



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Departamento de Oceanografía

INFORME FINAL

PROYECTO FIPA N° 2017-63
CONDUCTA TRÓFICA DE JUREL

REQUIRENTE : Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura

OFERENTE : Universidad de Concepción

Concepción, abril de 2019

TITULO DEL PROYECTO : FIPA 2017-63

Conducta trófica del jurel

REQUIRENTE : Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura

**UNIDAD EJECUTORA : Departamento de Oceanografía,
Universidad de Concepción**

DIRECTOR PROYECTO : Prof. Dr. Hugo Arancibia

Este documento debe ser citado como:

Arancibia, Hugo, Sebastián Klarian, Rubén Alarcón, Mónica Barros, Chris Harrod, Andrew Jackson, Eric T. Schultz, Marianela Medina, Sergio Neira y Juan Valdés. 2019. Informe Final Proyecto FIPA 2017-63 Conducta trófica del jurel. Universidad de Concepción / Universidad Andrés Bello / Universidad Arturo Prat / Universidad de Antofagasta, 169 p. + Anexos.

Colaboradores:

Francisco Fernando, Fernanda Vargas, Ivonne Quintanilla, Carolina Cárcamo, Joseph Julca y Stephanny Curaz.

HITOS RELEVANTES PROYECTO FIPA 2017-63

Fecha	Hito
05-09-2017	Se publica en el portal www.chilecompras.cl la convocatoria a concurso público de este proyecto.
27-09-2017	Se ingresa las Ofertas Técnica y Económica a www.mercadopublico.cl
12-10-2017	En sesión N° 249, el Consejo de Investigación Pesquera (CIP) adjudica a la Universidad de Concepción la ejecución del proyecto (Res. Ex. N°3386).
24-10-2017	Se recibe carta FIPA N°1149 informando la adjudicación del proyecto y se inicia trámites para firma de contrato.
17-11-2017	Se solicita al FIPA prórroga de entrega de informe de avance.
21-11-2017	Se publica Decreto Exento N°1376 de la Subsecretaría de Pesca.
28-11-2017	Se firma el contrato entre el Consejo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (CIPA) y la Universidad de Concepción (UdeC).
29-11-2017	Se recibe carta FIP N° 1295 con la Resolución Exenta N°3961 del 28/11/17, aprobando el contrato del proyecto FIPA 2017-63. Se aprueba la solicitud de prórroga de entrega de informe de avance.
08-01-2018	Se realiza taller de coordinación en Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.
29-01-2018	Se establece veda biológica para el recurso anchoveta en la XV, I y II Regiones.
28-06-2018	Se envía Informe de Avance.
24-09-2018	Mediante sesión N° 257 del 14/09/18 se aprueba Informe de Avance.
28-01-2018	Se envía Informe Pre-Final.
19-03-2019	Se aprueba Informe Pre-Final sin modificaciones.
11-04-2019	Se realiza taller de difusión de resultados.
29-04-2019	Se envía Informe Final.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
Resumen Ejecutivo	1
Abstract	5
1. Presentación.....	9
2. Antecedentes	9
2.1. Generalidades del stock	9
2.2. Alimentación de jurel	14
2.3. Análisis de la composición trófica, importancia científica y aplicación práctica .	15
2.4. Justificación del estudio	16
3. Objetivos	20
3.1. Objetivo General.....	20
3.2. Objetivos Específicos	20
4. Metodología de trabajo.....	21
4.1. Objetivo Específico 1	21
Resumen	21
4.1.1. Antecedentes.....	21
4.1.2. Revisión Bibliográfica.....	24
4.1.2.1 Revisión de proyectos con financiamiento FIPA e IFOP	31
4.1.2.2 Revisión de documentos de reuniones del South Pacific Regional Fisheries Management Organisation (SPRFMO, http://www.sprfmo.int/).....	38
4.1.3. Conclusión	39
4.1.4. Referencias Bibliográficas.....	40
4.2. Objetivo Específico 2	46
Resumen	46
4.2.1. Metodología de trabajo.....	47
4.2.1.1. Antecedentes.....	47
4.2.1.2. Fuentes de datos	48
4.2.1.3. Distribución espacial de las principales presas.....	48
4.2.2. Resultados.....	50
4.2.2.1. Fuentes de datos	50
4.2.2.2. Análisis de bases de datos	50

4.2.2.3. Distribución espacial de las principales presas.....	54
Eufáusidos	55
Copépodos	55
Quetognatos.....	55
Apendicularias	55
4.2.2.4. Distribución espacial de densidad poblacional de jurel.....	63
4.2.3. Discusión	70
4.2.4. Conclusiones.....	71
4.2.5. Referencias	72
4.3. Objetivo Específico 3	74
Resumen	74
4.3.1. Introducción.....	74
4.3.2. Metodología.....	76
4.3.2.1. Área de estudio y tamaño de muestras	76
4.3.2.2. Análisis de laboratorio.....	79
4.3.2.3. Análisis de datos.....	79
4.3.3. Resultados.....	82
4.3.3.1. Generalidades	82
4.3.3.2. Alimentación de individuos de jurel en la macrozona norte (MZN).....	86
4.3.3.3. Alimentación de individuos de jurel en la macrozona centro-sur (MZS)	90
4.3.4. Discusión	92
4.3.5. Conclusiones.....	93
4.3.6. Referencias	94
4.4. Objetivo Específico 4	97
Resumen	97
4.4.1. Introducción.....	97
4.4.2. Metodología.....	98
4.4.2.1. Análisis de datos.....	101
4.4.3. Resultados.....	103
4.4.3.1. Inferencias detarías de individuos de jurel a través de modelos de mezcla con inferencia bayesiana.....	106
4.4.3.2. Posición trófica (TP) mediante análisis compuestos específicos (CSIA) y análisis bulk	110
4.4.4. Discusión	114
4.4.5. Conclusiones.....	116
4.4.5. Referencias	117
4.5. Objetivo Específico 5	122
Resumen	122
4.5.1. Primera Parte	122
4.5.1.1. Introducción.....	122
4.5.1.2. Metodología.....	124

Análisis de laboratorio.....	124
4.5.1.3. Resultados.....	126
4.5.1.4. Discusión.....	128
4.5.1.4. Conclusiones.....	128
4.5.1.5. Referencias.....	129
4.5.2. Segunda Parte.....	132
Resumen.....	132
4.5.2.1. Introducción.....	132
4.5.2.2. Metodología.....	134
4.5.2.3. Resultados.....	137
4.5.2.4. Discusión.....	140
4.5.2.5. Conclusiones.....	141
4.5.2.6. Referencias.....	142
4.6. Objetivo Específico 6.....	144
Resumen.....	144
4.6.1. Introducción.....	144
4.6.1.1 Condición nutricional.....	144
4.6.1.2 Técnicas moleculares, energéticas e isotópicas para evaluar la condición nutricional de individuos de jurel.....	145
4.6.2. Metodología.....	149
4.6.2.1 Análisis de laboratorio.....	149
4.6.2.2 Análisis de datos.....	151
4.6.3. Resultados.....	152
4.6.4. Discusión.....	158
4.6.5. Conclusiones.....	160
4.6.6. Referencias.....	161
5. Taller y reuniones.....	165
5.1. Reunión de coordinación.....	165
5.2. Taller de difusión de resultados.....	165
6. Composición y organización del equipo profesiona y técnico.....	166
6.1. Horas mensuales ejecutadas por profesionales y técnicos.....	168
A N E X O S.....	169

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Capturas de jurel por zona geográfica en el Océano Pacífico Sur Oriental. Nomenclatura: ZNCh = zona norte de Chile; ZCSCh = zona centro sur de Chile. Período: 1970 – 2013.....	10
Figura 2. Rango de tamaños (barras) y tamaño medio (círculos rojos) anual de jurel en los desembarques de las macrozonas norte (panel superior) y centro-sur (panel inferior). La línea punteada corresponde a la talla media de madurez de 23 cm de longitud horquilla. Tomado de Aranís et al. (2015).	12
Figura 3. Biomasa acústica de jurel dentro y fuera de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Chile durante varios años (elaboración propia a partir de informes de evaluaciones acústicas de jurel efectuadas por el Instituto de Fomento Pesquero).	13
Figura 4. Biomasa total (izquierda) y biomasa desovante (derecha) del stock de jurel (<i>T. murphyi</i>) por zona geográfica (Norte: al norte de 30°S; Sur: al sur de 30°S). Período: 1975 a 2013. Tomado de: Arancibia & van der Meer (2014).	13
Figura 5. Aporte de las principales presas (porcentaje en peso) en el contenido estomacal de jurel por año y zona. Período: 2000 a 2016. Nomenclatura: línea continua = eufáusidos; línea con círculos = peces linterna; línea discontinua = salpas; N (zona norte), S (zona centro-sur), O (zona oceánica).	32
Figura 6. Aporte de las principales presas (porcentaje en peso) en el contenido estomacal de jurel en la zona norte de Chile. Período: 2008 a 2016. Nomenclatura: línea continua = eufáusidos; línea con círculos = peces linterna.	33
Figura 7. (a) Aporte de las principales presas (porcentaje en peso) en el contenido estomacal de jurel en la zona centro-sur de Chile. Período: 2000 a 2015; (b) tendencia de los datos de 2000 a 2015. Nomenclatura en ambos casos: eufáusidos = línea continua; peces linterna = línea con círculos (a), línea discontinua (b). 34	34
Figura 8. Aporte de las principales presas (porcentaje en peso) en el contenido estomacal de jurel en la zona oceánica. Período: 2008 a 2016. Nomenclatura: línea continua = eufáusidos; línea con círculos = peces linterna; línea discontinua = salpas. ...	35
Figura 9. Razón consumo/biomasa (Q/B) de jurel. Período: 1998 a 2002. Nomenclatura: línea continua = eufáusidos; línea con círculos = peces linterna.	36
Figura 10. Similitud trófica de jurel en la zona centro-sur de Chile. Fuente: Córdova et al. (2001).	36

- Figura 11. Similitud trófica de jurel en la zona oceánica frente a Chile centro-sur (tomado de Cubillos et al., 2002). Grupo 1=<25-25 cm; Grupo 2=26-30 cm; Grupo 3=31-35 cm; Grupo 4= 36-40 cm; Grupo 5=41-45 cm y Grupo 6= 46->46. Fuente: Cubillos et al. (2002). 37
- Figura 12. Índice de llenado estomacal (en%, barras grises; panel superior), tamaño de muestra (en número de estómagos, línea continua; panel superior) y fracción de presas (en porcentaje; barras verticales, panel inferior) en el contenido estomacal del jurel frente a Perú. Período: 1973 a 2016. Fuente: <http://www.sprfmo.int/assets/Meetings/>..... 39
- Figura 13. Distribución espacial de la densidad poblacional promedio (ton/mn²) de merluza del sur (*Merluccius australis*) en el verano de 2003. Tomado de informe final del proyecto FIPA 2012-27 “Bases metodológicas para el estudio del reclutamiento y ecología en merluza del sur y merluza de cola, zona sur-austral” (ver Neira et al., 2015). 49
- Figura 14. Disposición espacial de las estaciones planctónicas (puntos rojos) realizadas en las evaluaciones acústicas de jurel de 2007 a 2017. 56
- Figura 15. Disposición espacial de las estaciones positivas (puntos rojos) para eufáusidos (izquierda) y abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m³, derecha) en muestreos zooplanctónicos en el marco de evaluaciones directas de jurel entre 2007 y 2017. Los puntos azules representan estaciones sin presencia de la especie..... 59
- Figura 16. Disposición espacial de las estaciones positivas (puntos rojos) para copépodos (izquierda) y abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m³, derecha) en muestreos zooplanctónicos en el marco de evaluaciones directas de jurel entre 2007 y 2017. Los puntos azules representan estaciones sin presencia de la especie..... 60
- Figura 17. Disposición espacial de las estaciones positivas (puntos rojos) para quetognatos (izquierda) y abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m³, derecha) en muestreos zooplanctónicos en el marco de evaluaciones directas de jurel entre 2007 y 2017. Los puntos azules representan estaciones sin presencia de la especie..... 61
- Figura 18. Disposición espacial de las estaciones positivas (puntos rojos) para apendicularias (izquierda) y abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m³, derecha) en muestreos zooplanctónicos en el marco de evaluaciones directas de jurel entre 2007 y 2017. Los puntos azules representan estaciones sin presencia de la especie. 62
- Figura 19. Disposición espacial de las UBM^s acústicas (puntos rojos) en cruceros de evaluación directa de jurel. Período: 2007 a 2017..... 64

Figura 20.	Distribución espacial de la densidad acústica (miles de m^2/mn^2) acumulada de jurel desde cruceros de evaluación directa. Periodo: 2007 a 2017.	65
Figura 21.	Distribución espacial de la densidad acústica acumulada ($m^2/mn^2 \times 1000$; izquierda) y la abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m^3) de eufáusidos en cruceros de evaluación directa de jurel entre 2007 y 2017.	66
Figura 22.	Distribución espacial de la densidad acústica acumulada ($m^2/mn^2 \times 1000$; izquierda) y la abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m^3) de copépodos en cruceros de evaluación directa de jurel entre 2007 y 2017.	67
Figura 23.	Distribución espacial de la densidad acústica acumulada ($m^2/mn^2 \times 1000$; izquierda) y la abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m^3) de quetognatos en cruceros de evaluación directa de jurel entre 2007 y 2017.	68
Figura 24.	Distribución espacial de la densidad acústica acumulada ($m^2/mn^2 \times 1000$; izquierda) y la abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m^3) de apendicularias en cruceros de evaluación directa de jurel entre 2007 y 2017.	69
Figura 25.	Registros de lances de pesca para la obtención de muestras (estómagos) de jurel en el presente proyecto en las macrozonas norte (XV a II Regiones) y centro-sur (V a X Regiones)	77
Figura 26.	Análisis latitudinal para las subzonas. Nomenclatura: SbZN= subzona norte, SbZS= subzona sur. Los puntos corresponden a lugares de obtención de muestras de jurel <i>in situ</i>	78
Figura 27.	Análisis longitudinal para la macrozona centro-sur. Los puntos corresponden a lugares de obtención de muestras de jurel <i>in situ</i>	78
Figura 28.	Promedio (longitud horquilla, cm) de los tamaños de ejemplares de jurel por subzonas, más costeros y oceánicos (valor $p < 0,05$). Las barras indican 1 desviación estándar.	81
Figura 29.	Representación gráfica bidimensional de los datos de contenidos estomacales.	82
Figura 30.	Curva de diversidad trófica de jurel para la macrozona norte.	84
Figura 31.	Curva de diversidad trófica para jurel de la macrozona centro-sur.	84
Figura 32.	Taxa de presas de jurel por macrozonas.	86
Figura 33.	Diagrama bidimensional de alimentación de jurel en la macrozona norte.	88
Figura 34.	Aporte (porcentual) de taxa de presas de jurel en la macrozona norte (subzonas, sexos y rangos de tamaños).	88
Figura 35.	Diagrama bidimensional de alimentación de jurel en la macrozona centro-sur.	91

Figura 36. Aporte (porcentual) de taxa de presas de jurel en la macrozona centro sur (subzonas, sexos y rangos de tamaños).	92
Figura 37. Bi-plot de individuos de jurel en la macrozona norte (MZN).	105
Figura 38. Bi-plot de individuos de jurel en la macrozona centro-sur (MZS).	105
Figura 39. Bi-plot de individuos de jurel y potenciales presas en la macrozona norte (MZN).	107
Figura 40. Contribución de presas en la dieta de jurel y potenciales presas en la MZN a través de inferencia bayesiana.	108
Figura 41. Bi-plot de individuos de jureles y sus potenciales presas para la MZS.	108
Figura 42. Contribución en la dieta de ejemplares de jurel en la MZS para el rango de talla 1 (R1) a través de inferencia bayesiana.	109
Figura 43. Contribución en la dieta de individuos de jurel en la MZS en el rango de talla 2 (R1) a través de inferencia bayesiana.	109
Figura 44. Posición trófica (TP) promedio estimada para individuos de jurel de las macrozonas norte y centro-sur. Las estimaciones basadas en el aminoácido $\delta^{15}\text{N}$ son bootstrapping (100.000 pseudo réplicas) del promedio (\pm 95% de intervalo de confianza). Las estimaciones basadas en POM (bulk) o eufáusidos $\delta^{15}\text{N}$ son estimaciones posteriores promedio (\pm 95% de intervalo de credibilidad) de TP basadas en el modelo bayesiano tRophicPosition.	112
Figura 45. Relación entre en el tamaño individual de ejemplares de jurel (en peso) y su posición trófica usando las diferencias en los valores de los aminoácidos fuente (<i>Phenilalanina</i>) y trófico (<i>Glutámico</i>) de $\delta^{15}\text{N}$	113
Figura 46. Consumo poblacional de jurel para las macrozonas norte, centro-sur y oceánica de Chile en dos períodos de tiempo. Nomenclatura: barra gris = período previo al colapso de la pesquería de jurel (previo al año 1998); barra blanca = período reciente (últimos 3 años).	138
Figura 47. Consumo de presas de jurel en las macrozonas norte (a), centro-sur (b) y oceánica (c) de Chile en dos períodos contrastantes (antes y después del colapso de la pesquería de jurel en 1998). Nomenclatura: barra gris = período previo al colapso de la pesquería de jurel; barra blanca = período reciente.	139
Figura 48. Sobreposición de nicho trófico (presas) entre jurel y grupos funcionales de los modelos tróficos de las macrozonas norte (a) y centro-sur de Chile (b).	140
Figura 49. Esquema de ingesta de presas ricas en energía en peces.	148

Figura 50. Promedio del factor de condición ribosomal (RNA:DNA) en ejemplares de jureles de las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS).	153
Figura 51. Relación de la longitud de la horquilla (LH) de ejemplares de jurel y el factor de condición ribosomal (RNA:DNA).....	154
Figura 52. Relación el peso de ejemplares de jurel y el factor de condición ribosomal (RNA:DNA).	154
Figura 53. Relaciones entre el proxy nutricional C:N con el % lipídico y la distribución energética (Kcal) de individuos de jurel.....	156
Figura 54. Relación tamaño-peso de jurel por macrozona (norte: MZN; centro-sur: MZS)..	156
Figura 55. Distribución de la energía (Kcal) de la musculatura de jurel y relación con la longitud horquilla (LH, cm).....	157
Figura 56. Distribución del proxy nutricional de C:N en jurel y relación con la longitud horquilla (LH, cm).....	157
Figura 57. Relación entre los valores de C:N de jurel para las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS) y la longitud horquilla (LH).	158

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Proyectos que incluyen resultados de alimentación de jurel	25
Tabla 2. Tabla de categorización de las publicaciones para <i>Trachurus murpyi</i> y género <i>Trachurus</i> . Los colores indican: rojo, aporte incompleto; amarillo, aporte regular y verde, aporte significativo al objetivo general del proyecto.....	28
Tabla 3. Listado de proyectos del Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA) y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA) sobre jurel de la macrozona norte y zona centro-sur que fueron solicitados y recibidos.	51
Tabla 4. Campos que componen la base de datos de registros acústicos de las evaluaciones directas de peces pelágicos (anchoveta de la zona norte y jurel).	52
Tabla 5. Campos que componen la base de datos de registros del zooplancton de las evaluaciones directas de jurel en la zona norte y centro-sur.	53
Tabla 6. Número de registros acústicos y de zooplancton desde las evaluaciones directas de jurel en la zona norte y zona centro-sur.	53
Tabla 7. Abundancia acumulada (miles de ejemplares/1000m ³) de taxa presentes en el plancton de cruceros acústicos de jurel en la zona norte, centro-norte y centro-sur entre 2007 y 2017.	57
Tabla 8. Número de estómagos analizados en este estudio por macrozona y rango de tamaños de jurel. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur; SbZN = subzona norte; SbZS = subzona sur. Para la macrozona norte (MZN): R1 = grupo de individuos de jurel <23 cm de LH; R2 = grupo de individuos de jurel ≥ 23 cm de LH. Para la macrozona centro-sur (MZS): R1 = grupo de individuos de jurel <36 cm de LH; R2 = grupo de individuos de jurel ≥ 36 cm de LH.	83
Tabla 9. Lista de taxa de presas en el contenido estomacal de individuos de jurel.	85
Tabla 10. Importancia (porcentual) de presas en la dieta de jurel por macrozona. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur. Taxa de presas según Tabla 9.	87

Tabla 11.	Aporte de presas de jurel en la macrozona norte. Nomenclatura: SbZN 1, 2, 3 = subzonas norte 1, 2 y 3; R1 = grupo de individuos de jurel <23 cm de LH; R2 = grupo de individuos de jurel \geq 23 cm de LH.	89
Tabla 12.	Aporte (porcentual) de presas de jurel en la macrozona centro-sur. Nomenclatura: SbZS = subzona centro-sur; R1 = grupo de individuos de jurel <36 cm de LH; R2 = grupo de individuos de jurel \geq 36 cm de LH.	91
Tabla 13.	Estadígrafos descriptivos de los valores de isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) para individuos de jurel y sus presas del Océano Pacífico Sur Oriental. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur; R1 = grupo de tamaño 1 de jurel; R2 = grupo de tamaño 2 de jurel (ver objetivo específico 3).	104
Tabla 14.	Contribución de presas en la dieta de individuos de jurel calculada mediante inferencia bayesiana. Nomenclatura: Min = probabilidad mínima de consumo; Max = probabilidad máxima de consumo. R1 = grupo de tamaño de jurel < 33 cm de longitud horquilla (LH); R2 = grupo de tamaño de jurel \geq 33 cm de LH.	106
Tabla 15.	Estadígrafos asociados con el aminoácido $\delta^{15}\text{N}$	110
Tabla 16.	Estadígrafos para el análisis de “bulk” en sus valores de $\delta^{15}\text{N}$ usados para el cálculo de posición trófica (TP) de individuos de jurel mediante modelos bayesianos. Dos líneas bases de material particulado orgánico, POM ($\lambda = 1$) y eufáusidos ($\lambda = 2$). Los valores de POM provienen de Harrod et al. (datos no publicados, 2018).	111
Tabla 17.	Estadígrafos de la posición trófica (TP) para individuos de jurel de las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS) basados en diferencias entre los aminoácidos fuente (<i>Phenilalanina</i>) y trófico (<i>Glutámico</i>). Nota: este último no requiere una línea de base isotópica. La diferencia en los valores de “bulk” de $\delta^{15}\text{N}$ es entre individuos de jurel y POM* (Harrod et al., datos inéditos colectados en la zona de estudio durante el año 2018) o eufáusidos $\delta^{15}\text{N}$ colectados durante el presente estudio.	112
Tabla 18.	Estadígrafos energéticos de las presas de jurel en las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS).	127
Tabla 19.	Consumo de alimento individual (presente estudio) calculado con el método combinado de isótopos estables, energético y contenido estomacal. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur.	127

Tabla 20. Estadígrafos de los descriptores bioquímicos en individuos de jurel por macrozona. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur; DNA = ácido desoxirribonucleico; RNA = ácido ribonucleico; ng = nanogramos, uL = microlitros; DS = desviación estándar..... 153

Tabla 21. Estadígrafos (media, d.s. y rango) para % de lípidos, proxy nutricional de C:N y energía (Kcal/g) de jureles de las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS).
..... 155

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1.	Dossier bibliográfico electrónico (se presenta en CD adjunto).....	170
Anexo 2.	Integridad de muestras de RNA extraídas (ejemplo).....	171
Anexo 3.	ACTA DE REUNIÓN DE COORDINACIÓN	172
Anexo 4.	Invitación al taller de difusión de resultados FIPA 2017-63.....	174
Anexo 5.	Programa del taller de difusión de resultados FIPA 2017-63.....	175
Anexo 6.	Asistencia al taller de difusión de resultados.	176
Anexo 7.	Registro fotográfico del taller.....	177
Anexo 8.	Presentaciones del taller	178

Resumen Ejecutivo

Este proyecto fue aprobado según Resolución Exenta N° 3961 de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, de 28 de noviembre de 2017, lo que se informó al ejecutor mediante carta FIP N° 1295 de 29 del mismo mes. Posteriormente, el 8 de mayo se solicitó prórroga de 1 mes en la entrega del informe de avance hasta el 28 de junio de 2018, lo que se aceptó mediante carta FIP N° 308 de 15 de mayo de 2018.

El objetivo general es el siguiente: determinar los componentes trofodinámicos del jurel en las zonas costeras y oceánicas en Chile (XV – II Regiones y V-X Regiones). Los objetivos específicos son:

1. Revisar la bibliografía histórica y actual de alimentación del jurel y confeccionar un dossier, incluyendo la revisión bibliográfica de la aplicación de la estabilidad isotópica en ecología trófica.
2. Recopilar información científica geo-referenciada de proyectos de investigación realizados por el estado, respecto de ítems alimentarios de jurel en los últimos 10 años.
3. Determinar y cuantificar, a través del análisis del contenido estomacal, los principales ítems alimentarios de individuos de jurel por grupos de tamaño disponibles desde las capturas comerciales (de preferencia juveniles y adultos), tanto espacial como temporalmente.
4. Determinar, a través de la técnica de isótopos estables, la contribución de los principales ítems alimentarios de juveniles y adultos de jurel, y probar si existen diferencias intra-específicas (ontogenéticas).
5. Estimar mediante métodos indirectos las tasas de consumo de alimento y de excreción en jurel.
6. Determinar los componentes energéticos en la dinámica trófica de individuos de jurel y analizar el factor de condición nutricional de individuos analizados.

En relación al objetivo 1 se recopiló antecedentes bibliográficos de la alimentación de jurel y la aplicación de la estabilidad isotópica en ecología trófica de este recurso pesquero a nivel nacional e internacional. En Chile existe escasa información publicada y alguna literatura gris que reportan la dieta del jurel desde los años 1990's, la que está disgregada, es muy local y discontinua. No existen estudios previos con la aplicación de isótopos estables. Se elaboró un dossier bibliográfico electrónico, cuyo material fue identificado por tema y ubicación, categorizándola con el Método del Semáforo.

En relación al objetivo específico 2 se analizó la distribución espacial de la abundancia de jurel (como depredador), medida como la energía retrodispersada (NASC, m^2/mn^2), desde información colectada en cruceros de evaluación directa realizados en la zona norte (XV-II Regiones), centro-norte (III-IV Regiones) y zona centro-sur (V-X Regiones) de 2007 al 2017 (excepto los años 2010 y 2013), así como la distribución espacial de la abundancia (en número) de eufáusidos, copépodos, quetognatos y apendicularias, siendo los tres últimos los taxa más abundantes. Los eufáusidos son históricamente la principal presa del jurel (en peso del contenido estomacal). El análisis de la distribución espacial se realizó mediante la construcción de cartas de distribución de la densidad poblacional acumulada (celdas de 30 mn x 30 mn).

Los copépodos fueron el taxón más importante (en número) entre los taxa zooplanctónicos observados en las estaciones planctónicas en el marco de las evaluaciones directas de jurel en las zonas norte, centro-norte y centro-sur, seguido en mucho menor magnitud por quetognatos y apendicularias. Los copépodos muestran amplia distribución espacial tanto en el sector costero de la zona norte como en el sector oceánico de la zona centro-sur, mientras que los eufáusidos y apendicularias muestran mayor abundancia en el sector costero, principalmente en las zonas norte y centro-norte.

La densidad acústica acumulada de jurel muestra tendencia a valores más altos hacia el sector costero de la zona norte, mientras que en la zona centro-sur no se observa un patrón definido, con valores altos tanto en el sector costero (zona norte) como en la zona oceánica. La observación de la distribución espacial de la densidad acústica de jurel (predador), como un

indicador de su abundancia, junto con la distribución espacial de la abundancia de eufáusidos, copépodos, quetognatos y apendicularias (presas de jurel) revela baja sobreposición espacial entre jurel y los eufáusidos, excepto en el sector costero de las zonas norte y centro-norte.

En relación al objetivo específico 3 se analiza 1.900 estómagos de individuos de jurel capturados frente a Chile norte (I Región) y centro-sur (VIII Región) durante el año 2017. El análisis del contenido estomacal ratifica lo reportado en otros estudios, donde los eufáusidos son el ítem principal de alimento del jurel (42% en peso para la macrozona norte y 47% para la macrozona centro-sur). No se observa patrones ontogenéticos tróficos (cambios en la dieta con el tamaño de los peces), probablemente porque la abundancia de la oferta ambiental de alimento es favorecida por fluctuaciones naturales en la distribución de las presas por factores propios de la historia de vida de jurel o a su hábitat.

En relación al objetivo específico 4 se analiza la contribución de las presas en la dieta de individuos de jurel ($n = 507$ peces) y la respectiva posición trófica de las presas mediante modelos con inferencia bayesiana. Para los modelos de mezcla se usó las combinaciones de $\delta^{13}\text{C}$ (isótopo estable de Carbono 13) y $\delta^{15}\text{N}$ (isótopo estable de Nitrógeno 13), en tanto para la posición trófica se usó la composición específica de los aminoácidos de $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glutámico}}$ y $\delta^{15}\text{N}_{\text{Fenilalanina}}$. Se confirma a los eufáusidos como el ítem de presa más importante en la dieta del jurel (45% en peso respecto del peso del total de presas en los contenidos estomacales analizados, considerando toda el área y tiempo de estudio). No se encontró diferencias ontogenéticas en la alimentación de jurel (test PERMANOVA; $F=0,633$; $p=0,418$). La posición trófica del jurel, usando los aminoácidos, es 3,3 en la macrozona centro-sur (MZS) y 3,6 para la macrozona norte (MZN).

En relación al objetivo específico 5, éste se compone de dos partes, a saber: (a) estimación del consumo de alimento mediante análisis del contenido estomacal (incluyendo la ración diaria de alimento) e isótopos estables; y, (b) estimación del consumo poblacional mediante enfoque ecotrófico multiespecífico. El principal resultado de la primera parte se refiere a la ración diaria promedio individual (por pez; $\text{RD} = 30,68$ g/día) es más alta en la macrozona centro-sur (MZS) que en la macrozona norte (MZN; $\text{RD} = 11,17$ g/día). El principal

resultado de la segunda parte señala que El cambio en biomasa del jurel entre el período pre-colapso (fines de los años 1990s) y el período más reciente (últimos años) se reflejó en la disminución de un orden de magnitud en el consumo poblacional, tanto en la MZN como en la MCS, aunque el mayor consumo absoluto ocurre en esta última.

En relación al objetivo específico 6, se determina las tasas de consumo de alimento de jurel mediante métodos integradores de isótopos estables y contenido energético. Además, en el músculo esquelético de 123 ejemplares de jurel se caracterizó las secuencias de DNA y los niveles de RNA a través de RT-qPCR para obtener tasas de condición nutricional en forma de RNA:DNA. Se comparó y combinó los factores de *proxy* en condición nutricional de C:N (provenientes de los isótopos estables), RNA:DNA y perfil lipídico (% de lípidos). En la macrozona centro-sur (MZS) se obtuvo un mayor factor de RNA:DNA, aunque las diferencias con la macrozona centro-sur no son significativas. Por otro lado, el *proxy* nutricional isotópico permite señalar que los individuos de jurel de la MZS presentan mejor condición nutricional que los jureles de la MZN.

Abstract

According with the Resolución Exenta N° 3961 (November 28th, 2017) of the Secretary of Fisheries in Chile, this project was assignat to the Universidad de Concepción. That university was informed by letter FIP N° 1295 (November 29th, 2017). Later, in May 8th, 2018, an extension for 1 month was requested in order to send the first report (until June 28th), which was accepted by the Fisheries Research Council by letter FIP N° 308 (May 15th, 2018).

The general objective of this project is to determine the trophic components of Jack mackerel in coastal (inshore) and oceanic (offshore) zones in Chile (northern macro-zone, central-southern macro-zone and oceanic macro-zone in Chile waters). The especific objectives are:

1. To review both historic ant present bibliography about feeding of Jack mackerel and to build a dossier, including papers related to isotopic stability in trophic ecology.
2. To collect scientific geo-referenced information from research projects supported by Chilean agencies, projects that were related to feeding of Jack mackerel in the last 10 years.
3. To determine, with stomach content analysis, the main feeding ítems of Jack mackerel by size groups available from comercial harvests (juveniles and adults), as espacial as temporaly.
4. To determine, by using the stable isotops technic, the contribution of the main feeding items in juveniles and adults of Jack mackerel, and to test the existence of intra-specific (ontogenetic) differences.
5. To estimate the feeding consumption rate and the excretion rate in Jack mackerel with indirect methods.
6. To determine the energetic components in the trophci dynamic of Jack mackerel and to analyze the nutritional condition factor.

In relation to the specific objective 1, papers and reports about the Jack mackerel feeding were collected and also bibliography (national and international) about the of isotopic stability in trophic ecology of Jack mackerel. In Chile, the published information and grey literature reporting the feeding of Jack mackerel, from the 1990s, is scarce. Moreover, that literature is local and not regular. No previous study using stable isotopes has been reported for fish in Chile. The selected literature was identify by main topics and geographic región, which was rankwed by usin the Traffic Light Method.

In relation to the specific objective 2, the spatial distribution of the Jack mackerel abundance was registered by acoustic with information (backscattered energy) registered from surveys, including north, central-north and central-south Regions in Chile, from years 2007 to 2017 (but not years 2010 y 2013). Moreover, the spatial distribution of the abundances of euphausiids, copepods, chaetognatos and apendicularians are also informed, due to they are the most abundant taxa in the zooplankton (except apendicularians). Euphausiids are the most abundant preys of Jack mackerel (as weight in the stomach contents). The spacial distribution was analyzed with distribution charts of the accumulative population density (cells of 30 nm x 30 nm).

Copepods were the main taxon (by number) in the planktonic stations sampled during surveys to estimate the abundance of Jack mackerel, by using the acoustic technic in north, central-north and central-south Chile. Secundarely in abundance were registered chaetognata and appendicularians. Copepods shown wide spatial distribution as in the coastal sector (inshore) as in the oceanic sector (offshore) of the central-south zone, but euphausiids and appendicularians were more abundant in the coastal sector, mainly in north and central-north Chile. The accumulative acoustic density of Jack mackerel is increasing to the coastal sector of the Chilean north zone, while in the central-south zone no pattern is observed. The spatial overlap between Jack mackerel and euphausiids is low, but it is higher in the coastal (inshore) sectors of north and cetral-north Chile.

In relation to the specific objective 3, stomachs (n=1,900) of Jack mackerel from comercial harvests in north and central-south Chile were analyzed during the year 2017. Euphausiids

are the main prey ítem of Jack mackerel in the north (42% in weight) and in the central-south (47% in weight) macro-zones. No ontogenetic trophic pattern is observed in Jack mackerel (changes in diet with predator size).

In relation to the specific objective 4, the contribution of preys in the Jack mackerel diet ($n = 507$ individual fish) and the trophic position (TP) of preys were analyzed using Bayesian inference. For mixing-models, the of $\delta^{13}\text{C}$ (stable isotop of Carbon 13) and $\delta^{15}\text{N}$ (stable isotop of Nitrogen 13) were combined. To estimate the TP of Jack mackerel individuals, the specific composition of $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glutamic}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phenilalanina}}$ were used. Euphausiids (45% in wieight, including all samples in this study) as the main prey of Jack mackerel is confirmed. No ontogenetic differences in the Jack mackerel diet was found (PERMANOVA test; $F=0.633$; $p=0.418$). The TP of Jack mackerel, using amino acids, is 3.3 in the central-south macrozone (SMZ), and 3.6 in the north macrozone (NMZ).

The specific objective 5 is separated in two parts as follow: (a) the estimation food consumption using stomach content analysis (including food daily ration, DR) and stable isotops; and, (b) estimation of population consumption by a ecotrophic multispecific models. The main result of the first part is the mean DR, which was estimated as 30.68 g/day/fish in the SMZ and 11.17 g/day/fish in the NMZ. The main result of the second part is the change in the population consumption of Jack mackerel, which was one order of magnitud higher, in the previous period to the collapse of the fishery (at the end of the decade of the 1990s), than the last three years. The consequence is the decrease in one oreder of magnitud in the food population consumption, as in the NMZ as in the SMZ of Chile,

In relation to the specific objective 6, the food consumption rate is estimated by using integratively two methods: the stable isotopes and the energetic content. The sequences of DNA and RNA in muscle of 123 individuals of Jack mackerel were characterized, and also the levels of RNA by RT-qPCR in order to obtain nutritional condition rates as the RNA:DNA ratio. The factor of *proxy* in C:N nutritional condition were compared and combined (from stable isotopes), RNA:DNA ratio and a lipidic profile (percentage of lipids). For individuals of Jack mackerel from the SMZ, the RNA:DNA ratio was higher than for fish from the NMZ, but differences were not significant. On the other hand, the isotopic nutritional *proxy* show that individuals of Jack mackerel are in better nutritional condition than the individuals from the NMZ.

1. Presentación

Para la ejecución de este proyecto se dispuso del grupo de trabajo completo comprometido en la Oferta Técnica, el que estuvo constituido por investigadores de la Universidad de Concepción (UdeC), como institución principal, acompañados por colegas de la Universidad Andrés Bello (UNAB), Universidad de Antofagasta (UAntof) y Universidad Arturo Prat (UNAP), quienes nos asociamos aportando en las materias de sus competencias y especialidades, haciéndonos cargo de las exigencias establecidas en las Bases Técnicas del proyecto FIPA 2017-63 “Conducta trófica del jurel”, las que respondimos en su totalidad.

2. Antecedentes

2.1. Generalidades del stock

El jurel (*Trachurus murphyi*) es recurso pesquero en algunos países de la cuenca del Océano Pacífico Sur (Cárdenas et al. 2009; Ashford *et al.* 2010), y que en el sector Sur Oriental se distribuye desde Ecuador (1°30’S) hasta el Estrecho de Magallanes (55°S), en tanto en el Océano Pacífico Suroccidental se distribuye hasta Nueva Zelanda y Tasmania, encontrándose principalmente entre 30° y 50°S (Arcos *et al.* 2001; Medina & Arancibia 2002; Cisterna & Arancibia 2017). La historia de la pesquería del jurel en Chile se registra desde la década de los años 1970 (Arancibia *et al.* 1995; Arcos *et al.* 2001; Alegre *et al.* 2015), indicando que los principales desembarques ocurrieron en 1995, alcanzado el máximo con 4,4 millones de ton (Naranjo *et al.* 2015), mientras que en Perú el máximo fue de 723 mil ton en 2001 (Ñiquen *et al.* 2013). Sin embargo, en el margen Sur Occidental de Océano Pacífico la pesquería alcanzó el máximo con solo 48 mil ton en 1993. En Chile el recurso jurel estuvo en condición de sobreexplotación desde el 2013 hasta el 2016. En el 2017 nuevamente fue declarado en plena explotación (<http://www.subpesca.cl>), reportando un incremento del 25% (610 544 t) en los desembarques totales, con respecto al 2016 (Córdova et al., 2018), aún cuando en la 4ta Reunión del Comité Científico de la OROP se recomendó para Chile, 493 mil ton en las capturas de jurel para el año 2017. Sin embargo, se destacó y ratificó en la misma reunión,

una tendencia a la recuperación poblacional del recurso generadas por el ingreso de buenas clases anuales sumado a la reducción y control de la mortalidad por pesca (Canales et al., 2017).

En la VIII Región del Biobío el máximo desembarque de la flota cerquera jurelera industrial ocurrió a mitad de los años 1990's con 4 millones de ton, aunque el stock ya mostraba signos de deterioro (Arancibia & van der Meer, 2014), lo que se evidenció en 1998 cuando el stock de jurel entró en fase de declinación de la biomasa (Fig. 1). En esos años la sobredimensionada flota industrial cerquera jurelera (más de 145 naves) entró en crisis rápidamente, siendo la principal causa para que se legislara alguna forma de administración que se concretó, con retardo de 4 años, con la promulgación de la Ley N° 19.713 en enero de 2001, conocida como la Ley del Límite Máximo de Captura por Armador (LLMCA), la que era por 2 años, solamente, pero que luego, en diciembre de 2002, fue prorrogada por 10 años (hasta fines de 2012). Posteriormente, en febrero de 2013, se promulgó la Ley N° 20.657, la que modificó la Ley General de Pesca y Acuicultura N° 18.892 vigente desde 1991. Actualmente la cuota total permisible de jurel (CTP) es estimada por el Comité Científico de la Organización Regional de Pesca (CT-ORP), no por el Comité Científico de Jurel en Chile.

