para las estaciones de verano e invierno. Datos se muestran en toneladas.

Grupos funcionales	Machos adultos		Machos subadultos		Hembras	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
Peces pelágicos	2,0	1,3	2,3	2,5	28,4	20,2
Peces demersales	5,4	9,2	8,1	11,9	88,3	129,6
Peces bentopelágicos	2,0	0,3	0,1	0,5	7,5	8,2
Crustáceos pelágicos	0,5	0,1	0,2	0,1	5,4	0,6
Salmónidos	1,0	0,1	4,2	0,2	32,8	3,8
TOTAL	10,9	10,9	15,1	15,1	162,4	162,4

Tabla 24. Consumo anual de las distintas clases de edad/sexo del lobo marino común sobre los distintos grupos funcionales de presas en la zona norte de Chile. Datos se muestran en toneladas.

Grupos funcionales	Machos adultos	Machos subadultos	Hembras
Peces pelágicos	9.706,29	8.139,93	46.872,89
Peces demersales	508,05	302,95	4.907,11
Peces bentopelágicos	3.442,96	3.247,86	22.952,86
Crustáceos bentónicos	1.783,72	1.331,69	1.986,61
Cefalópodos bentónicos	624,52	405,12	331,16
TOTAL	16.065,54	13.427,55	77.050,63

Tabla 25. Consumo total anual de las distintas clases de edad/sexo del lobo marino común sobre los distintos grupos funcionales de presas en la zona sur de Chile. Datos se muestran en toneladas.

Grupos funcionales	Machos adultos	Machos subadultos	Hembras
Peces pelágicos	526,15	886,35	8.095,30
Peces demersales	3.006,57	3.991,74	43.591,71
Peces bentopelágicos	274,52	140,94	2.937,35
Crustáceos pelágicos	60,30	53,77	637,55
Salmónidos	115,12	425,27	4.001,82
TOTAL	3.982,65	5.498,07	59.263,74

E.- Consumo de lobo marino calculado mediante EwE

Sobre la base de estas estimaciones de consumo del LMC mediante EwE, se determinó que las pesquerías son la principal causa de remoción de biomasa de recursos ícticos registrándose, además, alto nivel de sobreposición trófica con el LMC. De hecho, en los grupos que son recursos pesqueros tradicionales y principales grupos tróficos consumidos por el LMC (*i.e.*, pelágicos en la zona norte; pelágico y demersal en la zona sur), la

remoción de biomasa ejercida por el LMC es notablemente menor (un orden de magnitud) comparada con la remoción por pesca (Figuras 20 y 21).

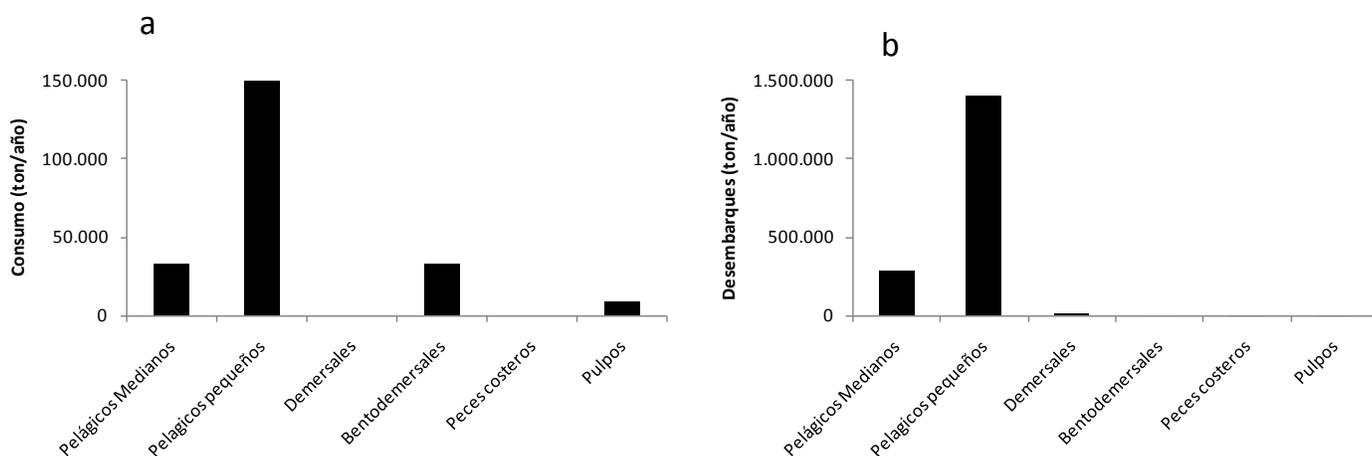


Figura 20. Comparación entre la remoción de biomasa de especies/grupos funcionales en las zonas norte de Chile causada por el lobo marino común (a) y las pesquerías (b).

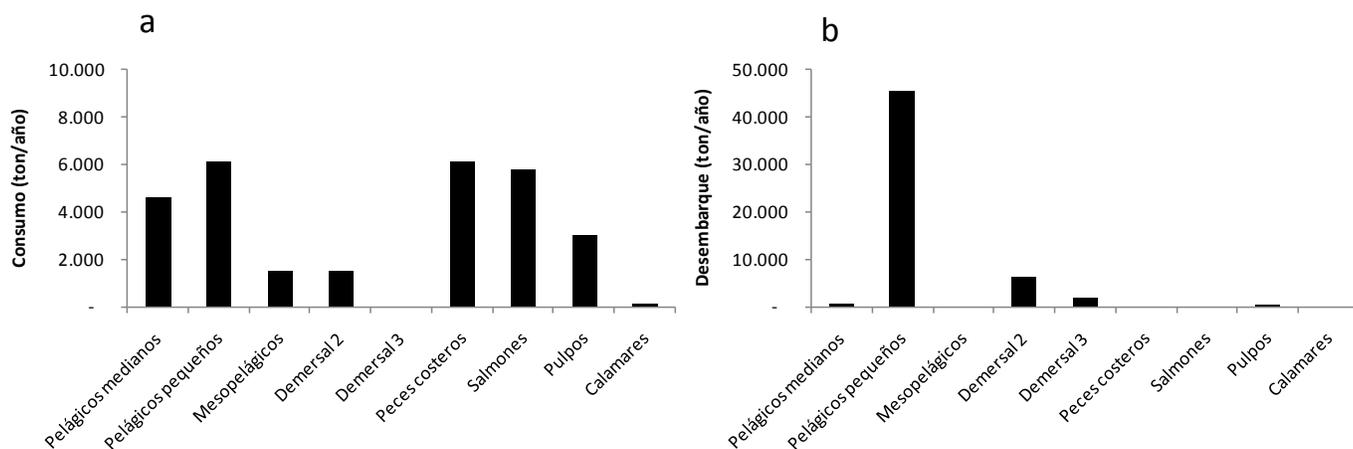


Figura 21. Comparación entre la remoción de biomasa de especies/grupos funcionales en la zona sur de Chile causada por el lobo marino común (a) y las pesquerías (b).

F.- Mortalidad por depredación causada por el LMC

En la Figura 22 se presenta una comparación entre la mortalidad por depredación causada por el LMC y la mortalidad por pesca en grupos funcionales en los cuales existe sobreposición. La mortalidad por pesca es la principal causa de mortalidad en la mayoría de

los casos donde existió sobreposición con el LMC en la zona norte (Figura 22a). De hecho, en los grupos que son recursos pesqueros tradicionales de gran escala (*e.g.*, pelágicos medianos y pelágicos pequeños), la mortalidad ejercida por el LMC es notablemente menor (en un orden de magnitud) que la mortalidad por pesca (Figura 22a). Algo distinto parece ocurrir en la zona sur (mar interior de Chiloé) donde la mortalidad por depredación ejercida por el LMC es mayor que la mortalidad por pesca para peces pelágicos medianos, peces costeros, salmones, pulpos y calamares (Figura 22b). De todas formas se debe tener en cuenta que la mortalidad por pesca en cada caso se calcula a partir de los desembarques oficiales y, por lo tanto, es muy probable que estos estén subestimados. Sin embargo, para los peces pelágicos pequeños, donde las estadísticas pesqueras son manejadas de mejor manera, la remoción por esta es significativamente mayor que la generada por el LMC.

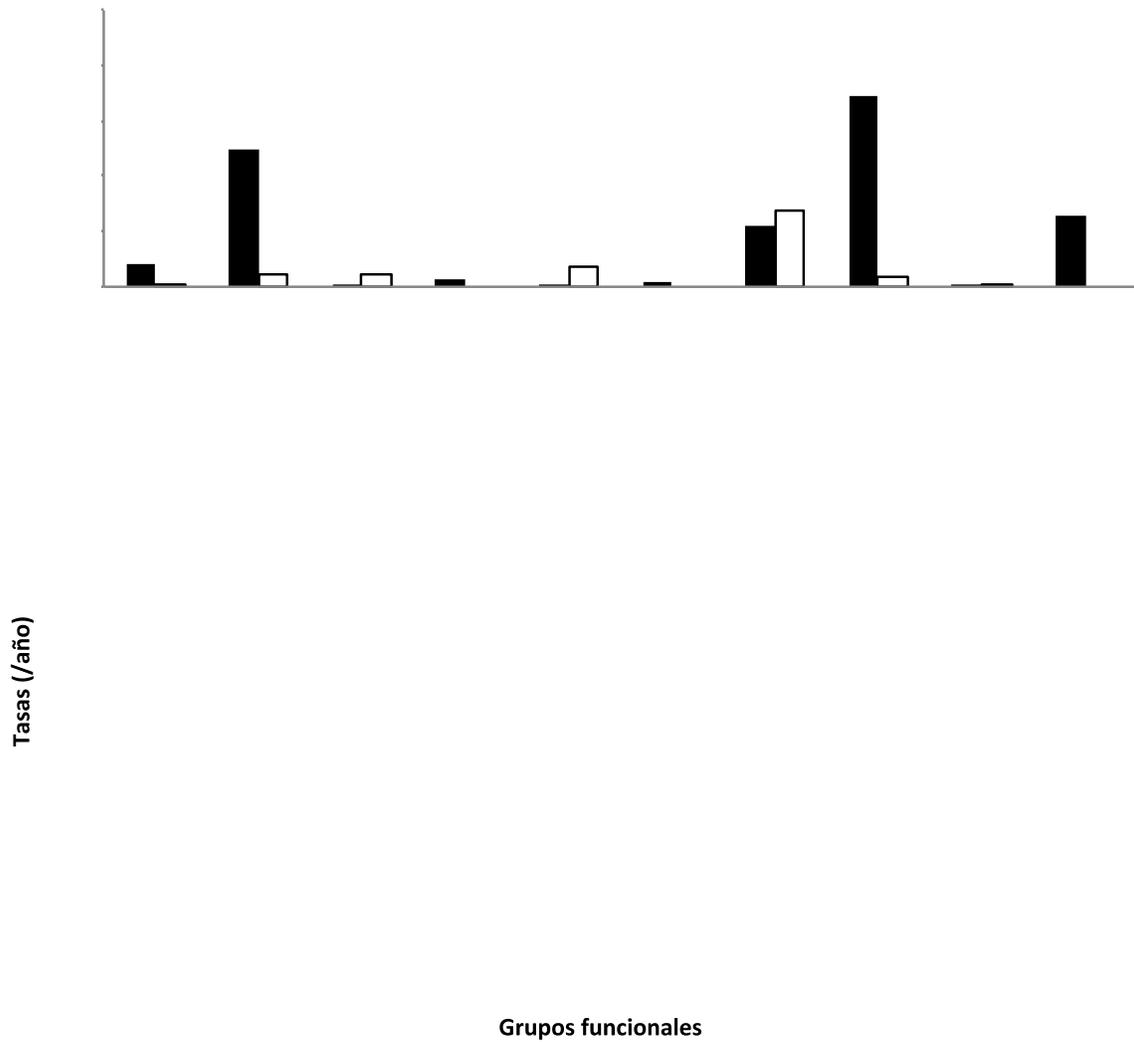


Figura 22. Análisis comparado de la mortalidad por depredación causada por lobo marino común y la mortalidad por pesca en aquellos grupos funcionales en los cuales existe sobreposición. a) zona norte de Chile; b) zona sur; barras negras=mortalidad por pesca; barras blancas=mortalidad por depredación causada por lobo marino común.

4.3 Objetivo Específico 3. Determinar el nicho trófico del LMC y su sobreposición con la pesca

A.- Determinación de nicho trófico:

En la comparación entre las dos zonas de estudio (norte y sur), se observó que la amplitud del rango de carbono (CR) fue mayor en la zona sur, mientras que la del rango de nitrógeno (NR) fue mayor en la zona norte (Tabla 26). La posición tanto de los polígonos de área total (TA) y de las elipses estándar (SEA_c) indicaron la zona norte se encontró más enriquecida en nitrógeno y empobrecida en carbono. A su vez, SEA_c indicó que no existe superposición en los nichos tróficos de los lobos marinos de ambas zonas (Figura 23).

Tabla 26. Promedio (\pm DE) de $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ y los valores de las métricas de los valores isotópicos de la piel del lobo marino común agrupada por zona. CR: rango de carbono, NR: rango de nitrógeno, SEA_c: área de la elipse estándar expresad en ‰².

Factor		<i>n</i>	$\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD}$	$\delta^{15}\text{N} \pm \text{SD}$	CR	NR	TA	SEA _c
Zona	Norte	209	-14,6 \pm 0,4	23,9 \pm 1,1	2,6	8,0	12,5	1,4
	Sur	152	-13,4 \pm 0,6	20,0 \pm 0,8	3,1	4,3	8,5	1,1

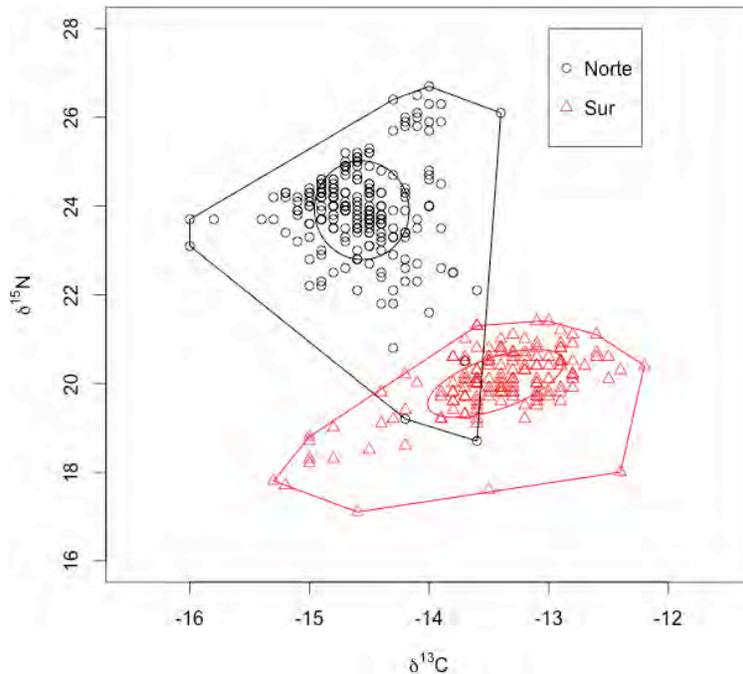


Figura 23. Área total (TA) y elipses estándar para los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la piel del lobo marino común para las zonas norte (círculos negros) y sur (triángulos rojos).

Al comparar la amplitud de CR y NR de los valores isotópicos de la zona norte entre las estaciones de verano e invierno, se observa que los mayores valores se registraron durante el verano (Tabla 27). De manera similar, el TA y el SEA_c fueron de mayor tamaño durante esta estación del año (Tabla 27). En términos de la superposición de SEA_c , se observó una escasa superposición ($1.5 \times 10^{-14}\%$) entre el verano y el invierno para esta zona (Figura 24).

Al comparar las clases de edad/sexo del LMC en la zona norte durante el verano, se observó que la amplitud de CR fue mayor para las hembras y machos subadultos, mientras que la amplitud de NR fue mayor para los machos adultos (Tabla 27). Asimismo, el TA y el SEA_c fueron de mayor tamaño para los machos adultos durante esta estación del año (Tabla 27). En términos de la superposición de nicho isotópico mediante el SEA_c , se observó un superposición de 10,1% entre hembras y machos adultos, de un 77,1% entre hembras y machos subadultos y de un 29,2% entre machos adultos y machos subadultos (Figura 25).

Para la estación de invierno, la amplitud de CR y NR fue mayor para las hembras (Tabla 27). Asimismo, el TA y el SEA_c fueron de mayor tamaño para las hembras durante esta estación del año (Tabla 27). En términos de la superposición de nicho isotópico mediante el SEA_c, se observó un superposición de 10,2% entre hembras y machos adultos, un 36,1% entre hembras y machos subadultos y 66,1% entre machos adultos y machos subadultos (Figura 26).