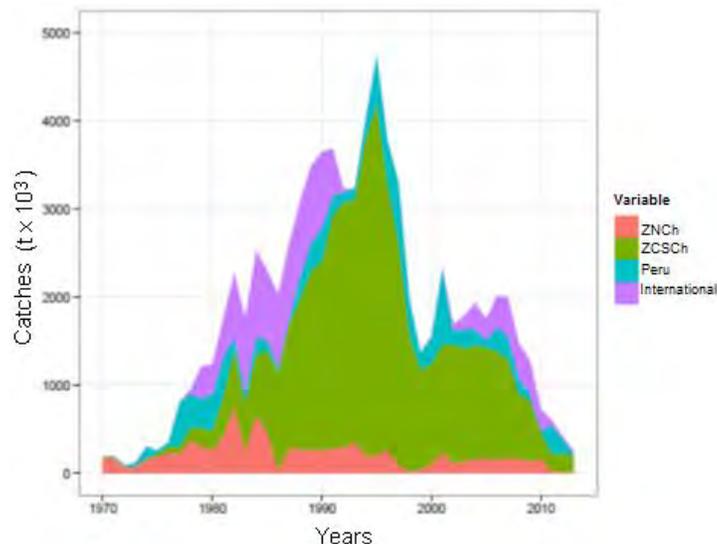


Figura 1. Capturas de jurel por zona geográfica en el Océano Pacífico Sur Oriental. Nomenclatura: ZNCh = zona norte de Chile; ZCSCh = zona centro sur de Chile. Período: 1970 – 2013.

Normalmente la temporada de pesca de jurel en la macrozona centro-sur de Chile se extiende desde diciembre hasta inicios de agosto, cuando los ejemplares del stock emigran a aguas oceánicas (hacia el noroeste) para desovar a lo largo del “cinturón del jurel” entre la Convergencia Subtropical y la Convergencia Subantártica. En la macrozona norte las capturas de jurel (principalmente de mayo a octubre) están asociadas como fauna acompañante del recurso anchoveta (*Engraulis ringens*) y no como recurso objetivo. Sin embargo, la dinámica de las flotas, en ambas macrozonas, es completamente distinta, ya que en el norte es “costera” (frecuentemente hasta 40 mn de la costa hacia el oeste) y en el centro-sur del país es “oceánica” (actualmente es más frecuente en 60 mn de la costa, sin sobrepasar la Zona Económica Exclusiva; Dr. Alexander Gretchina, comunicación personal; email: agretchina@inpesca.cl). La distribución de frecuencias de tamaño de jurel en las capturas entre las dos macrozonas es completamente diferente, predominando casi exclusivamente los ejemplares juveniles en la macrozona norte y los adultos en la macrozona centro-sur (Fig. 2). Esto debe ser considerado por el evaluador de este proyecto, pues los ejemplares de jurel provienen de los muestreos de las capturas (a bordo) o del desembarque (en el muelle), aunque los tamaños de los peces son completamente diferentes, lo que puede introducir sesgos en los resultados.

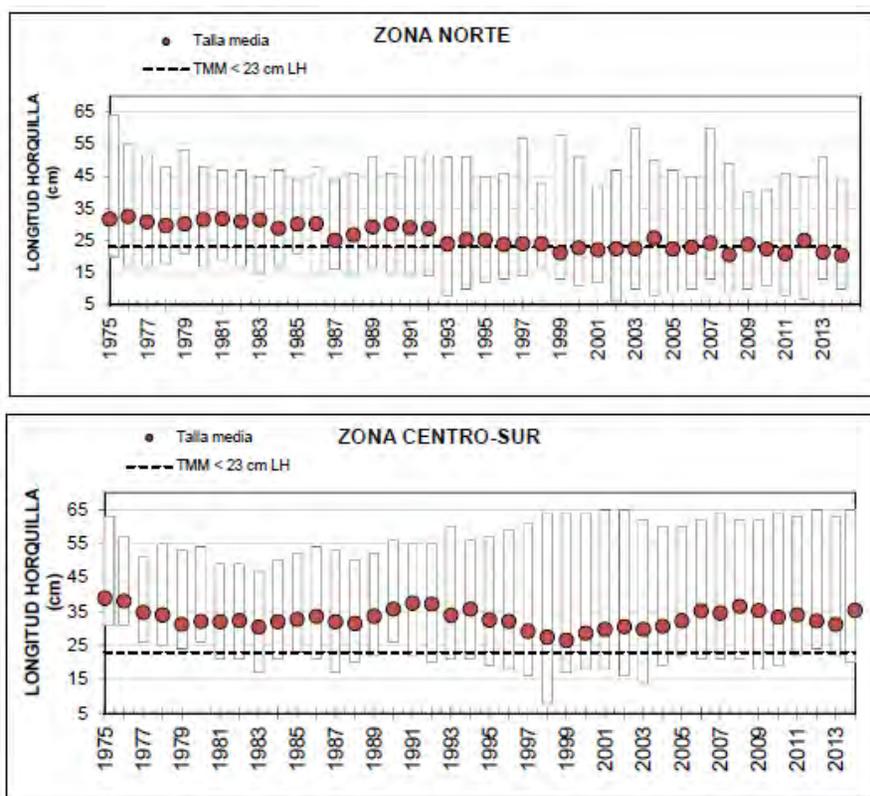


Figura 2. Rango de tamaños (barras) y tamaño medio (círculos rojos) anual de jurel en los desembarques de las macrozonas norte (panel superior) y centro-sur (panel inferior). La línea punteada corresponde a la talla media de madurez de 23 cm de longitud horquilla. Tomado de Aranís et al. (2015).

La situación general del stock de jurel es de progresivo deterioro, tal y como lo revelan las evaluaciones acústicas anuales de su biomasa dentro y fuera de la ZEE de Chile (Fig. 3), sin que existan evidentes signos de recuperación del stock (Fig. 4), aunque el Comité Científico de la Organización Regional de Pesca (CT-ORP) considera que la situación en la pesquería del Pacífico es más optimista, ya que en los últimos años ha mostrando signos de recuperación gracias a la gestión internacional basada en la ciencia (<http://www.sprfmo.int/new-meetingpage-News/current-news/how-smart-science-stopped-a-pacific-fisherys-collapse/>). Para el 2017 en Chile se reportó un aumento del 25% en los desembarques con respecto al 2016 (Córdova et al., 2018).

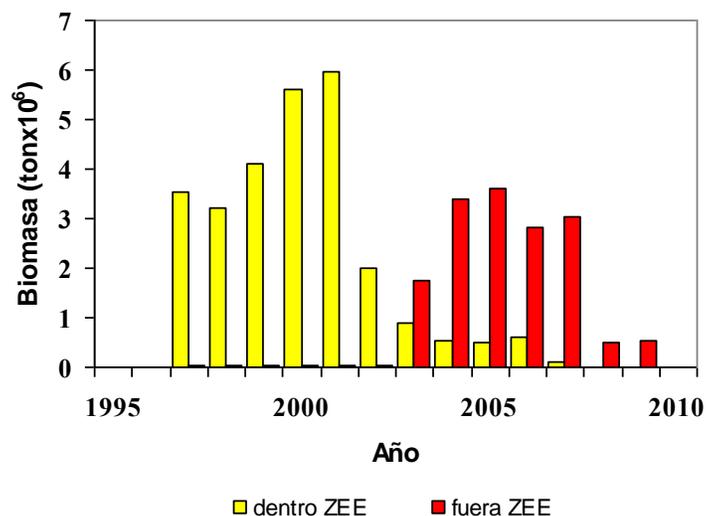


Figura 3. Biomasa acústica de jurel dentro y fuera de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Chile durante varios años (elaboración propia a partir de informes de evaluaciones acústicas de jurel efectuadas por el Instituto de Fomento Pesquero).

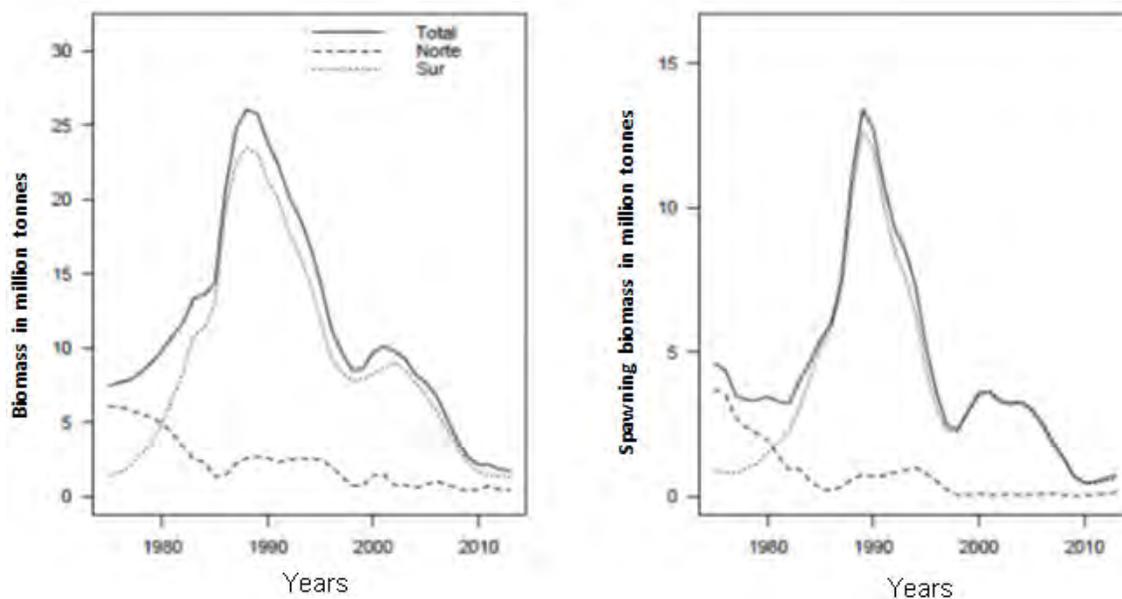


Figura 4. Biomasa total (izquierda) y biomasa desovante (derecha) del stock de jurel (*T. murphyi*) por zona geográfica (Norte: al norte de 30°S; Sur: al sur de 30°S). Período: 1975 a 2013. Tomado de: Arancibia & van der Meer (2014).

2.2. Alimentación de jurel

El jurel es considerado predador oportunista de ambientes neríticos y oceánicos con amplio rango en el tipo de presas, desde macrozooplancton hasta peces mesopelágicos (Medina & Arancibia 2002; Bertrand et al. 2004; Alegre *et al.* 2015). La alimentación del jurel descrita para Chile y Perú se refiere principalmente a crustáceos planctónicos (eufáusidos y copépodos, principalmente), más peces linterna, sardina (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*). En general, los eufáusidos son el principal ítem alimentario del jurel (>70% en peso; Angel & Ojeda 2001; Medina & Arancibia 2002; Antezana 2010; Orrego & Mendo 2015). Por otro lado, Alegre *et al.* (2013) y Alegre *et al.* (2015), en un análisis trófico de ejemplares de jurel de 1977 a 2013 capturados frente a la costa de Perú, identifican dos escenarios, a saber: de 1977 a 2000, cuando dominaron los eufáusidos, y posterior al año 2000, cuando se presentó mayor diversidad trófica y mayor aporte de peces mesopelágicos. En relación a la madurez del jurel, Arcos *et al.* (2001) señalan que se alcanza entre 2 y 3 años de edad (de 23 a 27 cm de longitud horquilla, respectivamente) con la más amplia zona de desove entre 35° y 40°S. Sin embargo, se ha reportado diferentes tallas medias de madurez de jurel, a saber: 36-38 cm de longitud horquilla (Kaiser 1973), 39 cm (Andrianov 1985), 21.6 cm (Alegria *et al.* 1995), 23.1 cm para hembras de jurel del norte de Chile y 25.4 cm en la zona centro-sur (Oliva, 2004), 25.5 cm (Cubillos & Alarcón, 2010), 30 cm (Gerlotto *et al.*, 2012) y entre 20 y 25 cm (Leal et al., 2013). Para ejemplares hembras de jurel capturadas frente a Perú, Perea *et al.* (2013) informan que la talla media de madurez es 26.5 cm.

Como todo pez oceánico y migratorio, la estructura poblacional de *T. murphyi* incluye en su ciclo de vida un área de desove, un área donde se distribuyen larvas y juveniles, y un área de alimentación de adultos (Arcos *et al.* 2001; Gerlotto *et al.* 2012), migrando temporalmente entre las áreas para alimentación y desove de octubre a diciembre (Cubillos *et al.* 2008). Las larvas presentan alta densidad a 1.000 km de las costas de Chile, cuyo rango de tamaños ha sido resgitrado de 1,9 a 14,9 mm de longitud total. Vásquez *et al.* (2013) reportan que existe un incremento significativo de la edad de las larvas hacia la costa. En cuanto a la alimentación larval, no existen estudios para de *T. murphyi*. Sin embargo, para larvas del género *Trachurus*

se ha descrito que su alimentación está compuesta de zooplancton y copépodos (Young & Davis 1992; Šantić *et al.* 2013).

2.3. Análisis de la composición trófica, importancia científica y aplicación práctica

¿Por qué se debe analizar la composición trófica de un recurso pesquero como el jurel?, ¿qué importancia científica y aplicación práctica puede tener? Intuitivamente podríamos responder que estudios tróficos de peces nos conducen a ampliar el conocimiento ecológico, pero esta es una no-respuesta debido a que cualquier novedad es una “contribución al conocimiento” y ni la sociedad civil ni los representantes de grupos de interés ni los tomadores de decisiones podrían aceptar ese tipo de respuesta genérica en pleno Siglo XXI. Luego, una respuesta conjunta a ambas preguntas es que las investigaciones de la alimentación de peces recursos pesqueros, de la fauna acompañante y de sus presas permiten avanzar en la modelación ecotrófica multiespecífica, revitalizando la ecología trófica clásica, por un lado, y permitiendo la simulación de posibles trayectorias de la abundancia/biomasa de un stock de interés en particular, por el otro lado. Recordemos que en el Artículo 1° de la Ley N° 20.657, que modificó la Ley N° 18.892, se adopta el enfoque ecosistémico para la administración de pesquerías en Chile.

Con los análisis de estabilidad isotópica se puede estimar el consumo de alimento entre predadores y presas a través del balance de masas y flujos de materia en el ecosistema en estudio, evaluando el impacto de las pesquerías, si se las incluye como si fueran un predador más en dicho ecosistema, y comparar la remoción de biomasa de recursos pesqueros tanto por las pesquerías como de los predadores naturales, lo que debería permitir tomar mejores decisiones. Luego, a ese nivel de conocimiento científico aplicado, la toma de decisiones queda en el ámbito de las decisiones políticas menos especulativas. Dicho de otra manera, avanzar en la modelación ecotrófica multiespecífica (basada en la relación predador-presa) no debe ser motivo de excusa para dejar de tomar de decisiones en la administración de pesquerías. Actualmente este tipo de enfoque se denomina “manejo pesquero basado en el

ecosistema” (EAF, ecosystem-based approach to fisheries management) y un insumo fundamental es la estimación del consumo de las presas, para lo que se requiere estimar la tasa de evacuación gástrica individual especie-específica, siendo las principales vías complementarias el análisis clásico del contenido estomacal y, más actualmente, el análisis de isótopos de las presas. Este último permite cuantificar el nitrógeno, con lo que se puede inferir la posición trófica del predador y sus presas. Análogamente, con la cuantificación del carbono en los tejidos de predadores y presas se puede estimar sus componentes energéticos.

2.4. Justificación del estudio

El recurso jurel es especie objetivo de varias flotas que operan en el Océano Pacífico Sur Oriental, incluyendo flotas de Chile, Perú, Corea del Sur, China, Rusia y otros países con naves de bandera de conveniencia. Sin embargo, el stock de jurel en Chile se le calificó en condición de sobreexplotado hasta el 2016. Las causas no han sido consensuadas, aunque probablemente la sobrepesca juega un rol crucial. Pero, la falta de recuperación del stock desovante jurel, a pesar de cuotas anuales relativamente moderadas a bajas, supone, por ejemplo, que el ambiente podría influir en la abundancia y disponibilidad de sus presas (<https://www.sprfmo.int/meetings/ctc/5th-ctc-2018/>). Entonces, se intuye que la conducta trófica del jurel podría ser parte de las causas en el estado actual del stock. Luego, ¿sigue siendo el jurel un predador facultativo?; ¿presenta el jurel algún cambio ontogenético evidentemente claro en su composición trófica? En caso que lo hubiere, ¿se asocia tal cambio a la madurez?

2.5. Referencias Bibliográficas

- Ashford J.R., La Mesa M., Fach B.A., Jones C., Everson I. 2010. Testing early life connectivity using otolith chemistry and particle-tracking simulations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 67 (2010), pp. 1303-1315
- Alegre, A., Espinoza, P., Espino, M., 2013. Ecología trófica del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú entre 1977–2011. *Revista Peruana de Biología* 20, 75–82.
- Alegre, A., Bertrand, A., Espino, M., Espinoza, P., Dioses, T., Ñiquen, M., Ménard, F. (2015). Diet diversity of jack and chub mackerels and ecosystem changes in the northern Humboldt Current system: a long-term study. *Progress in Oceanography*, 137, 299-313.
- Arancibia, H., L. Miranda, S. Núñez, G. Vásquez & E. Yáñez. 1995. Determinación de las relaciones tróficas del recurso jurel. En: H. Arancibia, L. Vilugrón y D. Arcos (eds.). Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona centrosur, V a IX Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 1994-19. Instituto de Investigación Pesquera Octava Región, Chile, 260 pp.
- Arancibia, H. and L. van der Meer. 2014. Stock assessment of Jack mackerel (*Trachurus murphyi*): a non-homogenous stock and changes in catchability. Talk in the 2nd Meeting of the Scientific Committee / South Pacific Regional Fisheries Management Organization (SP-RFMO), Honolulu (Hawaii), Oct. 1-7, 2014
- Aranis A., Gómez A., Caballero L., Ramirez M., Eisele G., González M., Cerna F., Valero C. López A., Machuca C., Espíndola F., Toledo C., Young Z., Mora S. 2015. Informe Final, Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur, 2014. Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 223 p + Anexos.
- Andrianov, D. P. 1985. Study on the reproduction of Peruvian scad, *Trachurus murphyi* (Carangidae), of the Peruvian shelf. *J. Ichthyol*, 25(2), 32-40.
- Angel A., Ojeda F.P. 2001. Structure and trophic organization of subtidal fish assemblages on the northern Chilean coast: the effect of habitat complexity. *Marine Ecology Progress Series*, 217, 81-91.
- Antezana, T. 2010. *Euphausia mucronata*: A keystone herbivore and prey of the Humboldt Current System. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 57(7), 652-662.
- Arcos D.A., Cubillos, L.A., Nuñez, S.P. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997–98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*. 49: 597 – 617.
- Canales C., Payá I., Ramirez M. 2017. Convenio de Desempeño 2016. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2017. Jurel, 2017. Subsecretaría de Economía y EMT. 91 p + anexos.

- Cárdenas L., Silva A., Magoulas A., Cabezas J., Poulin E., Ojeda P. 2009. Genetic population structure in the Chilean jack mackerel, *Trachurus murphyi* (Nichols) across the South-eastern Pacific Ocean. *Fisheries research*. 100(2), 109-115.
- Cisterna Lilian, Arancibia Hugo. 2017. Age of Jack mackerel *Trachurus murphyi* (Carangidae) using daily growth rings in sagittae otoliths. *Gayana (Concepc.)*; 81(1):28-31. [dx.doi.org/10.4067/S0717-65382017000100028](https://doi.org/10.4067/S0717-65382017000100028).
- Córdova J., Catasti V., Leiva B., Valero C., Nuñez S., Vasquez S., Luna R., Salas C., Angulo J., Valenzuela V., Osorio F., Saavedra JC., Medina M., Albornoz M., Leiva B. 2018. Evaluación hidroacústica de jurel en la zona centro sur, año 2017. Convenio de Desempeño 2017. Informe Final. Convenio de Desempeño 2017 – IFOP/ Subsecretaría de Economía y EMT. 98 pág. + Anexos.
- Cubillos L.A., Paramo J., Ruiz P., Nuñez S., Sepúlveda A. 2008. The spatial structure of the oceanic spawning of jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off central Chile (1998–2001). *Fisheries Research*, 90: 261 - 270.
- Cubillos L., Alarcón C. 2010. Estimación de la talla media de madurez sexual en *Trachurus murphyi* mediante parámetros del consumo relativo de oxígeno. *Latin american journal of aquatic research*, 38(2), 178-187.
- Gerlotto F., Gutiérrez M., Bertrand A. 2012. Insight on population structure of the Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*). *Aquatic Living Resources* 25, 341–355.
- Kaiser C.E. 1973. Age and growth of the horse mackerel *Trachurus murphyi* of Chile. *Trans. Am. Fish. Soc.* 102(3):591-595.
- Bertrand A., Barbieri MA., Córdova J., Hernández C., Gómez F., Leiva F. 2004. Diel vertical behaviour, predator-prey relationships, and occupation of space by jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 1105e1112 (2004). [doi:10.1016/j.icesjms.2004.06.010](https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.06.010)
- Bertrand A., Barbieri M. A., Gerlotto F., Leiva F., Córdova J. 2006. Determinism and plasticity of fish schooling behaviour as exemplified by the South Pacific jack mackerel *Trachurus murphyi*. *Marine Ecology Progress Series*, 311, 145-156.
- Leal, E., Díaz, E., Saavedra-Nievas, J. C., & Claramunt, G. 2013. Ciclo reproductivo, longitud y edad de madurez de jurel *Trachurus murphyi*, en la costa de Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(3), 601-611.
- Li G., Zou Z. 2016. China's Annual Report Part I: Jack Mackerel Fishery 4th Meeting of the Scientific Committee The Hague, Kingdom of the Netherlands 10 - 15 October 2016. SC-04-10. 14 p. Orrego, H., & Mendo, J. 2015. Hábitos alimenticios del jurel *Trachurus murphyi* (Nichols) en la zona nor-central del mar peruano. *Ecología Aplicada*, 14(2), 103-113.

- Naranjo L., Plaza F, Yáñez E., Barbieri M, y Sánchez F. 2015. Forecasting of Jack mackerel landings (*Trachurus murphyi*) in central-southern Chile through neural networks. *Fisheries Oceanography*, 24:3 219-228.
- Ñiquen M., Bouchon M., Ulloa D., Medina A. 2013. Análisis de la pesquería del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú. *Rev. Peru Biol.* 20(1):97-106. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332013000100014&lng=es.
- Parada C., Yannicelli B., Hormazábal S., Vásquez S., Porobić J., Ernst B., Gatica C., Arteaga M., Montecinos A., Núñez S., Gretchina A. 2013. Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. *Latin american journal of aquatic research*, 41(1), 1-28. <https://dx.doi.org/103856/vol41-issue1-fulltext-1>
- Perea A., J. Mori, B. Buitrón & J. Sánchez. 2013. Aspectos reproductivos del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú. En: Csirke J., R. Guevara-Carrasco & M. Espino (Eds.). *Ecología, pesquería y conservación del jurel (Trachurus murphyi) en el Perú*. *Rev. Peru. Biol.* Número especial 20(1): 029- 034
- Šantić M., Rađa B., Pallaoro A. 2013. Diet of juveniles Mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* and horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Carangidae), from the eastern central Adriatic. *Cah. Biol. Mar.*, 54, 41-48.
- Vásquez S. 2012. Modelación de la historia de vida temprana del jurel (*Trachurus murphyi*) en el Pacífico suroriental: influencia de factores biofísicos en la conectividad de zonas de desove-crianza. Tesis de Magister en Pesquerías. Universidad de Concepción, Concepción, 144 pp.
- Young J.W., Davis T.L.O. 1992. Feeding ecology and interannual variations in diet of larval jack mackerel, *Trachurus declivis* (Pisces: Carangidae), from coastal waters of eastern Tasmania. *Marine Biology*, 113(1), 11-20.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Determinar los componentes trofodinámicos del jurel en las zonas costeras y oceánicas en Chile (XV – II Regiones y V-X Regiones)

3.2. Objetivos Específicos

- 3.2.1. Revisar la bibliografía histórica y actual de alimentación del jurel y confeccionar un dossier, incluyendo la revisión bibliográfica de la aplicación de la estabilidad isotópica en ecología trófica.
- 3.2.2. Recopilar información científica geo-referenciada de proyectos de investigación realizados por el estado, respecto de ítems alimentarios de jurel en los últimos 10 años.
- 3.2.3. Determinar y cuantificar, a través del análisis del contenido estomacal, los principales ítems alimentarios de individuos de jurel por grupos de tamaño disponibles desde las capturas comerciales (de preferencia juveniles y adultos), tanto espacial como temporalmente.
- 3.2.4. Determinar, a través de la técnica de isótopos estables, la contribución de los principales ítems alimentarios de juveniles y adultos de jurel, y probar si existen diferencias intra-específicas (ontogenéticas).
- 3.2.5. Estimar mediante métodos indirectos las tasas de consumo de alimento y de excreción en jurel.
- 3.2.6. Determinar los componentes energéticos en la dinámica trófica de individuos de jurel y analizar el factor de condición nutricional de individuos analizados.

4. Metodología de trabajo

4.1. Objetivo Específico 1

Revisar la bibliografía histórica y actual de alimentación del jurel *Trachurus Murphyi* y confeccionar un dossier, incluyendo la revisión bibliográfica de la aplicación de la estabilidad isotópica en ecología trófica.

Resumen

Se recopiló antecedentes bibliográficos de la alimentación de jurel y la aplicación de la estabilidad isotópica en ecología trófica de este recurso pesquero a nivel nacional e internacional. Se encontró que en Chile existe información no publicada (literatura gris) con reportes de la dieta del jurel que data desde los años 1990's, la que, sin embargo, está disgregada, es muy local y discontinua. No existen estudios previos con la aplicación de isotopos estables, lo que es muy reciente. Se elaboró un dossier bibliográfico electrónico con la bibliografía encontrada, la que se identificó por tema y ubicación, categorizándola con el Método del Semáforo. Los trabajos publicados de jurel en revistas científicas indexadas, en temas de interés del presente proyecto, son escasos.

4.1.1. Antecedentes

El recurso jurel (*Trachurus murphyi*) es un pez pelágico de tamaño mediano que se distribuye ampliamente en el océano Pacífico suroriental, habitando desde las costas de Chile y Perú hasta más al oeste de 1.000 mn frente a Chile centro-sur. Una fracción de este stock alcanza las aguas de Nueva Zelanda y Tasmania (Cárdenas *et al.*, 2009, Gerlotto *et al.*, 2012). De acuerdo a antecedentes biológico-pesqueros, el jurel muestra un fuerte patrón migratorio relacionado a procesos de alimentación y reproducción, con migración hacia la zona oceánica durante primavera, donde se desarrolla el desove, y migración hacia la costa durante otoño

relacionada con mayor disponibilidad de alimento en el sector costero (Quiñones *et al.* 1997, Arcos *et al.*, 2001, Cubillos *et al.*, 2008).

El jurel ha sido definido como depredador del zooplancton y de peces pelágicos tales como *Engraulis ringens*, *Vinciguerria lucetia* y peces de la Familia Myctophidae (Alegre *et al.* 2013; Alegre *et al.* 2015; Orrego y Mendo, 2015) y salmónidos juveniles, aunque escasamente (Emmett & Krutzikowsky, 2008). También el jurel ha sido definido como predador facultativo en el ecosistema pelágico de Perú (Konchina, 1980; Konchina, 1983) debido a su naturaleza migratoria, accediendo a ambientes neríticos y oceánicos para alimentarse (Medina & Arancibia, 1992; Medina & Arancibia, 2002). Además, se precisa la afinidad de esta especie con cierta selectividad en su dieta (crustáceos y/o peces) de acuerdo con su tamaño y distribución oceánica o costera (Emmett & Krutzikowsky, 2008; Córdova *et al.* 2012a; Santa Cruz *et al.*, 2013; Cruz *et al.*, 2016ab; IFOP, 2016c)

Estudios de series de tiempo en Perú de la dieta del jurel (Alegre *et al.*, 2013; Alegre *et al.*, 2015), desde 1977 hasta 2013, reflejan dos tipos de escenarios temporales, a saber: uno desde 1977 hasta el 2000, y el otro posterior al año 2000. El primer escenario corresponde a condiciones cálidas, caracterizadas por la dominancia de eufáusidos en la alimentación de jurel; y el segundo escenario corresponde a condiciones frías, con la alimentación del jurel más diversa. En este último las presas dominantes en Perú fueron *Pleuroncodes monodon* y eufáusidos. Orrego y Mendo (2015) indican que de 1995 a 1997 predominaron los crustáceos (60% del peso del contenido estomacal de jurel), correspondiendo casi todo ese taxón a *Euphausia mucronata*, seguido por peces teleósteos (39%). Alegre *et al.* (2013) revisaron la composición de la dieta en los estómagos colectados a lo largo de la costa peruana entre 1973 y 2013, revelando cambios ontogénicos en la alimentación del jurel. En efecto, en los ejemplares de jurel <21 cm de longitud horquilla predominaron los copépodos (34%), en tallas entre 21 y 50 cm predominaron los eufáusidos (27%) y en los ejemplares de jurel de tamaño ≥ 51 cm predominaron peces mesopelágicos (15,8%) y otros (Teleóstos, 16,9% y moluscos, 10,8%).

En Chile se cuenta con un estudio realizado por Santa Cruz et al. (2013) de alimentación de jurel (período: 1995 a 2011, quienes analizaron más de 11 mil estómagos de jurel con contenidos, los que se obtuvo del desembarque de la flota cerquera industrial que operó en Chile centro-sur de 33°S a 42°S). Para las zonas oceánica y costera se encontró dominancia de eufáusidos (>80% en peso), aunque se presentó dos eventos de presencia importante de copépodos, en 1998 y 2008. En la zona oceánica fue alrededor del 80% hasta el 2008, luego aparece en la dieta del jurel una contribución importante salpas y ostrácodos, los ostrácodos son importantes durante el 2010 y 2011. Santa Cruz et al. (2013) señalan que el jurel presenta un cambio ontogenético trófico en 28 cm de longitud horquilla. En efecto, ejemplares de jurel de tamaño <28 cm se alimentan principalmente de copépodos (30% en peso), eufáusidos y otros (salpas, ostrácodos y mictófidis), en tallas sobre 28 cm los ejemplares de jurel se alimentan de eufáusidos (>80% en peso).

Para el norte de Chile las principales presas en la alimentación de jurel la constituyen eufáusidos (31,4% en peso), peces pelágicos (*E. ringens* con 22,6% en peso) y mesopelágicos (*Vinciguerria sp.*, y mictófidis con 29% en peso) (Medina y Arancibia, 2002). En términos de ocupación espacial, el comportamiento de jurel es más agregado durante la noche que durante el día debido al comportamiento que presentan sus presas. En efecto, en el día los ejemplares de jurel se distribuyen a una profundidad media de 199 m, aprox., donde hay pocas presas, mientras que durante la noche ocurren correlaciones positivas entre la distribución de jurel y sus presas, encontrándose ambos a poca profundidad (Bertrand *et al.* 2006) en la capa de reflexión profunda, entre 20 y 50 m, principalmente (Dr. Hugo Arancibia, comunicación personal).

En los estudios tróficos una de las técnicas ampliamente utilizadas es el análisis de contenido estomacal, la que puede arrojar resultados sesgados para aquellas especies de predadores oportunistas, requiriéndose alto número de estómagos en los muestreos para obtener una visión general de la dieta del predador (López et al. 2013). Rumulo et al. (2014) examinaron y compararon la ecología trófica de pequeños pelágicos (*Trachurus trachurus*) a través de isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$), encontrando que la dieta de esa

especie varía dependiendo del recurso alimentario disponible, adoptando diferentes estrategias de alimentación en función de las diferencias geográficas y batimétricas.

4.1.2. Revisión Bibliográfica

Para la recopilación de antecedentes bibliográficos de investigaciones históricas y actuales, relacionadas con aspectos tróficos de jurel, se consultó la biblioteca de la Universidad de Concepción, más información disponible generada en el marco de proyectos del Fondo de Investigación Pesquera (FIPA), del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y del Instituto de Investigación Pesquera Octava Región (INPESCA) (Tabla 1). Además, se revisó la website de SPRFMO (South Pacific Regional Fisheries Management Organisation, <http://www.sprfmo.int/>) y se realizó una extensa búsqueda en documentos científicos a través de R^G (Research Gate; <https://www.researchgate.net/>), ASFA (Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts; <http://proquest.libguides.com/asfa>), Springer Link (<https://link.springer.com/>), Oceanic Abstracts (<https://search.proquest.com/oceanic/index>), Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>) y Scholar Google (<https://scholar.google.cl/>).

Tabla 1. Proyectos que incluyen resultados de alimentación de jurel

Código	Proyecto
FIP 1993-01	Evaluación directa del stock de sardina española, anchoveta y jurel (I a IV Regiones)
FIP 1993-02	Evaluación directa del stock de jurel en la zona centro-sur
FIP 1993-15	Monitoreo hidroacústico y oceanográfico de los recursos pelágicos en la I y II Regiones
FIP 1993-17	Estudio biológico-pesquero sobre el recurso jurel en la zona norte (I y II Regiones)
FIP 1993-18	Estudio biológico-pesquero del recurso jurel en la zona centro-sur (V a IX Regiones)
FIP 1993-22	Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca de las unidades de pesquería de jurel de la zona centro-sur y norte
FIP 1994-12	Evaluación hidroacústica del stock de jurel en la zona centro-sur, V a IX Regiones
FIP 1994-17	Estudio biológico pesquero del recurso jurel en la zona norte (Regiones I y II) Fase II
FIP 1994-19	Unidades de stock en el recurso jurel de la I a la XI Regiones
FIP 1995-07	Evaluación hidroacústica del recurso jurel en la zona centro-sur (Fase crucero metodológico)
FIP 1995-09	Evaluación del stock de jurel a nivel subregional
FIP 1995-10	Validación de los métodos aplicados en la estimación de edad y crecimiento, y determinación de la mortalidad en jurel en la zona centro-sur
FIP 1995-12	Evaluación bioeconómica de la pesquería industrial de jurel en la zona centro-sur. Fase I
FIP 1996-03	Análisis de la dinámica del patrón de explotación de la flota cerquera en la zona norte y su relación con el medio ambiente
FIP 1996-13	Evaluación hidroacústica del recurso jurel en las regiones V a IX
FIP 1996-15	Migración de jurel desde y hacia la ZEE de Chile central
FIP 1996-16	Bases biológicas para prevenir la sobre explotación en el recurso jurel
FIP 1996-18	Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca en la pesquería pelágica de jurel en la zona centro-sur (V a IX Regiones)
FIP 1997-05B	Análisis de la estructura del stock de jurel fuera de las aguas jurisdiccionales
FIP 1997-06	Dinámica espacial y temporal de las zonas de pesca del jurel en Chile centro-sur y su relación con procesos ambientales
FIP 1998-01	Monitoreo de las capturas de jurel en la zona centro-sur
FIP 1998-11	Evaluación hidroacústica del recurso jurel en la ZEE de Chile
FIP 1999-02	Monitoreo de las capturas de jurel, 1999
FIP 1999-03	Evaluación acústica del recurso jurel en la ZEE de Chile
FIP 1999-14	Condiciones biológicas del jurel en alta mar
FIP 2000-02	Monitoreo de las capturas de jurel, año 2000
FIP 2000-03	Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE de Chile, año 2000
FIP 2000-10	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2000
FIP 2001-01	Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2001
FIP 2001-02	Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE, marzo 2001
FIP 2001-12	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2001
FIP 2002-02	Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE, año 2002
FIP 2002-12	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2002
FIP 2003-01	Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones , año 2003
FIP 2003-02	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2003
FIP 2004-06	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, invierno año 2004
FIP 2004-33	Condición biológica del jurel en alta mar, año 2004

Código	Proyecto
FIP 2005-11	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2005
FIP 2006-02	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Región, verano, año 2006
FIP 2006-05	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2006
FIP 2006-08	Evaluación hidroacústica de jurel en la región oceánica, de la I y II Regiones
FIP 2007-07	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2007
FIP 2007-08	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2007
FIP 2007-09	Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones, año 2007
FIP 2007-23	Revisión de metodologías de evaluación del jurel a nivel subregional
FIP 2007-27	Estudio de migración de jurel en Chile, fase 1, año 2007
FIP 2008-05	Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2008
FIP 2008-06	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2008
FIP 2008-07	Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones, año 2008
FIP 2008-21	Monitoreo de condiciones bio-oceanográficas entre la I y IV Regiones, año 2008
FIP 2009-05	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2009
FIP 2009-07	Evaluación hidroacústica de jurel en la XV, I y II Regiones, año 2009
FIP 2009-38	Monitoreo de condiciones bio-oceanográficas entre la XV y IV Regiones
FIP 2010-18	Estructura poblacional de jurel
FIP 2011-05	Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2011
FIP 2011-06	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2011
FIP 2012-01	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2012
FIP 2012-03	Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2012
FIP 2013-08	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2013
FIP 2013-31	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2013
FIP 2014-25	Identificación, caracterización y vulnerabilidad al cambio climático de hábitat esenciales asociados a recursos hidrobiológicos de importancia económica en Chile
FIP 2014-32	Protocolo de lectura de otolitos de jurel
FIP 2014-33	Estructura poblacional y estimación de índices de reclutamiento de jurel basados en modelos biofísicos (Fase I)
IFOP	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y IV Regiones
IFOP	Evaluación Hidroacústica de Jurel entre la V y X Regiones, 2015.
IFOP	Evaluación Hidroacústica de Jurel entre la XV y IV Regiones, 2015.
IFOP	Evaluación Hidroacústica de Jurel entre la XV y V Regiones, Año 2016
FIPA 2017-61	Validación de la formación de los anillos de crecimiento diario de jurel
FIPA 2017-62	Dinámica poblacional de juveniles y adultos de jurel basada en modelación biofísica

Con la información colectada se elaboró un dossier bibliográfico de publicaciones relacionadas sólo con el ítem alimentación o condición trófica del jurel, debido a que los otros temas publicados se apartaban de los objetivos específicos del proyecto. Por lo tanto, se realizó una síntesis comentando sólo el tópico de alimentación, *sensu lato*. Se construyó una matriz del conocimiento, identificándose y valorando cualitativamente la información

publicada para lo que se aplicó el Método del Semáforo (Halliday et al. 2001). Para la categorización de la información recopilada se valoró cada publicación basado en su aporte al cumplimiento del objetivo general de este proyecto. Por lo tanto, los colores de semáforo utilizados en este proyecto son asignados atendiendo el contenido de la publicación. En la Tabla 2 se lista la información publicada de *T. murphyi* en Chile y otros países, ordenada por tema, ubicación y categorización. La categorización es representada por colores (rojo indica aporte incompleto; amarillo indica aporte regular; verde indica aporte significativo). El resultado es que la información disponible de alimentación y aspectos tróficos del jurel es escasa e incompleta con muy pocos trabajos publicados. Sin embargo, se resalta los trabajos desarrollados en Perú por IMARPE con publicaciones que involucran series de datos continuos desde 1973 hasta 2014, y la identificación de los taxa de presas es hasta nivel de especies, mayoritariamente, con pocos casos hasta género. Además, existe una publicación especial de 2013 con artículos de la ecología, pesquería y conservación del jurel en Perú (Circe et al., 2013).

Para la creación del dossier se organizó las referencias alfabéticamente por autor, seguidas de año, título, revista y tipo de referencia. Para ordenar el material se consultó a través del software de base de datos bibliográficos ENDNOTE, el que se incorporó al Sistema de Información de soporte del proyecto. En resumen, se generó un dossier electrónico con el material bibliográfico seleccionado, el que está disponible como primer resultado esperado de este proyecto (Anexo 1. Dossier Bibliográfico en disco compacto).

Tabla 2. Tabla de categorización de las publicaciones para *Trachurus murpyi* y género *Trachurus*. Los colores indican: rojo, aporte incompleto; amarillo, aporte regular y verde, aporte significativo al objetivo general del proyecto.

Referencia	Tema	Tópico/Ubicación	Observación	Categorización
Álvarez L, 2006.	Distribución vs. Ambiente.	Comportamiento poblacional/Chile centro sur.		
Arcos A., Cubillos L., Núñez S. 2001.	Pesquería	Análisis pesquería vs. El Niño / Chile.	Se indica que la dieta del jurel es afectada por El Niño 97-98. Es antiguo.	
Cárdenas et al., 2009.	Estructura poblacional	Genética/ Chile.		
Cubillos & Alarcón, 2010.	Historia de vida	Estimación y comparación de talla media madurez sexual / Chile-Perú.		
Cubillos et al., 2008	Distribución y desove	Análisis distribución espacial / Chile central	Se acota a la región central y oceánica de Chile.	
Parada et al., 2013.	Pesquería y Ambiente	Variabilidad ambiental vs. Distribución recursos pesqueros /Chile.		
Taylor, 2002.	Stock y biología poblacional	Genética / Perú-Chile.	Hace revisión estudios de alimentación.	
Hückstädt & Antezana, 2007.	Distribución	Estrategia espacial vs. condiciones abióticas y bióticas del hábitat / Chile centro sur.	Los datos son de cruceros acústicos, años 1997, 1998 y 1999.	
Kasapoglu & Duzgunes, 2013.	Historia de vida	Crecimiento / Mar Negro (Europa).	Genero <i>Trachurus</i> .	
Konchina, 1980.	Ecología trófica	Alimentación y composición de la dieta de jurel / Perú.		
Konchina, 1983.	Ecología trófica	Alimentación y composición de la dieta de jurel / Perú.		
Alegre et al., 2015	Alimentación	Diversidad de la dieta / Perú.	La composición de la dieta no difiere entre eventos El Niño - La Niña (y 'Neutral').	
Alegre et al., 2013	Ecología trófica	Variabilidad espacio-temporal de la dieta / Perú.		

Referencia	Tema	Tópico/Ubicación	Observación	Categorización
Bailey K. 1989.	Alimentación, distribución	Predador del jurel / Zona de convergencia al este de Nueva.	Análisis de muestras de jurel encontrados en estómagos de albacora <i>Tunnus alalunga</i> .	
Beltrán et al., 2004	Distribución y ecología trófica.	Relación trófica predador-presa / Chile.		
Beltrán et al., 2006	Distribución y comportamiento vs. Alimentación	Relación trófica predador-presa / Chile centro sur.	Análisis de datos acústicos. Estudio local.	
Boecklen et al., 2011	Ecología trófica, isotopos estables	Meta-análisis de estudios con isotopos estables (2007–2009).	Compara con isotopos diferentes problemas ecológicos.	
Circe et al. 2013 (Editores)	Ecología, pesquería y conservación del jurel	Estudio general del jurel/Perú.	Número Especial dedicado al jurel	
Geist et al, 2015	Distribución y comportamiento alimentario	Ecología trófica y condición nutricional / Sistema Surgurgencia Norte Benguela.	Genero <i>Trachurus</i> .	
Emmett & Krutzikowaky. 2008	Alimentación, distribución	Predación sobre salmón juvenil, Columbia River / Washington and Oregón.		
Madiga et al., 2012.	Ecología trófica, isotopos estables	Análisis de isótopos estables, cadena trófica Wasp-Waist Food Ecosistema Pelágico de surgencia/Corriente de California.		
Medina & Arancibia, 2002.	Alimentación	El estudio es completo, se llega a especie o grupo especie/Chile norte.	Estudio local.	
Miller et al., 2010	Ecología trófica, isotopos estables	Estructura trófica de la red alimentaria pelágica/Norte de California.		
Miranda et al., 1998.	Alimentación	Alimentación y selectividad de la presa. Chile.	Datos de un crucero de invierno. Estudio estacional.	
Orrego & Mendo. 2015.	Ecología trófica	Hábitos alimentarios.		
Rumolo et al., 2014.	Ecología trófica, isotopos estables	Variación en la alimentación pequeños pelágicos/Mar Mediterráneo.	Genero <i>Trachurus</i> .	
Satic et al., 2003.	Ecología trófica	hábitos alimentarios, Mar Adriático central	Estudio local. Se especifica la especie.	
Taylor, 2002.	Stock y biología poblacional	Genética, hace revisión trabajos de alimentación.		

Referencia	Tema	Tópico/Ubicación	Observación	Categorización
Zhu et al., 2014.	Distribución	Estructura poblacional, manejo pesquero.	Análisis capturas comerciales de arrastreros chinos.	

4.1.2.1 Revisión de proyectos con financiamiento FIPA e IFOP

Los estudios de alimentación de jurel en Chile han sido realizados mediante la ejecución de proyectos con financiamiento del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA) y del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), de los cuales hay registros desde 1994 (Serra et al. 1994). La principal área de estudio comprende latitudinalmente desde 32°S hasta 38°S, y longitudinalmente desde 74°W hasta 92°W. El objetivo específico de alimentación en esos proyectos fue cuantificar la composición de los principales ítems alimentarios del jurel, aplicándose varios métodos (gravimétrico, numérico y de frecuencia de ocurrencia, propuestos por Hyslop (1980). También se ha determinado la similitud trófica del jurel (Córdova et al., 2001), ración diaria de alimento (RD) y relación consumo/biomasa (Q/B) (Córdova et al., 2000; Córdova et al., 2001; Córdova et al., 2002), el índice de selectividad de presas por tamaño (Córdova et al., 2001; Córdova et al., 2012ab; Córdova et al., 2016a; Córdova et al., 2016c) y otros.

- **Meta-análisis de la composición de los principales ítems en la dieta del jurel**

El análisis realizado al conjunto de datos históricos de la fracción en peso de la presa en los estómagos de individuos de jurel se presenta en la Fig. 5, evidenciándose la preferencia del jurel por crustáceos, principalmente eufáusidos (normalmente >70% en peso) y en menor cantidad los copépodos (<9%), peces linterna (>10%) y otros.

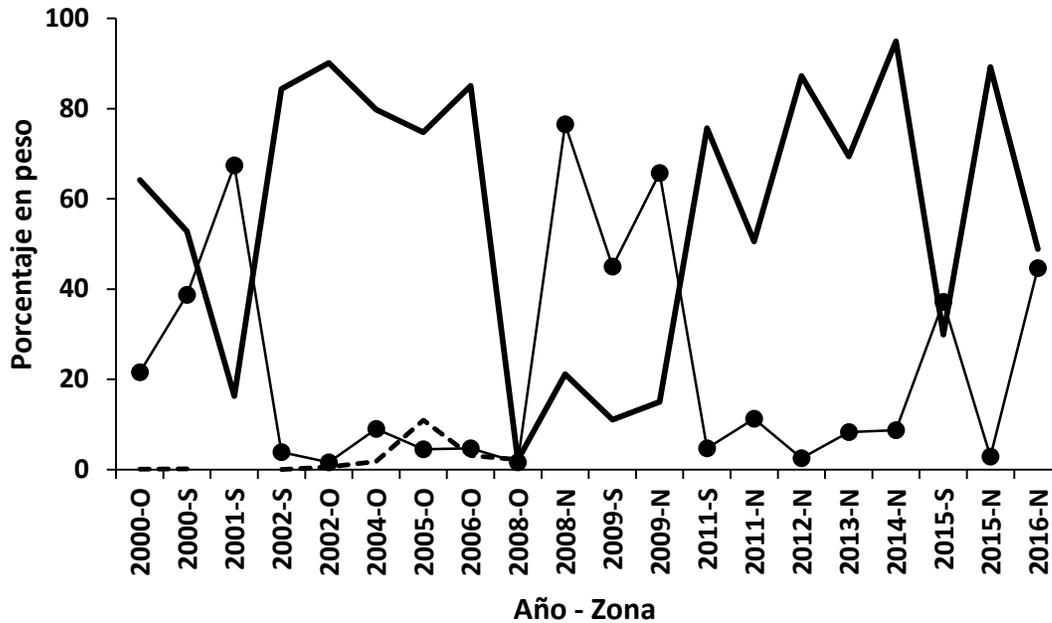


Figura 5. Aporte de las principales presas (porcentaje en peso) en el contenido estomacal de jurel por año y zona. Período: 2000 a 2016. Nomenclatura: línea continua = eufáusidos; línea con círculos = peces linterna; línea discontinua = salpas; N (zona norte), S (zona centro-sur), O (zona oceánica).

Para la zona norte existen estudios casi consecutivos en jurel para los últimos 10 años, incluyendo análisis del contenido estomacal, predominando los crustáceos, principalmente eufáusidos (>60% hasta 90% en peso en los años 2011 y 2015); los peces linterna aportaron con <20% en peso. Por el contrario, en los años 2008 y 2016 se incrementó el aporte de peces linterna en la alimentación de jurel (>50% en peso), disminuyendo los eufáusidos (Fig. 6).

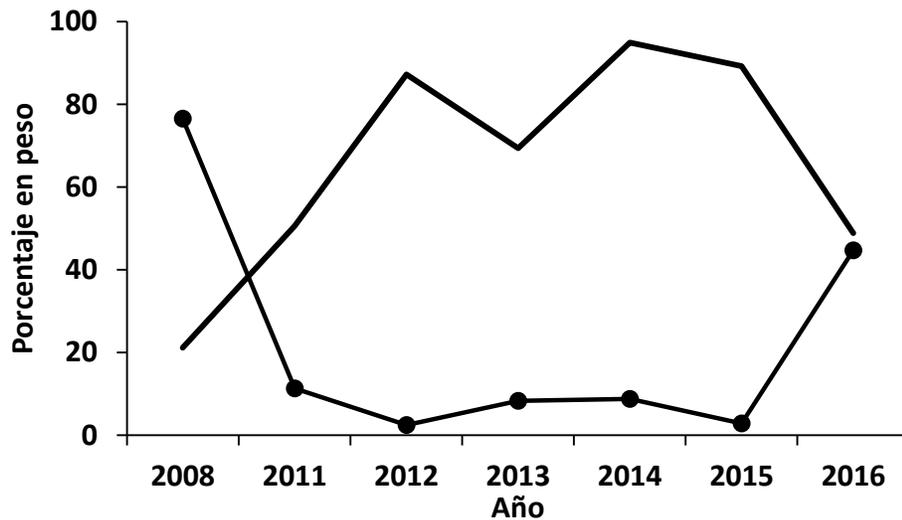
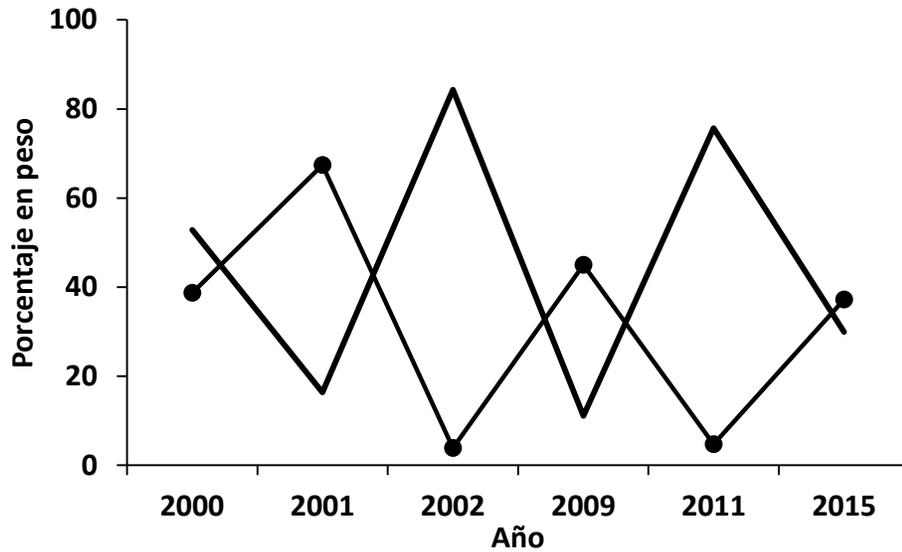
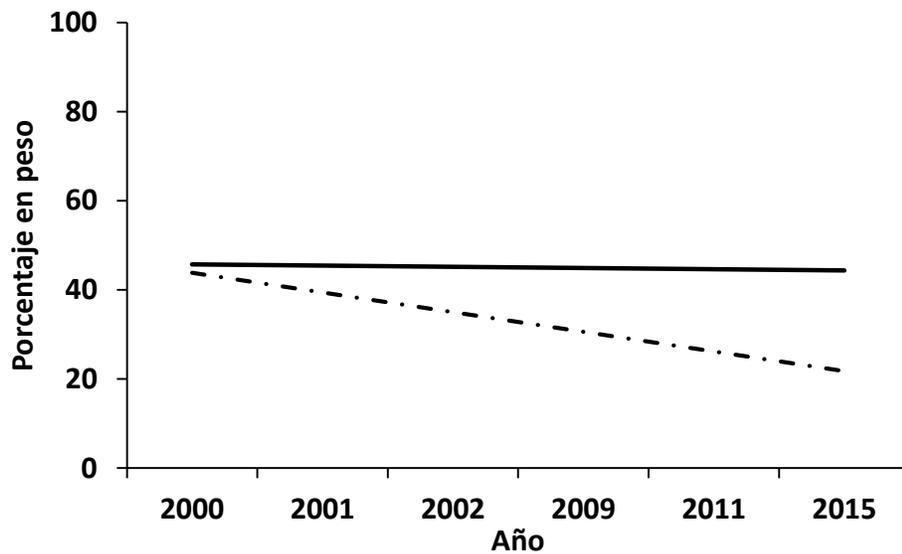


Figura 6. Aporte de las principales presas (porcentaje en peso) en el contenido estomacal de jurel en la zona norte de Chile. Período: 2008 a 2016. Nomenclatura: línea continua = eufáusidos; línea con círculos = peces linterna.

Para la zona centro sur los estudios de alimentación de jurel son irregulares, temporalmente, aunque se observa un comportamiento fluctuante y opuesto entre las principales presas como son los eufáusidos y los peces linterna (Fig. 7a). En efecto, los eufáusidos se presentan en el contenido estomacal de jurel con $>80\%$ en peso en los años 2002 y 2011, y los peces linterna alcanzan sus mínimos valores ($<20\%$ en peso), aunque ocurre lo contrario en 2001. Este comportamiento fluctuante muestra tendencia a la disminución de los porcentajes de las presas, siendo más notable en los peces linterna. (Fig. 7b). En el crucero de 2015 se presentó un incremento extraordinario en la fracción de copépodos en la alimentación de jurel (31% en peso), aunque en general su aporte en la dieta de jurel es $<5\%P$ durante todo el periodo analizado. Ese mismo año 2015 los ejemplares de jurel se presentaron tróficamente más estenófagos, con mayor aporte de copépodos, lo que es distinto a lo registrado en años previos tanto en la zona norte de Chile como en Perú (Córdova et al. 2016a).



(a)



(b)

Figura 7. (a) Aporte de las principales presas (porcentaje en peso) en el contenido estomacal de jurel en la zona centro-sur de Chile. Periodo: 2000 a 2015; (b) tendencia de los datos de 2000 a 2015. Nomenclatura en ambos casos: eufásidos = línea continua; peces linterna = línea con círculos (a), línea discontinua (b).

En cuanto a la zona oceánica, solo existe información entre los años 2000 y 2008. Allí los eufásidos constituyen siempre la mayor fracción en la alimentación de ejemplares de jurel

(>70% en peso) con los peces linterna como presa secundaria con aporte <20% (Fig. 8). Los mínimos valores en los eufáusidos como presas coinciden con los máximos valores en los peces linterna en la dieta del jurel y viceversa. Además, se encontró la presencia zooplancton gelatinoso, especialmente salpas. Otro aspecto que destaca para la zona oceánica es que en 2008 los eufáusidos fueron remplazados por los copépodos (>91% en peso) (Sepúlveda et al. 2009a, b).

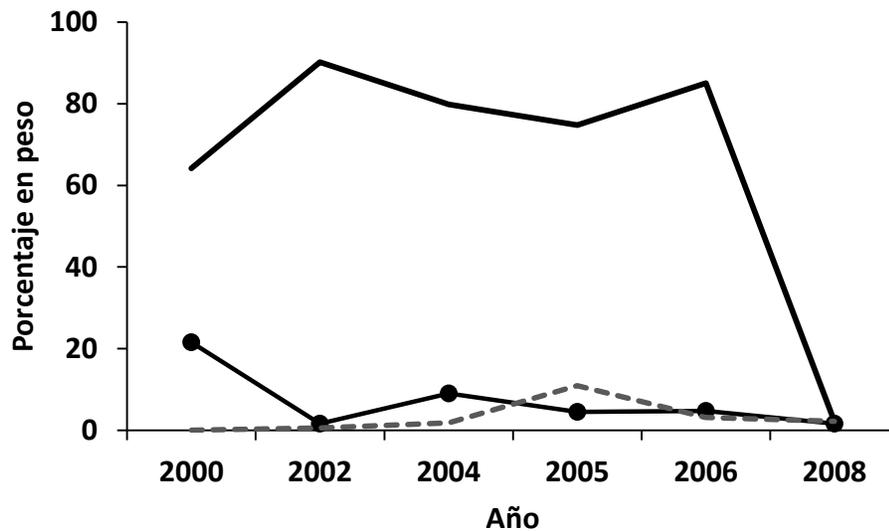


Figura 8. Aporte de las principales presas (porcentaje en peso) en el contenido estomacal de jurel en la zona oceánica. Período: 2008 a 2016. Nomenclatura: línea continua = eufáusidos; línea con círculos = peces linterna; línea discontinua = salpas.

- **Relación consumo/biomasa (Q/B)**

Probablemente el jurel está consumiendo en un año, en relación a su propio peso corporal, una cantidad de alimento en el rango entre 0,5 y 1 (Fig. 9 para peces linterna de 2008 a 2001 y eufáusidos en 2002), aunque puede haber sesgos en las estimaciones de Q/B de jurel cuando se alcanza valores muy bajos.

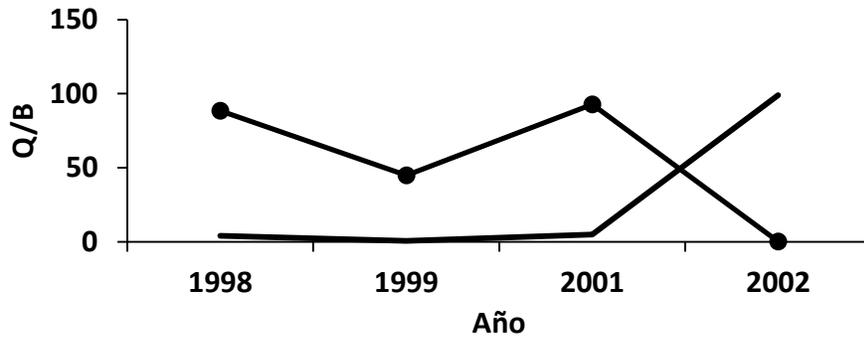


Figura 9. Razón consumo/biomasa (Q/B) de jurel. Período: 1998 a 2002. Nomenclatura: línea continua = eupáusidos; línea con círculos = peces linterna.

- **Similitud trófica por grupos de talla en jurel**

La similitud trófica de jurel en la zona centro-sur de Chile revela que los individuos de 25 a 35 cm de longitud horquilla predan principalmente mictófidis (peces linterna) y los individuos de talla >35 cm predan principalmente eupáusidos (Fig. 10; Córdova et al., 2001).

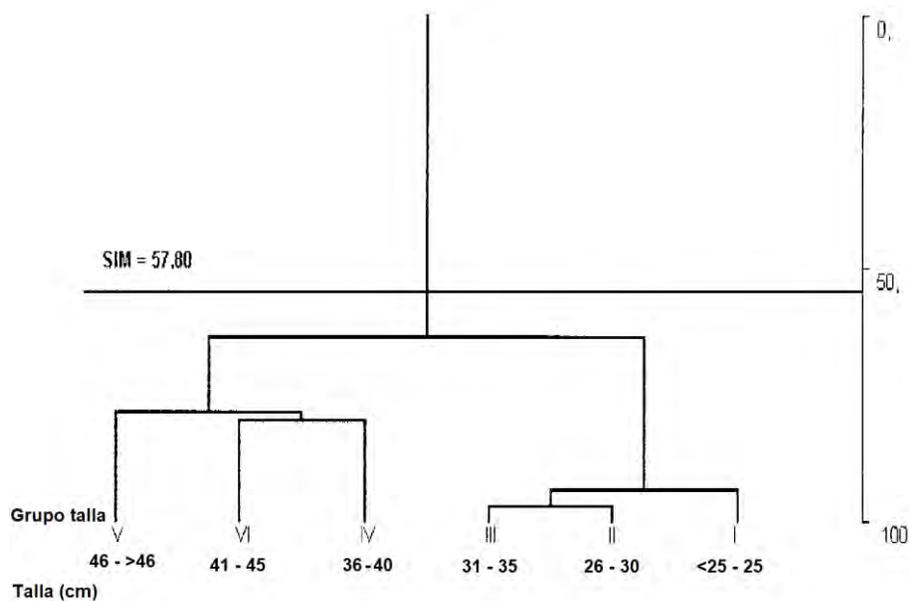


Figura 10. Similitud trófica de jurel en la zona centro-sur de Chile. Fuente: Córdova et al. (2001).

Para la zona oceánica frente de Chile centro-sur, Cubillos et al. (2002) informan que los eufáusidos son la presa principal en todo el espectro de tamaños de jurel, aunque aparecen mictóficos (peces linterna), cefalópodos y crustáceos pequeños, a partir de los 36 cm de longitud horquilla de este predador (Fig. 11).

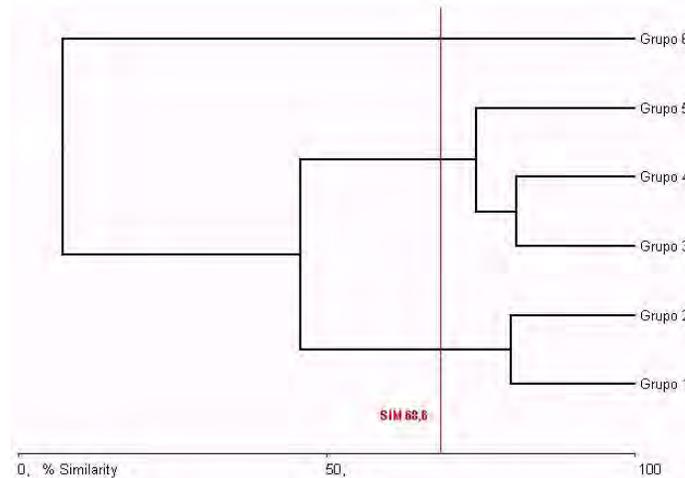


Figura 11. Similitud trófica de jurel en la zona oceánica frente a Chile centro-sur (tomado de Cubillos et al., 2002). Grupo 1=<25-25 cm; Grupo 2=26-30 cm; Grupo 3=31-35 cm; Grupo 4= 36-40 cm; Grupo 5=41-45 cm y Grupo 6= 46->46. Fuente: Cubillos et al. (2002).

Para la zona norte de Chile, Córdova et al. (2014) reportan que los eufáusidos son la presa principal de jurel en todo su espectro de tamaños, con los copépodos como taxón de presa secundario. Sin embargo, para el año 2015, Córdova et al. (2016c) informan la presencia de *Vinciguerria lucetia* y copépodos en ejemplares de jurel de 15 a 20 cm de longitud horquilla.

- **Índice de selectividad de presas por tamaño**

De acuerdo con Córdova et al. (2001), el jurel de tamaño >35 cm de longitud horquilla selecciona mayormente a peces linterna (mictófidos) y salpas (zooplancton gelatinoso), mientras que los individuos de 25 a 35 cm seleccionan primero eufáusidos. Además, en la zona costera

los individuos de jurel predan principalmente eufáusidos, cambiando a peces linterna (mictófidos) y zooplancton gelatinoso (salpas) en la zona oceánica (Córdova et al. 2016a).

4.1.2.2 Revisión de documentos de reuniones del South Pacific Regional Fisheries Management Organisation (SPRFMO, <http://www.sprfmo.int/>)

En su declaración de principios, la Organización Regional de Ordenación Pesquera del Pacífico Sur (SPRFMO) señala que es una organización intergubernamental comprometida con la conservación a largo plazo y el uso sostenible de los recursos pesqueros del Océano Pacífico Sur con el objeto de salvaguardar los ecosistemas marinos en los que se encuentran los recursos. El Convenio SPRFMO se aplica a la alta mar del Océano Pacífico Sur. Actualmente, los principales recursos comerciales que se pesca en el área de influencia de la SPRFMO son el jurel (*Trachurus murphyi*) y el calamar gigante (*Dodidicus gigas*) en el Océano Pacífico Sureste y, en mucho menor importancia, las especies de aguas profundas asociadas a los montes submarinos en el Océano Pacífico Sur Occidental. La Comisión cuenta con 15 miembros de Asia, Europa, América y Oceanía, y a aquella pertenece Chile. El SPRFMO realiza al año 2 a 3 talleres, donde cada país participante presenta un reporte anual de evaluación y estado de los recursos mencionados. El SPRFMO publica en su website los reportes y algunos papers y/o presentaciones de los temas de interés, tratados y discutidos en las reuniones. La revisión de dichos documentos permitió verificar que el tema alimentación de jurel ha sido prácticamente nula en los últimos 10 años, pues solamente se ha presentado dos trabajos, el de Zhang et al. (2008) que contiene resultados elementales desechables (índice de llenado del estómago en jureles); y el de IMARPE (2016), que consiste en una síntesis de los trabajos de Alegre et al. (2013) y Alegre et al. (2015). Los eufáusidos predominaron en la dieta de jurel frente a Perú hasta 1995-1997, aunque en 1996 comenzó a aparecer langostino colorado (Fig. 12), el que predomina en los últimos años de la serie. SubPesca (2016), en la misma reunión de la SPRFMO, no presentó resultados de la alimentación del jurel en Chile, como tampoco los otros países participantes tal como China (Li & Zou, 2016), Nueva Zelanda (Ministry for Primary Industries, 2016) y Australia (Hansen et al, 2016).

En la actualidad el tema alimentación de jurel no es primordial para la SPRFMO (<http://www.sprfmo.int/assets/2018-COMM6/00-Report-and-ANNEXES/COMM6-Report-Annex-3-SC-Workplan-2018>) (www.sprfmo.int/assets/SCW6-CJM-assessment/SCW6-Doc01-Provisional-Agenda).

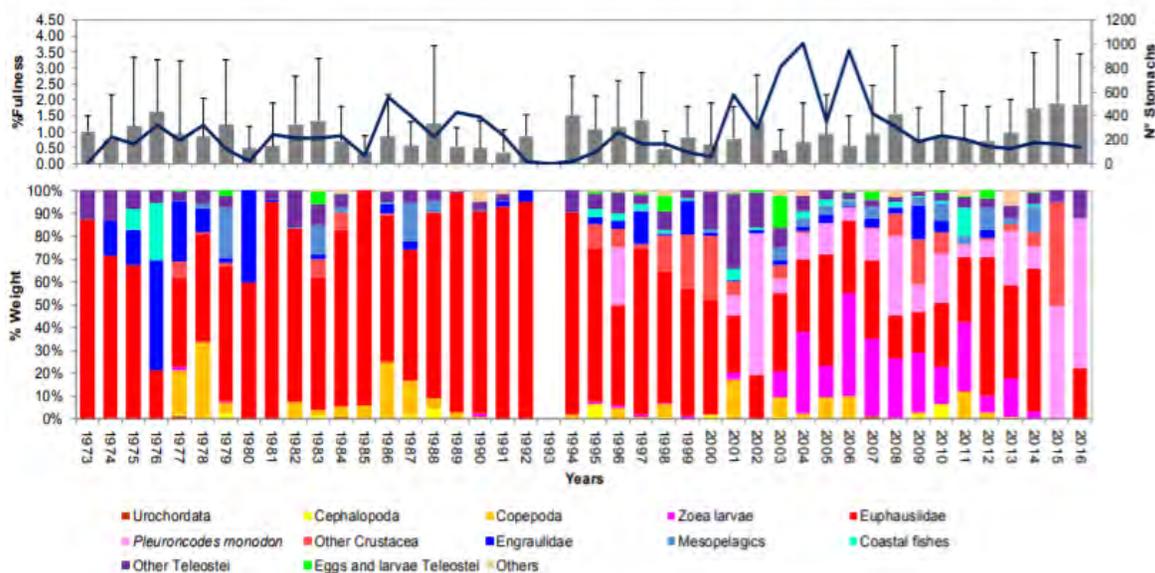


Figura 12. Índice de llenado estomacal (en%, barras grises; panel superior), tamaño de muestra (en número de estómagos, línea continua; panel superior) y fracción de presas (en porcentaje; barras verticales, panel inferior) en el contenido estomacal del jurel frente a Perú. Período: 1973 a 2016. Fuente: <http://www.sprfmo.int/assets/Meetings/>

4.1.3. Conclusión

La información de la alimentación de jurel en Chile es escasa y discontinua, sin publicaciones en revistas científicas indexadas de corriente principal con factor de impacto internacional.

4.1.4. Referencias Bibliográficas

- Alegre, A., Espinoza P. & Espino M. (2013). Ecología trófica del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú entre 1977–2011. *Revista Peruana de Biología* 20, 75–82.
- Alegre, A., Bertrand A., Espino M., Espinoza P., Dioses T., Ñiquen M. & Ménard F. (2015). Diet diversity of jack and chub mackerels and ecosystem changes in the northern Humboldt Current system: a long-term study. *Progress in Oceanography*, 137, 299-313.
- Álvarez, L. (2006). Descripción del comportamiento gregario del jurel (*Trachurus murphyi*) y su relación con el ambiente considerando el ciclo nictemeral, en la zona centro-sur de Chile en el año 2002. Tesis para optar al título de Ingeniero Pesquero, 49 p. + anexos.
- Arcos, D.A., Cubillos, L.A. & Nuñez, S.P. (2001). The Jack mackerel fishery and El Niño 1997–98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*, 49: 597 – 617.
- Bertrand, A., Barbieri MA., Córdova J., Hernández C., Gómez F. & Leiva F. (2004). Diel vertical behaviour, predator-prey relationships, and occupation of space by jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 1105e1112 (2004). doi:10.1016/j.icesjms.2004.06.010
- Bertrand, A., Barbieri M. A., Gerlotto F., Leiva F. & Córdova J. (2006). Determinism and plasticity of fish schooling behaviour as exemplified by the South Pacific jack mackerel *Trachurus murphyi*. *Marine Ecology Progress Series*, 311, 145-156.
- Bailey, K. (1989). Description and surface distribution of juvenile Peruvian jack mackerel, *Trachurus murphyi*, Nichols from the subtropical convergence zone of the central south pacific. *Fishery Bulletin, U.S.* 87:273-278.
- Boecklen, W., Yarnes C., Cook B. & James A. (2011). On the Use of Stable Isotopes in Trophic Ecology. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 42:411–40 doi:10.1146/annurev-ecolsys-102209-144726.
- Cárdenas, L., Silva A., Magoulas A., Cabezas J., Poulin E. & Ojeda P. (2009). Genetic population structure in the Chilean jack mackerel, *Trachurus murphyi* (Nichols) across the South-eastern Pacific Ocean. *Fisheries research*. 100(2), 109-115.
- Csirke, J., R. Guevara-Carrasco & M. Espino (Editores). (2013). Ecología, pesquería y conservación del jurel (*Trachurus murphyi*) en el Perú. *Revista Peruana de Biología*, número especial 20(1): 107 p. ISSN-L 1561-0837.
- Córdova, J., Barbieri MA., Miranda H., Espejo M., Rojas M., Núñez S., Catasti V., Valenzuela V., Braun M., Galindo G., Ortiz J., Miranda L., Cuevas C., Rebolledo H. (2000). Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE de Chile. Informe Final FIP-IT 99-03, 185 p. + Anexos.

- Córdova, J., Barbieri MA., Espejo M., Núñez S., Ortiz J., Catasti V., Valenzuela V., Braun M., Rebolledo H., Cubillos L., Galindo G. (2001). Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE de Chile, año 2000. Informe Final FIPA 2000-03. 193 p. + Anexos.
- Córdova, J., Barbieri MA., Espejo M., Núñez S., Ortiz J., Catasti V., Valenzuela V., Braun M., Torres P. 2002. Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE de Chile, año (2001). Informe Final FIPA 2001-02. 191 p. + Anexos.
- Córdova, J., Leiva F., Leiva B., Valdenegro A., Reyes H., Letelier J., Catasti V., Valenzuela V., Angulo J., Lang C., Rojas P. 2009. Evaluación hidroacústica de jurel en la I-II Regiones, año 2008. Informe Final Proyecto FIPA 2008-07, 152 p. + Anexos.
- Córdova, J., Lang C., Hernández C., Núñez S., Vásquez S., Correa M., Reyes H., Saavedra JC., Catasti V., Valenzuela V., Rojas P., Leiva B. 2010. Evaluación hidroacústica integral del recurso jurel en la V y X Regiones, año 2009. Informe Final FIPA 2009-05. 195 p + Anexos.
- Córdova, J., Leiva B., Catasti V., Reyes H., Pizarro M., Valenzuela V., Angulo J., Rojas P., Lang C. (2011). Evaluación hidroacústica de recurso jurel en la XV, I y II Regiones, año 2009. Informe Final Proyecto FIPA 2009-07, 151 p. + Anexos.
- Córdova, J., Leiva B., Catasti V., Bocic V., Núñez S., Vásquez S., Valenzuela V., Angulo J., Saavedra JC., Ossa L., Leiva F., Lang C. 2012a. Evaluación hidroacústica de recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2011. Informe Final Proyecto FIPA 2011-05, 170 p + Anexos.
- Córdova, J., Leiva B., Catasti V., Bocic V., Reyes H., Valenzuela V., Angulo J., Ossa L. (2012b). Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2011. Informe Final Proyecto FIPA 2011-06, 170 p. + Anexos.
- Córdova, J., Leiva B., Catasti V., Valero C., Cifuentes U., Reyes H., Rozas C., Valenzuela V., Angulo J., Saavedra J.C. Medina M., Legua J., Varas M. 2014. Convenio de desempeño (2014). Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y IV Regiones, año 2014 (Pesca de Investigación). Informe Final Proyecto FIPA, 119 p. + Anexos.
- Córdova, J., Leiva B., Catasti V., Valero C., Cifuentes U., Reyes H., Rozas C., Angulo J., Troncoso P., Saavedra J.C. Medina M., Jacque J., Galindo F., Lorca R., Iribarra E., Concha C. (2016a). Convenio de Desempeño 2015. Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y IV Regiones, año 2015. Informe Final, 126 p. + Anexos.
- Córdova, J., Leiva B., Catasti V., Valero C., Núñez S., Vásquez S., Luna R., Salas C., Díaz M., Landaeta M., Angulo J., Saavedra J.C. Medina M., Jacque J., Ramírez A., Vega M., Ibarra E., Concha C. (2016b). Convenio de Desempeño 2015. Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2015. Informe Final, 106 p. + Anexos.
- Córdova, J., Leiva., Valero C., Grendi C., Cifuentes U., Pizarro M., Angulo J., Valenzuela V., Osorio F., Saavedra J.C. Medina M., Jacque J., Albornoz M., Galindo F., Lorca R., Miles

- H., Irribarra E., Concha C. (2016c). Convenio de Desempeño 2016. Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y IV Regiones, año 2016. Informe Final, 103 p. + Anexos.
- Cubillos, L., Barbieri Ma. Oyarzún C. Gacitua S., Aedo G. (2002). Condición biológica del jurel en alta mar, año 2000. Informe Final Proyecto FIP 2000-10, 163 p.
- Cubillos, L.A., Paramo, J., Ruiz, P., Núñez, S., Sepúlveda, A. (2008). The spatial structure of the oceanic spawning of jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off central Chile (1998–2001). *Fisheries Research*, 90: 261-270.
- Cubillos, L., Alarcón C. (2010). Estimación de la talla media de madurez sexual en *Trachurus murphyi* mediante parámetros del consumo relativo de oxígeno. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 38(2): 178-187. DOI: 10.3856/vol38-issue2-fulltext-2
- Csirke, J., Guevara-Carrasco R., Espino M (Editores). 2013. Ecología, pesquería y conservación del jurel (*Trachurus murphyi*) en el Perú. Número especial, *Revista Peruana de Biología*, 20 (1): 124 p. ISSN-L 1561-0837.
- Emmett, R. & Krutzikowsky G. (2008). Nocturnal Feeding of Pacific Hake and Jack Mackerel off the Mouth of the Columbia River, 1998-2004: Implications for Juvenile Salmon Predation, *Transactions of the American Fisheries Society*, 137(3):657-676. dx.doi.org/10.1577/T06-058.1
- Halliday, RG., Fanning LP. & Mohn RK. (2001). Use of traffic light method in fishery management planning. Marine Fish Division, Science Branch, Scotia-Fundy Region, Department of Fisheries and Oceans, Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, NS, B2Y, 4A2, Canadian Science Advisory Secretariat, Research Document 2001/108. Available at: http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/Csas/DocREC/2001/RES2001_108e.pdf [accessed 20 September 2007].
- Hyslop, E. (1980). Stomach contents analysis – A review of methods and their application. *J. Fish. Biol.*, 17: 411-429.
- Geist, S., Kunzmann A., Verheye H. M., Eggert A., Schukat A. & Ekau W. (2015). Distribution Feeding behaviour, and condition of Cape horse mackerel early life stages, *Trachurus capensis*, under different environmental conditions in the northern Benguela upwelling ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 72(2), 543–557. doi:10.1093/icesjms/fsu087
- Gerlotto, F., Gutiérrez, M. & Bertrand, A., (2012). Insight on population structure of the Chilean Jack mackerel (*Trachurus murphyi*). *Aquatic Living Resources* 25, 341–355.
- Habit, E., González J., Ortiz-Sendoval J., Elgueta A. & Sobenes, C. (2015). Efectos de la invasión de salmónidos en Ríos y Lagos de Chile. *Ecosistemas* 24(1): 43-51. doi: 10.7818/ECOS.2015.24-1.08.
- Hansen, S., Georgeson L. & Hobsbawn P. (2016). Australia's National Report on 2015 fishing activities. South Pacific Regional Fisheries Management Organisation 4th Meeting of the

Scientific Committee, The Hague, Netherlands, 10 – 15 October 2016. SC-04-12_rev1, 14 p.

Hückstädt, L.A., Rojas C.P. & Antezana T. (2007). Stable isotope analysis reveals pelagic foraging by 347:123–133.

Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Ministerio de la Producción, Perú. South Pacific Regional Fisheries Management Organisation 4th Meeting of the Scientific Committee, The Hague, Netherlands, 10-15 October, 2016 (PDF: SC-04-09-Peru-Annual-Report-Part-II-SD2.pdf).

Kasapoglu, N. & Duzgunes E. (2013). The relationship between somatic growth and otolith dimensions of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) from the Black Sea. J. Appl. Ichthyol. 29:230–233. doi: 10.1111/jai.12019

Konchina, G.V. (1980). The Peruvian Jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, a facultative predator in the coastal upwelling ecosystem. J. Ichthyol., 20(5): 46-59.

Konchina, G.V. (1983). The feeding niche of the hake *Merluccius gayi* (Merlucciidae), and the Jack mackerel, *Trachurus symmetricus* (Carangidae) in the trophic system of the Peruvian coastal upwelling. J. Ichthyol., 23(2):87-98.

Li, G. & Zou Z. (2016). China's Annual Report Part I: Jack Mackerel Fishery 4th Meeting of the Scientific Committee The Hague, Kingdom of the Netherlands, 10-15 October, 2016. SC-04-10, 14 p.

López, S., Zapata-Hernández, G., Bustamante, C., Sellanes, J. & Meléndez, R. (2013). Trophic ecology of the dusky catshark *Bythaelurus canescens* (Günther, 1878) (Chondrychthyes: Scyliorhinidae) in the southeast Pacific Ocean. Journal of Applied Ichthyology, 29(4), 751-756.

Madigan, D., Carlisle A., Dewar H., Snodgrass O., Litvin S., Micheli F. & Block B. (2012). Stable Isotope Analysis Challenges Wasp-Waist Food Web Assumptions in an Upwelling Pelagic Ecosystem. Scientific Reports, 2: 654. DOI: 10.1038/srep00654

Medina, M. & Arancibia H. (1992). Interacciones tróficas entre el jurel (*Trachurus murphyi*) y la caballa (*Scomber japonicus*) en el ecosistema pelágico de la zona norte de Chile. Invest. Cient. Tecnol. Ser. Cienc. Mar (Universidad Arturo Prat), 2: 67-78.

Medina, M.F. & Arancibia H. (1998). Selectividad por el tamaño de las presas en el Jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) y la caballa (*Scomber japonicus*) del norte de Chile. Revista Investigaciones Científicas Tecnológicas, Serie Ciencias Marinas, 4, 35-41.

Medina, M. & Arancibia H. (2002). Dinámica trófica del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el norte de Chile. Invest. Mar. Valparaíso 30(1):45-55.