Tabla 27. Promedio (\pm DE) de $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ y los valores de las métricas de los valores isotópicos de la piel del lobo marino común agrupada por estación del año (invierno y verano) y clase de edad/sexo tanto para verano como para invierno, para la zona norte. CR: rango de carbono, NR: rango de nitrógeno, SEA_c: área de la elipse estándar expresad en ‰²

Factor		n	$\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD}$	$\delta^{15}\text{N} \pm \text{SD}$	CR	NR	TA	SEA _c
Estación	Verano	112	-14,7 \pm 0,4	24,3 \pm 1,0	2,4	8,0	9,8	1,2
	Invierno	97	-14,4 \pm 0,3	23,4 \pm 1,0	1,6	6,9	7,1	1,0
Verano								
	Hembra	79	-14,8 \pm 0,3	24,5 \pm 0,8	2,0	3,7	3,4	0,5
	Macho adulto	16	-14,5 \pm 0,4	23,4 \pm 1,7	1,4	7,3	4,3	1,8
	Macho subadulto	17	-14,6 \pm 0,5	24,5 \pm 1,0	2,1	3,5	3,0	1,2
Invierno								
Clase de edad	Hembra	61	-14,4 \pm 0,3	23,7 \pm 1,0	1,6	6,9	7,1	1,0
	Macho adulto	19	-14,2 \pm 0,2	23,0 \pm 0,8	0,8	2,6	1,5	0,6
	Macho subadulto	17	-14,3 \pm 0,3	23,0 \pm 0,8	1,1	2,9	1,9	0,7

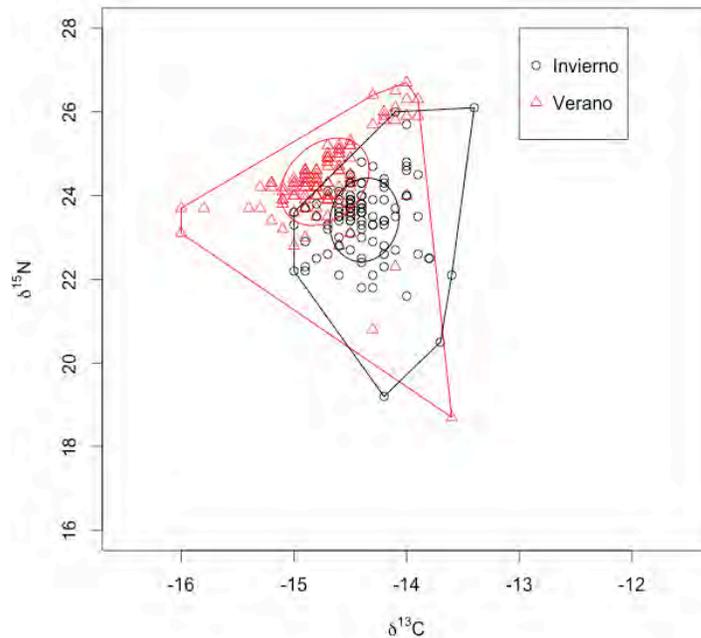


Figura 24. Área total (TA) y elipses estándar para los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la piel del lobo marino común para las estaciones de invierno (círculos negros) y verano (triángulos rojos), para la zona norte.

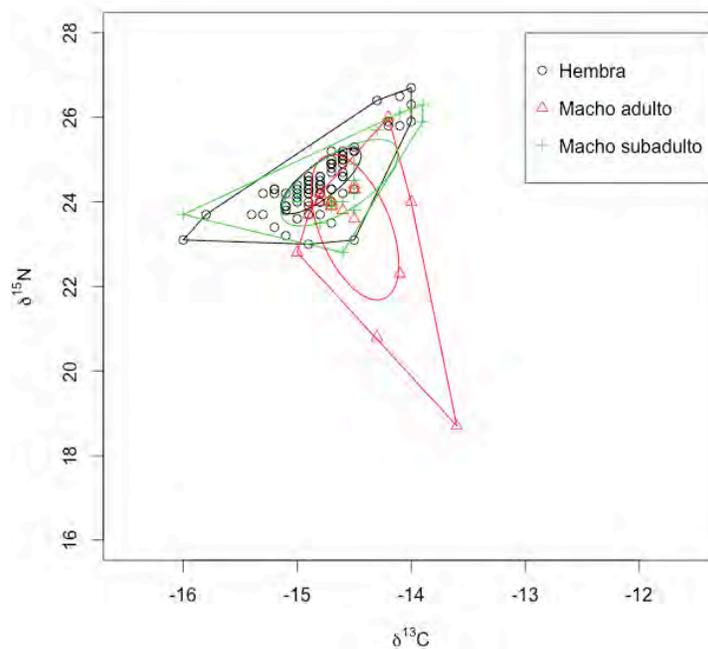


Figura 25. Área total (TA) y elipses estándar para los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la piel del lobo marino común para las clases de edad hembra (círculos negros), macho adulto (triángulos rojos) y machos subadultos (signo más en verde), en la estación de verano para la zona norte.

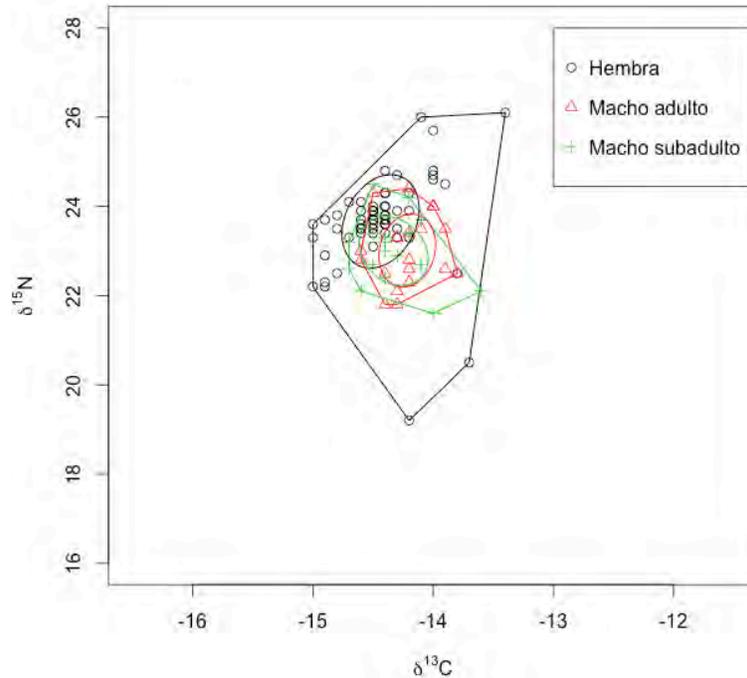


Figura 26. Área total (TA) y elipses estándar para los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la piel del lobo marino común para las clases de edad hembra (círculos negros), macho adulto (triángulos rojos) y machos subadultos (signo más en verde), en la estación de invierno para la zona norte.

Para el caso de la zona sur, al comparar la amplitud de CR de los valores isotópicos de la piel del LMC entre las estaciones de verano e invierno, se observa que los mayores valores se registraron durante el invierno, mientras que para NR la mayor amplitud se registró durante el verano (Tabla 28). La amplitud del TA y el SEA_c fueron mayores durante el invierno (Tabla 28). En términos de la superposición de SEA_c , se observó una superposición del 51,4% entre el verano y el invierno para esta zona (Figura 27).

Al comparar las clases de edad/sexo del LMC en la zona sur durante el verano, se observó que la amplitud de CR fue mayor en machos adultos y machos subadultos, mientras que la amplitud de NR fue mayor en machos subadultos (Tabla 28). Asimismo, el TA y el SEA_c fueron de mayor tamaño para los machos subadultos durante el verano (Tabla 28). En términos de solapamiento de nicho isotópico mediante el SEA_c , se observó una

superposición de 27,8% entre hembras y machos adultos, un 46,7% entre hembras y machos subadultos y 50,5% entre machos adultos y machos subadultos (Figura 28).

Durante el invierno en la zona sur, la amplitud de CR y NR fue mayor para los machos adultos (Tabla 28). En el caso de TA la mayor amplitud se registró en las hembras, mientras que para el SEA_c el mayor tamaño se registró en los machos adultos y machos subadultos (Tabla 28). En términos de la superposición de nicho isotópico mediante el SEA_c, se observó un superposición de $3,7 \times 10^{-16}\%$ entre hembras y machos adultos, un 53,5% entre hembras y machos subadultos y un 22,1% entre machos adultos y machos subadultos (Figura 29).

Tabla 28. Promedio (\pm DE) de $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ y los valores de las métricas de los valores isotópicos de la piel del lobo marino común agrupada por estación (invierno y verano) y clase de edad tanto para verano como para invierno, para la zona sur. CR: rango de carbono, NR: rango de nitrógeno, SEA_c: área de la elipse estándar expresad en $\% ^2$.

Factor		n	$\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD}$	$\delta^{15}\text{N} \pm \text{SD}$	CR	NR	TA	SEA _c
Estación	Verano	74	$-13,6 \pm 0,3$	$20,0 \pm 0,7$	2,2	4,2	5,6	0,8
	Invierno	78	$-13,3 \pm 0,6$	$20,0 \pm 0,8$	3,1	3,7	7,4	1,2
		Verano						
	Hembra	36	$-13,4 \pm 0,3$	$20,1 \pm 0,6$	1,1	3,5	2,3	0,7
	Macho adulto	15	$-13,8 \pm 0,7$	$20,0 \pm 0,8$	1,8	2,7	1,5	1,3
	Macho subadulto	23	$-13,7 \pm 0,4$	$19,8 \pm 0,8$	1,7	4,2	3,5	1,4
		Invierno						
Clase de edad	Hembra	44	$-13,1 \pm 0,4$	$20,1 \pm 0,6$	2,0	3,1	3,6	0,7
	Macho adulto	20	$-13,7 \pm 0,8$	$20,0 \pm 1,1$	2,7	3,7	3,1	1,3
	Macho subadulto	14	$-13,5 \pm 0,7$	$19,7 \pm 0,9$	2,4	3,1	2,8	1,4

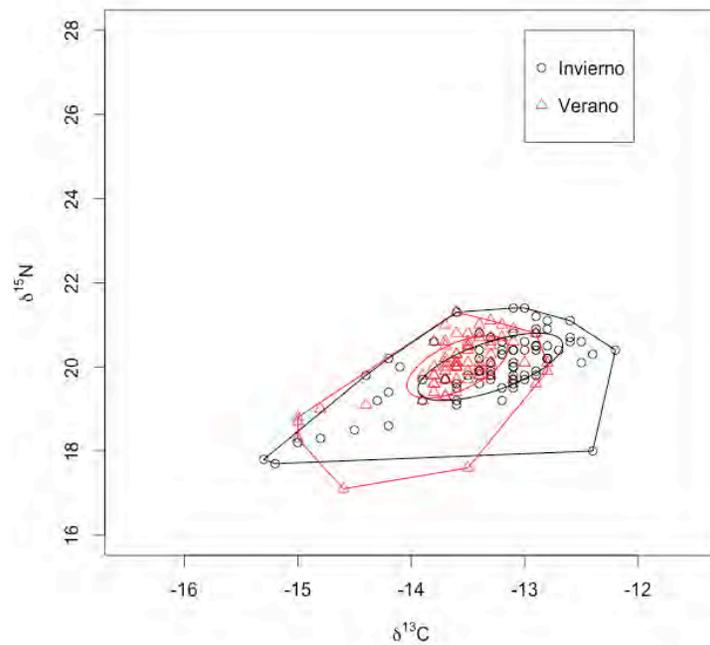


Figura 27. Área total (TA) y elipses estándar para los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la piel del lobo marino común para las estaciones de invierno (círculos negros) y verano (triángulos rojos), para la zona sur.

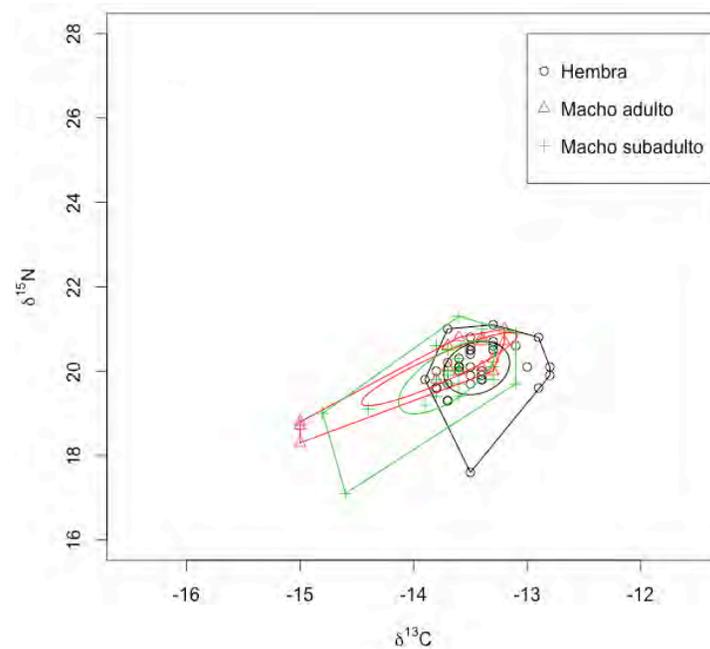


Figura 28. Área total (TA) y elipses estándar para los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la piel del lobo marino común para las clases de edad hembra (círculos negros), machos adultos (triángulos rojos) y machos subadultos (signo más en verde), en la estación de verano para la zona sur.

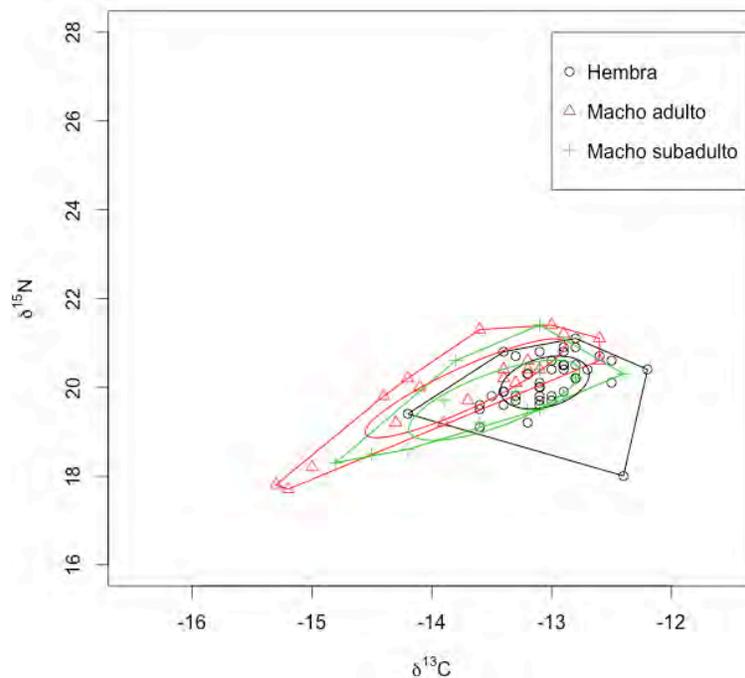


Figura 29. Área total (TA) y elipses estándar para los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la piel del lobo marino común para las clases de edad hembras (círculos negros), machos adultos (triángulos rojos) y machos subadultos (signo más en verde), en la estación de invierno para la zona sur.

B.- Superposición con la pesquería:

Los resultados indicaron valores de superposición entre la dieta de LMC y la pesquería como un todo de 0,83 y 0,53 para las zonas norte y sur, respectivamente (Figura 30). Esto evidencia, que entre el 50 a 80% de las presas consumidas por el LMC también son capturadas por la pesquería.

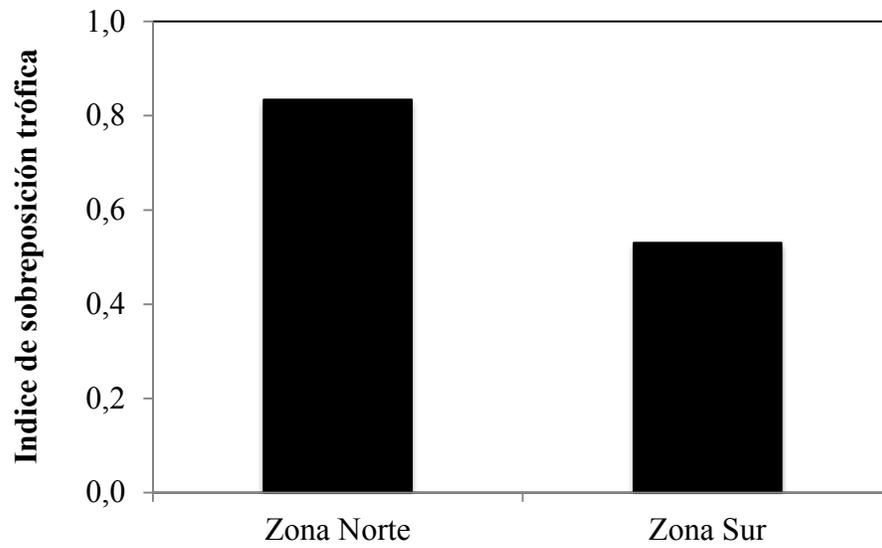


Figura 30. Índice de sobreposición entre la dieta de LMC y la pesquería como un todo estimado a partir de modelos de tramas tróficas para las zonas norte y sur de Chile.