- Miller, T., Richard D., Brodeur R., Rau G. & Omori K. (2010). El predominio de las presas da forma a la estructura trófica de la red alimentaria pelágica actual del norte de California: evidencia de isótopos estables y análisis de la dieta. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 420: 15–26.
- Ministry for Primary Industries. (2016). New Zealand Annual Report South Pacific Regional Fisheries Management Organisation 4th Meeting of the Scientific Committee, The Hague, Netherlands, 10-15 October, 2016. SC-04-17, 54 p.
- Miranda, L., Hernández A., Sepúlveda A. & Landaeta M. (1998). Alimentación del jurel y análisis de la selectividad en la zona centro-sur de Chile. En: *Biología y ecología del jurel en aguas chilenas*. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, 216 p.
- Orrego, H. & Mendo J. (2015). Hábitos alimenticios del jurel *Trachurus murphyi* (Nichols) en la zona nor-central del mar peruano. *Ecología Aplicada*, 14(2), 103-113.
- Parada, C., Yannicelli B., Hormazábal S., Vásquez S., Porobić J., Ernst B, Gatica C., Arteaga M., Montecinos A., Núñez S. & Gretchina A. (2013). Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(1):1-28. DOI: 103856/vol41-issue1-fulltext-1
- Quiñones, R., Serra R., Núñez S., Arancibia H., Córdova J. & Bustos F. (1997). Relación espacial entre el jurel y sus presas en la zona centro-sur de Chile. In: Tarifeño, E. (Ed.), *Gestión de sistemas oceanográficos del Pacífico oriental*. UNESCO COI/INF – 1046, pp. 187–202.
- Santic, M., Jardas I. & Pallaoro A. (2003). Feeding habits of mediterranean horse mackerel *Trachurus mediterraneus* (Carangidae) in the central Adriatic Sea. *Cybium*, 27(4): 247-253.
- Santa Cruz, F., Oryazún C. & Nuñez S. (2013). Alimentación del jurel *Trachurus murphyi* en la zona centro sur de Chile (Periodo 1995-2011), XXXIII Congreso de Ciencias del Mar – Antofagasta (Chile), mayo 27 a 30, Libro Resúmenes: 130.
- Sepúlveda, A., Ruiz P., Alarcón R., Núñez S., Bahamonde R., Córdova J., Chong J., Rebolledo H., Aguayo M. & Bustos L. (2009a). Condición biológica de jurel en alta mar, año 2006. Informe Final Proyecto FIP 2006-05, 289 p.
- Sepúlveda, A., Ruiz P., Núñez S., Alarcón R., Vásquez S., Aguayo M., Chong J., Bahamonde R. & Lang C. (2009b). Condición biológica de jurel en alta mar, año 2008. Informe Final Proyecto FIP 2008-06, 275 p.
- Serra, R., Arancibia H., Arcos D., Barbieri Ma., Blanco J., Córdova J., Muñoz H., Núñez, S., Osses J. & Quiñones, R. (1994). Evaluación de stock de jurel en la zona centro sur. Informe Final Proyecto FIP-IT/93-02, 132 p. + Anexos.

Taylor, PR. (2002). Stock structure and population biology of the Peruvian Jack mackerel, *Trachurus synametricus murphyi*. Ministry Of Fisheries. New Zealand Fisheries Assessment Report 2002/121, 78 p

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, SubPesca. (2016). Undersecretariat for Fisheries and Aquaculture, 4 th Meeting of the Scientific Committee, The Hague, Kingdom of the Netherlands, 10-15 October, 2016. SC-04-14, Chile annual report: 32 p.

Zhang, M., Zou X. & Zhou Y. (2008). Report of data collection on Jack mackerel in South-East Pacific Shanghai Ocean University, China. 2008-6. Chilean Jack Mackerel Workshop, CHJMWS pap #15.

Zhu, G., Zhang M., Ashford J., Zou X., Chen X. & Zhou Y. (2014). Does life history connectivity explain distributions of Chilean Jack mackerel *Trachurus murphyi* caught in international waters prior to decline of the southeastern Pacific fishery? Fisheries Research, 151:20-25.

Páginas webs consultadas

- Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA), <http://proquest.libguides.com/asfa>.
- Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura, (FIPA), <http://www.subpesca.cl/fipa/613/w3-propertyname-681.html>.
- Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), <https://www.ifop.cl/busqueda-de-informes/>.
- Oceanic Abstracts <https://search.proquest.com/oceanic/index>.
- Research Gate (R^G), <https://www.researchgate.net/>.
- Scholar Google <https://scholar.google.cl/>.
- Science Direct, <https://www.sciencedirect.com/>.
- South Pacific Regional Fisheries Management Organisation (SPRFMO), <http://www.sprfmo.int/>.
- Springer link, <https://link.springer.com/>

4.2. **Objetivo Específico 2**

Recopilar información científica geo-referenciada de proyectos de investigación realizados por el estado, respecto de ítems alimentarios de jurel en los últimos 10 años.

Resumen

Se analizó la distribución espacial de la abundancia de jurel (como depredador), medida como la energía retrodispersada (NASC, m^2/mn^2), desde información colectada en cruceros de evaluación directa realizados en la zona norte (XV-II Regiones), centro-norte (III-IV Regiones) y zona centro-sur (V-X Regiones) de 2007 al 2017 (excepto los años 2010 y 2013), así como la distribución espacial de la abundancia (en número) de eufáusidos, copépodos, quetognatos y apendicularias, siendo los tres últimos los taxa más abundantes. Los eufáusidos con históricamente la principal presa del jurel (en peso del contenido estomacal). El análisis de la distribución espacial se realizó mediante la construcción de cartas de distribución de la densidad poblacional acumulada (celdas de 30 mn x 30 mn).

Los copépodos fueron el taxón más importante (en número) entre los taxa zooplanctónicos observados en las estaciones planctónicas en el marco de las evaluaciones directas de jurel en las zonas norte, centro-norte y centro-sur, seguido en mucho menor magnitud por quetognatos y apendicularias. Los copépodos muestran amplia distribución espacial tanto en el sector costero de la zona norte como en el sector oceánico de la zona centro-sur, mientras que los eufáusidos y apendicularias muestran mayor abundancia en el sector costero, principalmente en las zonas norte y centro-norte.

La densidad acústica acumulada de jurel muestra tendencia a valores más altos hacia el sector costero de la zona norte, mientras que en la zona centro-sur no se observa un patrón definido, con valores altos tanto en el sector costero (zona norte) como en la zona oceánica. La observación de la distribución espacial de la densidad acústica de jurel (predador), como un

indicador de su abundancia, junto con la distribución espacial de la abundancia de eufáusidos, copépodos, quetognatos y apendicularias (presas de jurel) revela baja sobreposición espacial entre jurel y los eufáusidos, excepto en el sector costero de las zonas norte y centro-norte.

4.2.1. Metodología de trabajo

4.2.1.1. Antecedentes

En la época invernal en el Océano Pacífico Suroriental el jurel se distribuye en aguas subantárticas más frías (<14° C), ubicadas en la región costera, agregándose en densos cardúmenes para alimentarse, lo que se conoce como período de engorda (Elizarov et al., 1992; Grechina, 1992). En agosto el jurel comienza a migrar hacia el océano abierto, fuera de la Zona Económica Exclusiva de Chile, para reproducirse (Dejnik & Nevinskiy, 1994). El jurel se caracteriza como heterótrofo, esto es, con capacidad de incursionar en distintos biotopos y alimentarse de diferentes presas, asegurando su supervivencia en condiciones límite (Konchina, 1980). Konchina (1983) señala que el jurel se comporta como predador facultativo, alimentándose de presas que presentan alta disponibilidad en el ambiente nerítico en el sistema epipelágico del mar abierto.

Se ha realizado varios estudios de la composición alimentaria del jurel en el Océano Pacífico Suroriental (Konchina, 1980; 1983; Cornejo-Rodríguez, 1991; Serra, 1991; Ermolovich & Gardina, 1994; Arancibia et al., 1995; Miranda et al. 1998; Medina & Arancibia, 1991; Medina & Arancibia, 1992; Medina & Arancibia, 2002), concordando todos que el jurel posee amplio espectro trófico, lo que varía de acuerdo a la distribución de tamaños del jurel, época del año y zona de pesca. En el océano abierto fuera de los límites de la ZEE de Perú y Chile (Ermolovich & Gardina, 1994) y en las costas de Chile centro-sur (<biblio>), el jurel presenta amplio espectro trófico, predominando los eufáusidos (34% a 54% en peso).

En muestreos realizados en el sistema costero del Océano Pacífico Suroriental se revela que en Perú (Konchina, 1980 y 1983; Ermolovich & Gardina, 1994, Quiñones et al., 1997) las principales especies de eufáusidos en la alimentación del jurel son *Nyctiphanex simplex* (pez linterna) y *Euphausia mucronata*, mientras que en las costas de Chile centro-sur lo es *E. mucronata* (Galaz, 1992; Arancibia et al., 1995). Previamente, Antezana (1970) comunicó que *E. mucronata* es la especie de eufáusidos más frecuente y abundante en sectores costeros.

4.2.1.2. Fuentes de datos

Atendiendo el numeral 4.4.2 de las Bases Técnicas (objetivo específico 2) y al numeral 9.9.2 (resultado esperado de este objetivo específico), para analizar la distribución espacial y temporal de los eufáusidos (especies de eufáusidos en conjunto) y, eventualmente, de otras especies (copépodos, quetognatos), se solicitó bases de datos de los proyectos financiados por el Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA), así como de proyectos desarrollados en el marco del Programa de Seguimiento de Pesquerías Pelágicas de las macrozonas norte y centro-sur, contratados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SubPesca) al Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), entre los que se consideró proyectos de evaluación directa (acústica) y los proyectos de condición biológica de jurel.

4.2.1.3. Distribución espacial de las principales presas

El análisis de la distribución espacial de las principales especies del zooplancton (que pueden ser presas del jurel) se realizó a través de la construcción de cartas de distribución espacial de la densidad poblacional acumulada, expresada como número de individuos por 1.000 m³ de agua de mar. Se utilizó celdas de 30 x 30 mn, calculándose luego la densidad acumulada, análogamente a lo que se realizó, por ejemplo, con la densidad poblacional de merluza del sur (*Merluccius australis*) en el mar interior de Chiloé en el proyecto FIPA 2013-27 “Bases metodológicas para el estudio del reclutamiento y ecología en merluza del sur y merluza de cola,

zona sur-austral” (Fig. 13). Las cartas de distribución son construidas para datos agregados anualmente y para el período 2007 a 2017.

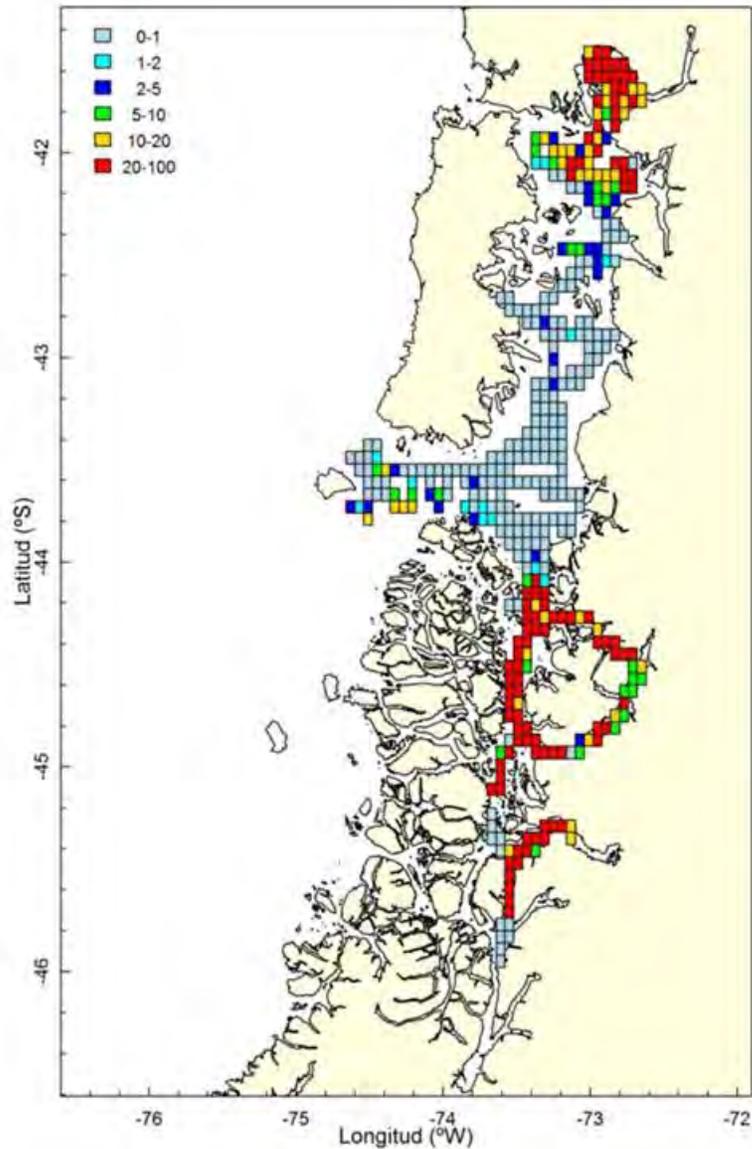


Figura 13. Distribución espacial de la densidad poblacional promedio (ton/mn2) de merluza del sur (*Merluccius australis*) en el verano de 2003. Tomado de informe final del proyecto FIPA 2012-27 “Bases metodológicas para el estudio del reclutamiento y ecología en merluza del sur y merluza de cola, zona sur-austral” (ver Neira et al., 2015).

4.2.2. Resultados

4.2.2.1. Fuentes de datos

Se solicitó las bases de datos de proyectos financiados por el FIPA, así como de proyectos desarrollados en el marco del Programa de Seguimiento de Pesquerías Pelágicas de las macrozonas norte y centro-sur, contratados por SubPesca a IFOP, los que abordaron análisis de distribución de la densidad poblacional de jurel (evaluaciones directas mediante acústica y condición biológica de jurel) en la zona norte (Regiones XV, I y II), y centro-norte (Regiones III y IV), y zona centro-sur (V a X Regiones). En la Tabla 3 se presenta el listado de proyectos cuyas bases de datos fueron solicitadas al FIPA y SubPesca.

4.2.2.2. Análisis de bases de datos

Para la construcción de una base de datos de la distribución de jurel como predador y sus presas, la información recibida se separó en dos categorías, a saber: (1) información proveniente de las evaluaciones directas de jurel (hidroacústica) en las zonas norte y centro-sur, y (2) información proveniente de los proyectos “Condición biológica de jurel en alta mar”. En ambos casos se identificó los campos comunes que son de interés para el presente proyecto. La base de datos se construyó con registros de las evaluaciones acústicas (Tabla 4) y otra con información de muestreos de zooplancton (Tabla 5). Los años revisados corresponden al periodo 2007 a 2017 (no consecutivos).

La base de datos de registros acústicos actualmente contiene 190.810 registros, mayoritariamente provenientes de evaluaciones directas realizadas en la zona norte (unidad de pesquería norte y centro-norte) para los años 2007 a 2017, con la excepción del año 2010. En el caso de jurel, también se revisó la base de datos del proyecto FIP 2008-15, el que no fue

considerado por cuanto los registros de posición de las unidades básicas de muestreos (UBMs) acústicas están erradas (existe un solo registro latitud-longitud repetido).

Tabla 3. Listado de proyectos del Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA) y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPA) sobre jurel de la macrozona norte y zona centro-sur que fueron solicitados y recibidos.

Fuente	Código	Título	Recibido Si/No
FIPA	2007-07	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2007	Si
	2007-08	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2007	Si
	2007-09	Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones, año 2007	Si
	2008-05	Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2008	Si
	2008-06	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2008	Si
	2008-07	Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones, año 2008	Si
	2008-21	Monitoreo de condiciones bio-oceanográficas entre la I y IV Regiones, año 2008	Si
	2009-05	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2009	Si
	2009-07	Evaluación hidroacústica de jurel en la XV, I y II Regiones, año 2009	Si
	2009-38	Monitoreo de condiciones bio-oceanográficas entre la XV y IV Regiones	Si
	2011-05	Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2011	Si
	2011-06	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2011	Si
	2012-01	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2012	Si
	2012-03	Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2012	Si
	2013-08	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2013	Si
	2013-31	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2013	No
SSPA		Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones. Año 2014.	Si
		Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones. Año 2015	Si
		Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones. Año 2016	Si
		Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones. Año 2017	Si
		Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones. Año 2015	Si
		Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones. Año 2016	No
		Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones. Año 2017	Si
		Condición biológica de jurel en alta mar. Año 2014	Si
	Condición biológica de jurel en alta mar. Año 2017	Si	

Tabla 4. Campos que componen la base de datos de registros acústicos de las evaluaciones directas de peces pelágicos (anchoveta de la zona norte y jurel).

Campo	Descripción
Num =	Correlativo
Proyecto =	Código del proyecto
Specobj =	Especie objetivo de la evaluación
IDP =	Identificador de la unidad básica de muestreo UBM (xxxx.xx.xx.x.xxx,xxx = año.mes.día.survey.trans,UBM)
Anho =	Año del registro acústico (0 = sin dato)
Mes =	Mes del registro acústico (0 = sin dato)
Dia =	Día del registro acústico (0 = sin dato)
Codnave =	Código/nombre de la embarcación
Survey =	Número de crucero. 1 = verano; 2 = otoño (cuando hay dos cruceros en el año)
Trans =	Número del transecta
UBM =	Número de la UBM (unidad básica de muestreo)
Region =	Región administrativa
Zona =	Zona, según evaluación de IFOP
Ecosonda =	Frecuencia del ecosonda (1 = 38 Khz; 2 = 120 Khz; 3 = 200 Khz)
Hora =	Hora del registro acústico (según GPT). HH.mm.ss (H = hora, m = minutos, s = segundos)
x =	Posición "x", longitud media (centesimal negativa)
y =	Posición "y", latitud media (centesimal negativa)
Zfondo =	Profundidad (m) del fondo. -999 ausencia de datos
Spec =	Especie registrada
SPmarc =	Marca acústica de la especie registrada (0 = sin dato)
Agreg =	Tipo de agregación. Según clasificación de IFOP: 1 = cardumen, 2 = estrato denso, 3 = estrato medio, 4 = estrato disperso, 5 = individual, 6 = disperso, -999 = sin dato.
Zsup =	Profundidad (m) superior de la agregación. -999 ausencia de datos
Zinf =	Profundidad (m) inferior de la agregación. -999 ausencia de datos
Zmed =	Profundidad (m) media de la agregación. -999 ausencia de datos
Layer =	Número del estrato eco-integrado
NASC =	Coefficiente de dispersión acústica por milla náutica cuadrada (m^2/mn^2) de la especie. -999 sin registro
NASCtot =	Coefficiente de dispersión acústica por milla náutica cuadrada (m^2/mn^2). TOTAL. -999 sin registro
Ndens =	Densidad en número de individuos por milla náutica cuadrada (ind/mn^2)
Wdens =	Densidad en peso (toneladas) por milla náutica cuadrada (ton/mn^2)

Tabla 5. Campos que componen la base de datos de registros del zooplancton de las evaluaciones directas de jurel en la zona norte y centro-sur.

Códigos	Descripción
Num =	Correlativo
Proyecto =	Código del proyecto
Specobj =	Especie objetivo de la evaluación
IDP =	Identificador de la unidad básica de muestreo UBM (xxxx.xx.xx.x.xxx,xxx = año.mes.día.survey.trans,UBM)
Anho =	Año del registro acústico (0 = sin dato)
Mes =	Mes del registro acústico (0 = sin dato)
Dia =	Día del registro acústico (0 = sin dato)
Codnave =	Código/nombre de la embarcación
Trans =	Número del transecta
Tipo red =	Tipo de red (Bongo, WP2)
Est. =	Número de la estación de muestreo.
Periodo =	Periodo del día: 1 = diurno, 2 = nocturno
Region =	Región administrativa
Hora calado =	Hora de (inicio) de la toma de la muestra. HH.mm.ss (H = hora, m = minutos, s = segundos)
x =	Posición "x", longitud media (centesimal negativa)
y =	Posición "y", latitud media (centesimal negativa)
Prof. =	Profundidad (m, máxima) de la toma de la muestra. -999 ausencia de datos
Distcosta =	Distancia (mn) de la costa
Spec =	Especie registrada
Abund =	Abundancia. Número de ejemplares por unidad de área
Unidad =	Unidad de medida de la abundancia. 1 = ind-cels/1000m ³ , 2 = ind-cels/1000m ³ , 3 = ind-cels/10m ² .

La base de datos de zooplancton de los cruceros de evaluación de recursos pelágicos contiene 39.645 registros provenientes de las evaluaciones directas de jurel, exclusivamente. Los años revisados son desde 2007 hasta 2017 (Tabla 6).

Tabla 6. Número de registros acústicos y de zooplancton desde las evaluaciones directas de jurel en la zona norte y zona centro-sur.

Recurso	Información acústica		Zooplancton	
	Nº registros	Años	Nº registros	Años
Zona norte	77.096	2007 - 2017	25.785	2007-2017
Zona Centro-Sur	113.714	2007 - 2017	13.860	2007-2017
Total	190.810		39.645	

Los principales ítems del zooplancton encontrados en los años analizados son:

- Anfibios (Amphi)
- Bivalvos (Bival)
- Cefalópodo (Cephal)
- Copépodos (Copep)
- Doliólidos (Dolio)
- Estomatópodo (Stomat)
- Foraminíferos (Foram)
- Heterópodos (Heterop)
- Larva bivalvos (Lbival)
- Larva cifonautas (Lcifo)
- Larva decápodos (Ldecap)
- Larva eufáusidos (Leuphau)
- Larva trocófora (Ltroc)
- Medusas
- Ostracodos (Ostrac)
- Pterópodos (Pterop)
- Radiolarios (Radio)
- Sifonóforo. Siphonofora (Siphon)
- Huevos de peces (indeterminados)
- Huevos de jurel (huevos/10m²).
- Otros huevos (huevos/10m²). En crucero condición biológica jurel
- Apendicularias (Apend)
- Braquiópodos (Brachiop)
- Cladóceros (Clado)
- Ctenóforos. Ctenophora (Ctenof)
- Huevos de crustáceos (Eggcrust)
- Eufáusidos (Euphau)
- Langostino juvenil (galatheidae)(Galathj)
- Isópodos (Isop)
- Larva braquiópodos (Lbrac)
- Larva cypris (Lcypris)
- Larva equinodermos (Lequino)
- Larva gastrópodos (Lgastro)
- Paralarva = larva de cefalópodos
- Nauplis
- Poliquetos. Polichaeta (Poliq)
- Quetognatos (Quetog)
- Salpas
- Huevos de crustáceos (indeterminados)
- Larvas de peces (indeterminados)
- Larvas de jurel (ind/10m²).
- Otras larvas (ind/10m²). En crucero condición biológica jurel

4.2.2.3. Distribución espacial de las principales presas

Se consolidó una base de datos de estaciones zooplanctónicas muestreadas en el marco de las evaluaciones directas de jurel mediante acústica en las zonas norte (XV-II Regiones), centro-norte (III-IV Región) y centro-sur (V-X Regiones) (Fig. 14). En términos de la densidad (número de ejemplares por 1.000 m³), el taxón más abundante correspondió a copépodos (Copep), seguido de quetognatos (Quetog) y apendicularias (Apend) (Tabla 7). Sin embargo, considerando que se reconoce que los eufáusidos son parte importante de la dieta de jurel, se consideró también su análisis espacial.

Eufáusidos

En general los eufáusidos estuvieron presentes en cerca de 97% de las estaciones zooplanctónicas realizadas en el marco de las evaluaciones acústicas de jurel en la zona norte, centro-norte y centro-sur. La distribución espacial de la abundancia acumulada (miles de ejemplares/1000 m³) de 2007 a 2017 muestra que los eufáusidos fueron más abundantes en el sector costero (Fig. 15).

Copéodos

Los copéodos fue el taxón más abundante (en número), estando presentes en cerca de 98% de las estaciones planctónicas y se encontraron ampliamente distribuidos en el sector costero, principalmente en la zona norte y en el ambiente oceánico (zona centro-sur) (Fig. 16). La abundancia acumulada tiende a ser más alta hacia el sector costero.

Quetognatos

Los quetognatos fue el segundo taxon más abundante (en número), encontrándose en el 93% de las estaciones planctónicas, aprox., y ampliamente distribuidos tanto en el sector costero como en el oceánico. La abundancia de quetognatos aparece como sustancialmente mayor en la zona norte que en la zona centro-sur. La abundancia acumulada de copéodos tiende a ser más alta hacia el sector costero (Fig. 17).

Apendicularias

Las apendicularias estuvieron presentes en cerca del 87% de las estaciones zooplanctónicas realizadas en el período de 2007 a 2017 en el marco de las evaluaciones acústicas de jurel en las zonas norte, centro-norte y centro-sur. La distribución espacial de la abundancia acumulada

(miles de ejemplares/1000 m³) muestra que éstas fueron más abundantes en el sector costero (Fig. 18), aunque frente a las costas de las Regiones VII y VIII se observa un núcleo de abundancia de apendicularias en el sector oceánico.

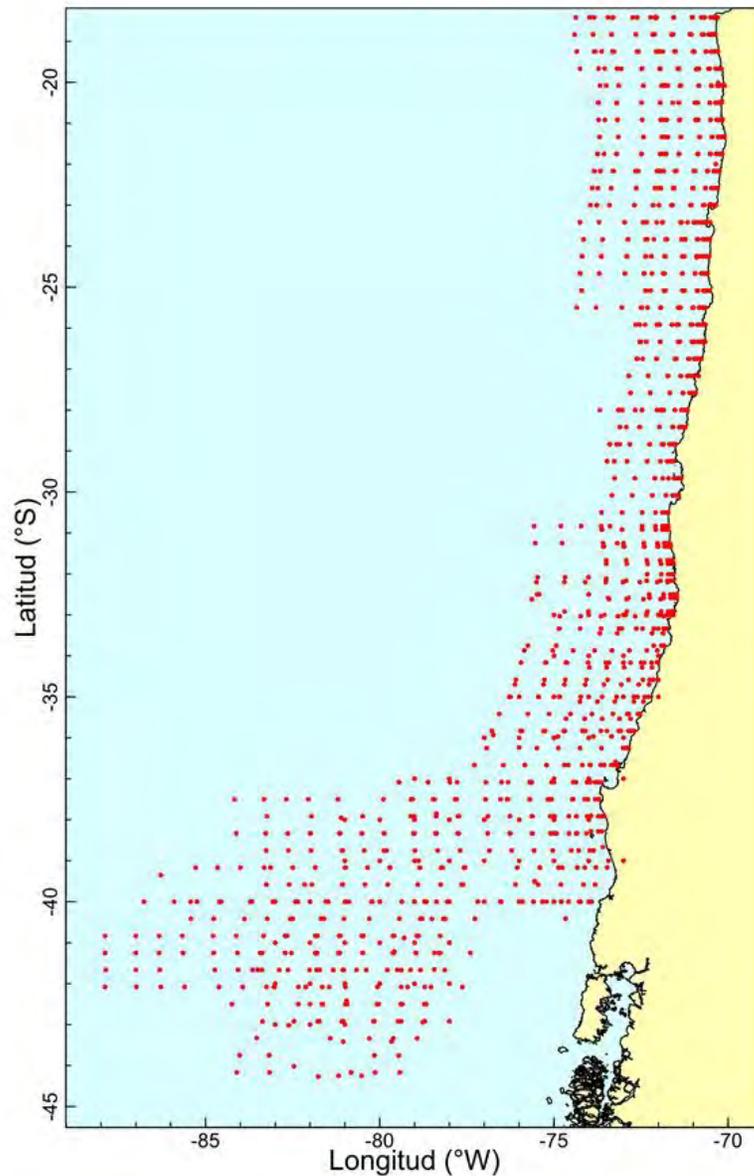


Figura 14. Disposición espacial de las estaciones planctónicas (puntos rojos) realizadas en las evaluaciones acústicas de jurel de 2007 a 2017.

Tabla 7 Abundancia acumulada (miles de ejemplares/1000m³) de taxa presentes en el plancton de cruceros acústicos de jurel en la zona norte, centro-norte y centro-sur entre 2007 y 2017.

Taxa	Año crucero										Total
	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Amphip	86,6	59,7	206,2	101,2	105,6	243,0	223,4	57,6	334,4	134,1	1551,8
Apend	631,1	244,4	994,7	1475,3	791,2	1635,7	496,4	190,0	1816,2	1397,3	9672,4
Bival					8,8	18,7	10,8				38,3
Brachiop			1523,2								1523,2
Cephal								0,8	2,0		2,8
Clado	5,2	11,6	484,9	101,4	87,0	654,0	0,0	4,9	120,0	1,4	1470,5
Copep	25556,1	1671,1	54769,9	74086,6	48401,0	86541,1	61447,0	6459,2	45223,6	28193,9	432349,5
Ctenof	16,1	14,2	38,8	7,0	68,6	102,8	102,6	15,9	126,5	31,7	524,2
Dolio	981,2	205,8	993,4	106,4	129,1	109,8	96,4	17,7	259,8	59,8	2959,5
Eggerust										561,7	561,7
Euphau	367,0	307,5	704,4	134,8	355,3	465,7	419,3	275,6	1027,6	847,8	4905,1
Foram	84,9	33,3	90,3	53,7	116,2	105,5	107,5	21,9	15,8	435,6	1064,6
Galathj								0,7	194,5	41,7	236,9
Heterop			101,2	117,0	32,4	10,1	20,4	99,8	27,3	82,6	490,8
Isop	2,0	1,9	4,5	3,1	6,6	1,8	18,8	6,7	11,6	1,5	58,4
Lbival				1,1				1,6	9,8		12,5
Lbrac				3,5	29,9	17,3	183,4	0,1		0,2	234,3
Lcifo	110,2	95,7	212,8	381,4	744,6	791,7	1285,6	24,9	220,3	1030,4	4897,6
Lcypris			10,7	10,1	11,3	71,4	16,7	8,2	26,3	105,7	260,4
Ldecap	371,7	222,4	857,2	309,3	429,3	690,1	555,8	150,7	1483,3	298,7	5368,5
Lequino			57,4	2,8	10,9	5,8	24,2	1,7	0,6		103,4
Leuphau	707,1	198,7	1564,7	274,4	252,6	268,4	231,5	196,5	257,7	735,3	4686,9
Lgastro				1,9	151,1	68,6	174,9	10,1	67,4	115,3	589,3
Ltroc				1,4					1,4		2,8
Medusas	186,2	111,9	211,9	126,4	191,4	232,7	421,6	46,0	166,2	319,9	2014,1
Nauplicirr				317,2							317,2
Nauplii				48,1	210,3	636,5	905,5	57,3	347,3	506,6	2711,5
Ostrac	479,2	331,2	675,2	517,7	635,8	600,6	473,6	213,2	645,4	1621,2	6193,1
Poliq	451,9	512,7	655,6	382,8	319,4	1187,9	801,9	67,2	285,3	305,1	4969,9
Pterop	63,0	42,2	294,5	343,5	262,1	669,2	603,4	76,5	319,1	102,7	2776,2

Taxa	Año crucero										Total
	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Quetog	1119,3	413,7	2098,8	2764,9	3403,9	3495,5	5068,5	463,0	3345,9	4803,0	26976,5
Radio	106,5	12,9	108,5	33,2	146,5	26,7	13,5	48,9	16,6	199,7	713,0
Salpas	2083,1	101,1	1223,0	174,2	64,8	100,7	5,0	835,9	83,3	498,0	5169,0
Salpas8	25,0		25,0								49,9
Siphon	449,8	334,0	1342,7	177,1	253,1	442,8	651,4	332,6	2389,0	1084,4	7457,0
Stomat	3,6	14,3	10,3	1,4	1,4	1,6	2,3	4,3	3,7	3,3	46,2
Total	33886,8	4940,3	69259,6	82059,0	57220,2	99195,6	74361,3	9689,5	58827,8	43518,8	532958,8

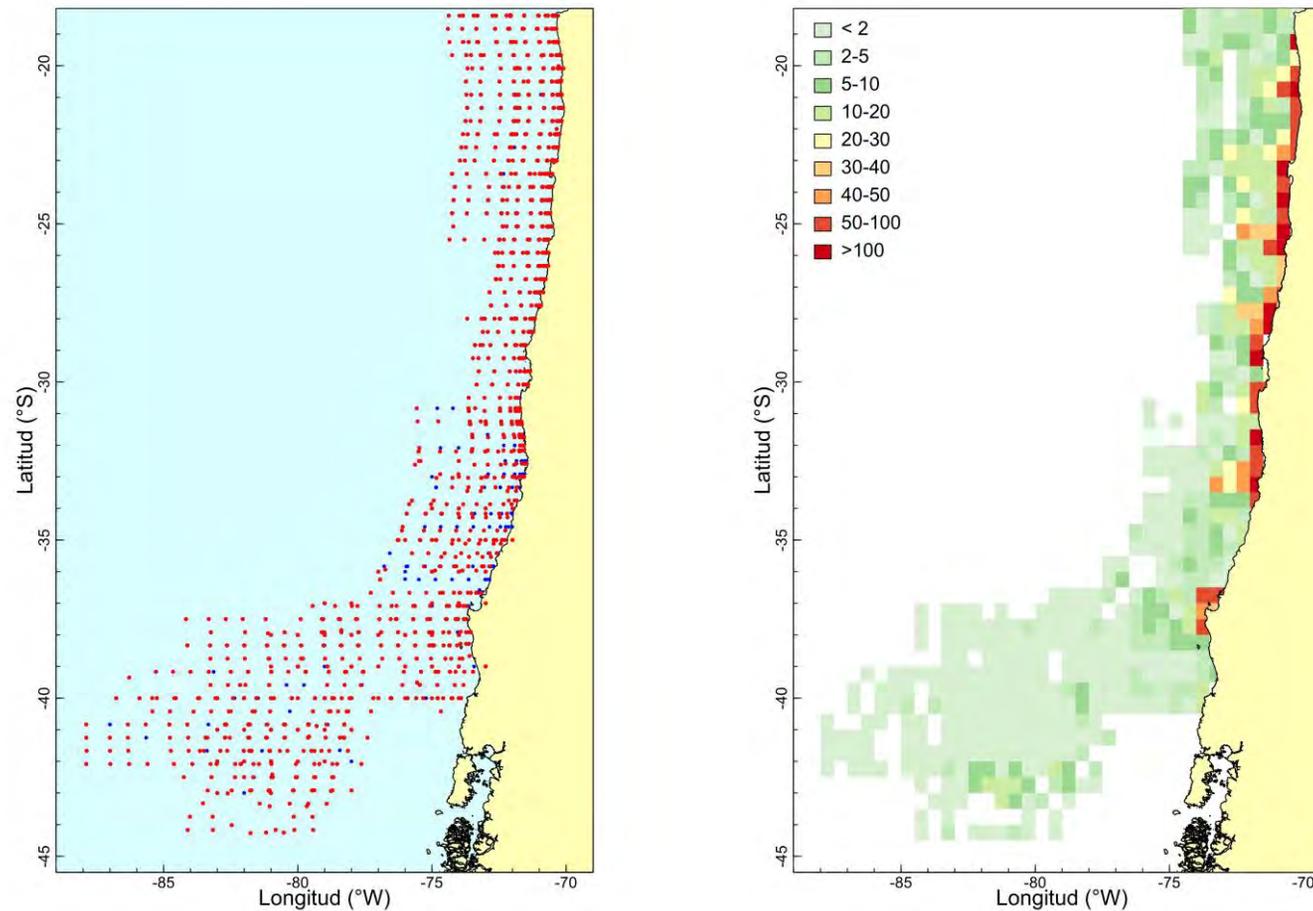


Figura 15. Disposición espacial de las estaciones positivas (puntos rojos) para euphausiidos (izquierda) y abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m³, derecha) en muestreos zooplanctónicos en el marco de evaluaciones directas de jurel entre 2007 y 2017. Los puntos azules representan estaciones sin presencia de la especie.

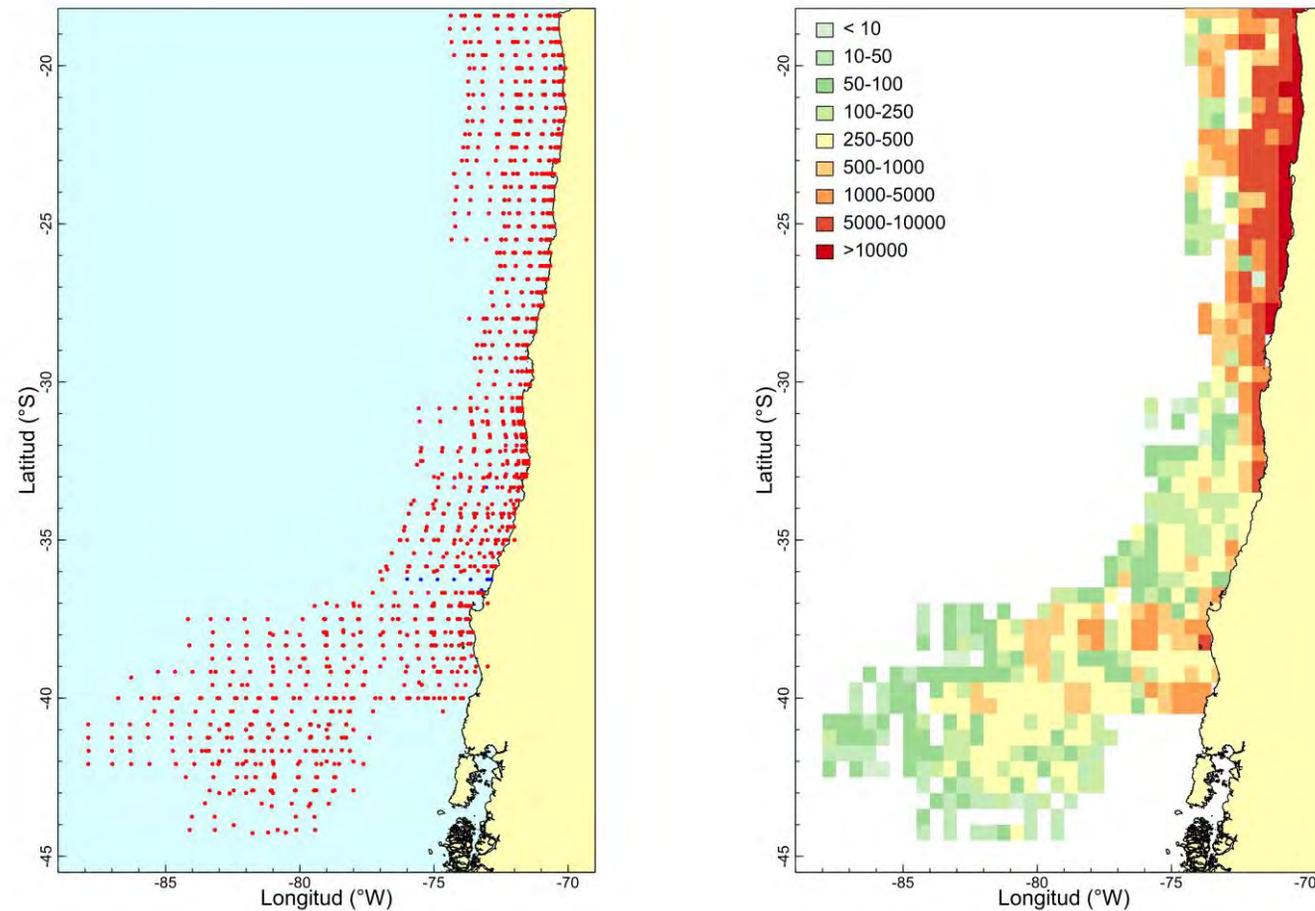


Figura 16. Disposición espacial de las estaciones positivas (puntos rojos) para copépodos (izquierda) y abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m³, derecha) en muestreos zooplanctónicos en el marco de evaluaciones directas de jurel entre 2007 y 2017. Los puntos azules representan estaciones sin presencia de la especie.

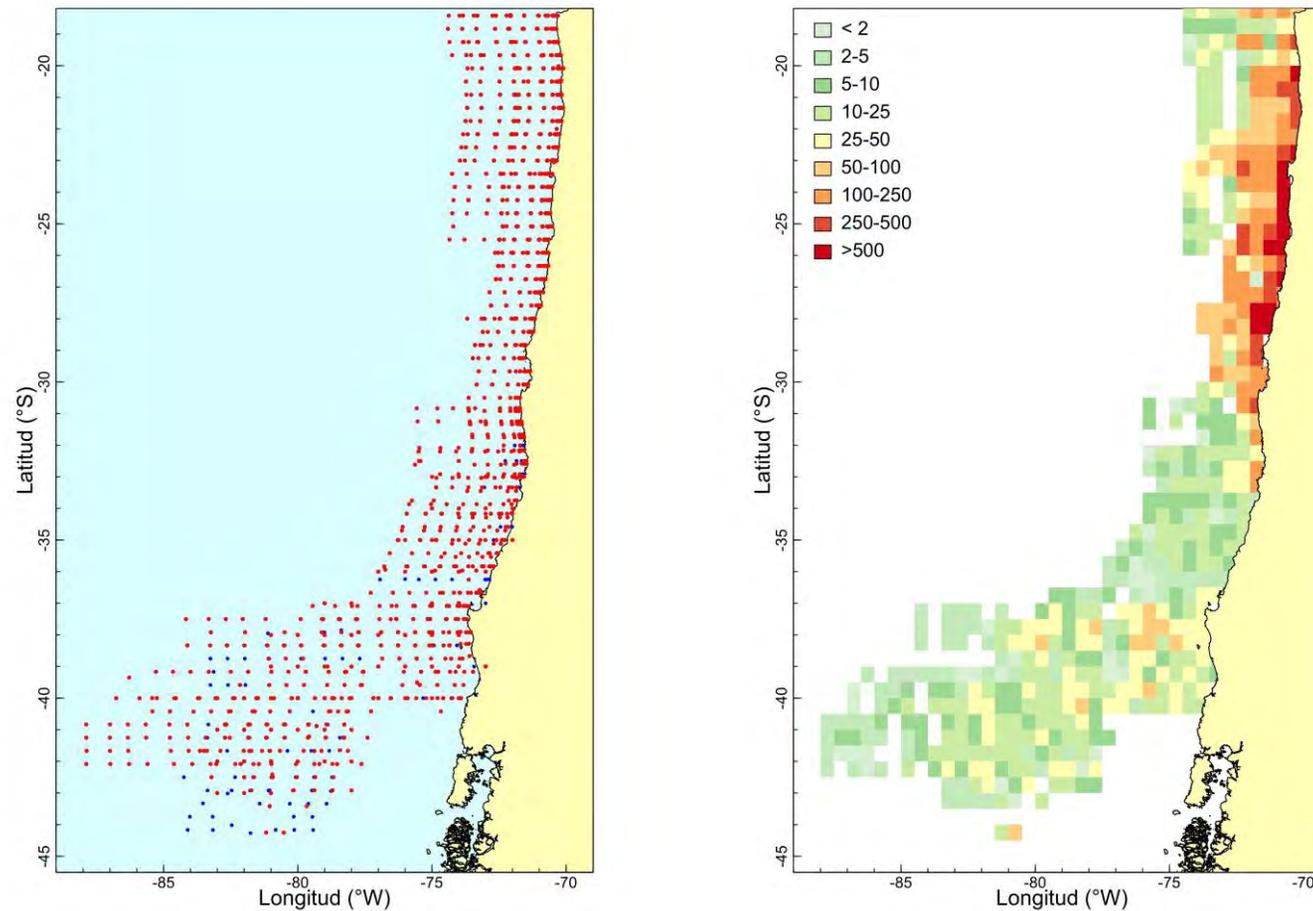


Figura 17. Disposición espacial de las estaciones positivas (puntos rojos) para quetognatos (izquierda) y abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m³, derecha) en muestreos zooplanctónicos en el marco de evaluaciones directas de jurel entre 2007 y 2017. Los puntos azules representan estaciones sin presencia de la especie.

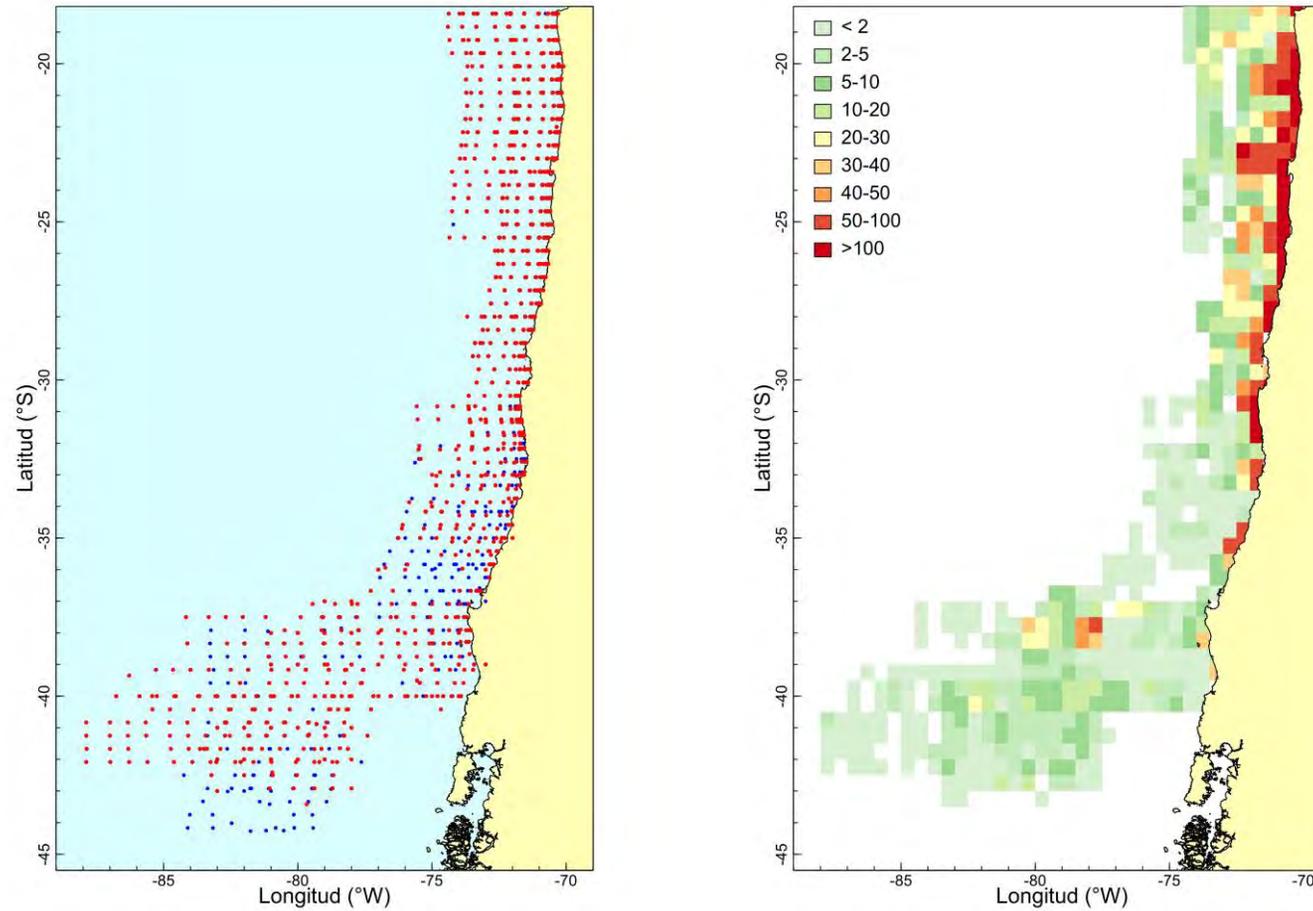


Figura 18. Disposición espacial de las estaciones positivas (puntos rojos) para apendicularias (izquierda) y abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m³, derecha) en muestreos zooplanctónicos en el marco de evaluaciones directas de jurel entre 2007 y 2017. Los puntos azules representan estaciones sin presencia de la especie.

4.2.2.4. Distribución espacial de densidad poblacional de jurel

Análogamente al análisis de la distribución de las principales especies del zooplancton, se analizó la distribución espacial de la densidad acústica de jurel (como predador del zooplancton), medida como la energía retrodispersada (NASC, m^2/mn^2 ; Fig. 19). Recordemos que no es objetivo del presente proyecto estimar la biomasa de jurel, sino indagar en su distribución espacial. La densidad acústica se agregó en celdas de 30 mn x 30 mn, las que se generaron considerando el mismo punto de inicio que en el caso del análisis del zooplancton.

La densidad acústica acumulada mostró tendencia a valores más altos hacia el sector costero de la zona norte, mientras que en la zona centro-sur la densidad acústica no mostró un patrón definido, con valores altos tanto en el sector costero (principalmente en la zona norte) como en la zona oceánica (Fig. 20).

De la observación de la distribución espacial de la densidad acústica como indicador de la abundancia de jurel, junto con la distribución espacial de la abundancia de eufáusidos, copépodos, quetognatos y apendicularias (presas), se desprende que existe baja sobreposición espacial entre el jurel y los eufáusidos (principal presa), excepto en los sectores costero de la zona norte y centro-norte (Fig. 21). Sin embargo, en el caso de los copépodos se aprecia mayor sobreposición espacial (Fig. 22), tanto en el sector costero como en el sector oceánico (principalmente en la zona centro-sur).

En el caso de los quetognatos, análogamente a los copépodos, se aprecia alto grado de sobreposición espacial con la abundancia de jurel, la que ocurre principalmente en la zona norte y en segundo grado en la zona centro sur (Fig. 23). Finalmente, en el caso de las apendicularias, de manera similar a lo que ocurre con los eufáusidos, la sobreposición espacial con el jurel ocurre principalmente en la zona norte, en el sector costero (Fig. 24).

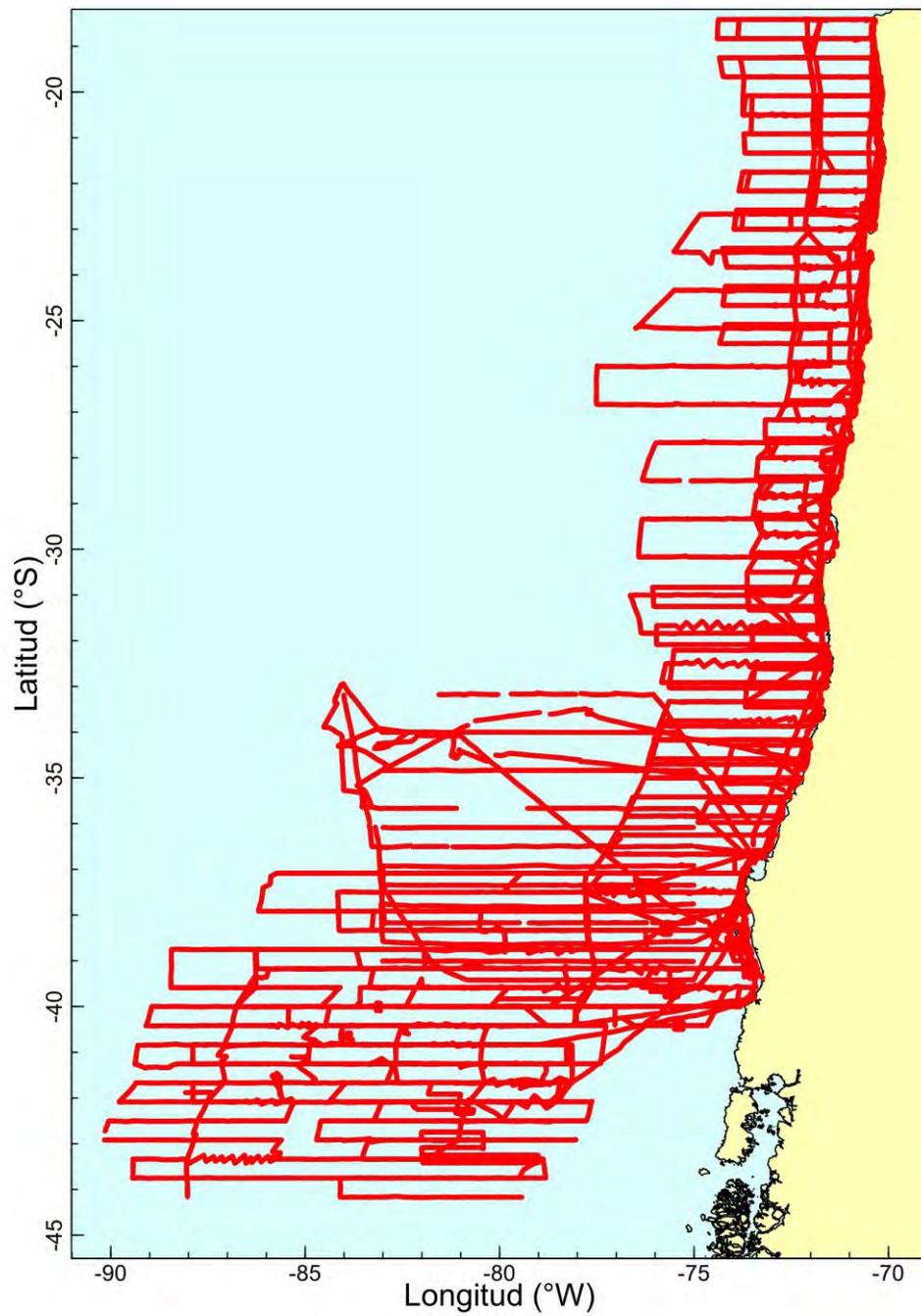


Figura 19. Disposición espacial de las UBMs acústicas (puntos rojos) en cruceros de evaluación directa de jurel. Periodo: 2007 a 2017.

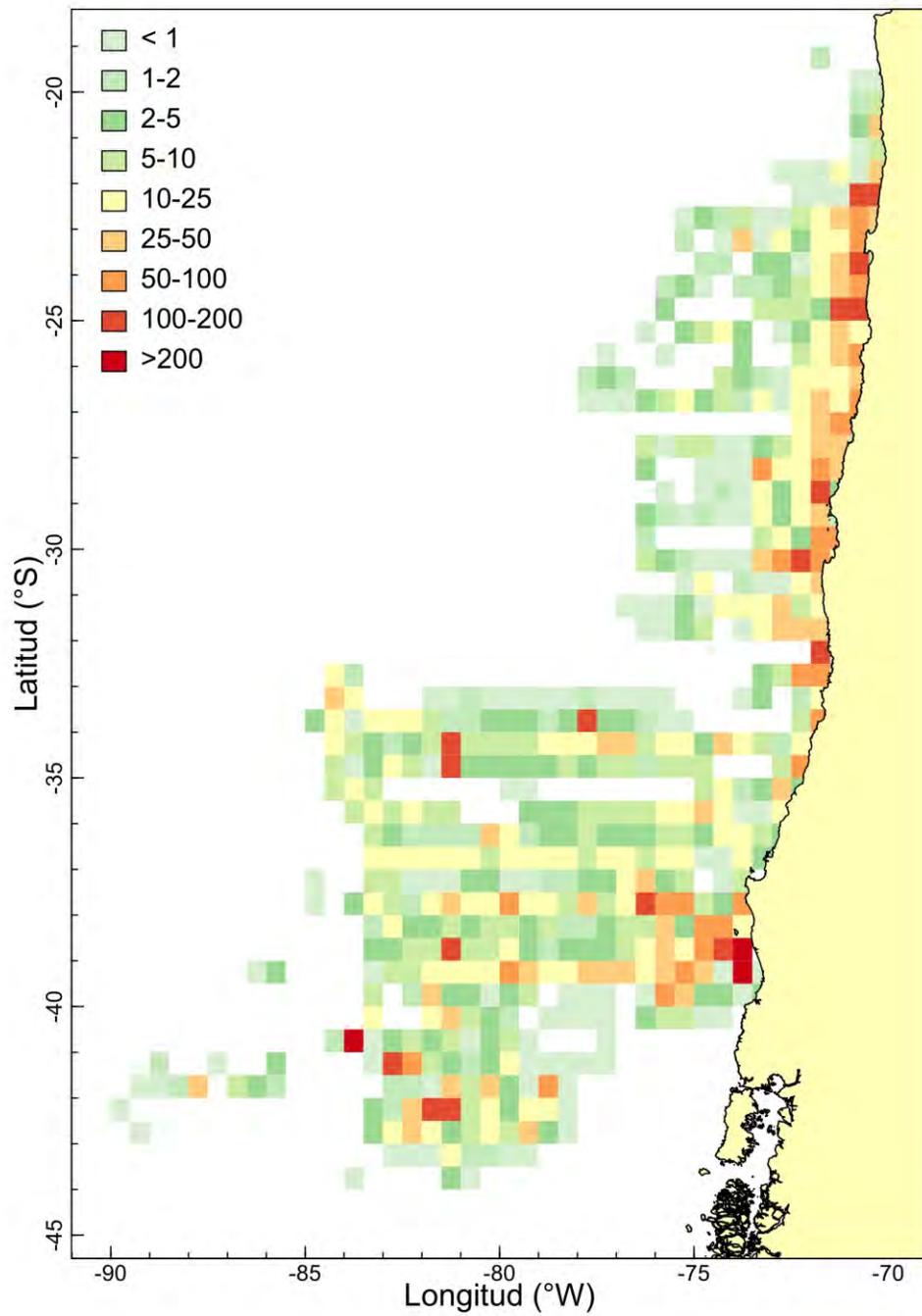


Figura 20. Distribución espacial de la densidad acústica (miles de m^2/mn^2) acumulada de jurel desde cruceros de evaluación directa. Periodo: 2007 a 2017.

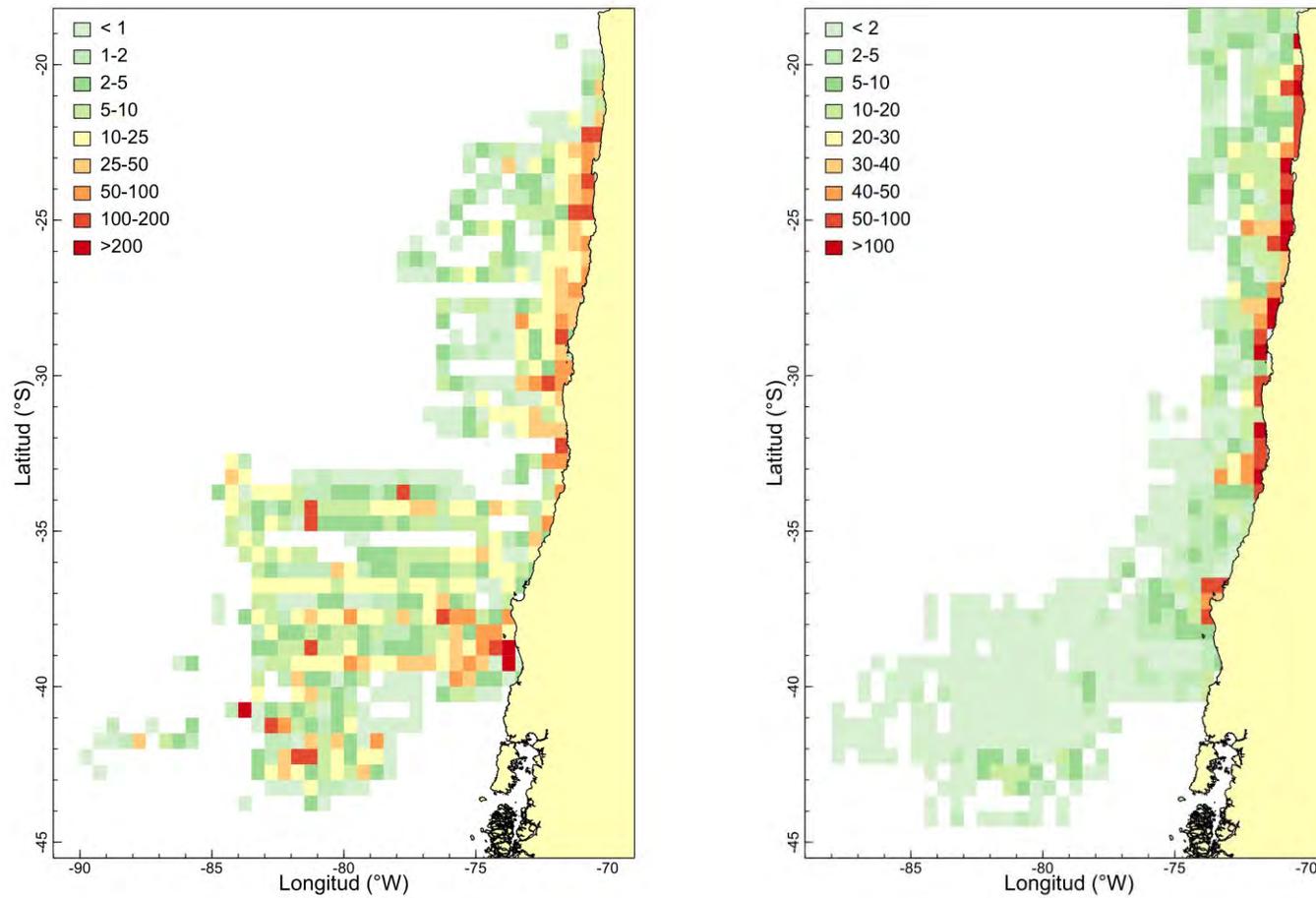


Figura 21. Distribución espacial de la densidad acústica acumulada ($\text{m}^2/\text{mn}^2 \times 1000$; izquierda) y la abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m^3) de eufáusidos en cruceros de evaluación directa de jurel entre 2007 y 2017.

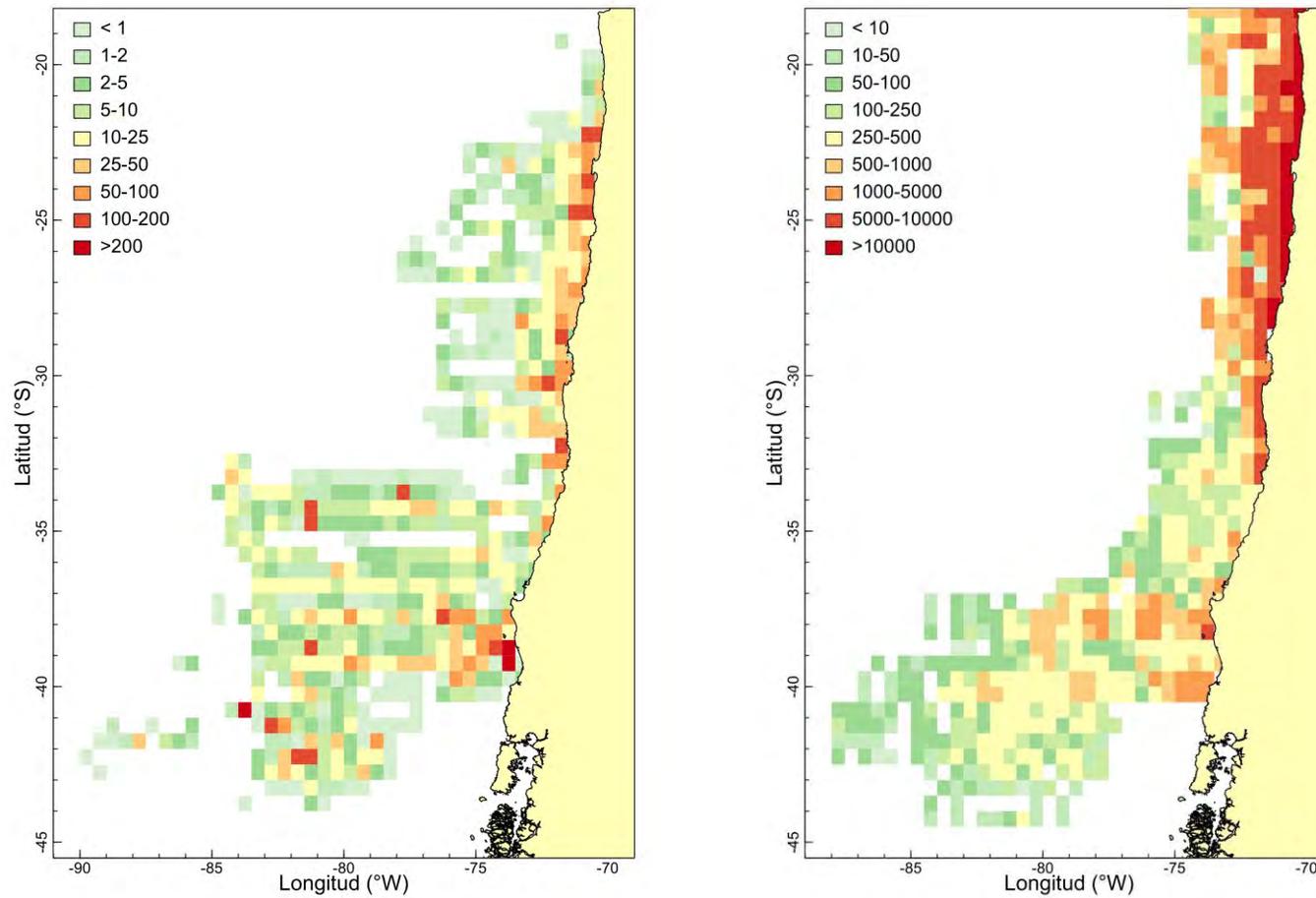


Figura 22. Distribución espacial de la densidad acústica acumulada ($\text{m}^2/\text{mn}^2 \times 1000$; izquierda) y la abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m^3) de copéodos en cruceros de evaluación directa de jurel entre 2007 y 2017.

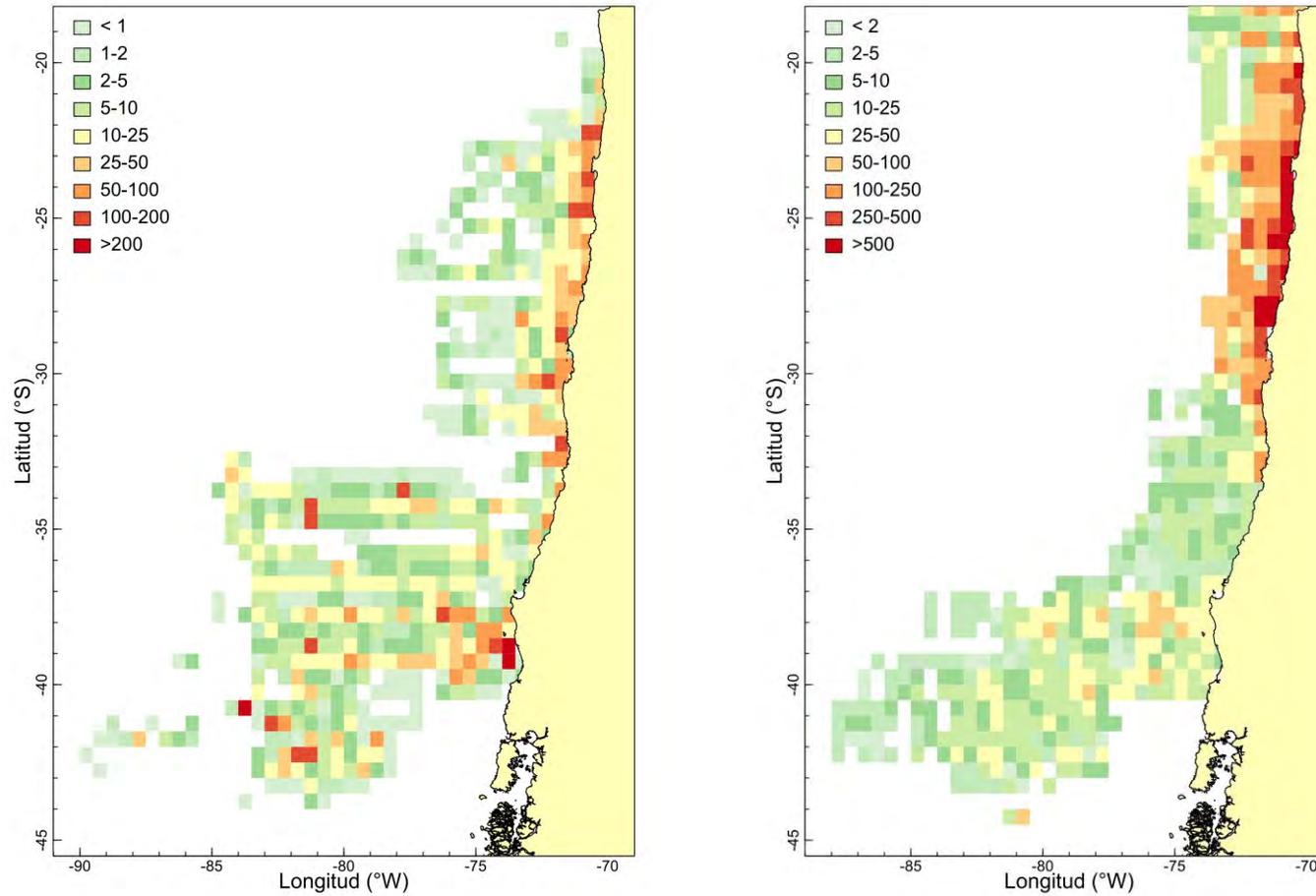


Figura 23. Distribución espacial de la densidad acústica acumulada ($\text{m}^2/\text{mn}^2 \times 1000$; izquierda) y la abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m^3) de quetognatos en cruceros de evaluación directa de jurel entre 2007 y 2017.

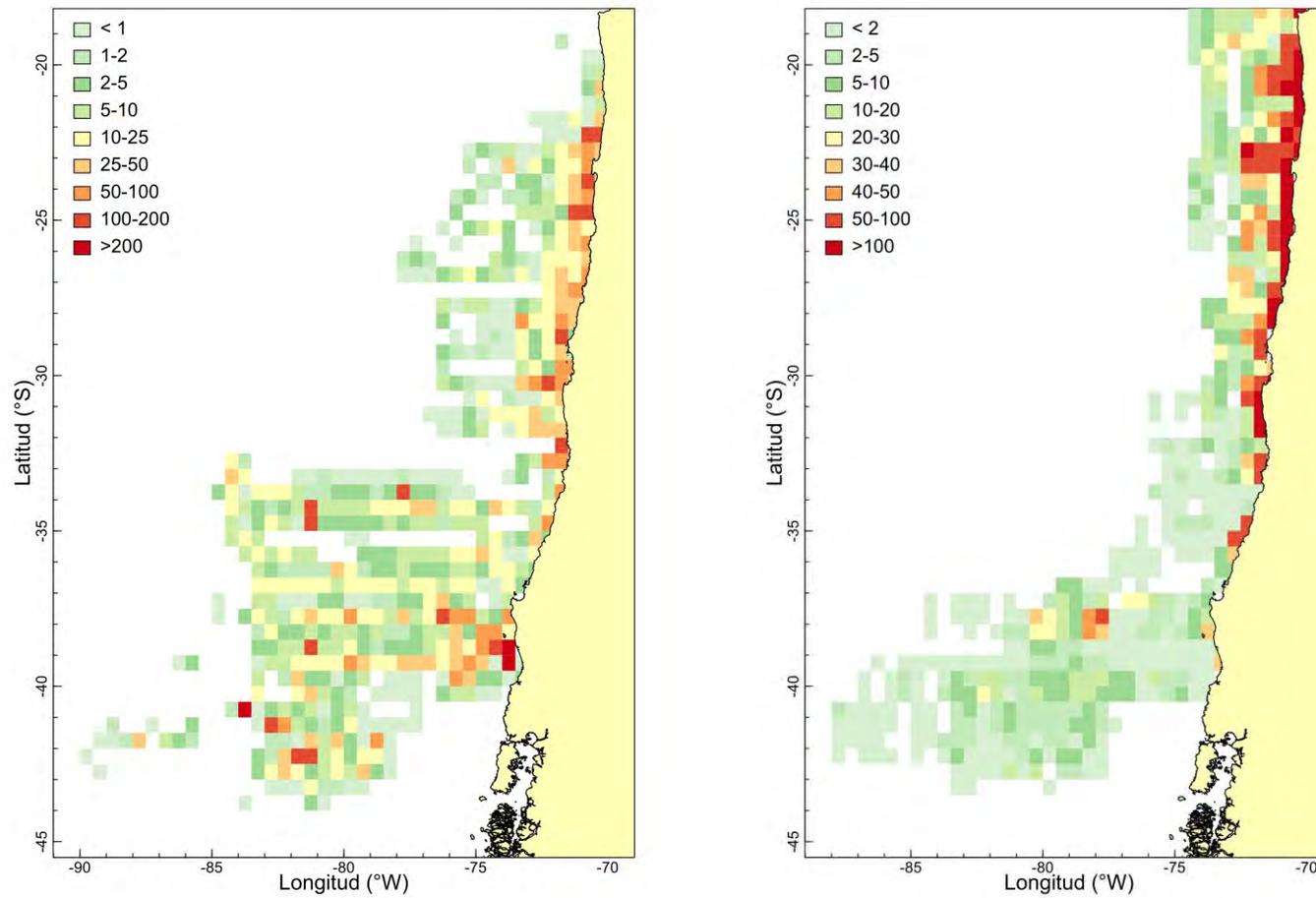


Figura 24. Distribución espacial de la densidad acústica acumulada ($\text{m}^2/\text{mn}^2 \times 1000$; izquierda) y la abundancia acumulada (miles ejemplares/1000 m^3) de apendicularias en cruceros de evaluación directa de jurel entre 2007 y 2017.

4.2.3. Discusión

La relación predador-presa ha sido objeto de variados estudios, los que se han enfocado principalmente en la importancia de la escala espacial de observación (Rose & Leggett, 1990; Horne & Schneider, 1994; Bertrand et al., 2002; Davoren et al., 2002; Fauchald & Erikstad, 2002; Swartzman et al., 2002). En el caso del jurel, se ha documentado la estrecha relación de la distribución de su abundancia y la distribución espacial de eufáusidos, los que son su principal presa (Bertrand et al., 2004).

En el presente estudio (período 2007 a 2017), la mayor abundancia del zooplancton (copépodos, eufáusidos, quetognatos y apendicularias) se encontró en el sector costero del área evaluada. Tal distribución estaría asociada a la temporada del mar en los períodos en los que se realizó los cruceros acústicos (primer trimestre de cada año), cuando la surgencia costera es más intensa (Escribano et al., 2007). Al respecto, Núñez et al. (2009) destacaron diferencias estacionales en la distribución espacial de la densidad de eufáusidos, con mayores valores en el sector costero durante el primer y segundo trimestres de 2008, y un gradiente zonal decreciente de la densidad hacia el océano abierto, en contraste con el tercer trimestre del mismo año, cuando los mayores niveles de densidad de eufáusidos se localizaron en el sector oceánico y un gradiente longitudinal creciente hacia el océano abierto. En todo caso, destacamos que 2008 correspondió a un evento El Niño muy fuerte en el Océano Pacífico Oriental, abarcando hasta la zona central de Chile, lo que significó cambios en la distribución del recurso jurel.

En el caso de la distribución de la abundancia de jurel (densidad acústica o energía retrodispersada por milla náutica cuadrada), ésta también se encontró mayormente en el sector costero en las zonas norte y centro-norte, mientras que en la zona centro sur fue más oceánica. La observación de la distribución espacial de la densidad acústica jurel, junto con la distribución espacial de la abundancia de eufáusidos, copépodos, quetognatos y apendicularias (presas), revela que existe baja sobreposición espacial entre el jurel y los eufáusidos (principal presa), excepto en los sectores costeros de la zona norte y centro-norte, aspecto que también fue descrito por Bertrand et al. (2004) para el periodo 1997-1999.

4.2.4. Conclusiones

- Se confirma que los copépodos son el taxón más importante (en número) entre los taxa zooplanctónicos observados en las estaciones planctónicas en el marco de las evaluaciones directas de jurel en las zonas norte, centro-norte y centro-sur en el periodo 2007 a 2017, seguidos en mucho menor magnitud por quetognatos y apendicularias.
- Los copépodos muestran amplia distribución espacial tanto en el sector costero de la zona norte como en el sector oceánico de la zona centro-sur.
- Los eufáusidos y las apendicularias muestran mayor abundancia en el sector costero de las zonas norte y centro-norte.
- La densidad acústica acumulada de jurel muestra tendencia a valores más altos hacia el sector costero de la zona norte, mientras que en la zona centro-sur no se observa un patrón definido (valores altos tanto en el sector costero de la zona norte como en la zona oceánica de la zona sur).
- La sobreposición espacial es baja entre la densidad acústica de jurel (predador) y la distribución espacial de la abundancia zooplancton (eufáusidos, copépodos, quetognatos y apendicularias como presas), excepto en los sectores costeros de la zona norte y de la zona centro-norte.

4.2.5. Referencias

- Antezana, T. (1970). Eufáusidos de la costa de Chile. Su rol en la economía del mar. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 14(2): 19-27.
- Arancibia, H., Miranda L., Núñez S., Vásquez G. & Yáñez E. (1995). Determinación de las relaciones tróficas del recurso jurel. En: H. Arancibia, L. Vilugrón y D. Arcos (eds.). Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona centrosur, V a IX Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 1994-19. Instituto de Investigación Pesquera Octava Región, Chile, 260 pp.
- Berrand, A., Barbieri M.A., Córdova J., Hernández C., Gómez F., & Leiva F. (2004). Diel vertical behaviour, predator-prey relationships, and occupation of space by jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 1105-1112.
- Cornejo-Rodríguez, M.H. (1991). Causas posibles de las agregaciones de jurel (*Trachurus murphyi*, Nichols): disponibilidad de alimento. Tesis de Magister en Ciencias con Mención en Oceanografía. Universidad de Concepción, Concepción, 108 pp.
- Dejnik, T.V. & M.M. Nevinskiy. (1994). Distribución y abundancia de huevos y larvas. En: D. Arcos & A. Grechina (Eds.). *Biología y Pesca Comercial de jurel en el Pacífico Sur*. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile: 37-42.
- Elizarov, A.A., Grechina A.S., Kotonev B.N. & Kutznezov A.N. (1992). Jurel peruano, *Trachurus symmetricus murphyi*, en las aguas abiertas del Pacífico Sur. *Voprosy Ictiologii*, 32(6): 57-73.
- Ermolovich, C. & Gardina L. (1994). Alimentación del jurel. En: D. Arcos & A.S. Grechina (Eds.). *Biología y Pesca Comercial del jurel en el Pacífico Sur*. Instituto Investigación Pesquera. Editora Aníbal Pinto, 204 p.
- Escribano, R., Hidalgo P., González H., Giesecke R., Riquelme-Bugueño R. & Manríquez K. (2007). Seasonal and inter-annual variation of mesozooplankton in the coastal upwelling zone off central-southern Chile. *Progress in Oceanography*, 75: 470-485.
- Galaz, L. (1992). Análisis trófico comparado del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* Nichols, 1920) de las zonas de pesca del norte y centro-sur de Chile. Tesis de Biólogo Pesquero. Universidad Arturo Prat, Iquique, 82 pp. García C & Chong J. 2002. Composición de la dieta de *Brama australis* Valenciennes 1837 en la zona centro-sur de Chile (VIII Region) en otoño 2000 y verano 2001. *Gayana* 66 (2): 225-230.
- Grechina, A. (1992). Historia de investigación y aspectos básicos de la ecología del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en alta mar del Pacífico Sur. En: H. Arancibia y L. Cubillos (eds). Documento Técnico. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, 1(2):1-47.

- Konchina, G.V. (1980). The Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, a facultative predator in the coastal upwelling ecosystem. J. Ichthyol., 20(5): 46-59.
- Konchina, G.V. (1983). The feeding niche of the hake *Merluccius gayi* (Merlucciidae), and the jack mackerel, *Trachurus symmetricus* (Carangidae) in the trophic system of the Peruvian coastal upwelling. J. Ichthyol., 23(2): 87-98.
- Medina, M & Arancibia H. (1991). Interacciones tróficas entre el jurel *Trachurus symmetricus murphyi*, Documentos científicos y técnicos. Serie Ciencias del Mar. Universidad Arturo Prat.
- Medina, M. & Arancibia H. (1992). Interacciones tróficas entre el jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) y la caballa (*Scomber japonicus*) en el ecosistema pelágico de la zona norte de Chile. Invest. Cient. Tecnol., Ser. Mar, 2:67-78.
- Medina, M. & Arancibia H. (2002). Dinámica trófica del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el norte de Chile. Inves. Mar. Valparaiso 30(1): 45-55, 2002.
- Miranda, L., Hernández A., Sepúlveda A. & Landaeta M. (1998). Alimentación del jurel y análisis de la selectividad en la zona centro-sur de Chile. En: D. Arcos (ed.) Biología y ecología del jurel en aguas chilenas. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano-Chile: 173-187.
- Núñez, S., Escribano R., Hormazábal S., Morales C., Bruno C., Alarcón R. & Sepúlveda A. 2009. Biomasa zooplanctónica y sustentabilidad de las pesquerías de la zona centro-sur. Informe Final Proyecto FIP 2007-33, 277 p.
- Quiñones, R., Serra R., Núñez S., Arancibia H., Córdova J. & Bustos F. (1997). Relación espacial entre el jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) y sus presas en la zona centro-sur de Chile. En: E. Tarifeño (ed.). Gestión de Sistemas Oceanográficos del Pacífico Oriental. Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO. IOC/INF-1046, 432 pp.
- Serra, R. (1991). Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, Invest. Pesq. (Chile), 36: 67-83.

4.3. Objetivo Específico 3

Determinar y cuantificar, a través del análisis del contenido estomacal, los principales ítems alimentarios de individuos de jurel por grupos de tamaño disponibles desde las capturas comerciales.

Resumen

Se analiza 1.900 estómagos de individuos de jurel capturados frente a Chile norte (I Región) y centro-sur (VIII Región) durante el año 2017. El análisis del contenido estomacal ratifica lo reportado en otros estudios, donde los eufáusidos son el ítem principal de alimento del jurel (42% en peso para la macrozona norte y 47% para la macrozona centro-sur). No se observa patrones ontogenéticos tróficos (cambios en la dieta con el tamaño de los peces), probablemente porque la abundancia de la oferta ambiental de alimento es favorecida por fluctuaciones naturales en la distribución de las presas por factores propios de la historia de vida de jurel o a su hábitat.

4.3.1. Introducción

Actualmente existe preocupación mundial por la pérdida de la biodiversidad marina, lo que ha sido atribuido a la presión pesquera (Fung et al. 2015), afectando principalmente a predadores de alto nivel trófico, los cuales suelen ser especies muy sensibles a los efectos de la pesca debido a sus características biológicas tal como lenta tasa de crecimiento, baja fecundidad y madurez tardía (Madin et al. 2016). Esto ha conducido a un proceso llamado “fishing down marine food webs” que plantea que la pesca reduce el nivel trófico de las comunidades (Pauly et al., 2005). En el Océano Pacífico Sur esto lo han corroborado Arancibia & Neira (2013) para la trama trófica marina de Chile centro-sur (33°S – 39°S).