4.4 Objetivo Específico 4. Modelar la trama trófica de los ecosistemas y evaluar situaciones con diferentes abundancias y estructuras poblacionales del LMC

A.- Zona sur:

En la Figura 31 se presenta el diagrama de flujo que representa mediante líneas (flujo de materia/energía) la red de interacciones que se establece entre los grupos funcionales incluidos en el modelo. En esta es posible observar que los flujos de energía relacionan tanto organismos pertenecientes a la trama trófica tradicional como al anillo microbiano. Conjuntamente con esto, se observa que los principales flujos de materia y energía se registran entre peces, plancton y componentes microscópicos de las comunidades evaluadas.

La Figura 32 por su parte presenta un diagrama de impactos tróficos combinados (ITC), que muestra los impactos (directos e indirectos, positivos o negativos) de un aumento leve en la biomasa de un grupo funcional sobre sus presas y depredadores. Es así como, los impactos del LMC serían altos y negativos únicamente sobre los salmones, mientras que sería impactado negativamente por su depredador (Orcas) y positivamente por sus presas (peces demersales, peces costeros y salmones).

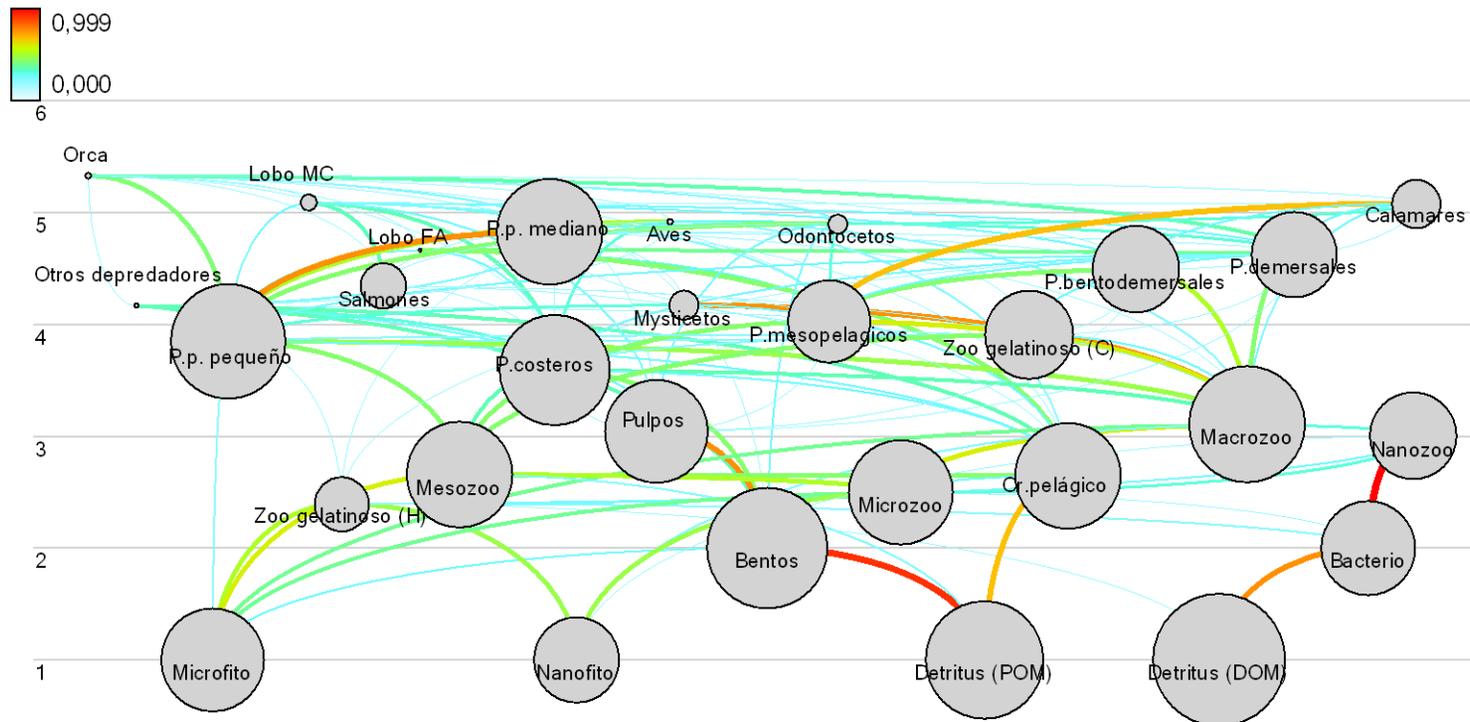


Figura 31. Diagrama de flujo que representa las relaciones de depredación en el modelo de la región de Los Lagos, año 2006. El color y grosor de la línea indican mayores/menores magnitudes de acuerdo a la escala presentada en la figura.

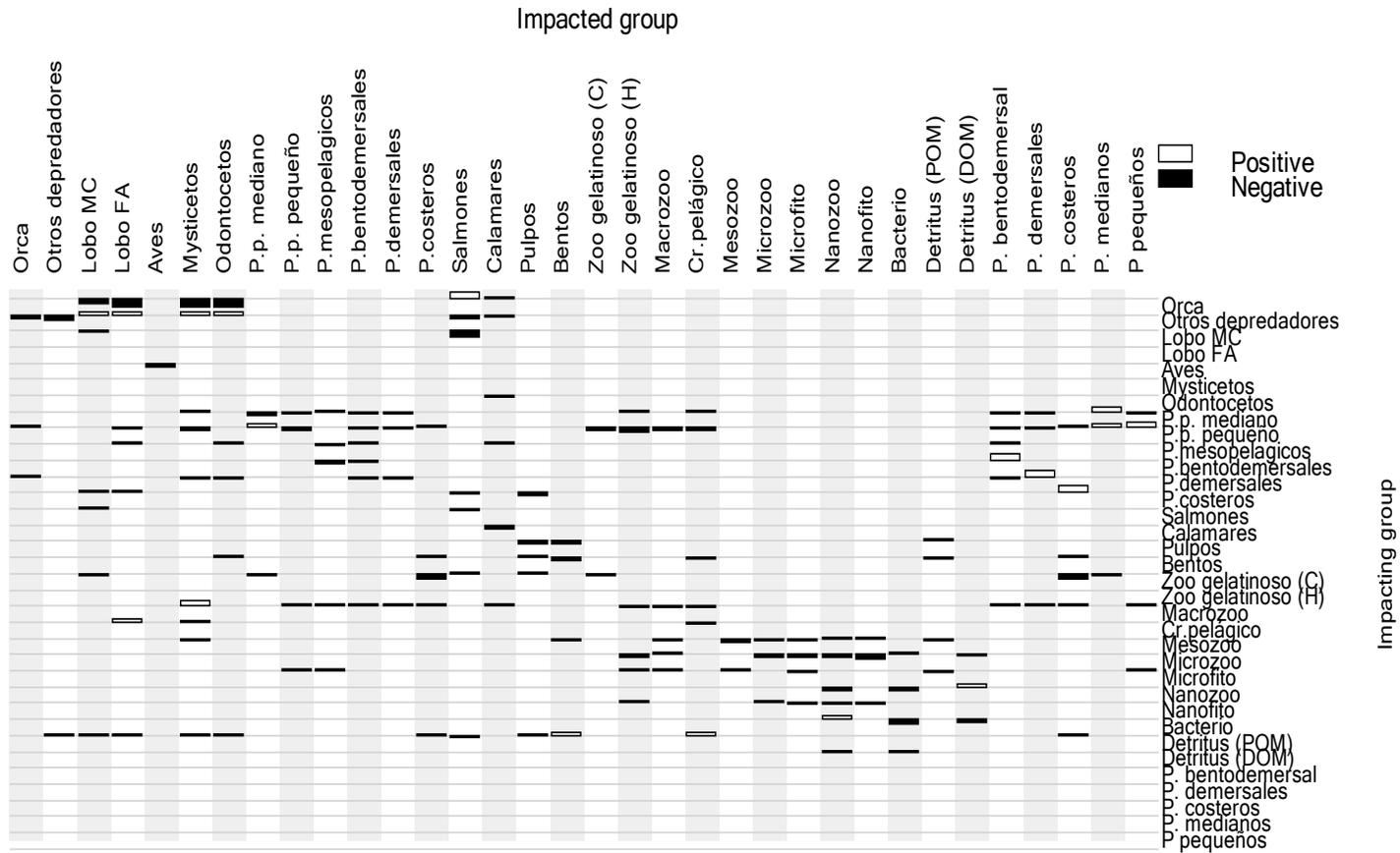


Figura 32. Impactos tróficos combinados entre los grupos tróficos incluidos en el modelo para la región de Los Lagos, año 2006.

Se evaluó el rol ecológico de LMC en este ecosistema a través de los indicadores de Keystone-ness (Power *et al.* 1996, Libralato *et al.* 2006), que indican cualidad de actuar como una especie clave en su ecosistema. Las especies clave (del inglés Keystone species) se definen como aquellas que tienen una importancia desproporcionada en su comunidad comparada con su abundancia y el concepto se utiliza crecientemente en ecología de la conservación. Las Figuras 33 y 34 presentan los valores de ambos indicadores de especie clave y se observa que el LMC posee un valor alto de K y de impacto total.

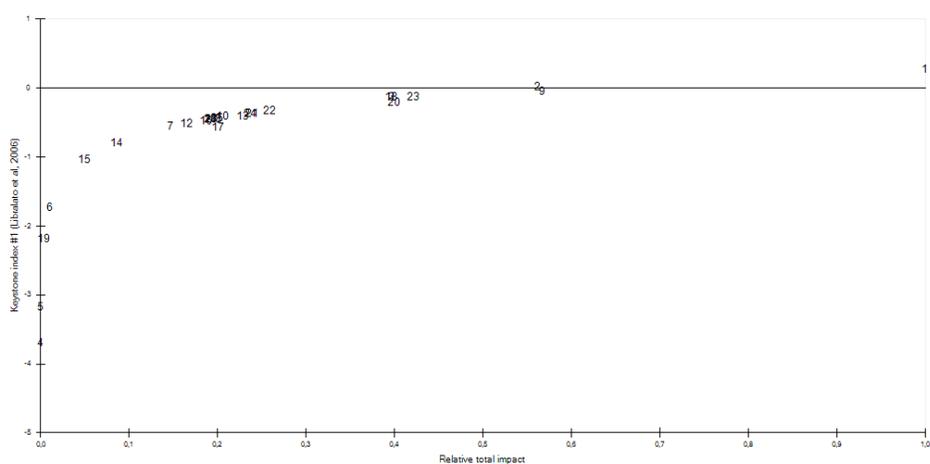


Figura 33. Ranking de especie clave usando el indicador de Libralato *et al.* (2006) para el modelo que representa la trama trófica que se desarrolla en el mar interior de Chiloé.

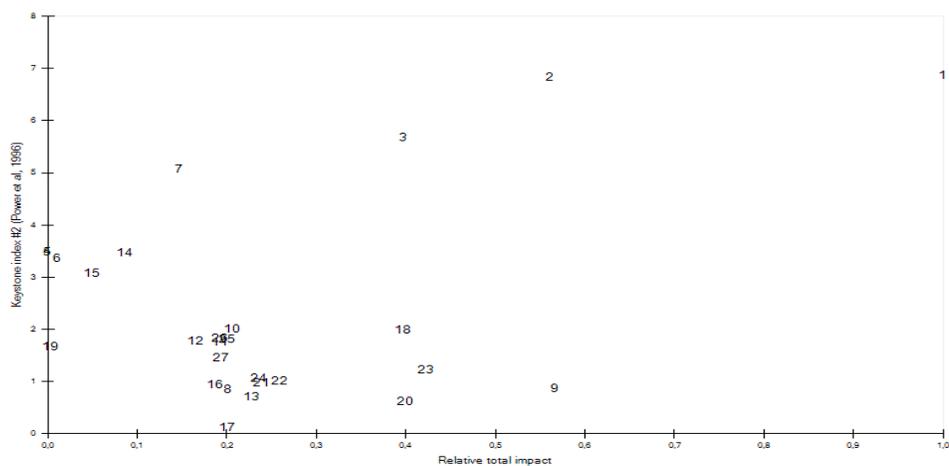


Figura 34. Ranking de especie clave usando el indicador de Power *et al.* (1996) para el modelo que representa la trama trófica que se desarrolla en el mar interior de Chiloé.

B.- Zona norte:

En la Tabla 29 se presentan valores de los parámetros de entrada y algunos resultados del modelo (*e.g.*, nivel trófico de los grupos funcionales, NT). NT promedio de la trama trófica fue $3,6 \pm 1,3$ (unidades de nivel trófico). El grupo con mayor NT fue Orcas, mientras que los grupos con menor NT fueron fitoplancton y detritus (NT=1). El LMC presentó un NT=4,44.

La Figura 35 muestra el diagrama de flujo entre los grupos funcionales de la trama trófica de la zona norte durante la década de los años 1990, mientras que la Figura 36 muestra los impactos tróficos combinados en el mismo sistema. Las Figuras 37 y 38 presentan el ranking de especie clave usando los indicadores de Libralato *et al.* (2006) y Power *et al.* (1996). De estas figuras se puede observar que si bien el LMC presenta alta conectividad en su trama trófica (*i.e.*, varias presas, Figura 35) su impacto negativo sería principalmente sobre el grupo pulpo (Figura 36). En cuanto a su rol como presa, pese a tener dos depredadores principales, Orcas y Otros depredadores, sólo sería impactado fuertemente por Orcas (Figura 36). En cuanto a su capacidad de actuar como especie clave en el ecosistema, el LMC posee valores intermedios a altos de “Keystoneness” (calculado por Libralato *et al.* 2006, Power *et al.* 1996) y de impacto total relativo en la trama (Figuras 37 y 38). Lo anterior implica que el LMC tendría un impacto trófico desproporcionado en la trama trófica comparado con su baja abundancia/biomasa (Tabla 29).

Tabla 29. Parámetros de entrada y resultados del modelo zona norte de Chile, década 1990.

Grupo funcional	NT	B	P/B	Q / B	EE	P/Q	Y
		(t.km⁻²)	(año⁻¹)	(año⁻¹)			(t.km⁻²)
1. Orcas	5.32	0.001	0.060	8.000	0.000	0.008	
2. Otros depredadores	5.12	0.061	0.486	6.100	0.003	0.080	0.002
3. Lobo marino común	4.44	0.080	0.300	20.000	0.033	0.015	0.003
4. Lobo fino austral	4.50	0.005	0.090	6.320	0.089	0.014	
5. Aves marinas-costeras	4.80	0.060	0.100	62.000	0.093	0.002	
6. Mysticetes	3.96	0.005	0.040	10.000	0.200	0.004	
7. Odontocetes	5.03	0.060	0.150	10.000	0.178	0.015	
8. Pelágicos Pequeños	3.51	65.969	1.900	17.600	0.991	0.108	15.344
9. Pelágicos Medianos	4.04	53.928	0.420	8.000	1.087	0.053	2.650
10. Pelágico Mayores	4.70	0.417	0.520	7.200	0.004	0.072	0.001
11. Demersales 1	4.83	0.149	0.100	0.760	0.999	0.132	0.003
12. Demersales 2	3.69	5.373	0.311	4.120	0.999	0.075	
13. Peces mesopelágicos	3.51	84.086	1.200	12.000	0.999	0.100	
14. Peces costeros	3.76	0.346	0.600	3.000	0.999	0.200	0.003
15. Pulpos	3.47	0.025	4.911	12.799	0.999	0.384	
16. Calamares	4.66	3.600	3.500	5.640	0.408	0.621	0.006
17. Bentos	2.17	243.182	1.800	9.900	0.999	0.182	0.072
18. Crustáceo pelágico	2.00	0.510	3.569	14.104	0.057	0.253	
19. Zooplancton gelatinoso	3.41	7.000	0.580	2.450	0.999	0.237	
20. Macrozooplancton	2.74	68.537	13.000	31.710	0.999	0.410	
21. Mesozooplancton	2.47	48.980	45.000	128.570	0.999	0.350	
22. Microzooplancton	2.17	18.322	482.000	1928.000	0.915	0.250	
23. Fitoplancton	1.00	331.735	120.000	-	0.748	-	
24. Detritus	1.00	-	-	-	-	-	

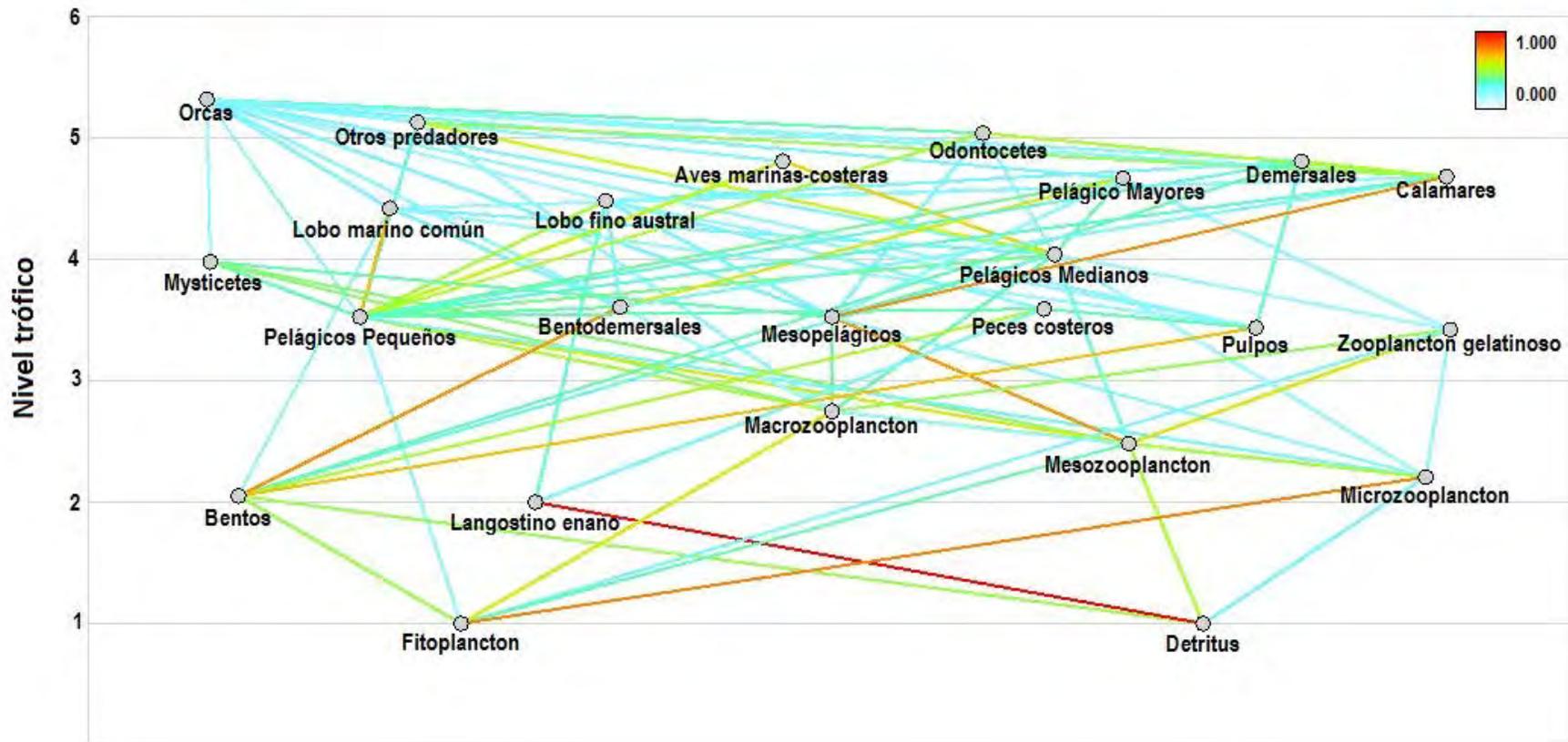


Figura 35. Diagrama de flujo que representa las relaciones de depredación en el modelo de la zona norte de Chile para el período fines de los años 1990. El color y grosor de la línea indican mayores/menores magnitudes de acuerdo a la escala presentada en la figura.

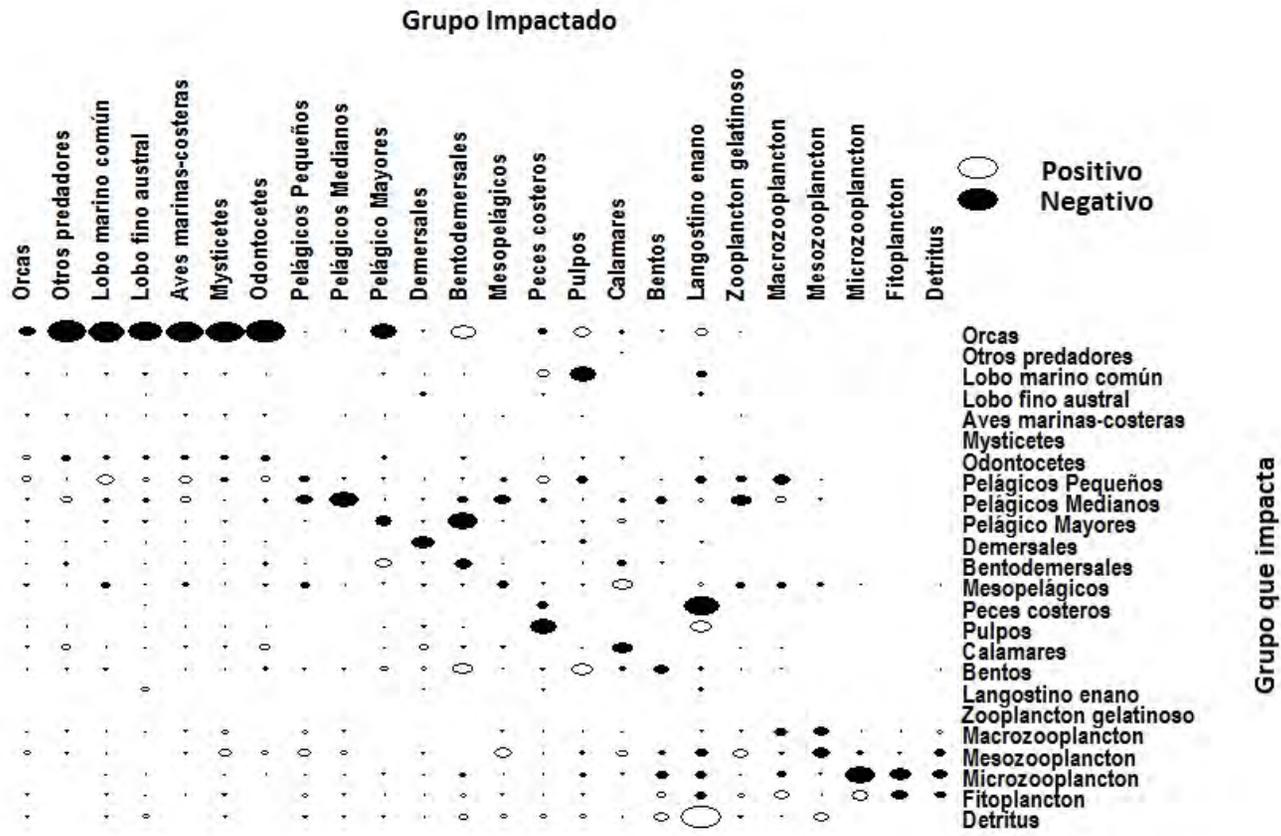


Figura 36. Impactos tróficos combinados entre los grupos tróficos incluidos en el modelo para la zona norte de Chile para el período fines de los años 1990.

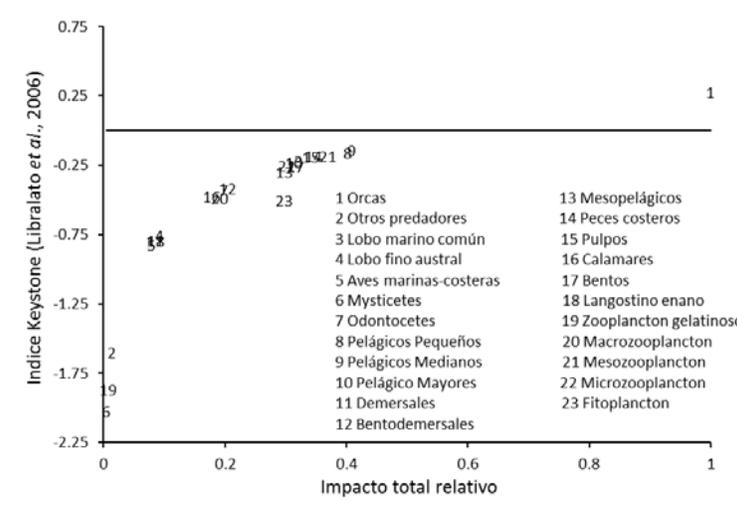


Figura 37. Ranking de especie clave usando el indicador de Libralato *et al.* (2006) para el modelo que representa la trama trófica que se desarrolla en la zona norte de Chile para el período fines de los años 1990.

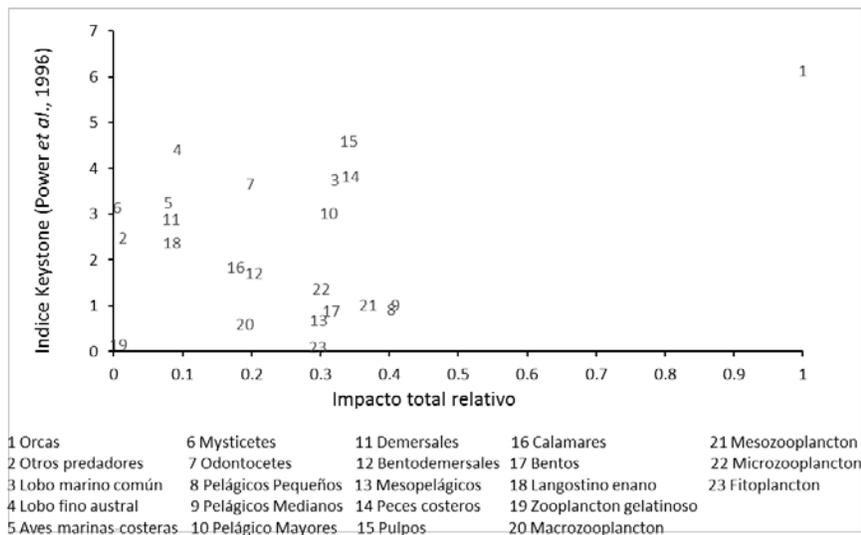


Figura 38. Ranking de especie clave usando el indicador de Power *et al.* (1996) en la zona norte de Chile para el período fines de los años 1990.

C.- Impactos ecológicos y pesqueros derivados de la remoción de LMC:

Ante la imposibilidad de realizar estudios controlados de gran escala que permitan evaluar los impactos ecosistémicos de la remoción de un depredador como el LMC, en este proyecto se propuso simular estos cambios en los modelos que representan el ecosistema marino de la zona norte y de la zona sur (Figuras 39 y 40). Previo a las simulaciones, se realizó un ejercicio de ajuste del modelo, especialmente de biomazas a datos de terreno (evaluaciones de stock) de modo de evaluar la capacidad del modelo de representar cambios conocidos en la historia reciente de los ecosistemas modelados.

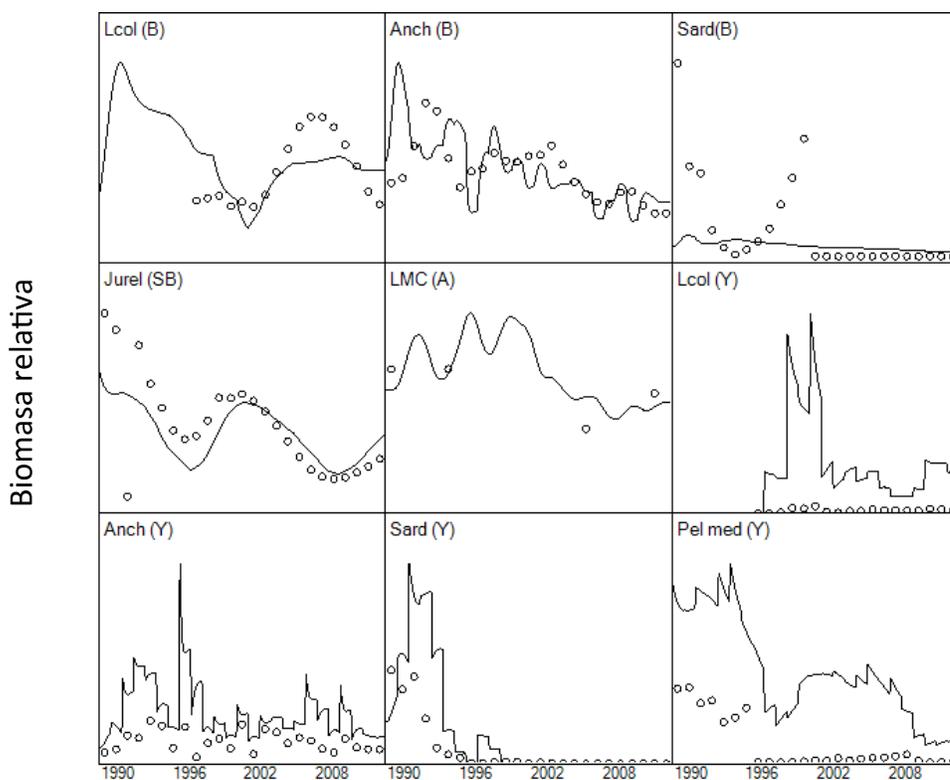


Figura 39. Ajuste modelo de trama trófica con dinámica temporal para la zona norte de Chile. Los círculos representan observaciones mientras que la línea continua es la proyección del modelo. Clave: B=biomasa; Y=desembarques; Lcol=Langostino colorado; P Anch=Anchoqueta; Sard=Sardina; LMC=Lobo marino común; Pel med=pelágicos medianos.

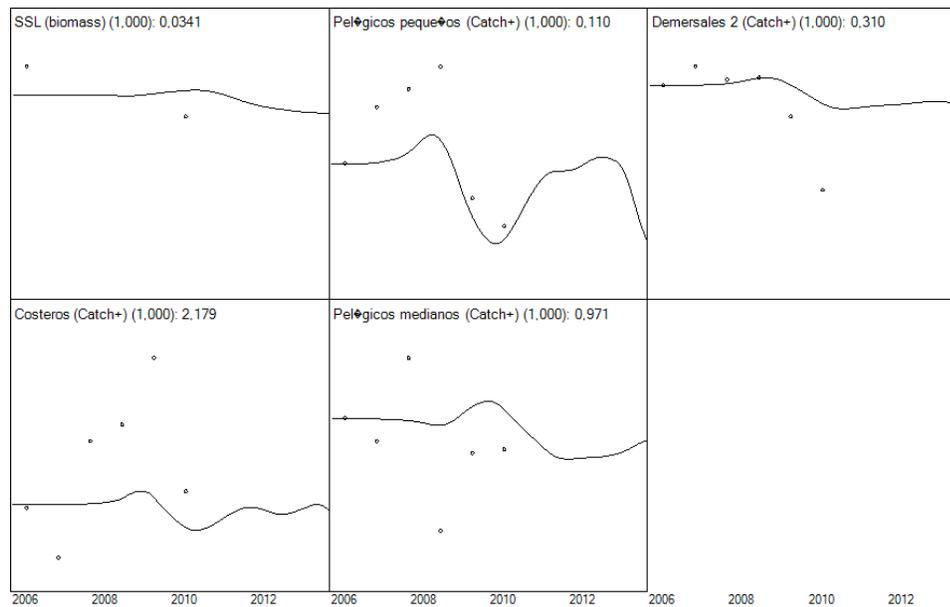


Figura 40. Ajuste modelo de trama trófica con dinámica temporal para la zona sur de Chile. Los círculos representan observaciones mientras que la línea continua es la proyección del modelo. Clave: SSL: lobo marino común; Costeros: peces costeros. Las otras según indicado en panel.

Se consideró que el ajuste del modelo de la zona norte era suficiente para simular niveles de remoción de LMC que iban desde los 300 individuos hasta 9000 individuos. En el caso del modelo de la zona sur, aunque se consideró que las series son pocas y cortas, igualmente se simuló la remoción de LMC como se planteó anteriormente. Oliva *et al.* (2011) indican que alrededor de 9000 individuos es la cuota mínima para hacer rentable económicamente un emprendimiento basado en la manufactura y comercialización de productos derivados del LMC. Se presenta sólo los resultados de la aplicación de esa cuota por 10 años en cada modelo.

En el caso de la zona norte, la remoción de LMC produjo una drástica disminución de su biomasa a la mitad en un plazo de 10 años (Figura 41a). Este cambio tiene efectos sobre la biomasa de los grupos con los que el LMC interactúa más estrechamente como presa y

depredadores (Orca y otros depredadores, Figura 41a), como competidor (lobo fino, aves y odontocetos) y como presas (Figuras 41c-d).

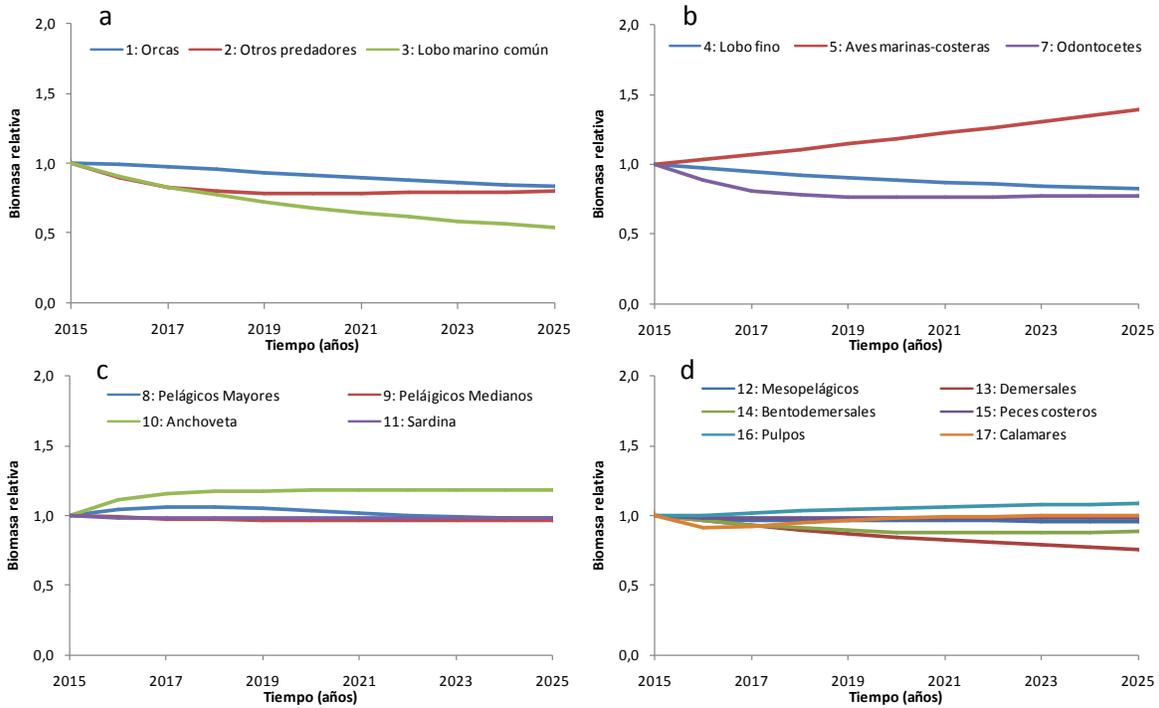


Figura 41. Cambios en la biomasa de lobo marino común y otros grupos funcionales con los que interactúa como presa, depredador y competidor en el ecosistema de la zona norte de Chile. Los cambios son relativos a la biomasa de cada grupo en el año 2015.