Adicionalmente, la interacción entre la actividad pesquera y especies claves, como predadores de alto nivel trófico, puede enmascarar e, incluso, revertir sus funciones ecosistémicas (Field et al. 2010). Debido a estos impactos de la actividad pesquera sobre los ecosistemas se ha propuesto la implementación del manejo pesquero basado en el ecosistema (EBFM, por sus siglas en inglés¹), el que basa su paradigma en interacciones que existen entre los procesos biológicos y la actividad pesquera, donde la prioridad es mantener un ecosistema saludable con explotación a largo plazo y sustentable de los recursos pesqueros objetivos para asegurar la función ecosistémica y sustentabilidad del stock (McCauley et al. 2015).

Entonces, entender los efectos de la pesquería, en un contexto de complejas interacciones que existen en el ecosistema, es clave para la generación de planes de manejo adecuados (Harvey et al. 2003). En EBFM, la forma de mayor importancia para evaluar estas interacciones es a través de estudios tróficos (Aguirre et al. 2002). La teoría de tramas tróficas ofrece una comprensión de las redes de interacciones potencialmente complejas que podrían ser generadas por las interacciones humanas, y en este sentido las redes tróficas proporcionan una plataforma conceptual útil sobre la cual se puede trazar las consecuencias ecológicas de cambios ambientales, identificar brechas de conocimiento y realizar inferencias que sean referentes a cambios o modificaciones en la composición de las presas y sus predadores, siendo posible evaluar el impacto sobre los recursos pesqueros en su estructura y función (Worm & Paine 2016).

El estudio de la alimentación de peces es necesario para análisis bioecológicos e interrelaciones en los ecosistemas a los que pertenecen, lo que puede permitir obtener inferencias de la estructura y función de cada especie o individuo. El análisis cualitativo del contenido estomacal permite determinar el nivel trófico que ocupa la especie respectiva en la trama trófica, mientras que con estudios cuantitativos del contenido estomacal se logra estimar la predación que se realiza sobre presas, deduciendo su dependencia de aquellas. Además, dichos análisis permiten efectuar observaciones de la dinámica poblacional de especies (presas) que son fuentes de

¹ Ecosystem-Based Fishery Managment.

alimento para otras, deduciendo los mecanismos dinámicos de la estructura y función del ecosistema.

El conocimiento de las interacciones entre especies en la estructura de la comunidad a la que pertenecen es útil cuantificar el grado en que dos o más especies se sobreponen en la utilización del espacio, alimento u otro recurso, para así evaluar los factores que permiten la coexistencia. Se entiende que los individuos de una población (o la población misma) compiten con otra población por un recurso limitante, y que en la mayoría de los casos es el alimento (Essington et al. 2015; Pethybridge et al. 2015).

Una de las técnicas más utilizadas, y las más antigua en estudios tróficos, es el análisis de contenido estomacal (stomach contents analysis, SCA), la que sigue siendo la única técnica que da cuenta de lo que efectivamente ha ingerido el pez. Sin embargo, esta metodología está limitada por el grado de digestión de las presas en el contenido estomacal, siendo necesario analizar alto número de estómagos para mejorar la precisión del estimado dietario (Keller et al. 2016). Por lo tanto, y siguiendo la propuesta del presente proyecto, acá se determina y cuantifica, a través del análisis del contenido estomacal, los principales ítems alimentarios de individuos de jurel de las capturas en las zonas norte y centro-sur de Chile en el año 2017.

4.3.2. Metodología

4.3.2.1. Área de estudio y tamaño de muestras

El área de estudio comprende la macrozona norte (MZN), desde la XV a II Regiones, y la macrozona centro-sur (MZS), desde la V a X Regiones de Chile (Fig. 25). Debido a la imposibilidad de realizar muestreos latitudinales en la MZN, solo se realizó análisis longitudinal (Fig. 26), subdivididas en sub-zonas, a saber: norte 1 (SbZN), norte 2 (SbZN 2) y norte 3 (SbZN 3). La macro zona centro sur (MZS) se subdividió latitudinalmente, denominándolas como subzona sur 1 (SbZS), sur 2 (SbZS2) y sur 3 (SbZS3). Para las mismas subzonas de la MZS se

analizó longitudinalmente del contenido estomacal de jurel (Fig. 27). Los muestreos fueron realizados sobre bases mensuales en ambas macrozonas, aunque aquellos dependieron exclusivamente de las pescas comerciales; idealmente se esperaba obtener $n=200$ estómagos mensuales de jurel por macrozona, aunque en total se analizó 1.900 estómagos (MZN=883; MZS=1.017). Esto es, en la MZN se alcanzó 74% de la condición ideal de muestreos de estómagos; en la MZS fue 85%, lo que refleja un enorme desafío inter-institucional. En efecto, se destaca que este proyecto es la iniciativa en la que se ha analizado la mayor cantidad de estómagos de jurel de capturas comerciales (no de cruceros de investigación *ad hoc*) realizadas en el Océano Pacífico Sur Oriental, lo que fue posible en el marco de la cooperación expedita y adaptativa de profesionales de cuatro universidades participantes del presente proyecto, así como de empresas pesqueras de Iquique (I Región) y San Vicente (VIII Región).



Figura 25. Registros de lances de pesca para la obtención de muestras (estómagos) de jurel en el presente proyecto en las macrozonas norte (XV a II Regiones) y centro-sur (V a X Regiones)

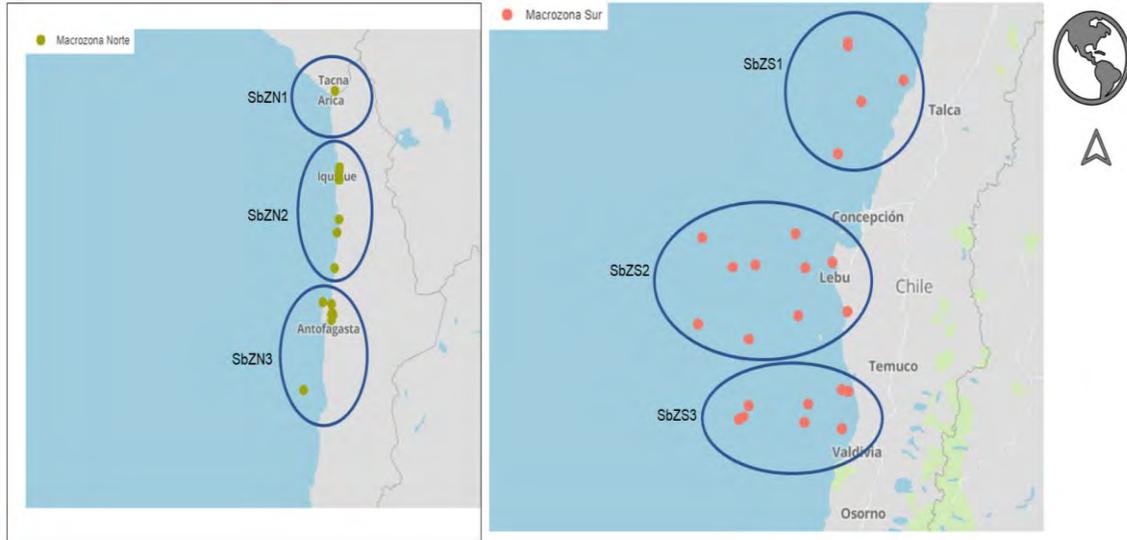


Figura 26. Análisis latitudinal para las subzonas. Nomenclatura: SbZN= subzona norte, SbZS= subzona sur. Los puntos corresponden a lugares de obtención de muestras de jurel *in situ*.

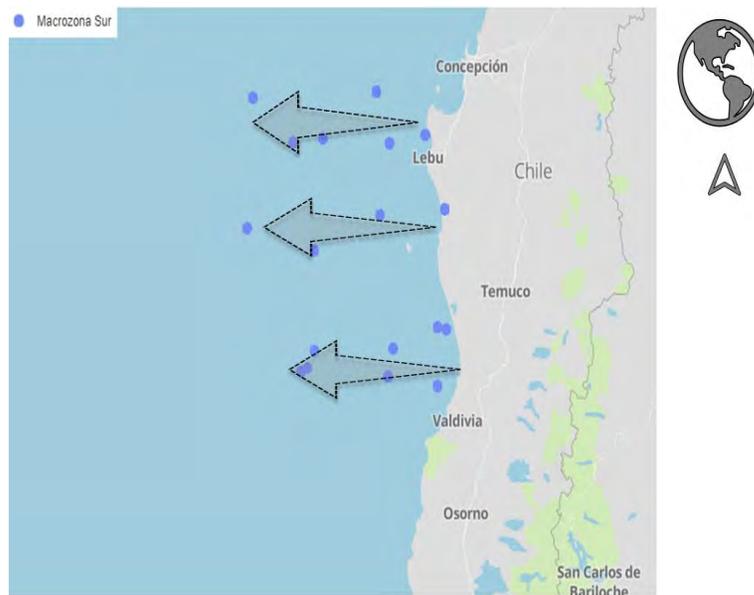


Figura 27. Análisis longitudinal para la macrozona centro-sur. Los puntos corresponden a lugares de obtención de muestras de jurel *in situ*.

4.3.2.2. Análisis de laboratorio

El análisis de los contenidos estomacales de jurel de la MZS se realizó en el Centro de Investigación Marina de Quintay (CIMARQ) de la Universidad Andrés Bello (Viña del Mar); las muestras de jurel de la MZN fueron analizadas en el Campus Huaiquique de la Universidad Arturo Prat (Iquique). Cada estómago fue debidamente etiquetado con los datos del lance (para muestras obtenidas a bordo) o con los datos de la zona de pesca (para muestras obtenidas del desembarque en puerto). Luego cada estómago fue pesado en balanza electrónica (0,01 g de precisión) y se procedió a la cuidadosa disección para extraer el contenido, traspasándolo a placa de Petri. Las presas fueron separadas e identificadas al taxón más bajo posible. Los ejemplares de cada taxón presa fueron pesados conjuntamente y contados. Se seleccionó a las presas que presentaron bajo grado de digestión (Grey et al. 2002), siguiendo la escala de digestión de Cortés & Grubber (1990). El material biológico fue congelado a -80°C para posterior análisis isotópico.

Las presas de jurel como peces, crustáceos y moluscos fueron identificadas con estereomicroscopio, según claves y descripciones en la literatura especializada, como por ejemplo Cohen et al. (1990) para peces; en el caso de cefalópodos se utilizó la guía de Rocha (2003); y para crustáceos se siguió a Retamal (2000). Las presas fueron agrupadas en categorías mayores para facilitar el análisis comparativo y evitar sesgo por exceso de ítems presas de bajo aporte en la dieta de jurel (Tabla 1) (Klarian et al., 2018).

4.3.2.3. Análisis de datos

Siguiendo a Medina & Arancibia (2002) y Sepúlveda et al. (2018), en este proyecto se cotejó los serbos asignados a través de la confección de curvas de diversidad trófica acumulada. El supuesto es que, cuando se alcanza la asíntota en una curva número de taxa (especies en el eje Y) vs. número de estómagos (eje X), entonces la dieta estará bien caracterizada ya que nuevos ítems de presas serán cada vez menos frecuentes. Los restos de presas fueron eliminados de los

análisis debido a que no aportan información relevante (Ugland et al., 2003). Se utilizó el método de rarefacción de Kindt, donde:

$$\hat{S}_n = \sum_{i=1}^S (1 - p_i), \quad p_i = \frac{\binom{N-f_i}{n}}{\binom{N}{n}},$$

donde: f_i es la frecuencia de la especie i ; p_i es la fracción de la presa i .

Los datos de los contenidos estomacales fueron analizados con métodos clásicos como el peso de cada taxón de presa, la frecuencia de ocurrencia y el número. Se asume que el índice gravimétrico (peso) entrega un estimado razonable del alimento consumido (Berg, 1979) y, además, refleja el aporte energético, aportando una primera visión del valor nutricional de la dieta (Hyslop, 1980). El índice numérico es un indicador del nivel de predación y es una aproximación de la estrategia de alimentación (Hyslop 1980), mientras que el índice de frecuencia de ocurrencia puede ser entendido como probabilidad de captura. Sin embargo, tales índices, usados individualmente, pueden confundir por sobreestimación y sesgo.

Consecuentemente, se aplicó el índice estandarizado de importancia relativa (PSIRI) propuesto por Brown et al. (2012) para cotejar las combinaciones de frecuencia, número y el índice gravimétrico de las presas. PSIRI utiliza los valores porcentuales de frecuencia de ocurrencia, número (N) y peso (W) de cada ítem de presa (i) para estimar inicialmente los valores correspondientes a PN (valor promedio del número) y PW (valor promedio del peso) a través de la siguiente ecuación (Smircich et al., 2017):

$$\%PA_i = \Sigma \%A_{ij} / n_i$$

donde $\%A_{ij}$ es el porcentaje de N_i o W_i de la presa i en la dieta del predador j ; n_i es el número de estómagos donde se encontró a la presa i . El Índice de Importancia Relativa Presa-Específico se estimó según Brown et al. (2012), cuya expresión es:

$$\%PSIRI_i = \%FO_i \times (\%PN_i + \%PW_i)/2$$

Los grupos de tamaños de jurel fueron separados en dos de la siguiente forma: para la MZN, el rango de tallas 1 (R1) corresponde a todos los ejemplares <23 cm de longitud horquilla (LH) y el rango de tallas 2 (R2) corresponde a los individuos ≥ 23 cm. Complementariamente, MZS R1 corresponde a individuos de jurel <36 cm de LH y R2 a individuos ≥ 36 cm. Los ejemplares de jurel de la MZS son de mayor tamaño respecto de aquellos de la MZN, aunque entre subzonas no existen diferencias significativas en los tamaños promedio (test de ANOVA. MZN: $F=1,06$; $p=0,346$; MZS: $F=34,36$; $p=0,056$). Para las zonas oceánicas y costeras de la MZS si se encontró diferencias significativas en las tallas medias (test de ANOVA. $F=179,52$; $p<0,001$), por lo que no se logró realizar la comparación estadística (Fig. 28).

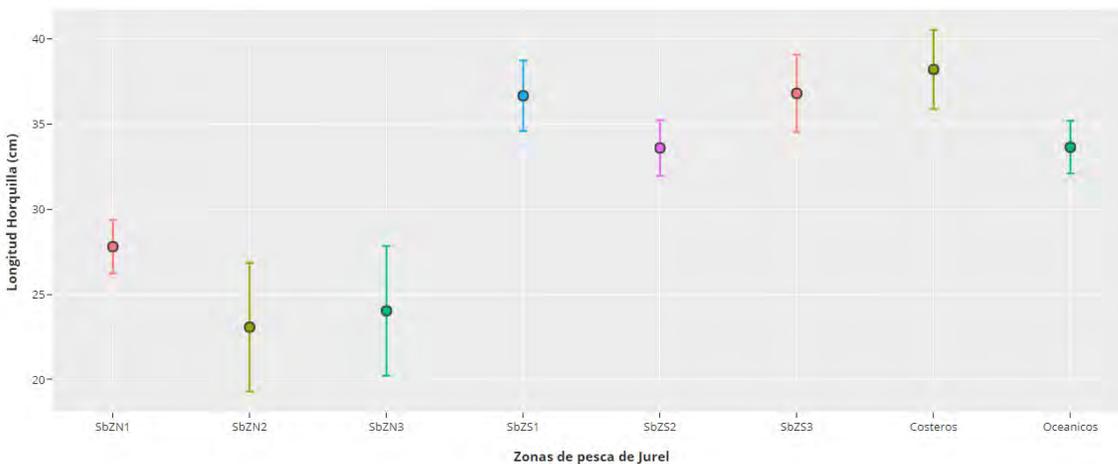


Figura 28. Promedio (longitud horquilla, cm) de los tamaños de ejemplares de jurel por subzonas, más costeros y oceánicos (valor $p<0,05$). Las barras indican 1 desviación estándar.

Para la representación gráfica de la dieta general de jurel en las dos macrozonas se siguió la metodología propuesta por Costello (1990), la que utiliza la base de un biplot (Fig. 29) con los porcentajes de los métodos descritos anteriormente en sus vértices, permitiendo inferir la importancia de la presa (dominante o rara), la estrategia alimenticia del predador (especializado o generalista) y el grado de homogeneidad de la alimentación en la población del predador. En el presente estudio se realizó una modificación al método de Costello (1990), reemplazando los valores de %N y %FO por los componentes de PW_i y PN_i , ya que estos últimos incorporan la

frecuencia de ocurrencia en su algoritmo. Las comparaciones estadísticas fueron realizadas mediante el test no paramétrico U de Mann-Whitney (Quinn & Keough, 2002). En ese caso, si se aprueba H_0 ($p > 0.05$), entonces se infiere que las dietas son similares. Los gráficos y análisis estadísticos fueron realizados con el software R (R Core Team, 2018).

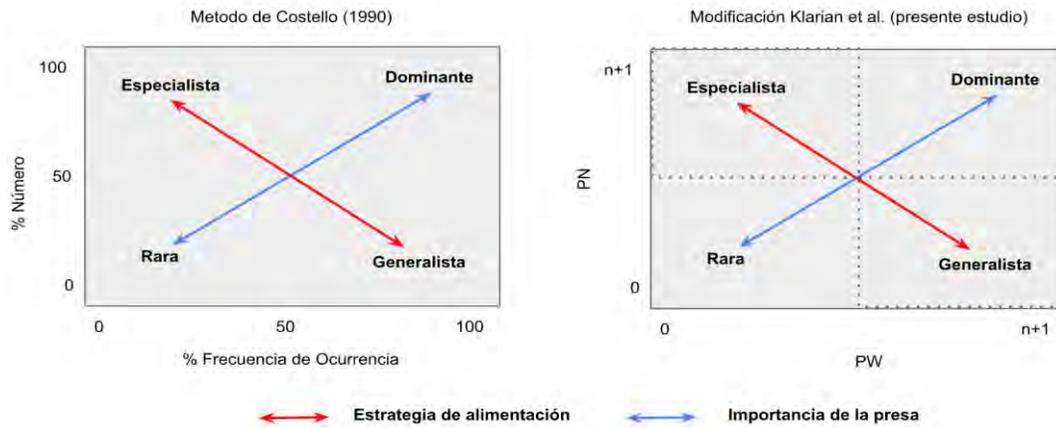


Figura 29 Representación gráfica bidimensional de los datos de contenidos estomacales.

4.3.3. Resultados

4.3.3.1. Generalidades

De los 1.900 estómagos de jurel analizados en el presente estudio, 1.590 estómagos (83,7%) presentaron algún tipo de contenido; 310 estómagos (16,3%) se presentaron vacíos. El desglose por estómagos analizados por estrato se presenta en la Tabla 8. La MZN presentó menor fracción de estómagos con contenido (66%) respecto de la MZS (99%). Las curvas de diversidad trófica (Figs. 30 y 31) alcanzaron la asíntota aproximadamente en 250 estómagos de jurel. Por lo tanto, en este estudio se analizó una cantidad adecuada para analizar su dieta en el año 2018 (Arica a Valdivia). En la Tabla 9 se resume los ítems de presas encontrados en los estómagos de jurel (29 taxa), revelando amplio espectro trófico.

Tabla 8. Número de estómagos analizados en este estudio por macrozona y rango de tamaños de jurel. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur; SbZN = subzona norte; SbZS = subzona sur. Para la macrozona norte (MZN): R1 = grupo de individuos de jurel <23 cm de LH; R2 = grupo de individuos de jurel \geq 23 cm de LH. Para la macrozona centro-sur (MZS): R1 = grupo de individuos de jurel <36 cm de LH; R2 = grupo de individuos de jurel \geq 36 cm de LH.

Macrozona	Estómagos c/contenido	%	Estómagos vacíos	%	Total
MZN	580	66	303	34	883
MZS	1.010	99	7	0,7	1.017
Estómagos c/contenido, estratos macrozona norte (MZN)					
SbZN1	23				
SbZN2	321				
SbZN3	236				
R1	230				
R2	350				
Hembras	195				
Machos	126				
Indeterminado	259				
Estómagos con contenido, estratos macrozona centro-sur (MZS)					
SbZS1	203				
SbZS2	326				
SbZS3	481				
Costeros	464				
Oceánicos	546				
R1	753				
R2	257				
Hembras	456				
Machos	554				

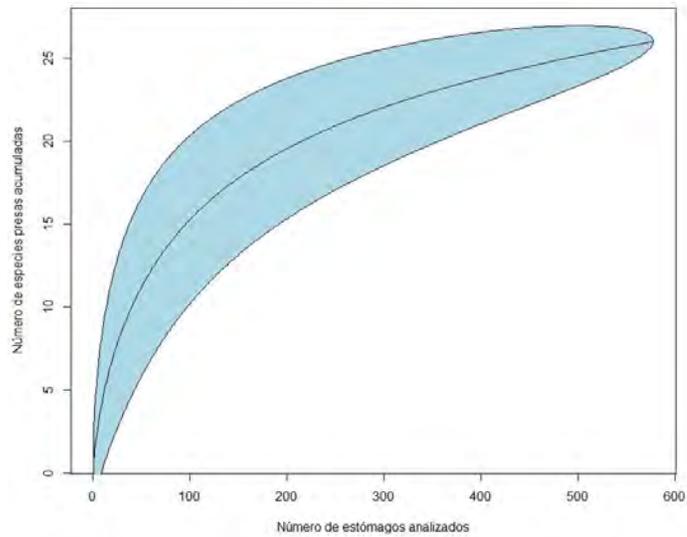


Figura 30. Curva de diversidad trófica de jurel para la macrozona norte.

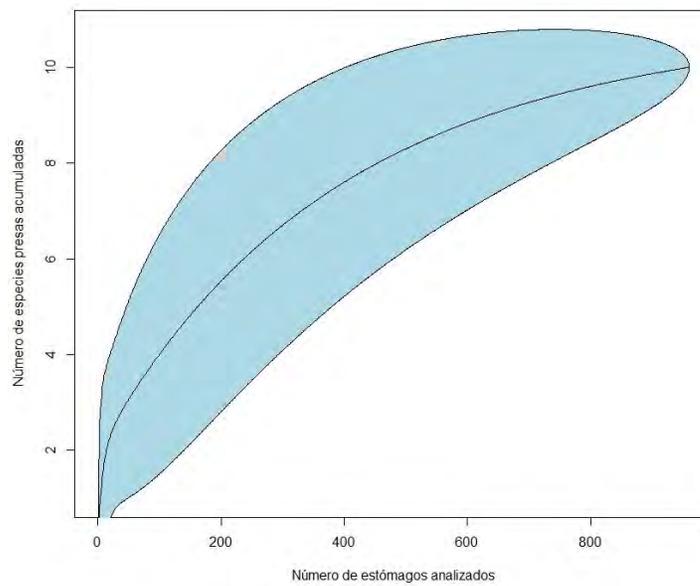


Figura 31. Curva de diversidad trófica para jurel de la macrozona centro-sur.

Tabla 9. Lista de taxa de presas en el contenido estomacal de individuos de jurel.

Categoría	Grupo	Especie o Familia
Zooplancton	Copepoda	
	Larva zoea	
	Larva megalopa	Brachyura
	Larva zoea	<i>Emerita analoga</i>
	Larva zoea	Porcelanidae
	Anomura	
Ictioplancton	Larvas de peces	
Salpas	Salpas	
Langostinos	Langostino	<i>Pleuroncodes monodon</i>
Estomatópodos	Estomatopoda	cf. <i>Squilla hanckok</i>
Eufáusidos	Eufáusidos	<i>Euphausia mucronata</i>
	Eufáusidos	<i>Euphausia superba</i>
Zooplancton	Amphipoda	-
	Ostracoda	-
Anchovetas	Anchoveta	<i>Engraulis ringens</i>
Zooplancton	Larvas Mytilidae	Mytilidae
Pejerreyes	Pejerrey	<i>Odontesthes regia</i>
Zooplancton	Isopoda	-
	Larva zoea	Brachyura
Ictioplancton	Huevos de peces	
Zooplancton	Larva zoea	Blepharipoda
Poliquetos	Polychaeta	
Zooplancton	Larvas <i>Pagurus</i>	<i>Pagurus</i> sp.
Cefalópodos	Cephalopoda	
Sardina	Sardinas	<i>Strangomera bentincki</i>
Camarón	Camarón	<i>Heterocarpus reedi</i>
<i>Maurolicus</i>	Peces meso pelágicos	<i>Maurolicus parvipinnis</i>
Agujilla	Peces	<i>Scomberesox saurus</i>

4.3.3.2. Alimentación de individuos de jurel en la macrozona norte (MZN)

En la MZN los individuos de jurel se alimentan mayormente de eufáusidos (42%), seguido del zooplancton (27%) y langostinos (16%) (Fig. 32) (Tabla 10). El diagrama bidimensional para la MZN (Fig. 33) muestra que los ejemplares de jurel de esta zona presentan alimentación homogénea.

El análisis por subzonas no permito avanzar en la subzona 1 (SbZN1) de la macrozona norte (MZN) debido a que se presenta 100% de restos de crustáceos (Tabla 11). Sin embargo, en la subzona 2 (SbZN2) se revela más importancia el zooplancton (34%), seguido de langostinos (28%) y eufáusidos (27%). El resto de las presas son ítems raros. En la subzona 3 (SbZN3) de la MZN dominan los eufáusidos (58%) en la dieta del jurel, seguido por zooplancton (21%) y anchoveta (17%). Sin embargo, el test U revela que las dietas son similares entre subzonas de la MZN ($U=55,5$; $p=0,766$), aun cuando los eufáusidos son el ítem presa principal (Fig. 34).

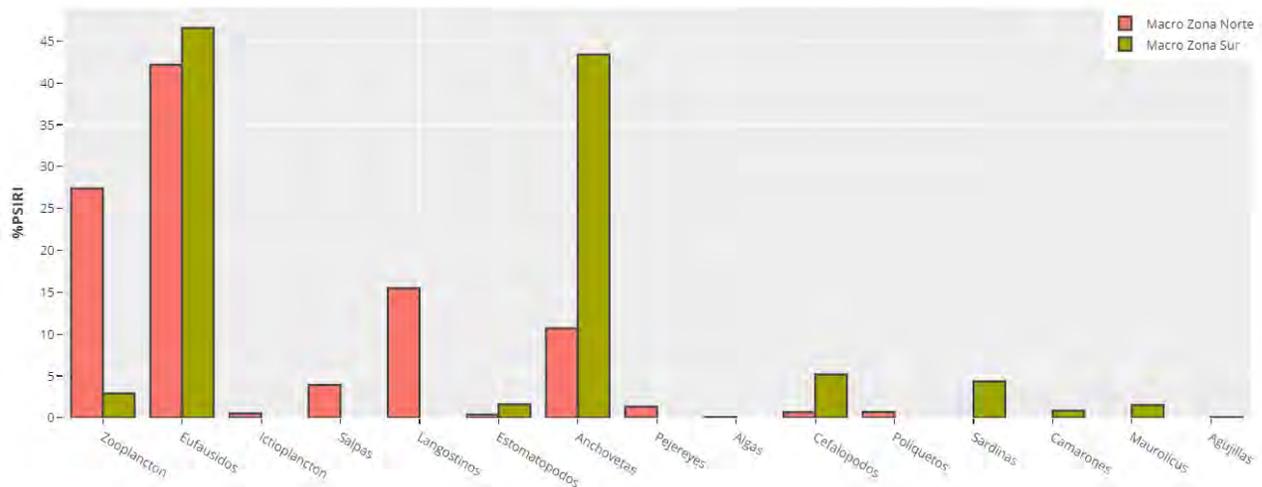


Figura 32. Taxa de presas de jurel por macrozonas.

Tabla 10. Importancia (porcentual) de presas en la dieta de jurel por macrozona. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur. Taxa de presas según Tabla 9.

Ítem presa	MZN	MZS
Agujilla		0,1
Anchoveta	10,7	43,4
Camarón		0,9
Cefalópodo	0,7	5,2
Estomatópodo	0,4	1,6
Eufáusidos	42,2	46,6
Ictioplancton	0,5	
Langostino	15,5	
<i>Maurolicus</i>		1,5
Pejerrey	1,3	
Poliquetos	0,7	
Salpa	3,9	
Sardina		4,4
Zooplancton	27,4	2,9

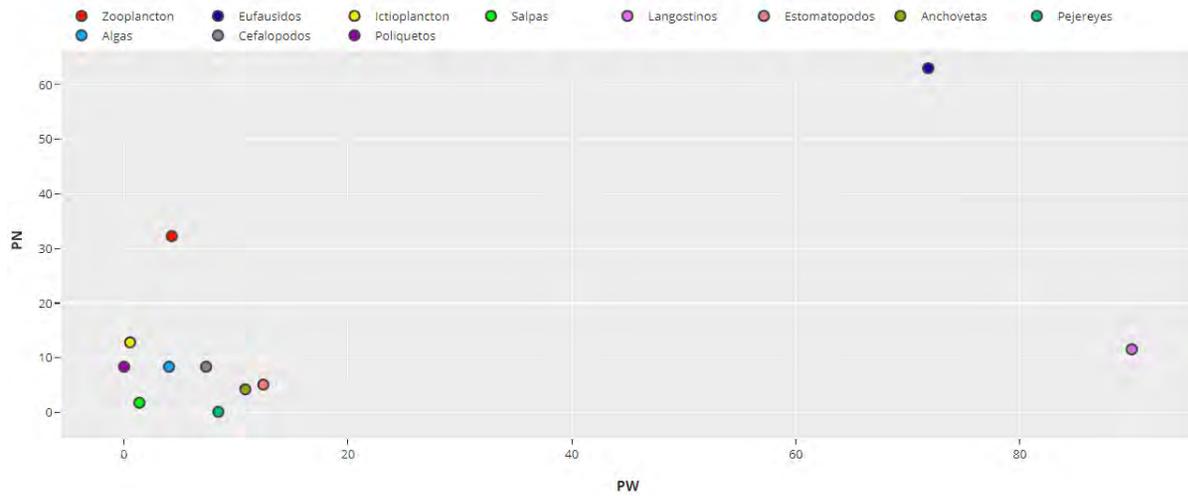


Figura 33. Diagrama bidimensional de alimentación de jurel en la macrozona norte.

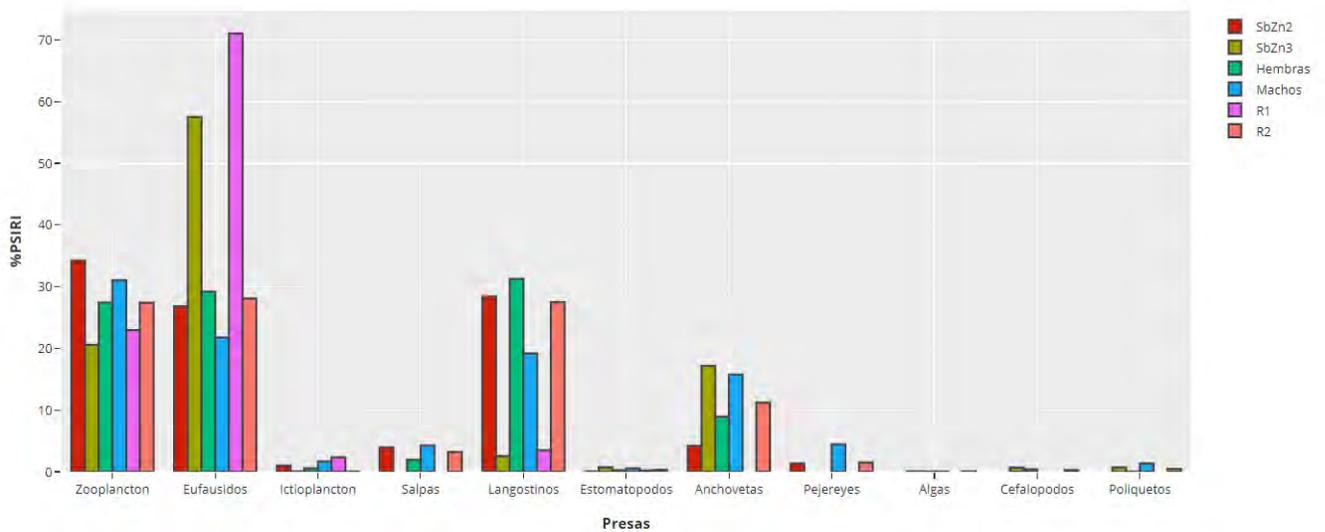


Figura 34. Aporte (porcentual) de tasa de presas de jurel en la macrozona norte (subzonas, sexos y rangos de tamaños).

En el análisis intraespecífico, las hembras y machos de jurel (Tabla 11) muestran que los eufáusidos es un ítem de alimento preferido (29% y 228%, respectivamente). En las hembras, los langostinos son la presa que contribuye mayormente (31%), mientras que en los machos es

el zooplancton (31%) (Fig. 34). Sin embargo, el test U no revela diferencias significativas en la alimentación por sexos ($U=42$; $p=0,570$). En cuanto a rangos de tallas, la alimentación de los individuos de jurel está marcada por la homogeneidad del rango de peces <26 cm de LH (R1), los que basan su alimentación en eufáusidos (71% de PSIRI), seguido de zooplancton (23%). Los ejemplares de mediano tamaño de jurel (R2, ≥ 26 cm de LH) muestran mayor espectro trófico en comparación con R1 (eufáusidos: 28%; langostinos: 28%; zooplancton: 27%). Sin embargo, el test U no revela diferencias significativas en las dietas por tamaños de jurel ($U=21$; $p=0,496$).

Tabla 11. Aporte de presas de jurel en la macrozona norte. Nomenclatura: SbZN 1, 2, 3 = subzonas norte 1, 2 y 3; R1 = grupo de individuos de jurel <23 cm de LH; R2 = grupo de individuos de jurel ≥ 23 cm de LH.

Ítem presa	SbZN1	SbZN2	SbZN3	Hembras	Machos	R1	R2
Anchoveta		4,2	17,2	8,9	15,7		11,2
Cefalópodo			0,7	0,4			0,3
Estomatópodo		0,05	0,7	0,2	0,6	0,20	0,3
Eufáusidos		26,8	57,5	29,2	21,8	71,03	28,1
Ictioplancton		1,0	0,05	0,6	1,7	2,32	0,04
Langostino		28,4	2,5	31,3	19,2	3,50	27,5
Pejerrey		1,3			4,4		1,5
Poliqueto			0,7	0,04	1,3		0,5
Restos Crustáceos	100						
Salpa		3,9		1,9	4,2		3,2
Zooplancton		34,2	20,6	27,4	31,0	22,96	27,4

4.3.3.3. Alimentación de individuos de jurel en la macrozona centro-sur (MZS)

En la macrozona centro-sur (MZS) los individuos de jurel se alimentan mayormente de eufáusidos (47%), seguido de las anchovetas (43%), y muy marginalmente los cefalópodos (5%) (Fig. 32). El diagrama bidimensional para la MZS revela que los jureles de esta zona presentan alimentación heterogénea (Fig. 35). La preferencia alimentaria de los ejemplares de jurel es sobre anchovetas y eufáusidos. Las sardinas y otros taxa con menor aporte a la dieta del jurel son presas de presencia intermitente (Fig. 36). Un análisis por subzonas de la MZS (Tabla 12), así como por sexos y rangos de tamaños de jureles, revela que en la subzona 1 (SbZS1) el alimento principal corresponde a anchoveta (70%), seguido eufáusidos (30%), lo que es relativamente similar en la subzona 2 (SbZS2; anchoveta: 55%; eufáusidos: 31%), con el resto de las presas que se considerara raras. En la subzona 3 (SbZS3) son los eufáusidos (80%) los que contribuyen mayormente a la dieta del jurel, seguido por cefalópodos (12%). El test U revela que las dietas de jurel son similares en las SbZS 1 y 2 ($U=1,31$; $p=0,795$). Tampoco se revelan diferencias significativas en las dietas de ejemplares de jurel capturados en las zonas costera y oceánica ($U=14$; $p=0.626$), aun cuando los jureles capturados más cerca de la costa presentaron en la dieta mayor contribución de eufáusidos (59%) que de anchovetas (41%). Sin embargo, en jureles capturados en la zona oceánica los eufáusidos (39%) y anchovetas (38%) aportan de manera similar a la dieta de los jureles.

En el análisis de la dieta por sexo en ejemplares de jurel (Tabla 12), hembras y machos de jurel muestran similar preferencia en las principales presas (eufáusidos y anchovetas) (Fig. 36). En efecto, el test U revela que no existen diferencias significativas en las dietas de machos y hembras ($U=28$; $p=0,713$). En cuanto a la alimentación de ejemplares de jurel por rangos de tallas en la macrozona centro-sur, el aporte de presas en ejemplares de tamaño medio más pequeño (R1) y más grandes (R2) revela que no existen diferencias significativas y, por tanto, las dietas fueron similares (test $U=16$; $p=0,870$).

Tabla 12. Aporte (porcentual) de presas de jurel en la macrozona centro-sur. Nomenclatura: SbZS = subzona centro-sur; R1 = grupo de individuos de jurel <36 cm de LH; R2 = grupo de individuos de jurel \geq 36 cm de LH.

Ítem Presa	SbZS1	SbZS2	SbZS3	Costero	Oceánico	R1	R2	Hembras	Machos
Agujilla			0,1	002			0,05		004
Anchoveta	70,1	54,6	5,4	40,8	38,3	58,5	15,8	33,4	42,8
Camarón	0,5		1,2		1,1	0,6		0,6	0,1
Cefalópodo	0,3	3,1	12,1	0,1	2,0	1,5		0,1	0,6
Estomatópodo	1,6				1,6	0,7		1,1	
Eufáusidos	29,6	30,5	79,6	58,6	38,8	32,8	70,6	59,4	53,3
<i>Maurolicus</i>			1,5	0,4		0,3	0,7	0,2	0,5
Sardina	4,4				10,3		12,8	4,7	2,1
Zooplancton	5,3		0,5		7,9	5,7		0,6	0,7

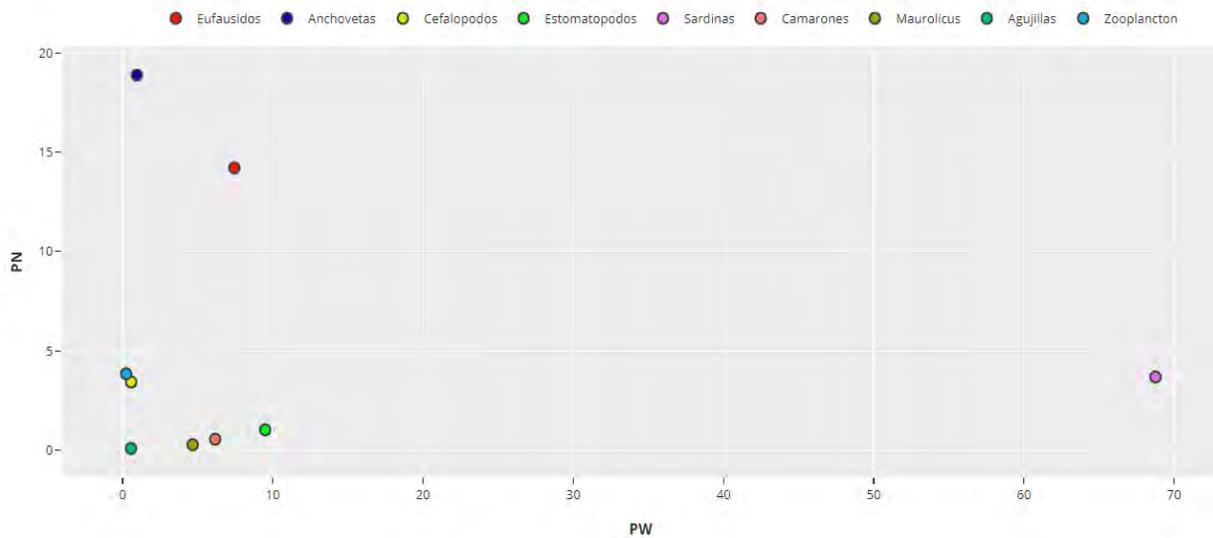


Figura 35. Diagrama bidimensional de alimentación de jurel en la macrozona centro-sur.