En el caso de la zona sur, la aplicación de la cuota de 9000 individuos por año resulta en colapso de la población de LMC y cambios en la biomasa de grupos que son sus depredadores, presas y competidores (Figura 42).

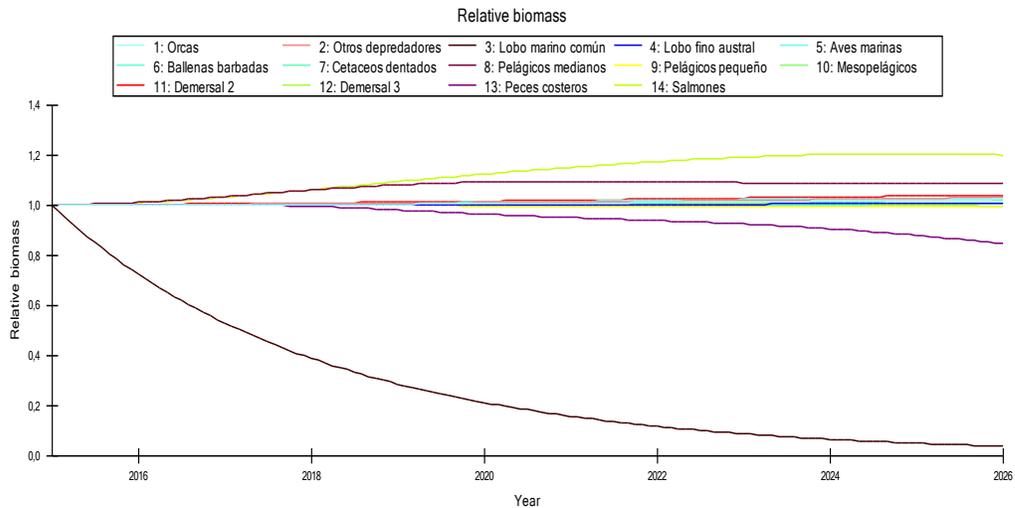


Figura 42. Cambios en la biomasa de lobo marino común y otros grupos funcionales con los que interactúa como presa, depredador y competidor en el ecosistema de la zona sur de Chile. Los cambios son relativos a la biomasa de cada grupo en el año 2015.

Los efectos de una disminución en la biomasa del LMC no generan necesariamente una mejoría en las pesquerías basadas en presas del LMC. Lo anterior es un resultado insospechado, ya que se espera que la disminución de la presión de depredación debiera resultar en aumento en la abundancia y biomasa de las presas del LMC. En efecto, aunque algunas pesquerías parecen mejorar en términos de su desembarque futuro (cerco 2 y espinelera en la zona norte; pelágicos medianos y pulpo en el sur) el desembarque total en ambos sistemas cae por debajo del actual (Figura 43). Esto implica que en el modelo (y probablemente en cada uno de los ecosistemas en estudio) son otros grupos funcionales y no la pesquería los que se benefician de los efectos de la disminución de la biomasa del LMC. Un ejemplo de ello serían los grupos funcionales aves marinas en la zona norte y peces pelágicos medianos y salmones en la zona sur.

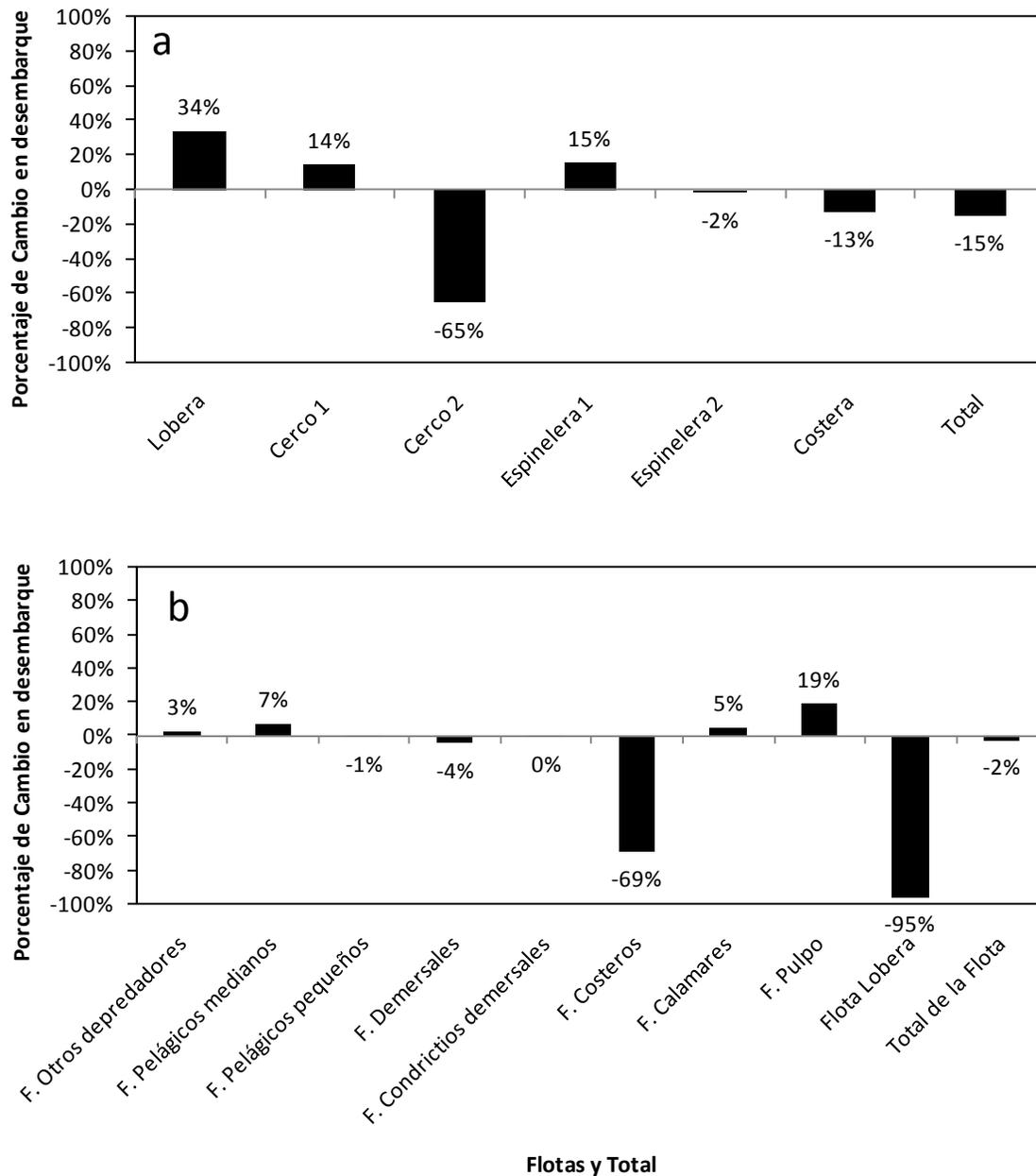


Figura 43. Cambios en la captura potencial de las distintas flotas pesqueras ante remoción de la biomasa de LMC en la zona norte (a) y sur (b) de Chile.

5. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Con el fin de determinar el rol ecológico que juega el lobo marino común (*Otaria flavescens*) en las tramas tróficas y ecosistemas marinos de la costa chilena, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura licitó y adjudicó a la Universidad de Valparaíso el proyecto titulado “Rol ecológico del lobo marino común (LMC) en el territorio y aguas jurisdiccionales chilenas”. El presente Informe Final da cuenta de todas las actividades comprometidas y realizadas durante la ejecución del proyecto, y que básicamente se estructura en: (1) la determinación de la composición de la dieta del LMC en base al análisis de fecas y de isótopos estables; (2) cuantificar los requerimientos energéticos y consumo de presas por el LMC; (3) determinar el nicho trófico de esta especie y su superposición con la pesca; y finalmente (4) modelar la trama trófica de los ecosistemas en distintos escenarios de abundancia y estructura poblacional del LMC

5.1.- *Dieta del lobo marino común en base a fecas e isótopos estables*

Los análisis de dieta mediante la técnica de isótopos estables y análisis de restos de fecas muestran que, en general, el LMC presenta una clara preferencia por alimentarse de peces, lo que coincide con otros estudios de dieta de esta especie, tanto en Chile (*e.g.*, George-Nascimento *et al.* 1985, Hückstädt *et al.* 1997, Muñoz *et al.* 2013), como fuera del país (*e.g.*, Koen-Alonso *et al.* 1998).

En el caso de la zona norte, los análisis de dieta mediante isótopos estables (Modelos 1 y 2) muestran que los animales tendrían preferencia por presas de tipo pelágico. Dentro de este grupo, el análisis de fecas permitió identificar a *Engraulis ringens* como el ítem presa principal de *O. flavescens*, tanto en frecuencia de ocurrencia como en frecuencia relativa de ocurrencia. Estos resultados son consistentes con estudios previos, donde la anchoveta aparece como una presa de gran importancia para los lobos marinos comunes en el norte de Chile (Sielfeld *et al.* 1997, Muñoz *et al.* 2013). Además, mediante análisis de fecas se pudo identificar a un langostino de la Familia Munididae, como un ítem presa importante en la dieta de los lobos marinos, particularmente en invierno.

Para la zona sur en tanto, de acuerdo al análisis de la dieta del LMC mediante isótopos estables, los animales estarían consumiendo principalmente peces de tipo demersal (~70%). Estos resultados son respaldados por el análisis de fecas, donde las principales presas encontradas fueron la merluza austral (*Merluccius australis*) y el bacaladillo (*Normanichthys crockeri*), ambos de hábitos tróficos demersales. En este sentido, Sepúlveda *et al.* (*in press*) establecieron mediante el análisis de isótopos estables, que los peces bentodemersales serían el principal grupo consumido por *O. flavescens*. Lamentablemente no existen estudios previos de análisis de fecas en la Región de Los Lagos, que permitan comparar los resultados de este estudio. El antecedente más cercano es el trabajo de George-Nascimento *et al.* (1985) en la Región del Bío-Bío, quienes encontraron que las principales presas del LMC son la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), el congrio (*Genypterus spp.*) y la merluza común (*Merluccius gayi gayi*), todas especies de hábitos demersales. Por lo tanto, este estudio permite confirmar que el LMC pasa de tener una dieta pelágica en la zona norte, a una dieta de tipo bentodemersal en el centro y sur.

Esta variación en los hábitos tróficos del LMC entre la zona norte y sur coincide con lo reportado por Sepúlveda *et al.* (en preparación). Estos autores realizaron un estudio de los patrones de buceo en animales marcados con transmisores satelitales en la Región de Tarapacá y Los Lagos. Este estudio permitió determinar que el LMC posee una conducta de forrajeo de tipo pelágica en el norte, con buceos a profundidades menores de 40m y desplazamientos lineales cerca de la costa, y de tipo mesopelágico y bentónico en el sur, con buceos mayores a los 100m de profundidad.

Los resultados de este estudio muestran que los salmónidos de cultivo no son una presa importante para los lobos marinos de la zona sur. Sin embargo, un estudio previo que utilizó la metodología de isótopos estables para dilucidar la dieta de los lobos marinos en la misma zona (Muñoz *et al.* 2013), registró a este grupo de peces como una presa importante para los lobos marinos. Una posible explicación para este patrón podría ser la disminución significativa en la producción de salmónidos en la zona sur de Chile debido a un brote del virus de la anemia infecciosa del salmón (ISA) que se produjo en 2010 (Asche *et al.* 2010).

En este sentido, Sepúlveda *et al.* (2015) demostraron que el LMC, que anteriormente consumía una gran cantidad de salmónidos, cambió su dieta durante este período, probablemente en respuesta a la disminución de la disponibilidad de salmón. En respuesta al brote del virus ISA, la industria del salmón ha realizado mejoras en el proceso de cultivo, cultivándose ahora una menor densidad de salmones en las balsas-jaulas (Niklitschek *et al.* 2013).

Llama la atención la presencia de almejas y choritos en las fecas de la zona sur, las que si bien no pudieron ser cuantificadas debido a su elevado nivel de degradación, aparecen con relativa frecuencia en las fecas de estos depredadores, especialmente en el sector de Chiloé. *Mytilus chilensis* se cultiva en forma intensa en dicha área; incluso los lobos marinos se posan sobre boyas y balsas en los centros de cultivo, por lo que es una presa con gran disponibilidad. En la zona existe además un banco de *Venus antiqua* en este mismo hábitat.

5.2.- Requerimientos energéticos y consumo de presas

Las estimaciones de consumo total anual del LMC en base al modelo de consumo de Trites (1997) arrojaron estimaciones de 106.544 t y 68.744 t, en las zonas norte y sur de Chile, respectivamente. Las diferencias entre ambas zonas se deben simplemente a que la abundancia de lobos marinos estimada para la zona norte es considerablemente mayor a la del sur, de acuerdo a los censos considerados en este estudio (Bartheld *et al.* 1998, Oliva *et al.* 2012). El consumo de presas estimado para esta especie coincide a lo estimado por Riet-Sapriza *et al.* (2013) en la costa de Uruguay. Lo interesante de hacer notar es que nuestros resultados indican que la remoción de biomasa ejercida por el LMC es notablemente menor (un orden de magnitud) comparada con la remoción por la actividad pesquera. Por otro lado, se visualiza un alto nivel de superposición trófica ente la actividad pesquera y el LMC, lo que indica que ambos actores consumen las mismas presas (Aguayo & Maturana 1973, George-Nascimento *et al.* 1985, Sielfeld *et al.* 1997, Sepúlveda *et al.* 2007). De manera similar, la mortalidad por pesca es la principal causa de mortalidad en la mayoría de los casos donde existió sobreposición con el LMC.

Existe un largo debate respecto de las interacciones entre pesquerías y mamíferos marinos. Por un lado se argumenta que los mamíferos marinos pueden tener un gran impacto sobre poblaciones de presas que son de importancia comercial, mientras que por el otro lado se espera que la pesquería impacte los mamíferos marinos. De hecho, uno de los argumentos utilizados para solicitar cuotas de captura de lobos marinos en Chile es que ello ayudaría a incrementar las poblaciones de presas, en directo beneficio de las pesquerías. No obstante, los resultados de este estudio demuestran que la magnitud de la remoción de biomasa por consumo del LMC en sus presas no es importante comparado con la remoción ejercida por pesca en esas mismas especies/grupos. Esto es similar a lo señalado por Yodzis (2001) quien señala que no existe evidencia científica donde se haya demostrado que los pinnípedos sean los responsables de las disminuciones de los stocks pesqueros.

En cuanto a la determinación de contenido energético de las presas, los resultados muestran diferencias sustanciales en el contenido energético entre presas del LMC de cultivo (trucha arcoíris y salmón coho), y presas que son nativas de la zona (como es el caso de la anchoveta). Las especies de cultivo mostraron valores bastante superiores de contenido calórico. Esto podría explicar, al menos en parte, la alta preferencia que muestra el LMC por los salmones y truchas de cultivo (Muñoz *et al.* 2013, Sepúlveda *et al.* 2015). Por otro lado, llama la atención de que, pese a que la anchoveta posee un menor contenido calórico que las demás presas, sea el componente principal de la dieta de esta especie en la zona norte del país. Esto puede explicarse por una relación costo/beneficio para el LMC. Si bien el beneficio es menor (comparado con otras especies de presa), el costo es asimismo bajo, debido a que por un lado el animal no requiere bucear a grandes profundidades, y por otro a que la agregación de esta especie en cardúmenes facilita al LMC el alimentarse de gran cantidad de ejemplares en un menor período de tiempo.

5.3.- Determinación del nicho trófico del LMC

Se observó una escasa superposición de nicho entre las zonas norte y sur, dado por valores de $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ significativamente diferentes. Esto se explica porque la piel de los animales de la zona norte se encontró más enriquecida en nitrógeno y empobrecida en

carbono, lo que se explica por patrones de variaciones latitudinales en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ (Muñoz *et al.* en preparación).