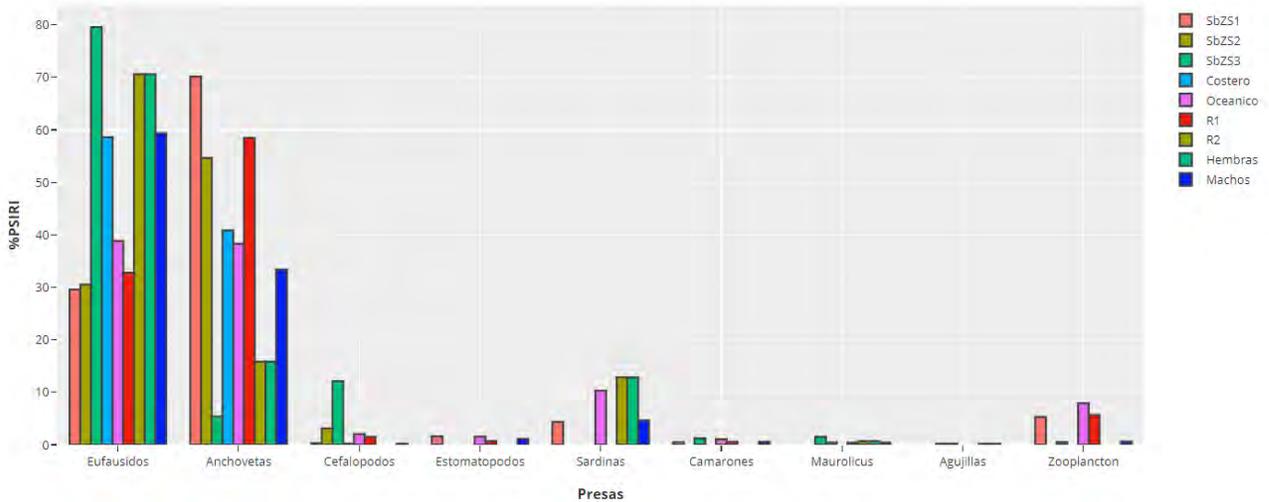


Figura 36. Aporte (porcentual) de taxa de presas de jurel en la macrozona centro sur (subzonas, sexos y rangos de tamaños).

4.3.4. Discusión

El número de estómagos analizados en este trabajo (mínimo mensual de 250 por macrozona) fue suficiente para la adecuada descripción de la dieta del jurel (Figs. 30 y 31). Los resultados cuantitativos de los análisis de contenido estomacal coinciden en señalar la importancia de eufáusidos como presa principal, concordando con Medina & Arancibia (2002), Antezana (2010) y Orrego & Mendo (2015). Por otro lado, Alegre et al. (2015), en un análisis trófico de ejemplares de jurel de 1977 a 2013 capturados frente a Perú, identificaron dos escenarios, a saber: de 1977 a 2000, cuando dominaron los eufáusidos; y posterior al año 2000, cuando se presentó mayor diversidad trófica y mayor aporte de peces meso pelágicos, coincidiendo la presencia de peces meso pelágicos en la dieta de jurel.

Aun cuando la marcada presencia de los eufáusidos en las dos macrozonas de este estudio (norte y centro-sur) es evidente, sorprende la variada diversidad trófica (Tabla 9). En efecto, el jurel es considerado como predador oportunista que presenta plasticidad trófica, lo que se ajusta a la

oferta disponible en el ambiente (Alegre et al., 2015). Este método de análisis (SCA) ratifica la conducta oportunista del jurel. Sin embargo, hasta ahora no existen trabajos publicados de alimentación del jurel con biotrazadores, tal como isótopos estables o ácidos grasos. El uso único del contenido estomacal (en peso) puede conducir a sesgos en los resultados. Por ejemplo, el número de presas con alta escala de digestión hace que, al momento de estimar su contribución en peso, sea subestimado, conduciendo a error en el cálculo del índice combinado (Sallaberry-Pincheira et al., 2018).

Por otro lado, en el presente estudio los individuos de jurel no presentaron diferenciación ontogenética ni en la macrozona norte ni en la macrozona centro-sur. Basándonos en la hipótesis que la ontogenia trófica está supeditada a la variación de la oferta de alimento en el ambiente, y que la fluctuación alimentaria puede relacionarse con la disponibilidad ambiental de eufáusidos asociados a periodos de alta productividad primaria (Hückstädt et al., 2007; Antezana, 2010), entonces se postula que la ontogenia del jurel estaría dada por presentar características oportunistas. Por lo tanto, la hipótesis que el jurel no presente un patrón ontogenético es favorecida por la abundancia de la oferta ambiental, principalmente sujeta a la doctrina que la oferta ambiental de las presas de jurel presentan fluctuaciones naturales en abundancia y distribución que obedecen a factores propios de su historia de vida o a de su hábitat (Wuenschel et al., 2006; Wootton, 2012).

4.3.5. Conclusiones

- Para toda el área de estudio, los eufáusidos son el ítem de presa principal, aportando cerca de 50% (en peso) en la dieta de los individuos de jurel analizados.
- Los contenidos estomacales revelan que no existen patrones ontogenéticos tróficos en el jurel.

4.3.6. Referencias

- Aguirre, A., Ostfeld R., Tabor G., House C., Pearl M. (2002). *Conservation Medicine: Ecological Health in Practice*. Oxford University Press, Inc., New York
- Alegre, A., Bertrand A., Espino M., Espinoza P., Dioses T., Ñiquen M., Navarro I., Simier M., Ménard F. (2015). Diet Diversity of Jack and Chub Mackerels and Ecosystem Changes in the Northern Humboldt Current System: A Long-Term Study. *Progress in oceanography* 137, 299–313.
- Antezana, T. (2010). *Euphausia mucronata*: A Keystone Herbivore and Prey of the Humboldt Current System. *Deep-sea research. Part II, Topical studies in oceanography* 57, 652–662.
- Berg, J. (1979). Discussion of Methods of Investigating the Food of Fishes, with Reference to a Preliminary Study of the Prey of *Gobiusculus flavescens* (Gobiidae). *Marine biology* 50, 263–273.
- Brown, S.C., Bizzarro J.J., Cailliet G.M. & A.Ebert D. (2012). Breaking with Tradition: Redefining Measures for Diet Description with a Case Study of the Aleutian Skate *Bathyraja Aleutica* (Gilbert 1896). *Environmental biology of fishes* 95, 3–20.
- Cohen, DMD, Inada T., Iwamoto T. & Scialabba N. (1990). Gadiform fishes of the world (Order Gadiformes). An annotated and illustrated catalogue of cods, hakes, grenadiers and other gadiform fishes known to date
- Cortés, E. & Gruber, S. H. (1990). Diet, Feeding Habits and Estimates of Daily Ration of Young Lemon Sharks, *Negaprion brevirostris* (Poey). *Copeia* 1990, 204–218.
- Costello, M. J. (1990). Predator Feeding Strategy and Prey Importance: A New Graphical Analysis. *Journal of fish biology* 36, 261–263.
- Essington, TE., Moriarty PE., Froehlich HE., Hodgson E., Koehn L., Oken K., Siple M. & Stawitz C. (2015). Fishing amplifies forage fish population collapses. *Proc Natl Acad Sci* 112:6648–6652. doi: 10.1073/pnas.1422020112
- Field, JC., MacCall AD., Bradley RW., Sydeman WJ. (2010). Estimating the impacts of fishing on dependent predators: a case study in the California Current. *Ecol Appl* 20:2223–2236.
- Fung, T., Farnsworth KD., Reid DG. & Rossberg AG. (2015). Impact of biodiversity loss on production in complex marine food webs mitigated by prey-release. *Nat Commun* 6:6657. doi: 10.1038/ncomms7657

- Grey, J., Thackeray S. J., Jones R. I. & Shine A. (2002). Ferox trout (*Salmo trutta*) as 'Russian dolls': complementary gut content and stable isotope analyses of the Loch Ness foodweb. *Freshwater Biology* 47:1235-1243.
- Harvey, C. & Cox SP, Essington TE, Hansson S., Kitchell J. F. (2003). An ecosystem model of food web and fisheries interactions in the Baltic Sea. *ICES J Mar Sci* 60:939–950. doi: 10.1016/S1054
- Hückstädt, L. A., Rojas, C. P., Antezana, T. (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.
- Hyslop, E. J. (1980) Stomach Contents Analysis—a Review of Methods and Their Application. *Journal of fish biology*, 17: 411-429. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x>
- Keller, HR, Hirons AC, Kerstetter DW. (2016). Combined stomach content and d13C/d15N analyses of oilfish, escolar, snake mackerel and lancetfish in the western North Atlantic. *Mar Ecol* 37:727–736. doi: 10.1111/maec.12317
- Klarian, S. A., Canales-Cerro C., Barría P., Zárate P., Concha F., Hernández S., Heidemeyer M., Sallaberry-Pincheira P. & Meléndez R. (2018). New Insights on the Trophic Ecology of Blue (*Prionace glauca*) and Shortfin Mako Sharks (*Isurus oxyrinchus*) from the Oceanic Eastern South Pacific. *Marine biology research*, 14: 173–182.
- Madin, EMP, Dill LM., Ridlon AD., Heithaus M. & Warner R. (2016). Human activities change marine ecosystems by altering predation risk. *Glob Chang Biol* 22:44–60. doi: 10.1111/gcb.13083
- McCauley, DJ., Pinsky ML., Palumbi SR., Estes J., Joyce1 F., Warner R. (2015). Marine defaunation: Animal loss in the global ocean. *Science* (80-). doi: 10.1126/science.1255641
- Medina, M. & Arancibia H. (2002). Dinámica Trófica del Jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) En El Norte de Chile. *Investigaciones marinas* 30, 45–55.
- Neira, S. & Arancibia H. (2013). Food Web and Fish Stock Changes in Central Chile: Comparing the Roles of Jumbo Squid (*Dosidicus gigas*) Predation, the Environment, and Fisheries. *Deep-sea research. Part II, Topical studies in oceanography* 95: 103–112.
- Orrego, H. & Mendo J. (2015). Hábitos Alimenticios del Jurel *Trachurus Murphyi* (Nichols) En La Zona nor-Central Del Mar Peruano. *Ecología Aplicada*, 14: 103–113.

- Pauly, D., Watson R. & Alder J. (2005). Global Trends in World Fisheries: Impacts on Marine Ecosystems and Food Security. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 360, 5–12.
- Pethybridge, HR., Young JW., Kuhnert PM. & Farley JH. (2015). Using stable isotopes of albacore tuna and predictive models to characterize bioregions and examine ecological change in the SW Pacific Ocean. *Prog Oceanogr* 134:293–303. doi: 10.1016/j.pocean.2015.03.001
- Quinn, G. P. & Keough M. J. (2002). *Experimental Design and Data Analysis for Biologist*. Cambridge University Press. 527 p.
- Retamal, M. (2000). Catálogo multimedia de los crustáceos decápodos de Chile. World Biodiversity Data Base ETI series.
- R Core Team. (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013.
- Rocha, F. (2003). *Biología, ecología, cultivo y pesquerías de cefalópodos*.
- Sallaberry-Pincheira, P., Galvez P., Molina-Burgos B. E., Fernandoy F., Meléndez R., Klarian S. A. (2018) Diet and Food Consumption of the Patagonian Toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in South Pacific Antarctic Waters. *Polar Biology* 41, 2379–2385.
- Sepúlveda, F., Gálvez P., Molina-Burgos B. E. & Klarian S. A. (2018). Hábitos alimentarios del besugo *Epigonus crassicaudus* combinando contenido estomacal e isótopos estables. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 53, 31–37.
- Smircich, M. G., Strayer D. L. & Schultz E. T. (2017). Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) Affects the Feeding Ecology of Early Stage Striped Bass (*Morone saxatilis*) in the Hudson River Estuary. *Environmental biology of fishes* 100, 395–406.
- Ugland, K. I., Gray J. S. & Ellingsen K. E. (2003). The Species–accumulation Curve and Estimation of Species Richness. *The Journal of animal ecology*.
- Wootton, R. J. (2012). *Ecology of Teleost Fishes*. Springer Science & Business Media. 396 p.
- Worm, B. & Paine RT. (2016). Humans as a Hyperkeystone Species. *Trends Ecol Evol* 31:600–607. doi: 10.1016/j.tree.2016.05.008
- Wuenschel, M. J., Jugovich A. R. & Hare J. A. (2006). Estimating the Energy Density of Fish: The Importance of Ontogeny. *Transactions of the American Fisheries Society* 135, 379–385.

4.4. Objetivo Específico 4

Determinar, a través de la técnica de isótopos estables, la contribución de los principales ítems alimentarios de juveniles y adultos de jurel, y probar si existen diferencias intra-específicas (ontogenéticas).

Resumen

Se analiza la contribución de las presas en la dieta de individuos de jurel ($n = 507$ peces) y la respectiva posición trófica de las presas mediante modelos con inferencia bayesiana. Para los modelos de mezcla se usó las combinaciones de $\delta^{13}\text{C}$ (isótopo estable de Carbono 13) y $\delta^{15}\text{N}$ (isótopo estable de Nitrógeno 13), en tanto para la posición trófica se usó la composición específica de los aminoácidos de $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glutámico}}$ y $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phenilalanina}}$. Se confirma a los eufáusidos como el ítem de presa más importante en la dieta del jurel (45% en peso respecto del peso del total de presas en los contenidos estomacales analizados, considerando toda el área y tiempo de estudio). No se encontró diferencias ontogenéticas en la alimentación de jurel (test PERMANOVA; $F=0,633$; $p=0,418$). La posición trófica del jurel, usando los aminoácidos, es 3,3 en la macrozona centro-sur (MZS) y 3,6 para la macrozona norte (MZN).

4.4.1. Introducción

Debido a que la teoría de tramas tróficas ofrece una comprensión de las redes de interacciones potencialmente complejas que podrían ser generadas por las interacciones humanas, se ha sugerido que las tramas tróficas proporcionan una plataforma conceptual útil sobre la cual se puede trazar las consecuencias ecológicas de cambios ambientales, identificar brechas de conocimiento y predecir generalidades (Worm & Paine 2016), mediante inferencias que son referentes a cambios o modificaciones en la composición de las presas y sus predadores, siendo posible evaluar el impacto sobre recursos pesqueros en su estructura y función (Reynolds and

Jennings 2000; Aguirre et al. 2002; Alleva et al. 2006; Medina et al. 2007; Ferretti et al. 2010; Soto-Jiménez 2011; Caut et al. 2013; Espinoza et al. 2015; Essington et al. 2015; Pethybridge et al. 2015).

Una de las técnicas más ampliamente utilizada en estudios tróficos es el análisis del contenido estomacal (stomach contents analysis, SCA), el que da cuenta de lo que efectivamente ha ingerido el pez. Sin embargo, esta metodología está limitada por el grado de digestión de las presas en el contenido estomacal, siendo necesario analizar alto número de estómagos para mejorar la precisión del estimado dietario (Keller et al. 2016). Sin embargo, el lado positivo es que esta técnica es barata de implementar. Por otro lado, los análisis de isótopos estables (stable isotope analysis, SIA) de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) entregan inferencias integradas del consumo y del grado de asimilación de la presa con alta precisión, trazando las vías de flujo de energía a través de las redes alimentarias, posición trófica y movimiento de los predadores y sus presas. No obstante, esta técnica presenta limitaciones cuando se tiene baja resolución taxonómica de las presas (Post 2002; Bearhop et al. 2004; Hussey et al. 2010; Layman et al. 2012; Hussey et al. 2014) y por su alto costo. Debido a que ambas técnicas pueden presentar sesgos, se ha sugerido el uso complementario de SCA y SIA, permitiendo tener información de lo ingerido efectivamente por el predador junto con estimaciones de la integración e importancia de cada presa (Lopez et al. 2013; Chiaradia et al. 2014; Keller et al. 2016).

4.4.2. Metodología

Se analizó 507 especímenes de jurel (Tabla 13), de los se obtuvo muestras tanto de presas en el contenido estomacal como del músculo, las que fueron congeladas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se muestreó de la oferta ambiental para complementar y comparar resultados desde el contenido estomacal en cada macrozona, obteniendo 20 litros de agua de mar, más muestras de zooplancton con *red ad hoc*. El agua de mar fue almacenada bajo oscuridad total, refrigerando la muestra a 4°C hasta llegar al laboratorio; el zooplancton fue filtrado, separado y deshidratado a bordo para luego

almacenarlo al vacío, siguiendo un riguroso estándar que se aplica para estos casos, atendiendo instrucciones internacionales.

Las presas obtenidas desde los estómagos de individuos de jurel fueron seleccionadas, recopilando aquellas que presentaron estado de digestión menor a 3 h, las cuales fueron lavadas con abundante agua mili-Q y posteriormente congeladas a -80°C . El agua de mar fue filtrada en el laboratorio, dividiéndola dos filtros: el primero, para $\delta^{13}\text{C}$, fue ubicado en un desecador conteniendo en su interior 20 ml de HCl al 37% para remover el carbono inorgánico; el segundo filtro fue utilizado para $\delta^{15}\text{N}$, el cual fue ubicado sobre papel aluminio y congelado a -80°C hasta posterior análisis (Lorrain et al., 2003). Siguiendo a Feuchtmayr & Grey (2003), a las muestras de zooplancton (especialmente eufáusidos) se les tomó un trozo de músculo del abdomen de los individuos, removiendo el exoesqueleto, evitando la contaminación por carbono inorgánico.

Las muestras de los tejidos de jurel fueron limpiadas con abundante agua mili-Q para luego reducir a un peso de ~ 10 mg. Posteriormente, todas las muestras fueron reducidas a peso entre $400\ \mu\text{g}$ y $500\ \mu\text{g}$, depositándolas en cápsulas de estaño, llevándolas luego a un espectrómetro de masas en modo de flujo continuo (CF) “Nu-Instruments” modelo Perspective, acoplado a un analizador elemental (EA) de Eurovector modelo EA-3024. Los radios isótopos fueron reportados en notación de δ , usando como estándar Pee Dee Belemnita para $\delta^{13}\text{C}$ y Nitrógeno atmosférico para $\delta^{15}\text{N}$. Por lo tanto,

$$\delta^{13}\text{C} \text{ o } \delta^{15}\text{N} = \left[\left(\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} \right) - 1 \right] \times 10^3$$

donde R es $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ o $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, respectivamente. La precisión usada es menor a $\pm 0,1\%$ tanto para $\delta^{15}\text{N}$ como para $\delta^{13}\text{C}$.

Cada tejido de jurel y sus respectivas presas fueron reducidos y subdivididos para análisis de compuestos específicos de aminoácidos y composición de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y %NC, los que fueron depositados en tubos estériles de 1,8 ml. Las muestras para la composición de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y %NC

fueron reducidas hasta ~10 mg y luego lavadas con abundante agua mili-Q. Si la relación C:N era mayor a 3,5 se realizó corrección lipídica a través de derivaciones aritméticas, siguiendo lo propuesto por Kiljunen et al. (2006) para tejidos musculares de peces. La primera tanda de la subdivisión del tejido fue para estimar la composición de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y %NC. Los tejidos fueron secados en estufa MEMERT a 40°C por 12 horas, y reducidos hasta el rango entre 400 y 500 μg . Posteriormente los tejidos fueron depositados en cápsulas de estaño de 5 mm x 9 mm, analizándolos luego en el Laboratorio de Isótopos Estables de la UNAB en Viña del Mar. Las mediciones de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ fueron realizadas en Analizador Elemental acoplado a un espectrómetro de masas IRMS en modo flujo continuo. Los valores de Carbono y Nitrógeno fueron reportados en notación de δ con sus desviaciones estándar. Los estándares de referencia fueron Pee Dee Belemnita para $\delta^{13}\text{C}$ y Nitrógeno atmosférico para $\delta^{15}\text{N}$. Los valores entregados por el IRMS fueron corregidos mediante la siguiente razón:

$$\delta^{13}\text{C} \text{ o } \delta^{15}\text{N} = \left[\left(R_{\text{muestra}} / R_{\text{estándar}} \right) - 1 \right] \times 10^3$$

donde R es $^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ o $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, respectivamente.

Los músculos obtenidos de la segunda submuestra inicial fueron analizados en sus valores de $\delta^{15}\text{N}$ de aminoácidos para estimar la posición trófica (TP) en el laboratorio de análisis de isótopos estables de la Universidad de Antofagasta. El proceso de análisis isotópico en aminoácidos, conocido comúnmente como análisis compuestos específicos (CSIA por sus siglas en inglés) fue realizado mediante 3 pasos, a saber: (i) acidificación, (ii) derivatización y (iii) análisis por GC-C-IRMS. La metodología de análisis sigue a Yarnes & Herszage (2017). Resumidamente ésta consiste en lo siguiente: el proceso de acidificación se realizó a partir de 1 a 3 μg de tejido previamente liofilizado en viales conteniendo HCl 6 N. Posteriormente, el aire contenido fue desplazado con nitrógeno y llevado a temperatura sobre 150°C por 1 hora, al menos. Este proceso se realizó en conjunto con muestras internas de UASIF (*Oncorhynchus mykiss*), usado como control de calidad para verificar el proceso. La derivatización fue realizada con la metodología N-acetyl-propil de ésteres (NAIP). Entre 50 – 200 μL de muestra acidificada fue llevada a viales de 2 mL, conteniendo neuroleucina como estándar interno. Estos fueron

llevados a desecación mediante atmósfera de N₂ a temperatura de 60°C. Posteriormente, para acetilación se obtuvo 500 µL de una mezcla de metanol/cloruro de acetilo, la que fue dejada que reaccionara a 75°C por 70 minutos. Luego, se dejó secar bajo atmósfera de N₂ a temperatura ambiente. Finalmente, 500 µL de una mezcla de acetona, trietilamina y anhídrido acético (fracciones 8:2:1) fue puesta en los viales a 60°C por 15 minutos, obteniéndose los derivados en fase orgánica mediante adición y posterior separación de 125 µL de acetato de etilo en viales para el posterior análisis cromatográfico.

El análisis se realizó en espectrómetro de masas de ración isotópica Elementar (Alemania) modelo Vision, acoplado con cromatógrafo de gases Agilent (USA) modelo 7895 mediante interfase Elementar modelo GC5. Para el análisis se utilizó una columna estándar HP5 (0,32 mm diámetro interno, largo 30 m, tamaño partícula 1 µm). Los datos fueron analizados a través del uso de área cromatográfica de peaks obtenidos con el software IonOS (elementar). La validación de los datos se realizó mediante corrección por estándar interno (corrección de 2 mix de estándar internos previamente calibrados) y analizados en cada corrida de 10 muestras.

4.4.2.1. Análisis de datos

Los análisis isotópicos fueron obtenidos con el paquete para R SIAR: Stable Isotope Analysis in R (Parnell et al., 2010; Parnell & Jackson, 2015), usando las siguientes opciones: para la modelación de las dietas de los predadores se usó modelos de mezcla “Mixing Models” basado en parsimonia Gaussiana expresada en valores promedio por cada individuo. Para llegar a la probabilidad de consumo, con intervalos de credibilidad (95%), se usó los datos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en un modelo Bayesiano donde cada valor fue combinado con 1.000 pseudoréplicas. Además, se usó modelos de dependencia alimenticia de acuerdo a los valores de %C y %N. La información *a priori* de los modelos bayesianos fue tomada de las proporciones dietarias del análisis del contenido estomacal de jurel. Se usó el modelo de mezcla bayesiano SIAR (Parnell et al., 2010) para estimar la contribución relativa de las presas en los individuos de jurel. Se usó SIAR por su robusta congruencia en los resultados, ya que, al igual que otros modelos de mezcla

basados en inferencia bayesiana (SIMMS(Parnell et al., 2013), éste incluye la información individual del consumidor de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, factores de enriquecimiento trófico (TEFs) y las diferencias entre consumidores y fuentes de CN en sus tejidos (Docmac et al., 2017). De esta forma se usó los valores de TEFs propuestos por McCutchan et al. (2003), a saber: $2,6 \pm 1,3$ para $\Delta^{13}\text{C}$ y $5,8 \pm 1,3$ para $\Delta^{15}\text{N}$.

Los valores de isótopos estables fueron examinados generando estadística descriptiva (mediana y desviación estándar). Para establecer diferencias entre distintos valores de $\delta^{15}\text{N}$, se utilizó el test de PERMANOVA para diferentes grupos de tamaños de jurel, y que pueden evidenciar diferencias entre la sobreposición dietaria, el tamaño del pez y las zonas de pesca. Para comparar los valores entre macrozonas (norte y centro-sur) se usó un ANOVA de una vía. Las comparaciones entre tamaños de ejemplares de jurel fueron realizadas solo para la macrozona centro-sur (MZS), pues en la macrozona norte (MZN) no existió diferenciación por tamaños (para más detalles ver objetivo específico 3). Tampoco se realizó análisis entre sexos por macrozona, pues tampoco hubo diferencias significativas (test ANOVA; $F=1,26$; $p<0.001$). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el Software R (R Core Team, 2018).

Se estimó la posición trófica (TP) del jurel utilizando dos enfoques principales, a saber: el primero se basó en la comparación de valores promedios de $\delta^{15}\text{N}$ (basados en dos inyecciones) de los aminoácidos de la fuente canónica (Phenilalanina, Phe) y trófica (Glutamina, Glu) de 20 individuos de las macrozonas norte y centro-sur, donde el TP se estimó usando la siguiente ecuación, basándonos en meta-análisis extensivo de Bradley et al. (2016):

$$TP_{\text{Glu-Phe}} = 1 + \left[\frac{\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} - \beta}{TDF_{\text{Glu-Phe}}} \right]$$

$\beta = 3.4$; $TDF_{\text{Glu-Phe}} = 5.7$

El segundo enfoque se basó en las diferencias en valores de SIA (bulk) entre individuos de jurel capturados en cada una de las dos macrozonas de estudio y dos diferentes indicadores de línea de base. Se utilizó el POM $\delta^{15}\text{N}$ de cada área de estudio como indicador de valores de $\delta^{15}\text{N}$ en

la base de la trama alimentaria (TP = 1) (Harrod et al., no publicado). Como los valores de POM pueden variar significativamente en escalas espaciales y temporales cortas, entonces se usó valores de $\delta^{15}\text{N}$ de eufáusidos capturados en lances de zooplancton, y así para proporcionar valores de referencia (TP_{supuesto} = 2) para las dos macrozonas. De esta forma, la posición trófica del jurel fue estimada en R (R Core Team 2018), para cada una de las dos macrozonas, usando el paquete tRophicPosition con inferencia Bayesiana (Quezada-Romegialli et al., 2018), aplicando el modelo Onebaseline POM ($\lambda = 1$) o euphausiid ($\lambda = 2$) como línea de base (valores diferentes para cada área de estudio). Se asume un factor promedio de discriminación trófica de \pm SD ($\Delta^{15}\text{N}$) de $3,4 \pm 1\%$ (Post, 2002).

4.4.3. Resultados

Los valores de los estadígrafos descriptivos de isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) para individuos de jurel (n=507) y sus presas del Océano Pacífico Sur Oriental se presentan en la Tabla 13 (promedio de $\delta^{13}\text{C} = -16,56 \pm 0,8$; promedio de $\delta^{15}\text{N} = 18,51 \pm 2,1$). Por macrozona, los ejemplares de jurel de la MZN presentaron valores promedio de $\delta^{13}\text{C} = -17,61 \pm 0,9$ y promedio de $\delta^{15}\text{N} = 18,47 \pm 3,1$, mientras que en la MZS los promedios fueron $\delta^{13}\text{C} = -16,49 \pm 0,8$ y $\delta^{15}\text{N} = 18,51 \pm 2,1$. Los ejemplares de jurel de la MZN (Fig. 37) presentan valores más enriquecidos de $\delta^{13}\text{C}$ en comparación con aquellos individuos de jurel de la MZS, infiriéndose un patrón de hábitos alimentarios más costeros en los jureles del norte que los de la zona centro-sur (Fig. 38). El test de ANOVA para los jureles de la MZN revela la existencia de diferencias significativas en $\delta^{13}\text{C}$ (test de ANOVA; $F=55,98$; $p<0,001$), mientras que los niveles de $\delta^{15}\text{N}$ fueron similares en ambas macrozonas (test de ANOVA; $F=0,009$; $p=0,924$).

Tabla 13. Estadígrafos descriptivos de los valores de isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y carbono ($\delta^{13}\text{C}$) para individuos de jurel y sus presas del Océano Pacífico Sur Oriental. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur; R1 = grupo de tamaño 1 de jurel; R2 = grupo de tamaño 2 de jurel (ver objetivo específico 3).

Grupo	Estrato	Categoría	Media (\pm DS) $\delta^{13}\text{C}$	Media (\pm DS) $\delta^{15}\text{N}$	Media %C (\pm DS)	Media %N (\pm DS)	Media C:N (\pm DS)	n
Jurel	General	Predador	-16,56 (0,8)	18,51 (2,1)	42,1 (8,0)	11,98 (1,7)	3,49 (0,37)	450
	MZN		-17,61 (0,9)	18,47 (3,1)	40,1 (1,3)	10,82 (2,4)	3,60 (0,6)	57
	MZS		-16,49 (0,8)	18,51 (2,1)	42,2 (7,7)	12,10 (1,7)	3,48 (0,3)	420
	R1 (MZS)		-16,87 (0,7)	18,62 (1,9)	43,22 (7,2)	12,32 (1,7)	3,50 (0,3)	147
	R2 (MZS)		-16,28 (0,8)	18,46 (2,2)	41,67 (7,8)	11,91 (1,7)	3,48 (0,4)	273
Anchoveta	MZN	Presa	-18,82 (1,5)	18,06 (2,8)	42,87 (1,5)	12,26 (2,6)	3,50 (1,8)	41
	MZS		-18,14 (1,0)	17,30 (1,6)	50,48 (1,0)	11,32 (1,3)	4,46 (1,0)	23
Eufáusidos	MZN		-20,79 (2,0)	11,76 (3,3)	28,00 (1,0)	7,3 (2,0)	4,00 (1,5)	28
	MZS		-17,93 (1,1)	15,11 (0,9)	42,31 (0,5)	10,70 (1,3)	3,95 (0,7)	41
Fitoplancton	MZN		-22,18 (4,2)	2,44 (3,5)	35,33 (7,1)	6,13 (3,9)	5,76 (4,3)	4
	MZS		-24,79 (0,1)	2,92 (0,1)	20,98 (0,5)	8,90 (0,3)	2,36 (0,2)	3
Zooplancton	MZN		-20,65 (1,6)	12,56 (2,1)	30,57 (9,0)	7,10 (1,5)	4,31 (3,3)	42
	MZS		-20,68 (1,1)	14,26 (4,2)	46,73 (1,5)	3,40 (0,6)	3,75 (0,8)	10
Stomatopoda	MZN		-23,86 (1,1)	12,44 (2,5)	30,3 (1,5)	6,74 (1,4)	4,50 (1,5)	2
Langostino	MZN		-20,27 (0,8)	14,31 (1,8)	34,22 (4,2)	6,88 (1,2)	4,97 (2,5)	6
Camarón	MZS		-19,61 (0,6)	14,50 (2,2)	53,2 (3,9)	9,89 (2,2)	5,38 (3,1)	2
Peces meso pelágicos	MZS		-18,50 (1,4)	18,30 (1,9)	61,38 (1,5)	12,81 (3,8)	4,79 (2,5)	4
Sardina	MZS		-18,74 (0,1)	15,15 (3,4)	4,2 (1,3)	10,78 (0,9)	4,00 (0,8)	2
							Total	715

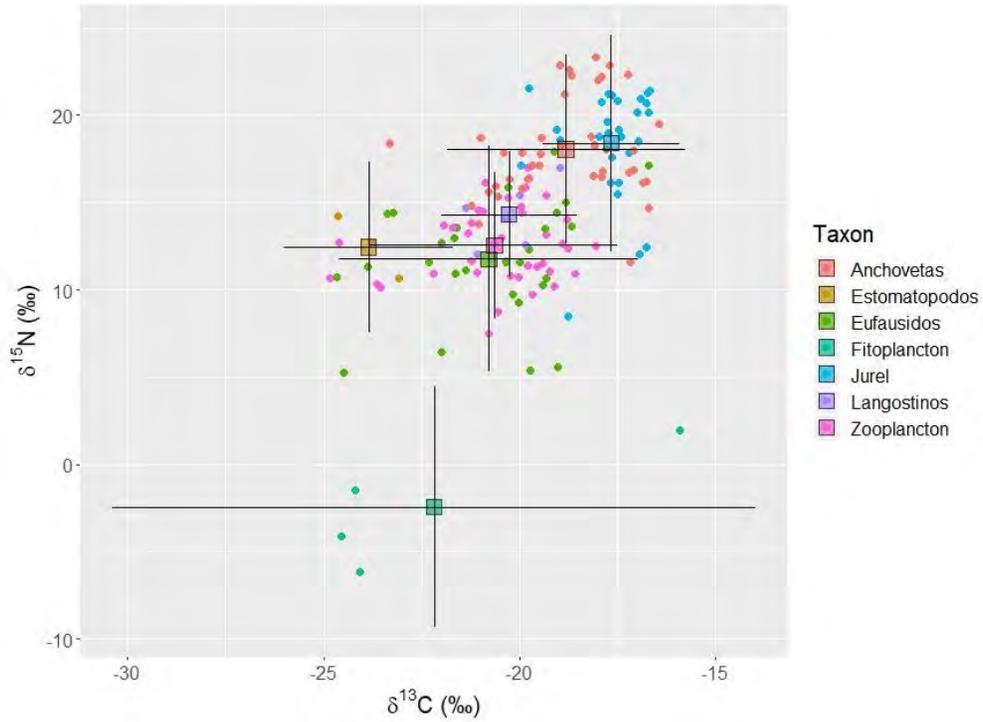


Figura 37. Bi-plot de individuos de jurel en la macrozona norte (MZN).

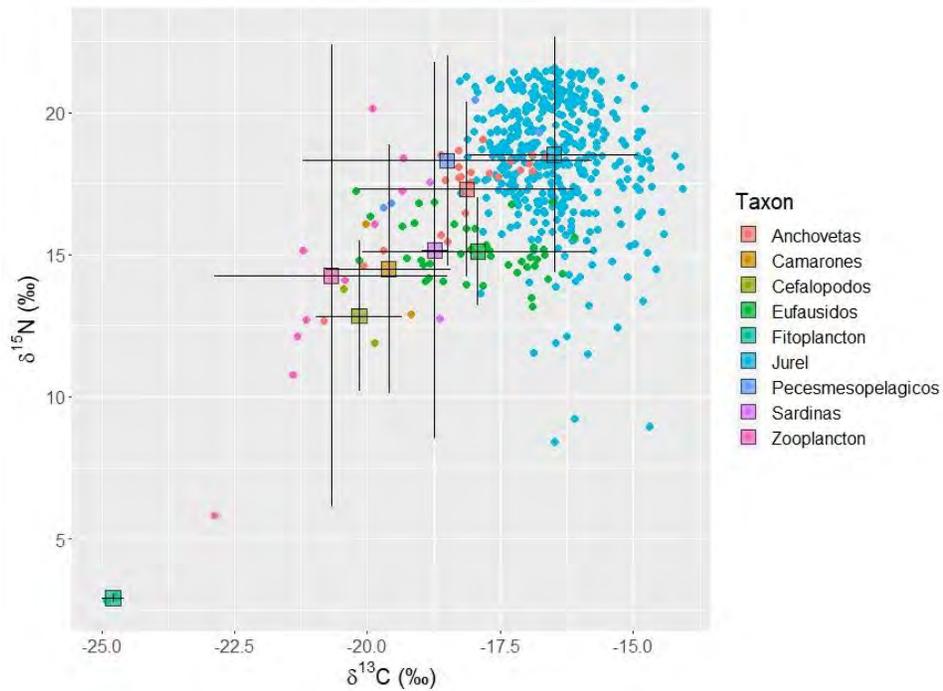


Figura 38. Bi-plot de individuos de jurel en la macrozona centro-sur (MZS).

4.4.3.1. Inferencias detarías de individuos de jurel a través de modelos de mezcla con inferencia bayesiana

Para la MZN se evidenció la linealidad de las presas y predadores (Fig. 39), esto es, las presas de jurel están por debajo de su valor de $\delta^{15}\text{N}$, revelándose un sistema costero dominado por el aporte de crustáceos (Tabla 14). Los modelos de mezcla muestran que los individuos de jurel basaron su dieta en eufáusidos ($42,1\% \pm 0,02$) con probabilidad de consumo entre 31% y 51% (Fig. 40). El zooplancton ocupó el segundo lugar en preferencias del jurel ($28,2\% \pm 0,02$), mientras que los langostinos se presentaron en el tercer lugar ($16,3\% \pm 0,02$), siguiendo en cuarto lugar la anchoveta ($11,1\% \pm 0,02$).

Tabla 14. Contribución de presas en la dieta de individuos de jurel calculada mediante inferencia bayesiana. Nomenclatura: Min = probabilidad mínima de consumo; Max = probabilidad máxima de consumo. R1 = grupo de tamaño de jurel < 33 cm de longitud horquilla (LH); R2 = grupo de tamaño de jurel ≥ 33 cm de LH.

Ítem de Presa	Macrozona Norte		Macrozona Sur R1		Macrozona Sur R2	
	Media (\pm DS)	Min - Max	Media (\pm DS)	Min - Max	Media (\pm DS)	Min - Max
Anchoveta	11,1 (0.01)	6,4 – 17,3	37,5 (0,02)	29,2 - 46	32,3 (0,02)	24,8 – 40,7
Camarón			1,7 (0,00)	0 – 5,7	2,6 (0,01)	0 – 8,5
Stomatopoda	1,5 (0.0)	0 – 4				
Eufáusido	42,1 (0.02)	31,5 – 51,6	47,8 (0,03)	38,9 – 57,6	45,7 (0,02)	36,2 – 56,3
Fitoplancton	1,1 (0.0)	0 – 3,7				
Langostino	16,3 (0.02)	10,2 – 23,2				
Peces meso pelágicos			1,7 (0,00)	0 – 4,9	1,4 (0,00)	0 – 4,6
Sardina			4,8 (0,01)	1,6 – 9,9	5,2 (0,01)	1,2 – 10,7
Zooplancton	28,2 (0.02)	20,3 – 37,5	6,3 (0,01)	1,6 – 16,7	12,6 (0,02)	4,4 – 21,4

La alimentación de individuos de jurel en las MZN y MZS se debe principalmente a peces y crustáceos (Tabla 14), aunque el supuesto de linealidad no se aprecia claramente (Fig. 41), pues

algunos ejemplares de jurel están por debajo de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de sus presas. En efecto, en la MZS puede existir un acople importante de jureles juveniles y adultos en términos alimentarios. En efecto, las inferencias bayesianas para análisis ontogenéticos tróficos muestran que los ejemplares del grupo de tamaño R1 presentan aporte de eufáusidos ($47,8\% \pm 0,03$; Fig. 42), mientras que en los jureles del grupo de tamaño R2 los eufáusidos presentaron similar aporte ($45,7\% \pm 0,03$; Fig. 43). Además, en los dos rangos de tallas de jurel se observa similar aporte de anchoveta ($37,5\% \pm 0,02$ en ejemplares del grupo R1; $32,3\% \pm 0,02$ en ejemplares en R2).

Al comparar la alimentación del jurel por macrozona (norte y centro-sur), se revela la existencia de diferencias significativas (test PERMANOVA; $F=8,061$; $p=0,0032$), aunque no hay evidencia de diferencias significativas en la alimentación de individuos de jurel entre rangos de tamaños (test PERMANOVA; $F=0,4716$; $p=0,4716$). Dicho de otra manera, se confirma que no hay un patrón ontogenético trófico en los ejemplares de jurel. Sin embargo, si existen diferencias significativas en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para los grupos de tamaño R1 y R2 de la MZS (test ANOVA; $F=55,98$; $p<0,001$), con los jureles de R1 presentando valores de mayor enriquecimiento, mientras que las comparaciones de $\delta^{15}\text{N}$ revelan que las diferencias son no significativas (ANOVA; $F=0,009$; $p=0,9244$) con lo que se confirma que el lugar trófico del jurel es el mismo en todos sus tamaños.

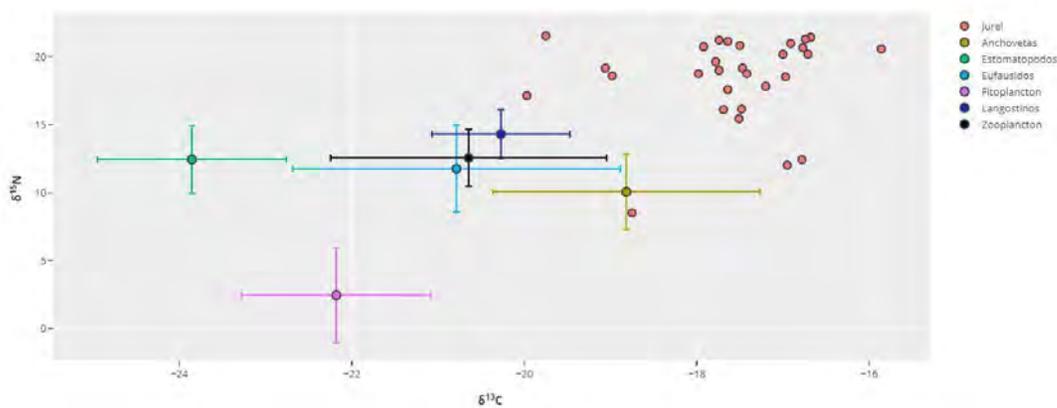


Figura 39. Bi-plot de individuos de jurel y potenciales presas en la macrozona norte (MZN).