Dentro de cada zona geográfica, se observó asimismo una escasa superposición trófica entre verano e invierno para la zona norte, y una mayor amplitud de nicho en la estación de verano. Esto se ve corroborado en el análisis de fecas, donde el índice de diversidad de Shannon muestra que la diversidad de presas en la dieta del LMC es mayor en verano. Esto puede explicarse, al menos en parte, por la restricción temporal de las hembras de alejarse de las colonias en el verano, debido a la necesidad de regresar pronto a ella a alimentar a sus crías (Muñoz *et al.* 2011). Es posible por tanto que la hembra deba alimentarse de un mayor rango de presas, debido a la dificultad en destinar tiempo y energía en búsqueda de otras presas.

En la zona sur, se observó una mayor amplitud de nicho trófico en invierno. Sin embargo, la superposición trófica entre verano e invierno fue mayor que en la zona norte, lo que sugiere una mayor similitud en el consumo de presas entre ambas estaciones.

5.4.- Rol ecológico del LMC

En general, los mamíferos marinos son consumidores que depredan en un rango amplio de niveles tróficos, desde productores primarios (*e.g.*, manatíes) hasta peces depredadores (*e.g.*, pinnípedos) e incluso otros mamíferos (*e.g.*, orca y oso polar). Debido a su tamaño corporal y abundancia, se cree que este grupo tiene una gran influencia en la estructura y funcionamiento de algunas comunidades acuáticas (Bowen 1997). Sin embargo, debido a la complejidad de los ecosistemas marinos y la imposibilidad de realizar estudios manipulativos de gran escala, aún existe poca evidencia empírica sobre el rol de los mamíferos marinos. Un ejemplo clásico corresponde a los efectos de la nutria (*Enhydra lutris*) sobre la comunidad de bosques de macroalgas (kelp) por efecto de su depredación sobre el erizo (Estes & Palmisano 1974). Algunos estudios indican que la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) y la morsa (*Odobenus rosmarus*) pueden afectar las comunidades bentónicas donde se alimentan (Oliver *et al.* 1985, Oliver & Slatery 1985) y que el dugongo

(*Dudong dugon*), una especie de manatí, podría cultivar la comunidad de macroalgas sobre la que depreda (Preen 1995).

El rol ecológico del LMC en las tramas marinas de la zona norte y sur de Chile corresponde al de un depredador (consumidor) de nivel trófico alto ($>4,4$), con omnivoría media a alta ($>0,5$) y potencialidad de comportarse como especie clave (“keystoneness”) en su ecosistema. Estos resultados concuerdan con el rol asignado tradicionalmente a los pinnípedos en sus ecosistemas. Trites *et al.* (1997) indica que el rol proximal de los pinnípedos es obvio, esto es, son depredadores y consumidores de peces e invertebrados. Sin embargo, también podrían cumplir un rol dinámico (como transferir energía y/o regular la abundancia de otras especies) y estructural (como influenciar la estructura física de sus hábitats) que son menos intuitivos. De todas formas, evaluar su rol es más fácil en tramas tróficas simples de cadenas cortas que en aquellas más complejas y con cadenas largas. Esto se debería a la alta variabilidad en el reclutamiento de peces e invertebrados, y a que las relaciones y respuestas depredador presa son inherentemente no lineales (Trites *et al.* 1997).

En este estudio, la simulación de remoción de la biomasa del LMC en los modelos afectó la biomasa de sus depredadores, competidores y presas. Estos cambios podrían amplificarse en la trama trófica y afectar negativamente indicadores de desempeño de la pesquería. De hecho, en ambos sistemas disminuyó tanto el desembarque de algunas flotas pesqueras como el desembarque total. Esto también se ha reportado en otras especies de lobos marinos y focas, donde la remoción ha causado cambios inesperados en otros componentes del ecosistema (Trites *et al.* 1997).

Algunas observaciones de campo sugieren que el rol ecológico que cumplen de los pinnípedos es especie-específico y depende del tipo de hábitat y ecosistema que habitan (Bowen 1997). En este sentido, los resultados de este estudio indican que el LMC tendría un nivel trófico inferior en la zona norte (4,44) que en la zona sur (5,0). Esto es un reflejo de la distinta dieta del LMC en cada sistema. La trama trófica de la zona norte es típica de un ecosistema de surgencia y dominada en biomasa por especies pelágicas planctófagas. Por su parte, la trama trófica de la zona sur no corresponde a un sistema de surgencia, sino

que es más bien parte de un gran sistema estuarino donde los peces pelágicos no dominan o al menos no son tan abundantes como en la zona norte. Incluso existen especies introducidas como los salmónidos.

También se observó que pese a contar con múltiples presas en ambos sistemas, los impactos tróficos del LMC parecen ser importantes en pocos grupos (pulpos en el norte, salmones en el sur). Sin embargo, en ambos sistemas el LMC tuvo un ranking alto en el índice de especie clave y en el impacto total sobre la biomasa de los demás grupos funcionales. Esto permite pronosticar que pequeños cambios en su biomasa podrían tener impactos que desestabilicen la trama trófica, con efectos desconocidos (aunque potencialmente negativos) sobre la biodiversidad y la producción pesquera.

Los resultados de este proyecto indican que comprender el rol del LMC y los efectos de su remoción en el ecosistema es clave para apoyar la discusión racional de su conservación y manejo. Avanzar en esta línea requiere mejorar la información de parámetros biológico-pesqueros de los distintos componentes de la trama trófica, especialmente de su dieta. También se requiere conocer las respuestas funcionales entre el LMC (y otros depredadores intermedios y topes) con sus presas. Además, es necesario mejorar nuestras representaciones de los sistemas naturales mediante modelos e indicadores ecológicos. Esto debido a que las interacciones tróficas ocurren a distintas escalas espaciales y temporales, lo que hace que los sistemas naturales sean difíciles de modelar mediante aproximaciones reduccionistas. Lo anterior permitirá arribar a mejores estimados para las propiedades globales del ecosistema, así como mejores predicciones de la dinámica del sistema y sus componentes (Blanchard *et al.* 2002). En este sentido, los modelos construidos en este estudio no deben considerarse como definitivos sino que pueden ser refinados a medida que nueva data esté disponible y/o emerjan nuevas hipótesis respecto del rol del LMC en las costas de Chile.

Lamentablemente, el estado de conocimiento actual en Chile se relaciona principalmente con evaluaciones de stock de especies de interés comercial. Para las especies que no son recurso no existe la misma cantidad de información y en algunos casos no existe

información ni siquiera de su abundancia (*e.g.*, orcas). Entonces, tanto los modelos construidos como las simulaciones realizadas con ellos tienen probablemente un alto nivel de incertidumbre. Sin embargo, el enfoque precautorio indica que cuando se está en presencia de amenazas de daño serio irreversible (*e.g.*, autorizar la caza de LMC), la falta de certeza científica no debe usarse como razón para postergar medidas para prevenir la degradación ambiental. Entonces, se debe tomar decisiones e implementar acciones para asegurar la utilización sustentable y óptima de los recursos marinos vivos (FAO 2008).

Estas decisiones deben basarse en la mejor información científica disponible que, en el contexto de las modificaciones recientes a la Ley General de Pesca y Acuicultura de Chile, debe incluir consideraciones ecosistémicas. Los modelos que adhieran a las mejores prácticas descritas en FAO (2008) serán la mejor fuente de información y podrán informar el manejo en base a argumentos explícitos y objetivos. En ausencia de este tipo de modelos, el proceso de administración y toma de decisiones se basará en modelos mentales subjetivos, no probados e incompletos.

6. CONCLUSIONES

- El LMC es parte de intrincadas tramas tróficas en las zona norte y sur de Chile
- De acuerdo al análisis de fecas, las presas más importantes de la dieta del LMC son la anchoveta y el langostino en el norte, y la merluza austral y el mote en el sur
- En la zona norte los peces pelágicos son los principales componentes de la dieta del LMC. Esta tendencia se mantiene en verano e invierno y para las distintas clases de edad/sexo
- En la zona sur los principales componente de la dieta son los peces demersales, tanto en verano como en invierno y para las distintas clases de edad/sexo
- Estos resultados confirman que los peces son el principal grupo taxonómico que compone la dieta del LMC
- Se corrobora la noción de que el LMC pasa de tener una dieta pelágica en la zona norte, a una dieta de tipo bentodemersal en el sur del país
- No existe superposición en los nichos tróficos de los lobos marinos de las zonas norte y sur
- Para ambas zonas geográficas, se registra una mayor amplitud de nicho en verano, lo que sugiere una alimentación de una mayor diversidad de presas
- El rol ecológico del LMC corresponde al de un depredador de nivel trófico alto, con omnivoría media a alta y potencialidad de comportarse como especie clave (“*keystoneness*”) en su ecosistema
- El consumo total anual de los lobos marinos es de 106.544 t y 68.744 t, en las zonas norte y sur de Chile, respectivamente

- La sobreposición de presas entre el LMC y la pesquería es media a alta, pero la magnitud de la remoción de biomasa por consumo del LMC en sus presas no es importante comparado con la remoción ejercida por pesca en esas mismas especies/grupos
- Pese a lo anterior y debido a su potencialidad de ser especie “*Keystone*”, la remoción de la biomasa del LMC puede afectar fuertemente la biomasa de sus depredadores, competidores y presas. Estos cambios podrían amplificarse en la trama trófica y afectar negativamente indicadores de desempeño de la pesquería. De hecho, en ambos sistemas cae tanto el desembarque de algunas flotas pesqueras como el desembarque total

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguayo, A. and R. Maturana. 1973. Presencia del lobo marino común *Otaria flavescens* en el litoral chileno. *Biología Pesquera* 6: 49-75.
- Aguayo-Lobo, A., D. Torres-Navarro and J. Acevedo-Ramírez. 1998. Los mamíferos de Chile: I. Cetácea. *Serie Científica INACH* 48: 19-159.
- Allen, K.R. 1971. Relation between production and biomass. *Journal of Fisheries Research Board Canada*, 28: 1573-1581.
- Aranis, A., R. Meléndez, G. Pequeño and F. Cerna. 2007. *Sprattus fuegensis* en aguas interiores de Chiloé, Chile (OSTEICHTHYES: CLUPEIFORMES: CLUPEIDAE). *Gayana* 71: 102-113.
- Arkhipkin, A., P. Brickle and V. Laptikhovsky. 2003. Variation in the diet of the Patagonian toothfish with size, depth and season around the Falkland Islands. *Journal of Fish Biology* 63: 428-441.
- Asche, F., H. Hansen, R. Tveteras and S. Tveteras. 2010. The salmon disease crisis in Chile. *Marine Resource Economics* 24: 405-411.
- Baraff, L.S. and T.R. Loughlin. 2000. Trends and potential interactions between pinnipeds and fisheries of New England and the U.S. West Coast. *Marine Fisheries Review* 62: 1-39.
- Barros M.E., S. Neira and H. Arancibia. 2014. Trophic interactions in northern Chile upwelling ecosystem, year 1997. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42: 1109-1125
- Bartheld, J.L., H. Pavés, F. Contreras, C. Vera, C. Manque, D. Miranda, D. Sepúlveda, P. Artacho and 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.
- Begon, M., C.R. Townsend and J.L. Harper. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*, 4th ed. Oxford: Blackwell.

- Bernal, P. 1990. La oceanografía del sistema de corrientes de Chile-Perú en relación a las pesquerías pelágicas: una revisión. En: Perspectiva de la actividad pesquera en Chile. M.A. Barbieri (Ed). Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, p. 35-48.
- Beverton, R.J.H. 1985. Analysis of marine mammal-fisheries interaction. In: Beddington J.R., R.J.H. Beverton and D.M. Lavigne (eds) Marine mammals and fisheries, pp 3-33. George Allen & Unwin, London.
- Bjørge, A., T. Bekkby, V. Bakkestuen and E. Framstad. 2002. Interactions between harbour seals, *Phoca vitulina*, and fisheries in complex coastal waters explored by combined Geographic Information System (GIS) and energetics modelling. ICES Journal of Marine Science 59: 29-42.
- Blanchard, J.L., J.K. Pinnergar and S. Mackinson. 2002. Exploring marine mammal-fishery interactions using 'Ecopath with Ecosim': modelling the Barents Sea ecosystem. Science Series Technical Report, CEFAS Lowestoft, 117: 52pp.
- Blanco, J.L., A.C. Thomas, M.E. Carr and P.T. Strub. 2001. Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. Journal of Geophysical Research 106: 11451-11467.
- Bowen, W.D. 1997. Role of marine mammals in aquatic ecosystems. Marine Ecology Progress Series 158: 267-274.
- Boyd I., D.W. Bowen and S. Iverson. 2010. Marine mammal ecology and conservation: a handbook of techniques. Oxford University Press, Oxford.
- Braun M., J.L. Blanco, J. Osses and J. Castillo. 1999. Monitoreo bio-oceanográfico estacional de los recursos pelágicos en la I y II Regiones, 271 pp. Informe Final Proyecto FIP 97-02.
- Bravo, R., D. Lloris, G. Pequeño and J. Rucabado. 1999. Revisión de diferentes especies del género *Bovichthus* (Perciformes: Bovichthidae). Revista de Biología Marina y Oceanografía 34: 123-137.
- Cappozzo, H. and W. Perrin. 2009. South American sea lion *Otaria flavescens*. In: Perrin W., B. Würsig and J. Thewissen (eds). Encyclopedia of marine mammals, pp. 1076-1079. Academic Press/Elsevier, Amsterdam.

- Carr, M.E. 2002. Estimation of potencial productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. *Deep Sea Research* 49: 59-80.
- Castillo, J., M. Espejo, S. Lillo, J. Córdova, J. Blanco, J. Osses and P. Barría. 1997. Estimación del reclutamiento de anchoveta en las Regiones I y II, 224 pp. Informe Final Proyecto FIP 96-02.
- Castillo, R., M. Gutiérrez, S. Peraltillo and N. Herrera. 1999. Biomasa de recursos pesqueros a finales del invierno 1998. Crucero Bic Humboldt y Bic San José Olaya Balandra 9808-09, de Paita a Tacna. *Inf. Inst. Mar Perú*. 141: 136-155.
- Christensen, V. and D. Pauly. 1992. Ecopath II software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modeling* 61: 169-185.
- Christensen, V., C.J. Walters and D. Pauly. 2000. *Ecopath with Ecosim: a User's Guide*, October 2000 Edition. Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canada and ICLARM, Penang, Malaysia, 130 pp.
- Cornick, L.A., W. Neill and W.E. Grant. 2006. Assessing competition between Steller sea lions and the commercial ground fishery in Alaska: a bioenergetics modelling approach. *Ecological Modelling* 199: 107-114.
- Cubillos, L., and M. Araya. 2007. Estimaciones empíricas de mortalidad natural en el bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42: 287-297.
- Cubillos L., S. Núñez and D. Arcos. 1998. Producción primaria requerida para sustentar el desembarque de peces pelágicos en Chile. *Investigaciones Marinas* 26: 83-96.
- De la Torre, A., R.A. Quiñones, D.A. Miranda-Urbina and 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* 67: 294-303.
- DeNiro, M.J. and S. Epstein. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42: 495-506.
- Estes, J.A. and J.F. Palmisano. 1974. Sea otters: their role in structuring nearshore communities. *Science* 185: 1058-1060.
- Falabella, F., R. Meléndez and M.L. Vargas. 1995. Claves osteológicas para peces de Chile central. *Artegrama*, Santiago.

- Fanshawe, S., G.R. Vanblaricom and A.A. Shelly. 2003. Restored top carnivores as detriments to the performance of marine protected areas intended for fishery sustainability: a case study with red abalones and sea otters. *Conservation Biology* 17: 273-283.
- FAO. 2008. Fisheries management. 2. The ecosystem approach to fisheries. 2.1 Best practices in ecosystem modelling for informing an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 4, Suppl. 2, Add. 1. Rome, FAO, 78p.
- Field, J. and R. Francis. 2005. Mass balance models of the Northern California Current. In: Guénette, S. and V. Christensen (eds.). Food web models and data for studying fisheries and environmental impacts on Eastern Pacific ecosystems. Fisheries Centre Research Reports 13: 207-216
- Franco-Trecu, V., M. Drago, F.G. Riet-Sapriza, A. Parnell, R. Frau and P. Inchausti. 2013. Bias in diet determination: incorporating traditional methods in Bayesian mixing models. *PLoS ONE* 8: e80019.
- Fréon, P., M. Barange, J. Aristegui and A.D. McIntyre. 2010. Eastern Boundary Upwelling Ecosystems: Integrative and Comparative Approaches: Integrative and comparative approaches. *Progress in Oceanography* 83: 1-14.
- Fuenzalida, R. 1990. Variabilidad temporal de un índice de surgencia para la zona de Iquique (Lat. 20°S). *Investigación Científica y Tecnológica, Serie Ciencias Marinas* 20: 1-5.
- George-Nascimento, M., R. Bustamante and 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.
- Goetz, S., M. Wolff, W. Stotz and M.J. 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.
- Grau, R. 1998. Determinación de la edad y crecimiento en el lobo marino común *Otaria flavescens* (Shaw, 1800) a través del análisis de cortes de estructuras dentales en la zona norte de Chile. Tesis de Biología Marina, Universidad Católica del Norte.

- Green, B., B. Mapstone, G. Carlos and G. Begg. 2009. Tropical Fish Otoliths: Information for Assessment, Management and Ecology. Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries 11, 261 pp. Springer Science+Business Media B.V.
- Guerra, A., T. Cortez and F. Rocha. 1999. Redescrición del pulpo de los Changos, *Octopus mimus* Gould, 1852, del litoral chileno-peruano (Mollusca, Cephalopoda). *Iberus* 17: 37-57.
- Hahn, S., V. Amrhein, P. Zehndindjev and F. Liechti. 2013. Strong migratory connectivity and seasonally shifting isotopic niches in geographically separated populations of a long-distance migrating songbird. *Oecologia* 173: 1217-1225.
- Halpern, B.S., K. Cottenie and B.R. Broitman. 2006. Strong top-down control in southern California kelp forest ecosystems. *Science* 312: 1230-1232
- Hamilton, J. 1934. The southern sea lion *Otaria byronia* (de Blainville). *Discovery Reports* 8: 269-318.
- Hammill, M.O., C. Lydersen, K.M. Kovacs and B. Sjare. 1997. Estimated fish consumption by hooded seals (*Cystophora cristata*), in the Gulf of St. Lawrence. *Journal of Northwest Atlantic Fisheries Sciences* 22: 249-257.
- Hannon, B. 1973. The structure of ecosystems. *Theoretical Biology* 41: 535-546.
- Hannon, B. and C. Joiris. 1989. A seasonal analysis of the southern North Sea ecosystem. *Ecology* 70: 1916-1934.
- Harwood, J. 1987. Competition between seals and fisheries. *Science Progress* 71: 429-437.
- Hobson, K.A., D.M. Schell, D. Renouf and E. Noseworthy. 1996. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 528-533.
- Hückstädt, L.A., C.P. Rojas and T. Antezana. 2007. Stable isotope analysis reveals pelagic foraging by the Southern sea lion in central Chile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 347: 123–133.
- Inzunza, J. and G. Pequeño. 1988. Aspectos trófico-adaptativos y reafirmación de dos especies en el género *Calliclinus* Gill, 1860 (Osteichthyes, Clinidae). *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción* 59: 69-93.

- Jackson, A., R. Inger, A. Parnell and S. Bearhop. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER – Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology* 80: 595-602.
- Jackson, M.C., I. Donohue, A.L. Jackson, J.R. Britton, D.M. Harper and J. Grey. 2012. Population-level metrics of trophic structure based on stable isotopes and their application to invasion ecology. *PLoS One* 7: e31757.
- Jackson, M. and R. Britton. 2014. Divergence in the trophic niche of sympatric freshwater invaders. *Biological Invasions* 16: 1095-1103.
- Jaramillo, J. 1989. Aspectos morfológicos trófico-adaptativos de las especies chilenas del género *Genypterus* Philippi, 1857 (Osteichthyes, Ophidiidae). Tesis de Magister en Ciencias, 83 pp. Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Katona, S. and H. Whitehead. 1988. Are Cetacea ecologically important? *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review* 26: 553-568.
- King, J.E. 1983. *Seals of the World*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Koen Alonso, M., E.A. Crespo, N.A. García, S.N. Pedraza and M. Coscarella. 1998. Diet of dusky dolphins, *Lagenorhynchus obscurus*, in waters off Patagonia, Argentina. *Fishery Bulletin* 96: 366–374.
- Kurle, C.M. and G.A.J. Worthy. 2001. Stable isotope assessment of temporal and geographic differences in feeding ecology of northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) and their prey. *Oecologia* 126: 254-265.
- Layman, C.A., D.A. Arrington, C.G. Montaña and D.M. Post. 2007. Can stable isotope ratios provide quantitative measures of trophic diversity within food webs? *Ecology* 88: 42–48.
- Libralato, S., V. Christensen & D. Pauly, 2006. A method for identifying keystone species in food web models. *Ecological Modelling* 195: 153–171.
- Lombati, A., J. Rucabado, J. Matallanas and D. Lloris. 1991. Taxonomía numérica de Nototheniidae en base a forma de otolitos. *Scientia Marina* 55: 413-418.
- MacArthur, R. H. and R. Levins. 1967. The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. *American Naturalist* 101: 377-385.

- McCutchan, J.H. Jr., W.M. Jr. Lewis, C. Kendall and C.C. McGrath. 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos* 102: 378–390.
- Medina, M., M. Araya and C. Vega. 2004. Alimentación y relaciones tróficas de peces costeros de la zona norte de Chile. *Investigaciones Marinas* 32: 33-47
- Medina, M., H. Arancibia and S. Neira. 2007. Un modelo trófico preliminar del ecosistema pelágico del norte de Chile (18°20'S – 24°00'S). *Investigaciones Marinas* 35: 25-38.
- Moloney, C.J., A. Jarre, H. Arancibia, I.M. Bozec, S. Neira, J.P. Roux and L.J. Shannon. 2005. Comparing the Benguela and Humboldt marine upwelling ecosystems with indicators derived from inter-calibrated models. *ICES Journal of Marine Science* 62: 493-502.
- Montecinos, H. 1988. Desarrollo del esqueleto caudal y cinturas óseas en tallas pequeñas de *Eleginops maclovinus* (Valenciennes, 1830) (Pisces: Nototheniidae). Tesis para optar al Título de Profesor de Biología, Química y Ciencias Naturales, 65 pp. Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Moore, J.W. and B.X. Semmens. 2008. Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models. *Ecology Letters* 11: 470-480.
- Morales-Nin, B. 1991. Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos. FAO Documento Técnico de Pesca No. 322, 58 pp. FAO, Roma.
- Muñoz, L., G. Pavez, P. Inostroza and M. Sepúlveda. 2011. Foraging trips of female South American sea lions (*Otaria flavescens*) from Isla Chañaral, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 9: 140-144.
- Muñoz, L., G. Pavez, R. Quiñones, D. Oliva, M. Santos and M. Sepúlveda. 2013. Latitudinal variation in the diet of the South American sea lion revealed by stable isotopes. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 48: 613-622
- Murillo, C. 1998. Lepidología básica en especies seleccionadas de Chiloé. Tesis para optar al Grado de Licenciado en Biología Marina, 58 pp. Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

- Neira, S. and H. Arancibia. 2004. Trophic interactions and community structure in the upwelling system off Central Chile (33-39°S). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 312: 349-366.
- Niklitschek, E.J., D. Soto, A. Lafon, C. Molinett and P. Toledo. 2013. Southward expansion of the Chilean salmon industry in the Patagonian Fjords: main environmental challenges. *Reviews in Aquaculture* 4: 1-24.
- Odum, W.E. and E.J. Heald. 1975. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. In: L.E. Cronin (ed.): 265-286. *Estuarine Research*, Vol. 1. Academic Press, New York.
- Oliva, D. 1983. Trofodinámica y circarritmos de actividad en el lobo marino común, *Otaria byronia*, en Chile central, 115 pp. Tesis para optar al grado de Licenciado en Biología. Universidad de Chile, Valparaíso.
- Oliva, D., W. Sielfeld, M. Buscaglia, M. Matamala, R. Moraga, H. Pavés, M.J. Pérez, D. Schrader, M. Sepúlveda and A. Urra. 2008. Plan de acción para disminuir y mitigar los efectos de las interacciones del lobo marino común (*Otaria flavescens*) con las actividades de pesca y acuicultura en la X y XI Región, 245 pp. Informe Final Proyecto FIP 2006-34.
- Oliva, D., M. Sepúlveda, A. Urra, L.R. Durán, M.J. Pérez, R. Moraga and P. Inostroza. 2011. Evaluación de la interacción entre el lobo marino común y la salmonicultura para la generación de políticas públicas y privadas tendientes a mejorar la productividad del sector salmonero y la sustentabilidad del recurso lobo marino común. Informe final proyecto Innova-Corfo 07CN13IPM-170, Universidad de Valparaíso.
- Oliva, D., M. Sepúlveda, R. Durán, R. Moraga, L. Muñoz and G. Pavez. 2012. Cuantificación poblacional de lobos marinos en la regiones X y XI y propuestas de escenarios de manejo, 140 pp + anexos. Informe Final Proyecto FAP ID 4728-46-LP11.
- Oliver, J.S., R.G. Kvitek and P.N. Slattery. 1985. Walrus feeding disturbance: scavenging habits and recolonization of the Bering Sea benthos. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 91: 233-246.
- Oliver, J.S. and P.N. Slattery. 1985. Destruction and opportunity on the sea floor. effects of gray whale feeding. *Ecology* 66: 1965-1975.

- Oporto, J., L. Brieva, R. Navarro and A. Turner. 2000. Cuantificación poblacional de lobos marinos en la X y XI Regiones, 277 p. Informe Final Proyecto FIP 97– 44.
- Orr, A.J., J.L. Laake, M.I. Druv, A.S. Banks, R.L. DeLong and H.R. Huber. 2003. Comparison of processing pinniped scat samples using a washing machine and nested sieves. *Wildlife Society Bulletin* 31: 253-257.
- Palomares, M. L., and D. Pauly. 1989. A multiple regression model for prediction the food consumption of marine fish populations. *Marine and Freshwater Research* 40: 259-273.
- Parnell, A.C., R. Inger, S. Bearhop and A. L. Jackson. 2008. SIAR: Stable isotope analysis in R. Available at: <http://cran.r-project.org/web/packages/siar/index.html>
- Parnell, A.C., R. Inger, S. Bearhop and A.L. Jackson. 2010. Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation. *PLoS ONE* 5: e9672.
- Pavés, H. and H. González. 2008. Carbon fluxes within the pelagic food web in the coastal area off Antofagasta (23°S), Chile: The significance of the microbial versus classical food webs. *Ecological Modelling* 212: 218–232
- Pavés, H., H. González and V. Christensen. 2013. Structure and functioning of two pelagic communities in the North Chilean Patagonian coastal system. *Hydrobiologia* 717: 85–108.
- Pavés, H., H. González and J.L. Iriarte. 2015. Carbon flows through the pelagic sub-food web in two basins of the Chilean Patagonian coastal system: The significance of coastal-ocean connection on ecosystemic parameters. *Estuaries and Coast* 38: 179-191.
- Pequeño, G. and J. Inzunza. 1987. Variabilidad intraespecífica y estatus sistemático del “torito” *Bovichthys chilensis* Regan, 1913 (Osteichthyes: Bovichthyidae). *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción* 58: 127-139.
- Phillips, D.L., S.D. Newsome and J.W. Gregg. 2005. Combining sources in stable isotope mixing models: alternative methods. *Oecologia* 144: 520-527.
- Pianka, E.R. 1973. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 53-74.
- Plagányi, E. 1997. Models for an ecosystem approach to fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper*. No 477, 108 pp. FAO, Rome.
- Power, M.E., D. Tilman, J.A. Estes, B.A. Menge, W.J. Bond, L.S. Mills *et al.* 1996. Challenges in the quest for keystones. *Bioscience* 46: 609–620.

- Preen, A. 1995. Impacts of dugong foraging on seagrass habitats. observational and experimental evidence for cultivation grazing. *Marine Ecology Progress Series* 124: 201-213.
- Reeves, R.R. and P.J.H. Reijnders. 2002. Conservation and Management. In: Hoelzel, A.R. (ed.). *Marine mammal biology: An evolutionary approach*: 388-415. Blackwell Publishing, Malden.
- Riet-Sapiriza, F.G.R., D.P Costa, V. Franco-Trecu, Y. Marín, J. Chocca, B. González and G. Beathyate. 2013. Interacción indirecta entre la pesca de arrastre de fondo costera y las hembras de león marino sudamericano *Otaria flavescens* en Uruguay: ¿Existe co-uso o competencia por recursos? *Frente Marítimo* 23: 65-82.
- Scheffer, V. 1958. *Seals, sea lions and walruses*. Stanford University Press, California.
- Sepúlveda, M., M.J. Pérez, W. Sielfeld, D. Oliva, L.R. Durán, L. Rodríguez, V. Araos and M. Buscaglia. 2007. Operational interaction between South American sea lions *Otaria flavescens* and artisanal (small scale) fishing in Chile: results from interview surveys and on-board observations. *Fisheries Research* 83: 332-340.
- Sepúlveda, M., D. Oliva, A. Urrea, M.J. Pérez, R. Moraga, D. Schrader, P. Inostroza, A. Melo, H. Díaz and W. Sielfeld. 2011. Abundance and status of South American sea lions (*Otaria flavescens*) off Central Chilean coast. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 97-106.
- Sepúlveda, M., S.D. Newsome, G. Pavez, D. Oliva, D.P. Costa, L.A. Hückstädt. 2015. Using satellite tracking and isotopic information to characterize the impact of South American sea lions on salmonid aquaculture in southern Chile. *PLoS ONE*: doi:10.1371/journal.pone.0134926
- Shaffer, G., S. Hormazabal, O. Pizarro and S. Salinas. 1999. Seasonal and interannual variability of currents and temperature over the slope of central Chile. *Journal of Geophysical Research* 104: 29951–29961.
- Shears, N.T. and R.C. Babcock. 2002. Marine reserves demonstrate top-down control of community structure on temperate reefs. *Oecologia* 132: 131-142.

- Sielfeld, W., C. Guerra, R. Durán, E. Acuña, A. Aguayo-Lobo, M. Sepúlveda, R. Palma, A. Malinarich, G. Cerda, A. Bolvaran, R. Grau, X. Veloso, Y. Guerra, M. Vargas, N. Amado, R. Peredo and J. Galaz. 1997. Monitoreo de la pesquería y censo del lobo marino común en el litoral de las I-IV Regiones, 105 pp. Informe Final Proyecto FIP 95-28.
- Silva, S. and G. Pequeño. 2007. Los peces Clupeiformes del litoral valdiviano (Chile): clave de reconocimiento y comentarios (Pisces: Osteichthyes). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42: 357-363.
- Stenson, G.B. and M.O. Hammill. 2004. Quantifying uncertainty in estimates of Atlantic cod (*Gadus morhua*) consumption by harp seals (*Phoca groenlandica*). CSAS Research Document 2004/089.
- Szteren, D. and E. Páez. 2002. Predation by Southern sea lions (*Otaria flavescens*) on artisanal fishing catches in Uruguay. *Marine and Freshwater Research* 53: 1161-1167.
- Taylor, M., M. Wolff, F. Vadas and C. Yamashiro. 2008. Trophic and environmental drivers of the Sechura Bay Ecosystem (Peru) over an ENSO cycle. *Helgoland Marine Research* 62: S15–S32
- Thiel, M., E.C. Macaya, E. Acuña, W. Arntz, H. Bastías, *et al.* 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 45: 195-344.
- Tieszen, L.L., T.W. Boutton, K.G. Tesdahl and N.A. Slade. 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia* 57: 32-37.
- Tomari, A., A. Volpedo and D.D. Echeverría. 2005. Desarrollo de la *sagitta* en juveniles y adultos de *Odontesthes argentinensis* (Valenciennes, 1835) y *O. bonariensis* (Valenciennes, 1835) de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Teleostei: Atheriniformes). *Revista Chilena de Historia Natural* 78: 623-633
- Trites, A.W. 1997. The role of pinnipeds in the ecosystem. In: Stone, G., J. Goebel and S. Webster (eds.). Pinniped populations, eastern north Pacific: status, trends and issues: 31-39. A symposium of the 127th Annual Meeting of the American Fisheries Society. New England Aquarium, Conservation Department, Central Wharf, Boston, MA 02110.

- Trites, A.W. 2002. Predator-prey relationships. In: Perrin, W.F., B. Wursig and H.G.M. Thewissen (eds). Encyclopedia of Marine Mammals: 994-997. Academic Press, San Diego.
- Trites, A.W., D. Pauly and V. Christensen. 1997. Competition between fisheries and marine mammals for prey and primary production in the Pacific Ocean. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science 22: 173–187.
- Ulanowicz, R.E. and C.J. Puccia. 1990. Mixed trophic impacts in ecosystems. Coenoses 5: 7-16.
- Venegas, C., J. Gibbons, A. Aguayo, W. Sielfeld and J. Acevedo. 2002. Distribución y abundancia de lobos marinos (Pinnipedia: Otariidae) en la Región de Magallanes. Anales del Instituto de la Patagonia 30: 67-82.
- Walters, C., V. Christensen and D. Pauly. 1997. Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. Reviews in Fish Biology and Fisheries 7: 139-172.
- Wickens, P. 1995. A review of operational interactions between pinnipeds and fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 346.
- Winship, A.J. and A.W. Trites. 2003. Prey consumption of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) off Alaska: how much prey do they require? Fishery Bulletin 101: 147-167.
- Winship, A., A.W. Trites and D.A.S. Rosen. 2002. A bioenergetics model for estimating the food requirements of Steller sea lions *Eumetopias jubatus* in Alaska, USA. Marine Ecology Progress Series 229: 291-312.
- Winship, A.J., A.J.S. Hunter, D.A.S. Rosen and A.W. Trites. 2006. Food consumption by sea lions: existing data and techniques. In: Trites, A.W., S.K. Atkinson, D.P. DeMaster, L.W. Fritz, T.S. Gelatt, L.D. Rea and K.M. Wynne (eds.). Sea Lion of the World, 22nd Lowell Wakefield Fisheries Symposium: 177–191. University of Alaska Press Alaska Sea Grant College Program Fairbanks, Anchorage.
- Wolff, M. 1994. A trophic model for Tongoy Bay - a system exposed to suspended scallop culture (Northern Chile). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 182: 149-168.

- Würsig, B. and G.A. Gailey. 2002. Marine mammals and aquaculture: conflicts and potential resolutions. In: Stickney, R.R. and J.P. McVey (eds.). Responsible Marine Aquaculture: 45-59. CAP International Press, New York.
- Yodzis, P. 2001. Must top predators be culled for the sake of fisheries? Trends in Ecology and Evolution 16: 78-84.
- Zavalaga, C., R. Paredes and M. Arias-Schreiber. 1998. Dieta del lobo fino (*Arctocephalus australis*) y del lobo chusco (*Otaria byriona*) en la costa sur del Perú en febrero de 1998. Informe Progresivo N° 79, 16 pp. IMARPE, Perú.
- Zhao, L., M.A. Castellini, T.L. Mau and S.J. Trumble. 2004. Trophic interactions of Antarctic seals as determined by stable isotope signatures. Polar Biology 27: 368-373.

8. ANEXOS

Anexo 1. Pesca de Investigación



MODIFICA RESOLUCIÓN EXENTA N° 726,
MODIFICADA POR RESOLUCIÓN N° 910, AMBAS
DE 2015, DE ESTA SUBSECRETARÍA.

VALPARAISO, 17 JUN. 2015

R. EX. N° 1586

VISTO: Lo solicitado por Universidad de Valparaíso, C.I. SUBPESCA N° 5607 de 2015; lo informado por la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría en Memorándum Técnico (P.INV.) N° 096/2015, de fecha 15 de mayo de 2015; la Ley N° 19.880; la Ley General de Pesca y Acuicultura N° 18.892 y sus modificaciones cuyo texto refundido fue fijado por el D.S. N° 430 de 1991, lo dispuesto en el D.F.L. N° 5 de 1983 y el D.S. N° 461 de 1995, los Decretos Exentos N° 225 de 1995, N° 135 de 2005, N° 434 de 2007 y N° 112 de 2013, todos del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; las Resoluciones Exentas N° 726 y N° 910, ambas de 2015, de esta Subsecretaría.

CONSIDERANDO:

Que mediante la Resolución Exenta N° 726, modificada por Resolución Exenta N° 910, ambas de 2015, citadas en Visto, esta Subsecretaría autorizó a Universidad de Valparaíso, para desarrollar una pesca de investigación de conformidad con los Términos Técnicos de Referencia de Proyecto denominado **"Rol ecológico del Lobo Marino común en el territorio y aguas jurisdiccionales chilenas"**.

Que mediante C.I. SUBPESCA N° 5607 de 2015, la Universidad de Valparaíso ha solicitado la modificación de la resolución ya individualizada, en el sentido de incorporar nuevas zonas de muestreo para el permiso de pesca de investigación.

Que dicha solicitud de modificación se fundamenta en el rango geográfico y desplazamiento de lobos marinos comunes y lobos finos australes en el Norte de Chile. En base a los datos provistos por la peticionaria, algunos individuos pueden desplazarse más de 200 Km en el eje Norte Sur.

Asimismo, la peticionaria argumenta que las condiciones logísticas del proyecto han variado, posibilitando el muestreo en nuevas zonas no contempladas originalmente en el permiso otorgado.

Que mediante Memorándum Técnico (P.INV.) N° 096/2015, citado en Visto, la Jefa de la División de Administración Pesquera, informa que atendido a que la pesca de investigación reviste un alto interés, por cuanto busca conocer la variabilidad latitudinal de la dieta del lobo marino, y continuara ejecutándose por el mismo personal técnico en iguales términos metodológicos, no tiene objeciones técnicas para la modificación de la Resolución Exenta N° 726, modificada por Resolución Exenta N° 910, ambas de 2015, de esta Subsecretaría.

Que en consecuencia y en mérito de lo expuesto, corresponde modificar la Resolución anteriormente individualizada, en los términos ya señalados por el solicitante.

RESUELVO:

1.- Modifícase la Resolución Exenta N° 726, modificada por Resolución Exenta N° 910, ambas de 2015, de esta Subsecretaría, que autorizó a Universidad de Valparaíso, R.U.T. N° 60.921.000-1, domiciliada en Errázuriz N° 1834, Valparaíso, para efectuar una pesca de investigación, de conformidad con los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto denominado **"Rol ecológico del Lobo Marino común en el territorio y aguas jurisdiccionales chilenas"**, presentados por la peticionaria y aprobados por esta Subsecretaría, en el sentido de sustituir el texto íntegro de su numeral 3.- por el siguiente:

"3.- La pesca de investigación se efectuará por un término de 12 meses contados desde la fecha de la presente resolución en la zona litoral de la XV Región de Arica y Parinacota, I Región de Tarapacá, II Región de Antofagasta, III Región de Atacama, X Región de Los Lagos y XI Región de Aysén.

2.- La presente resolución podrá ser impugnada por la interposición del recurso de reposición contemplado en el artículo 59 de la Ley N° 19.880, ante esta misma Subsecretaría y dentro del plazo de 5 días hábiles contados desde la respectiva notificación, sin perjuicio de la aclaración del acto dispuesta en el artículo 62 del citado cuerpo legal y de las demás acciones y recursos que procedan de conformidad con la normativa vigente.

3.- La presente resolución deberá publicarse en extracto en el Diario Oficial, por cuenta de la interesada, dentro del plazo de 30 días hábiles contados desde su fecha, momento a partir del cual entrará en vigencia.

4.- Transcríbese copia de esta resolución a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura y a la División Jurídica de esta Subsecretaría.

ANÓTESE, NOTIFÍQUESE POR CARTA CERTIFICADA Y PUBLÍQUESE EN EXTRACTO EN EL DIARIO OFICIAL POR CUENTA DE LA INTERESADA Y A TEXTO INTEGRO EN EL SITIO DE DOMINIO ELECTRÓNICO DE LA SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA




RAUL SUNICO GALDAMES
Subsecretario de Pesca y Acuicultura

PTC/MGG/css



Anexo 2. Actas Reuniones con Contraparte técnica

PROYECTO FIP 2014-28
ROL ECOLÓGICO DEL LOBO MARINO COMÚN

ACTA DE LA REUNIÓN INICIAL DE COORDINACIÓN

FECHA: 10 de Diciembre de 2014
SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA
SALA DE REUNIONES PISO 14
VALPARAISO

ASISTEN:

Maritza Sepúlveda (Director de Proyecto)
Sergio Neira (Director alterno)
Jorge Guerra (Sectorialista SSPyA)

PRINCIPALES CONTENIDOS Y ACUERDOS DE LA REUNION:

La reunión se inicia a las 9:15 horas.

Jorge Guerra introduce los fundamentos del proyecto. Plantea que en enero de 2016 caduca el Decreto de Veda del lobo marino común. Por lo tanto, se requiere contar con información científica cuantitativa que apoye la extensión de esta medida. Sin embargo, establecer una veda para un recurso que parece estar en buen estado de salud puede ser complicado y muchos actores podrían resistir la medida. Debido a esto, se requiere que la mayor parte de estos resultados cuantitativos del proyecto estén disponibles en octubre de 2015.

La reunión continúa con una presentación del proyecto por parte de Maritza Sepúlveda, donde se discuten los objetivos específicos, los enfoques metodológicos y el cronograma de actividades.

Al respecto se destaca que el cronograma aprobado no se condice con la necesidad de la SSPyA de contar con resultados finales para octubre 2015. El Sr. Guerra indica que la tramitación de este proyecto se demoró, ya que se esperaba que su fecha de inicio fuera durante el segundo semestre de 2014 y no el primer semestre de 2015.

Al respecto, la unidad ejecutora propone realizar reuniones y comunicaciones en forma frecuente, de manera de avanzar lo más rápido posible en el cronograma. Sin embargo, se discute que parte de la información de dieta para invierno 2015 no estará disponible para octubre de 2015, ya que se requiere tiempo para analizar las muestras y para confeccionar los modelos de tramas tróficas. Como una forma de soslayar este inconveniente se acordó

que en ausencia de información, los modelos se construirán con información histórica disponible a partir de proyectos de años anteriores y que fue generada por parte del equipo de trabajo. En este sentido, el Sr. Guerra indica que la crítica del revisor del proyecto de contar con información de alimentación del lobo marino para las cuatro estaciones de 2014 no es plausible por temas logísticos y económicos, y que la información de otoño y primavera puede venir de información histórica.

Se planifica una reunión de coordinación entre la unidad ejecutora y la SSPyA a fines de Mayo de 2015, previo a la entrega del informe de avance del proyecto. En esta reunión se presentará avances del proyecto, con énfasis en la presentación de los modelos de tramas tróficas a desarrollar (estructura, grupos funcionales, simulaciones) y consensuar escenarios de simulación.

Se acuerda que la parte ejecutora redacta acta con acuerdos.

La sesión se levanta a las 10:20.

ACTA DE REUNION
PROYECTO FIP 2014-28 “ROL ECOLOGICO DEL LOBO MARINO COMUN EN EL TERRITORIO Y AGUAS JURISDICCIONALES CHILENAS”

Lugar	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Sala 2, piso 19. Valparaíso		
Fecha y hora	Fecha 02-noviembre-2015	Inicio (hr.) 11:15	Final (hr.) 13:02

8.1.1 Asistentes		
N°	Nombre	Organización o Institución
1	Jorge Guerra	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Contraparte técnica
2	Sergio Neira	Universidad de Concepción. Co-director proyecto
3	Maritza Sepúlveda	Universidad de Valparaíso. Directora proyecto
4	Guido Pavez	Universidad de Valparaíso. Investigador

8.1.2 Temas tratados	
1	<p>Inicio de la Reunión.</p> <p>La Contraparte Técnica da inicio a la reunión. El expone que el objetivo de esta reunión es poder contar con los insumos científico-técnicos necesarios para elaborar un documento respecto de la continuación de la veda del lobo marino común, que debe estar operativa en enero de 2016.</p>
2	<p>Presentación Maritza Sepúlveda</p> <p>Maritza Sepúlveda presenta brevemente los objetivos y alcance del proyecto y entrega los resultados del análisis de dieta a través de isotopos estables en las muestras colectadas en la campaña de verano. Esta dieta se confecciona en base a grupos funcionales, y no a especies presa individuales.</p> <p>Al respecto, la Contraparte Técnica hace el alcance de que se espera contar con la importancia de las presas individuales (e.g., recursos pesqueros) y no de grupos funcionales. Se menciona que lo presentado es un resultado preliminar que será complementado con los resultados de las fecas, lo que permitirá al modelo ajustar las proporciones por especies presa.</p>
3	<p>Presentación Sergio Neira</p> <p>Sergio Neira presenta los resultados de los modelos ecotróficos para la zona norte y mar interior de la X región. Se presentan resultados preliminares del índice de omnivoría, en donde en el norte el lobo marino figura como una especie más generalista que en el sur. Se discute el potencial efecto del grupo “salmones” en este resultado.</p> <p>A continuación se presentó estimados del consumo de presas del lobo marino y se los comparó con las capturas pesqueras de esas mismas especies. Se discute el efecto de la falta de información sobre la biomasa de muchos grupos funcionales (e.g., peces costeros) y la falta de información sobre los desembarques de esos grupos (desembarques no reportados y/o subdeclarados). Estas dos falencias de información repercutirían en que el consumo del lobo marino sobre algunas presas aparezca sobredimensionado. La Contraparte Técnica solicita que el gráfico no se muestre de manera porcentual sino que se compare las biomásas</p>

	<p>capturadas por lobos marinos y por pesquerías en relación a la biomasa total disponible para cada grupo de presas.</p> <p>Se muestra un gráfico de indicador de “keystoneness” o la potencialidad de cada grupo funcional de cumplir un rol de especie clave en su trama trófica, en donde el lobo marino figura como uno de los principales estructuradores de la trama trófica. Se discutió la incertidumbre asociada a los parámetros de algunos grupos funcionales como por ejemplo la Orca. Se indicó que como el objetivo del proyecto es evaluar el rol ecológico del lobo marino común, se incluyó los grupos con los cuales el lobo marino interactúa como depredador, presa y competidor. En este sentido, se consideró que incluir a la Orca en el modelo es más realista que no incluirla, ya que lo anterior implicaría considerar que este grupo no está presente en el sistema. La Contraparte Técnica estuvo de acuerdo con el enfoque del grupo de trabajo.</p> <p>Respecto de las simulaciones a 25 años considerando disminuciones de las poblaciones de lobos marinos, se muestra que esto podría afectar negativamente la biomasa/desembarque de algunos recursos pesqueros, especialmente los pelágicos. Este efecto se debería a que la disminución de la abundancia del lobo marino es aprovechada por sus competidores, tales como tiburones pelágicos, odontocetos y aves marinas.</p> <p>En el caso específico de la zona norte, se discutió el hecho que existe información de que los censos realizados en las últimas décadas no sean comparables, ya que en los realizados previo a 2007 se utilizó conteo desde embarcación y desde el 2007 en adelante conteo aéreo. Al respecto, existe una estimación de subestimación del conteo desde embarcación. La corrección de este sesgo indicaría que la biomasa de lobo marino no se habría incrementado en las últimas décadas, sino que se mantendría relativamente estable. En este contexto la Contraparte Técnica solicita se consideren los censos corregidos, considerando que existe información disponible del porcentaje de error que presentan los censos marítimos, en relación a los aéreos, al menos en algunas loberas de Chile.</p> <p>Asimismo, La Contraparte Técnica solicita se incluya una simulación considerando el número de lobos marinos que deben ser removidos mensualmente como para sustentar una pesquería (esto considerando los resultados del proyecto Corfo de Oliva et al. (2011)). De este modo las simulaciones se harían en base a un proyecto con resultados de viabilidad económica concretos.</p>
4	<p>Acuerdos y Compromisos</p> <ul style="list-style-type: none"> • La Contraparte Técnica solicita que en el informe final del proyecto FIP 2014-28 se entregue al FIP los vacíos de información en este tema, de modo de que la Subsecretaría de Pesca pueda ir generando proyectos para llenar estos vacíos. • La Contraparte Técnica solicita un breve informe en que se entreguen los principales resultados a la fecha, que puedan ser usados para generar el documento de veda. Este informe debe ser entregado el día 15 de noviembre de 2015.

Anexo 3. Personal participante por Actividad

PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD
TIEMPO ASIGNADO EN HORAS HOMBRE

ACTIVIDADES GENERALES	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Maritza Sepúlveda	10				10	20							20	30	20
Sergio Neira	10				10	20							20	25	10
Hector Pavés	5				5	10	5	5	10				10	10	10
Doris Oliva	5					10									
Macarena Santos	5				10	10							20	20	
Tamara Martínez	5				10	10							10	5	
Guido Pavez	5				5	5							20	16	
Objetivo 1	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Maritza Sepúlveda	5	5	10	5	35	10	15	20	20	20		15	10		
Doris Oliva				20	10	10		10	10			10	10	5	
Macarena Santos	5	10	30	50	50				50	130	50	30	20		
Luis Valencia					140	20				130	30				
Guido Pavez					50	20			10	50	20	10			
Ricardo Sarmiento	10	20	10	20	20	50	40	40	40	60	40	40	40	40	
Tamara Martínez					60	70					60	20			
Andrea Collef					60	60					80	40			
Objetivo 2	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Maritza Sepúlveda					10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Sergio Neira							10	10	10	10	10				
Hector Pavés								20				20			
Macarena Santos					10	10	20	20	30	20	30	30	20	20	
Guido Pavez					10	15							10	20	
Objetivo 3	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Maritza Sepúlveda							10	10					10	10	
Sergio Neira							10	10				10	10	10	
Hector Pavés															
Macarena Santos							20	20	20			40	40	60	
Guido Pavez												20	30	20	
Objetivo 4	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Sergio Neira		5	5	5	5	20	10	10	20	20	20	30	30		
Hector Pavés		5	5	10	10	20	15	15	30	30	30	20			
Ana María Arriagada		50	50	50	50	50	50	50	50	50					
Pamela Nuñez		50	50	50	50	50	50	50	50	50					
TOTAL	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Maritza Sepúlveda	15	5	10	5	55	40	35	40	30	30	10	25	50	50	20
Sergio Neira	10	5	5	5	15	40	30	30	30	30	30	40	60	35	10
Hector Pavés	5	5	5	10	15	30	20	40	40	30	30	40	10	10	10
Doris Oliva	5	0	0	20	10	20	0	10	10	0	0	10	10	5	0
Macarena Santos	10	10	30	50	70	20	40	40	100	150	80	100	100	100	0
Luis Valencia	0	0	0	0	140	20	0	0	0	130	30	0	0	0	0
Guido Pavez	5	0	0	0	65	40	0	0	10	50	20	30	60	56	0
Ricardo Sarmiento	10	20	10	20	20	50	40	40	40	60	40	40	40	40	0
Tamara Martínez	5	0	0	0	70	80	0	0	0	0	60	20	10	5	0
Andrea Collef	0	0	0	0	60	60	0	0	0	0	80	40	0	0	0
Ana María Arriagada	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	0	0	0	0	0
Pamela Nuñez	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	0	0	0	0	0