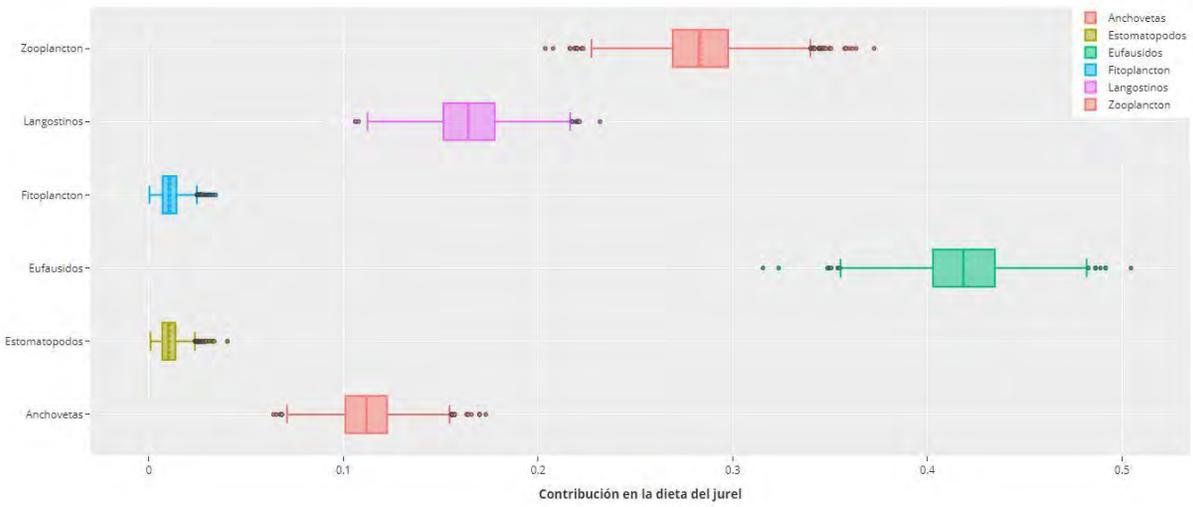


Figura 40. Contribución de presas en la dieta de jurel y potenciales presas en la MZN a través de inferencia bayesiana.

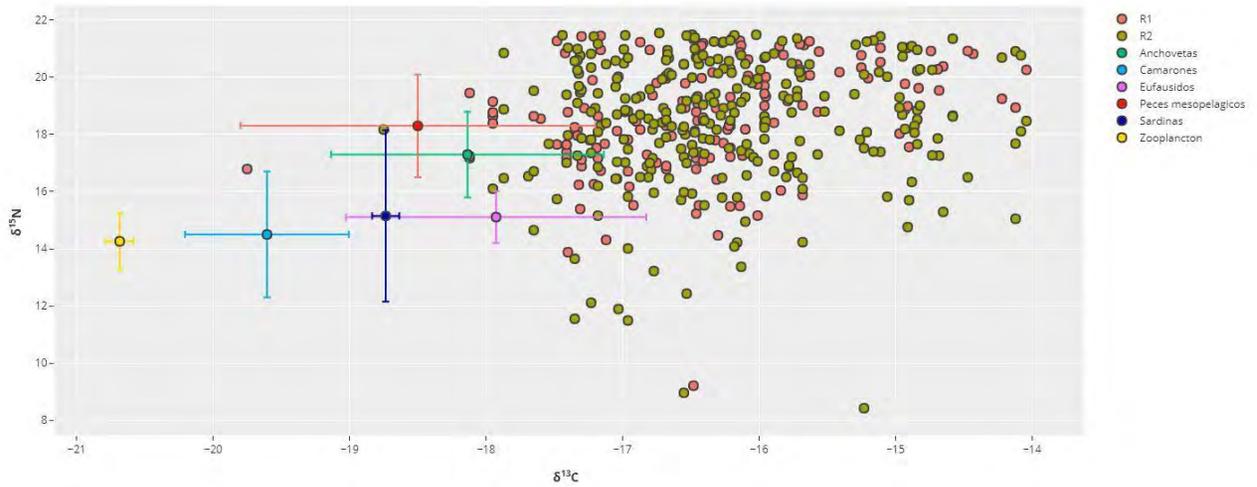


Figura 41. Bi-plot de individuos de jureles y sus potenciales presas para la MZS.

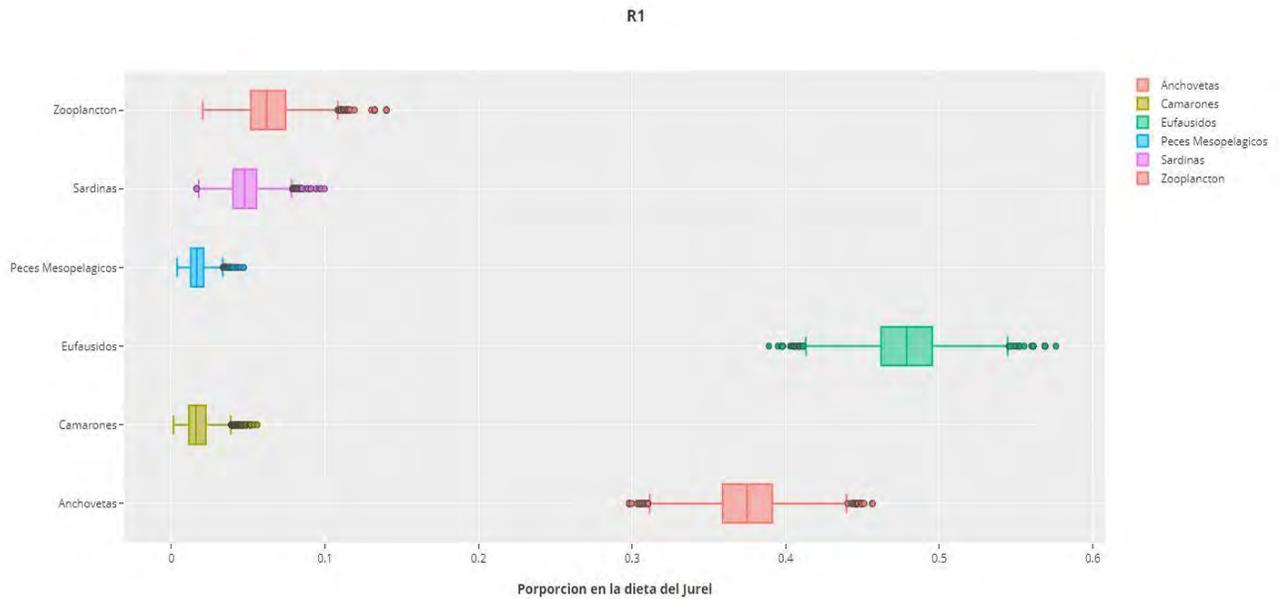


Figura 42. Contribución en la dieta de ejemplares de jurel en la MZS para el rango de talla 1 (R1) a través de inferencia bayesiana.

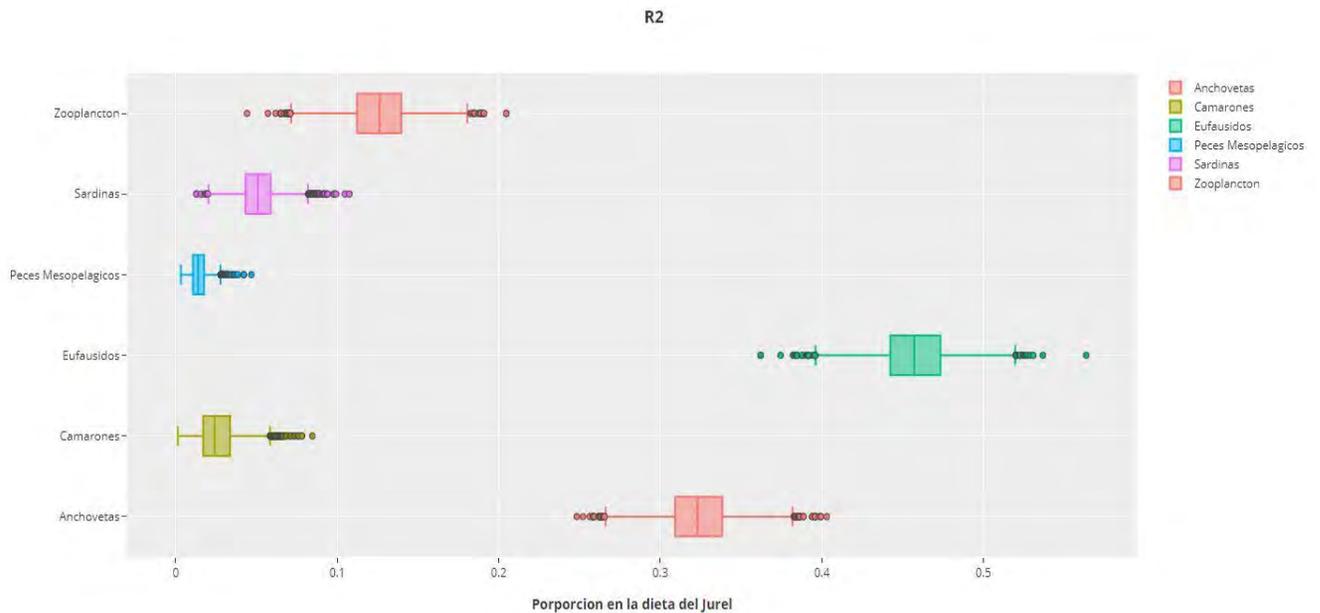


Figura 43. Contribución en la dieta de individuos de jurel en la MZS en el rango de talla 2 (R1) a través de inferencia bayesiana.

4.4.3.2. Posición trófica (TP) mediante análisis compuestos específicos (CSIA) y análisis bulk

En el análisis de compuestos específicos (CSIA) en individuos de jurel de ambas macrozonas de este estudio, los valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ del aminoácido fuente *Phenilalanina* fueron notablemente reducidos (Tabla 15; promedio MZS = 9,9; promedio MZN = 9,4 ‰) cuando se le compara con el aminoácido trófico *Glutámico* (promedio MZS = 26,3; promedio MZN = 27,6 ‰). No se encontró diferencias evidentes en los valores promedio entre las dos macrozonas de estudio (test $t_{32,8} = 1,08$; $p = 0,29$). Sin embargo, existe una pequeña diferencia significativa en el promedio de $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glutámico-Phenilalanina}}$ entre las dos macrozonas (test $t_{35,5} = 2,09$; $p = 0,046$), indicando pequeñas diferencias en los promedios de la posición trófica (TP) de individuos de jurel capturados en la macrozona norte y en la macrozona centro-sur.

Tabla 15. Estadígrafos asociados con el aminoácido $\delta^{15}\text{N}$.

Macrozona	Media (\pm SD) $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}}$ (‰)	Media (\pm SD) $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ (‰)	Media (\pm SD) $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$	n
Centro-Sur	26,3 (2,1)	9,9 (1,8)	16,6 (2,9)	20
Norte	27,6 (2,5)	9,4 (1,2)	18,2 (2,2)	20

En el análisis de “bulk” se encuentran diferencias en los valores promedio del aminoácido $\delta^{15}\text{N}$ en individuos de jurel de las dos macrozonas (Tabla 16). En efecto, los individuos de jurel de la MZN se presentan enriquecidos en $\delta^{15}\text{N}$ (4,6 ‰ en promedio) respecto a los ejemplares de jurel de la MZS (test $t_{68,1} = 8,2$; $p < 0,0001$). En tanto los valores promedio de POM $\delta^{15}\text{N}$ fueron 1,6 ‰ más altos en individuos de jurel de la MZN (test $t_{235} = 5,23$; $p < 0,0001$) respecto de aquellos de la MZS. Por el contrario, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los eufáusidos de la MZS fueron considerablemente (2,9 ‰) ^{15}N enriquecidos respecto de los eufáusidos de la MZN (test $t_{37,9} = 3,65$; $P = 0,001$).

Tabla 16. Estadígrafos para el análisis de “bulk” en sus valores de $\delta^{15}\text{N}$ usados para el cálculo de posición trófica (TP) de individuos de jurel mediante modelos bayesianos. Dos líneas bases de material particulado orgánico, POM ($\lambda = 1$) y eufáusidos ($\lambda = 2$). Los valores de POM provienen de Harrod et al. (datos no publicados, 2018).

Macrozona	Media (\pm SD) $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	POM media (\pm SD) $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	Media eufáusidos (\pm SD) $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n
Centro-Sur	16,7 (4,4)	662	9,1 (1,9)	107	14,0 (2,9)	54
Norte	21,3 (4,0)	57	10,7 (2,8)	134	11,1 (3,2)	23

Las estimaciones de la posición trófica de ejemplares de jurel (TP) basadas en aminoácidos para $\delta^{15}\text{N}$ señalan que TP es en promedio igual a 3,45 (0,47) con el rango entre 1,89 y 4,52. Dada la dieta carnívora de jurel, un valor de TP de 1,89 es imposible, aunque la estimación reflejó alto valor de $\delta^{15}\text{N}_{\text{Phenilalanina}}$ (13,9 ‰) en individuos de jurel de las MZS. Las estimaciones de TP promedio, basadas en aminoácidos (Tabla 17; Fig. 44), fueron ligeramente superiores (test $t_{35,38} = 2,09$; $p = 0,04$) en la MZN (promedio: 3,60) respecto de la MZS (promedio: 3,31). Una comparación de los valores de TP derivados de aminoácidos con el tamaño de individuo de jurel indica que existe una relación “ruidosa”, pero negativa, entre TP individual y la masa en jurel (Fig. 45; $r = -0,47$; $p = 0,002$).

Las estimaciones de TP en jurel basadas en los valores de “bulk” de $\delta^{15}\text{N}$ indicaron consistentemente posiciones tróficas más altas respecto de los valores derivados de los aminoácidos (Fig. 44; Tabla 17). Las estimaciones difieren considerablemente entre las dos líneas bases de referencia, siendo los valores basados en $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ considerablemente más bajos (MZS = 3,78; MZN = 4,28) que los de $\delta^{15}\text{N}_{\text{eufáusidos}}$ (MZS = 5,05; MZN = 3,44). Las distribuciones posteriores de las estimaciones de TP derivadas de $\delta^{15}\text{N}_{\text{POM}}$ se sobreponen entre las dos macrozonas de este estudio (son estadísticamente similares), mientras que no hubo sobreposición en los valores basados en $\delta^{15}\text{N}_{\text{eufáusidos}}$, donde TP es notablemente más alto en la MZN.

Tabla 17. Estadígrafos de la posición trófica (TP) para individuos de jurel de las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS) basados en diferencias entre los aminoácidos fuente (*Phenilalanina*) y trófico (*Glutámico*). Nota: este último no requiere una línea de base isotópica. La diferencia en los valores de “bulk” de $\delta^{15}\text{N}$ es entre individuos de jurel y POM* (Harrod et al., datos inéditos colectados en la zona de estudio durante el año 2018) o eufáusidos $\delta^{15}\text{N}$ colectados durante el presente estudio.

Método	n jurel	Línea Base	Macrozona	Promedio de TP	percentil 2,5%	Percentil 50%	percentil 97,5
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$	20	–	Centro-Sur	3,31	3,08	3,27	3,52
$\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu-Phe}}$	20	–	Norte	3,6	3,44	3,6	3,77
Bulk $\delta^{15}\text{N}$	662	POM*	Centro-Sur	3,78	3,54	3,78	4,03
Bulk $\delta^{15}\text{N}$	57	POM*	Norte	4,28	3,85	4,27	4,74
Bulk $\delta^{15}\text{N}$	662	Eufáusidos	Centro-Sur	3,44	3,18	3,43	3,71
Bulk $\delta^{15}\text{N}$	57	Eufáusidos	Norte	5,05	4,47	5,01	5,66

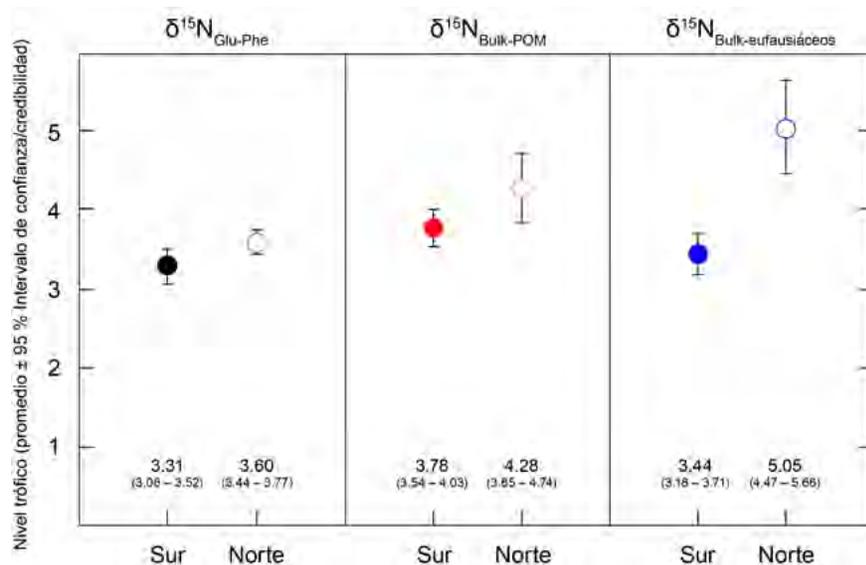


Figura 44. Posición trófica (TP) promedio estimada para individuos de jurel de las macrozonas norte y centro-sur. Las estimaciones basadas en el aminoácido $\delta^{15}\text{N}$ son bootstrapping (100.000 pseudo réplicas) del promedio (\pm 95% de intervalo de confianza). Las estimaciones basadas en POM (bulk) o eufáusidos $\delta^{15}\text{N}$ son estimaciones posteriores promedio (\pm 95% de intervalo de credibilidad) de TP basadas en el modelo bayesiano tRophicPosition.

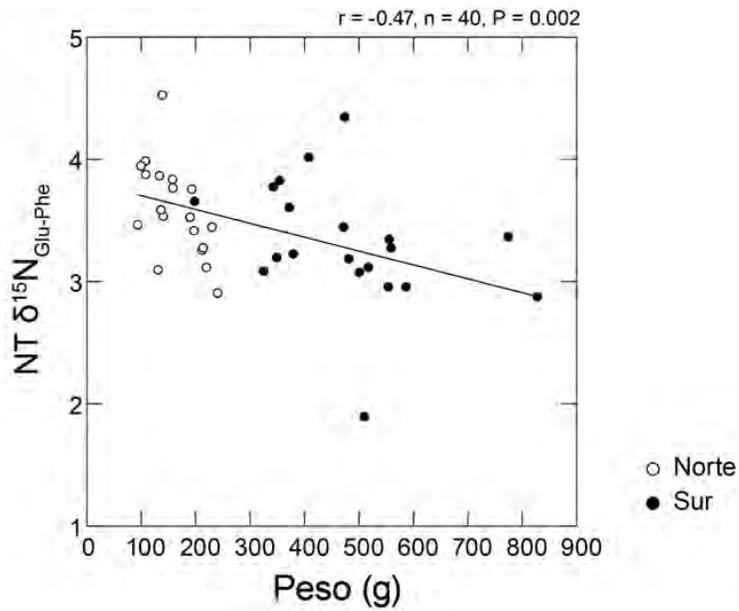


Figura 45. Relación entre el tamaño individual de ejemplares de jurel (en peso) y su posición trófica usando las diferencias en los valores de los aminoácidos fuente (*Phenilalanina*) y trófico (*Glutámico*) de $\delta^{15}\text{N}$.

4.4.4. Discusión

El jurel es uno de los recursos pesqueros de mayor importancia en Chile, aunque las investigaciones ecológicas son escasas, incluyendo análisis tróficos modernos tal como aquellos basados en la estabilidad isotópica. En efecto, al respecto solo existen dos trabajos publicados, a saber, Klarian et al. (2017) para Chile y Espinoza et al. (2017) para Perú.

Klarian et al. (2017; n = 57 jureles) reportan valores promedio de $-19,1 \pm 0,8 \delta^{13}\text{C}$ y $13,4 \pm 1,41 \delta^{15}\text{N}$, los que difieren del presente estudio en $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Para jureles capturados frente a la costa peruana, Espinoza et al. (2017; n = 250 jureles) reporten valores promedio de $-17,2 \pm 0,6 \delta^{13}\text{C}$ y $17,5 \pm 2,9 \delta^{15}\text{N}$, los que no difieren del presente estudio. Entonces, las diferencias en $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del presente trabajo con lo reportado por Klarian et al. (2017) se deben, básicamente, a que los individuos de jurel del presente estudio son de mayor tamaño y más costeros que aquellos analizados por Klarian et al. (2017). En efecto, los valores isotópicos pueden variar por zonas, por temporalidad u otros factores abióticos (Fry, 2006). Por ejemplo, Trystram et al. (2017) comparan la dieta en peces elasmobranchios costeros y oceánicos, encontrando notables diferencias en los valores de $\delta^{13}\text{C}$. Entonces, esto puede ayudar a explicar que los individuos de jurel “muy” oceánicos presenten valores empobrecidos de $\delta^{13}\text{C}$. Al respecto, Michener & Lathja (2007) señalan que es esperable que individuos (peces) de hábitos costeros presenten valores enriquecidos de $\delta^{13}\text{C}$, en contraste con aquellos peces oceánicos, los que presentan valores empobrecidos de $\delta^{13}\text{C}$. Estas diferencias pueden radicar en la menor productiva primaria en zonas oceánicas respecto de la alta productividad primaria de sectores costeros (Carvalho et al., 2017).

Existe variada información respecto de la alimentación de jurel analizada a partir de los contenidos estomacales (Cury et al., 2000; Neira & Arancibia, 2013; Serra et al., 2014; Alegre et al., 2015; Parada et al., 2017; Dragon et al., 2018), los que no contemplaron la estabilidad isotópica como herramienta de análisis. Espinoza et al. (2017), aunque informan valores isotópicos del jurel para la zona costera del Perú, no infieren sobre la dieta de aquel. En el presente trabajo se confirma la importancia de los eufáusidos como alimento principal del jurel

para toda el área de estudio en 2018, lo que concuerda con Klarian et al. (2017), quienes reportan a los eufáusidos como presa principal con casi el 90% de importancia.

Por otro lado, los resultados de los modelos de mezcla con inferencia bayesiana son una herramienta útil para establecer patrones y dilucidar la probabilidad de contribución dietaria, la que puede transformarse en una herramienta robusta (McCarthy, 2007) cuando se incorpora información *a priori* del contenido estomacal, como en el presente estudio (ver resultados del objetivo específico 3; n = 1.900 estómagos de jurel; n = 507 tejidos de jurel), concluyendo que es indiscutible la importancia de los eufáusidos en la dieta de individuos de jurel tanto de la macrozona norte como de la macrozona centro-sur. Además, no es sorpresa encontrar a los eufáusidos como la más importante presa en peces carnívoros de la Corriente de Humboldt, tal como lo informó Antezana (2010). Los eufáusidos poseen una rica fuente de energía y de nutrientes, y son la base alimenticia en predadores migratorios (e.g. ballenas misticetas). La carga energética es un factor clave en la dinámica fisiológica de los individuos (Ney, 1993) y, básicamente, las estrategias alimenticias dictan el nivel de predación del predador sobre la presa. Entonces, este componente podría ser un atributo de los eufáusidos para que sus predadores hagan uso de esta presa, la que es abundante y relativamente fácil de capturar como presa (Garvey & Whiles, 2016).

Los resultados del presente trabajo señalan que la alimentación de ejemplares de jurel entre macrozonas (norte y centro-sur de Chile) son distintas, aun cuando la presa principal en ambas zonas son los eufáusidos, pero la contribución de presas secundarias es significativa y permite esa diferencia. Por un lado, los individuos de jurel de la MZN se alimentan de zooplancton (30%), mientras que los ejemplares de la MZS incluyen a anchovetas (40%). Sin embargo, la oferta ambiental puede jugar un rol importante en la selección de las presas, aunque también puede ser la estructura morfológica de la mandíbula del pez (Wootton, 2012). Por lo tanto, podría mencionarse que los jureles de la MZN, de menor tamaño que los de la MZS, no tengan el suficiente espacio bucal para ingerir peces como anchoveta, mientras que los jureles de la MZS si poseen ese espacio bucal para la ingesta de peces pelágicos de pequeño tamaño (Wainwright & Richard, 1995).

La literatura sobre la selección de la presa y el tamaño mandibular del predador, tal como el trabajo de Detmer et al. (2018), muestran que el tamaño de la mandíbula en *Lepomis macrochirus*, es un factor relevante en la selección del tamaño de la presa. Entonces, ¿existe un patrón ontogenético trófico en individuos de jurel?. Nuestros resultados muestran que no existe una diferenciación por tamaños en la importancia de la presa, siendo los eufáusidos el alimento de más importante en jurel.

La posición trófica (TP) promedio, calculada para individuos de jurel a través de “bulk”, es concordante con lo reportado por Espinoza et al. (2017; TP = 4,2 para jureles capturados en Perú). Se destaca que el presente trabajo es el primero en su clase en calcular TP mediante aminoácidos en jurel. Con respecto a los valores de “bulk”, en la MZN se presenta mayor TP en jurel respecto a la MZS, lo que se debería a la naturaleza del hábitat (costero u oceánico). Además, los análisis de compuestos específicos dan cuenta de un escalamiento de las tramas tróficas, situando al jurel con TP en el rango de 3,31 a 3,6. Estos resultados, con la estimación correcta de TP, pueden servir como antecedentes ecológicos para el adecuado manejo integrado de las pesquerías de jurel (Bradley et al., 2016; Wu et al., 2018).

4.4.5. Conclusiones

- Los ejemplares de jurel de la macrozona norte (MZN) presentan alimentación más costera que aquellos de la macrozona centro-sur (MZS), razón por la que los jureles de la MZN están más enriquecidos en $\delta^{13}C$.
- El método de isótopos estables ratifica lo reportado por los contenidos estomacales, esto es, que los eufáusidos son la presa principal en ambas macrozonas.
- La posición trófica del jurel, determinada con la composición de aminoácidos del músculo, es mayor en la MZN (TP = 3,6) que en la MZS (TP = 3,3).

4.4.5. Referencias

- Aguirre A, Ostfeld R, Tabor G, House C. & Pearl MC. (Eds). (2002). Conservation Medicine: Ecological Health in Practice. Oxford University Press, Inc., New York.
- Alegre, A., Bertrand A., Espino M., Espinoza P., Dioses T., Ñiquen M., Navarro I., Simier M. & Ménard F. (2015). Diet Diversity of Jack and Chub mackerels and ecosystem changes in the northern Humboldt Current System: a long-term study. *Progress in Oceanography* 137, 299–313.
- Alleva, E, Francia N, Pandolfi M, De Marinis AM., Chiarotti F. & Santucci D. (2006). Organochlorine and heavy-metal contaminants in wild mammals and birds of Urbino-Pesaro Province, Italy: An analytic overview for potential bioindicators. *Arch Environ Contam Toxicol* 51:123–134. doi: 10.1007/s00244-005-0218-1
- Antezana, T. (2010). *Euphausia mucronata*: a keystone herbivore and prey of the Humboldt Current System. *Deep-sea Research. Part II, Topical Studies in Oceanography* 57, 652–662.
- Bearhop, S, Adams CE, Waldron S, Fuller R. & Macleod H. (2004). Determining trophic niche width : a novel approach using stable isotope analysis. *J Anim Ecol* 73:1007–1012.
- Bradley, C. J., Longenecker, K., Pyle, R. L. & Popp, B. N. (2016). Compound-Specific Isotopic Analysis of Amino Acids Reveals Dietary Changes in Mesophotic Coral-Reef Fish. *Marine Ecology Progress Series* 558, 65–79.
- Carvalho, M. G., Moreira, C., Cardoso, J. F. M. F., Brummer, G.-J. A., van Gaever, P., van der Veer, H. W., Queiroga, H., Santos, P. T. & Correia, A. T. (2017). Movement, Connectivity and Population Structure of the Intertidal Fish *Lipophrys pholis* as Revealed by Otolith Oxygen and Carbon Stable Isotopes. *Marine Biology Research* 13, 764–773.
- Caut S, Jowers MJ, Michel L, Lepoint G. & Fisk A. (2013). Diet-and tissue-specific incorporation of isotopes in the shark *Scyliorhinus stellaris*, a North Sea mesopredator. *Mar Ecol Prog Ser* 492:185–198. doi: 10.3354/meps10478
- Chiaradia, A., Forero MG., McInnes JC., Ramirez F. (2014). Searching for the true diet of marine predators: Incorporating Bayesian priors into stable isotope mixing models. *PLoS One*. doi: 10.1371/journal.pone.0092665
- Chikaraishi, Y., Ogawa N. O., Kashiyama Y., Takano Y., Suga H., Tomitani A., Miyashita H., Kitazato H., & Ohkouchi N. (2009). Determination of aquatic food-web structure based

on compound-specific nitrogen isotopic composition of amino acids. *Limnology and Oceanography: Methods* 7:740-750.

- Cury, P., Bakun A., Crawford R. J. M., Jarre A., Quiñones R. A., Shannon L. J. & Verheye H. M. (2000). Small pelagics in upwelling systems: Patterns of interaction and structural changes in 'wasp-waist' ecosystems. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 57, 603–618.
- Detmer, T.M., Einfalt L.M., Parkos J.J. & Wahl D. H. (2018). Comparison of mouth morphology and prey size selection among three esocid taxa. *Environmental Biology of Fishes* 101, 449–458.
- Docmac, F., Araya M., Hinojosa I. A., Dorador C. & Harrod C. (2017). Habitat coupling writ large: pelagic-derived materials fuel benthivorous macroalgal reef fishes in an upwelling zone. *Ecology* 98, 2267–2272.
- Dragon, A.-C., Senina I., Hintzen N. T. & Lehodey P. (2018). Modelling south Pacific Jack mackerel spatial population dynamics and fisheries. *Fisheries Oceanography* 27, 97–113.
- Espinoza, M, Munroe SEM, Clarke TM, Tayler M., Fisk AT. & Wehrtmann IS. (2015). Feeding ecology of common demersal elasmobranch species in the Pacific coast of Costa Rica inferred from stable isotope and stomach content analyses. *J Exp Mar Bio Ecol* 470:12–25. doi: 10.1016/j.jembe.2015.04.021
- Espinoza, P., Lorrain A., Ménard F., Cherel Y., Tremblay-Boyer L., Argüelles J., Tafur R., Bertrand S., Tremblay Y., Ayón P., Munaron J-M., Richard P. & Bertrand A. (2017). Trophic structure in the northern Humboldt Current System: new perspectives from stable isotope analysis. *Marine Biology* 164, 86.
- Essington, T., Moriarty P., Froehlich H, Hodgson E, Koehn L, Oken K, Siple M & Stawitz C. 2015. Fishing amplifies forage fish population collapses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(21): 6648-6652.
- Ferretti F., Worm B., Britten GL., et al (2010). Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecol Lett* 13:1055–1071. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01489.x
- Feuchtmayr, H. & Grey, J. (2003). Effect of preparation and preservation procedures on carbon and nitrogen stable isotope determinations from zooplankton. *Rapid Communications in Mass Spectrometry: RCM* 17, 2605–2610.
- Fry, B. (2006). *Stable Isotope Ecology*. e-ISBN 0-387-33745-8. 308 p.

- Garvey, E. J. & Whiles R. M. (2016). Trophic Ecology. CRC Press, Taylor & Francis group.
- Hussey, N., MacNeil M. & Fisk A. (2010). The requirement for accurate diet-tissue discrimination factors for interpreting stable isotopes in sharks; Comment on: stable isotope dynamics in elasmobranch fishes. *Hydrobiologia* 654: 1-5
- Hussey NE, Macneil MA, Mcmeans BC, Jill A. Olin, Dudley SF.J., Jeremy Cliff G., Wintner SP., Fennessy ST., Fisk AT. (2014). Rescaling the trophic structure of marine food webs. *Ecol Lett* 17:239–250. doi: 10.1111/ele.12226
- Keller, HR., Hirons AC., Kerstetter DW. (2016). Combined stomach content and d13C/d15N analyses of oilfish, escolar, snake mackerel and lancetfish in the western North Atlantic. *Mar Ecol* 37:727–736. doi: 10.1111/maec.12317
- Kiljunen, M., J. Grey, T. Sinisalo, C. Harrod, H. Immonen, and R. I. Jones. (2006). A revised model for lipid-normalising 13C values from aquatic organisms, with implications for isotope mixing models. *Journal of Applied Ecology* 43:1213-1222.
- Klarian, SA, Lang C & Schulzt E. (2017). Análisis de isotopos estables de jureles oceánicos en su etapa de máxima de reproducción. Informe Final. Instituto de Fomento Pesquero, 35 p.
- Layman, C A., Araujo MS, Boucek R, Hammerschlag-Peyer C M., Harrison E., Zachary R. J., Matich P., Rosenblatt A E., Vaudo JJ., Yeager LA., Post D M., Bearhop S. (2012). Applying stable isotopes to examine food-web structure: An overview of analytical tools. *Biol Rev* 87:545–562. doi: 10.1111/j.1469-185X.2011.00208.x
- López, SA., Zapata-Hernández G., Bustamante C., Sellanes J. & Meléndez R. (2013). Trophic ecology of the dusky catshark *Bythaelurus canescens* (Chondrychthyes: Scyliorhinidae) in the southeast Pacific Ocean. *J. Appl. Ichthyol*: 1-6.
- Lorrain, A., Savoye N., Chauvaud L., Paulet Y.-M. & Naulet N. (2003). Decarbonation and preservation method for the analysis of organic C and N contents and stable isotope ratios of low-carbonated suspended particulate material. *Analytica Chimica Acta* 491, 125–133.
- McCarthy, M. (2007) Bayesian Methods for Ecology. Cambridge University Ptreess, Ed.
- McCutchan, J. H., Lewis W. M., Kendall C. & McGrath C.C. (2003). Variation in Trophic Shift for Stable Isotope Ratios of Carbon, Nitrogen, and Sulfur. *Oikos* .
- Medina, M., Arancibia H. & Neira S. (2007). Un modelo trófico preliminar del ecosistema pelágico del norte de Chile (18°20'S-24°00'S). *Investig Mar* 35:25–38. doi: 10.4067/S0717-71782007000100003

- Michener, R. & Lajtha K. (2007). *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Wiley. Vol. 2.
- Neira, S. & Arancibia, H. (2013). Food web and fish stock changes in central Chile: comparing the roles of Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) predation, the environment, and fisheries. *Deep-Sea research. Part II, Topical Studies in Oceanography* 95, 103–112.
- Ney, J.J. (1993). Bioenergetics modeling today: growing pains on the cutting edge. *Transactions of the American Fisheries Society* 122, 736–748.
- Parnell, A. & Jackson, A. (2015). *Stable Isotope Analysis in R -Siar-*. R.
- Parnell, A. C., Phillips D. L., Bearhop S., Semmens B. X., Ward E. J., Moore J. W., Jackson A. L., Grey, J., Kelly, D. J. & Inger, R. (2013). Bayesian stable isotope mixing models. *Environmetrics* 24, 387–399.
- Parada, C., Gretchina A., Vásquez, S., Belmadani A., Combes V., Ernst B., Di Lorenzo E., Porobic J., Sepúlveda A. & Paris C. (2017). Expanding the conceptual framework of the spatial population structure and life history of Jack mackerel in the Eastern South Pacific: an oceanic seamount region as potential spawning/nursery habitat. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 74, 2398–2414.
- Parnell, A. C., Inger, R., Bearhop, S. & Jackson, A. L. (2010). Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation. *PloS one* 5, e9672.
- Pethybridge HR, Young JW, Kuhnert PM. & Farley JH. (2015). Using stable isotopes of albacore tuna and predictive models to characterize bioregions and examine ecological change in the SW Pacific Ocean. *Prog Oceanogr* 134:293–303. doi: 10.1016/j.pocean.2015.03.001
- Post DM. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* 83:703–718. doi: Doi 10.2307/3071875
- Quezada-Romegialli, C., Jackson A. L., Hayden B., Kahilainen K. K., Lopes C. & Harrod C. (2018). tRophicPosition, an R Package for the Bayesian estimation of trophic position from consumer stable isotope ratios. *Methods in Ecology and Evolution / British Ecological Society* 9, 1592–1599.
- R Core Team. (2018) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013.

- Reynolds J. & Jennings S. (2000). The role of animal behaviour in marine conservation. In: Gosling L, Sutherland W. (Eds) Behaviour and Conservation. Cambridge University press, Cambridge, pp 238–257
- Serra, R., Galleguillos R., Ferrada S., Canales C., Oliva M., González M. T., Cerna F., Saavedra, J. C., Quiroz J. C., Ashford J., Leterlier J., Soto L., Nuñez S., Salinas S. & Grossi F. (2014). Estructura poblacional del jurel. Proyecto FIP N° 2010-18. Fondo de Investigación Pesquera.
- Trystram, C., Rogers K. M., Soria M. & Jaquemet S. (2017). Feeding patterns of two sympatric shark predators in coastal ecosystems of an oceanic island. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. *Journal Canadien des Sciences Halieutiques et Aquatiques* 74, 216–227.
- Soto-Jiménez, MF. (2011). Transferencia de elementos traza en tramas tróficas acuáticas. *Hidrobiologica* 21:239–248.
- Wainwright, P. C. & Richard B. A. (1995). Predicting patterns of prey use from morphology of fishes. *Environmental Biology of Fishes* 44, 97–113.
- Wootton, R. J. (2012). *Ecology of Teleost Fishes*. Springer Science & Business Media.
- Worm B, Paine RT. (2016). Humans as a Hyperkeystone Species. *Trends Ecol Evol* 31:600–607. doi: 10.1016/j.tree.2016.05.008
- Wu, L., Liu X., Xu L., Li L. & Fu P. (2018). Compound-specific ^{15}N analysis of amino acids: a tool to estimate the trophic position of tropical seabirds in the South China Sea. *Ecology and Evolution* 8, 8853–8864.
- Yarnes, CT, & Herszage J. (2017). The relative influence of derivatization and normalization procedures on the compound-specific stable isotope analysis of nitrogen in amino acids. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 31:693-704. 10.1002/rcm.7832

4.5. Objetivo Específico 5

Estimar mediante métodos indirectos las tasas de consumo de alimento y de excreción en jurel.

Resumen

Este objetivo específico se compone de dos partes, a saber: (a) estimación del consumo de alimento mediante análisis del contenido estomacal (incluyendo la ración diaria de alimento) e isótopos estables; y, (b) estimación del consumo poblacional mediante enfoque ecotrófico multiespecífico. El principal resultado de la primera parte se refiere a la ración diaria promedio individual (por pez; RD = 30,68 g/día) es más alta en la macrozona centro-sur (MZS) que en la macrozona norte (MZN; RD = 11,17 g/día). El principal resultado de la segunda parte señala que El cambio en biomasa del jurel entre el período pre-colapso (fines de los años 1990s) y el período más reciente (últimos años) se reflejó en la disminución de un orden de magnitud en el consumo poblacional, tanto en la MZN como en la MCS, aunque el mayor consumo absoluto ocurre en esta última.

4.5.1. Primera Parte

4.5.1.1. Introducción

En la actualidad los estudios de alimentación han sido incorporados en algunas experiencias de manejo pesquero basado en el ecosistema (Essington et al. 2015), refinándose permanentemente los análisis. En efecto, ahora los estudios de contenidos estomacales incluyen análisis de ácidos grasos, metales pesados e isótopos estables (Post 2002). El principio que subyace es que, por un lado, los análisis clásicos del contenido estomacal dan cuenta de lo que realmente se alimenta

el predador y, por el otro lado, los análisis usando isótopos estables entregan inferencias integradas del consumo e importancia de la presa (Chiaradia et al. 2014). Por ejemplo, un estudio realizado por López & Meléndez (2014) dio cuenta de la estructura ecosistema del Océano Pacífico Suroriental. De ese trabajo se desprende que, a través de la técnica de isótopos estables y la combinación de estómagos en los análisis dietarios, es posible identificar 6 grupos con complejas interacciones tróficas, concluyendo que el sistema oceánico se presenta con múltiples predadores tope.

Los estudios de alimentación basados en la modelación ecotrófica han tomado fuerza (Yonezaki et al. 2015), como por ejemplo aquellos de Blanchard et al (2002), Ortiz & Wolff (2002), Chiaradia et al. (2014), Du et al. (2015) y Essington et al. (2015). En la modelación ecotrófica se estima el consumo de alimento y biomasa de diferentes especies o grupos de especies, se cuantifica las relaciones predador-presa y, además, se analiza flujos entre elementos del ecosistema, evaluándose el impacto de recursos pesqueros en la estructura comunitaria, lo que luego sirve para el manejo integrado de ecosistemas marinos (Christensen & Pauly, 1993; Walters et al., 1997; Pauly et al., 2000). Las tasas de consumo de alimento son relevantes cuando se trata de dimensionar estrategias de historia de vida de las especies (Cortes 1997; Wetherbee & Cortes 2004), entregando información vital para estimar la ración diaria de alimento, lo que permite incrementar el conocimiento de especies poco estudiadas, así como de recursos pesqueros (Bromley 1994). Los estudios de consumo de alimento son escasos para esta zona del Océano Pacífico Suroriental, aunque Pool et al. (1997) y Aedo & Arancibia (2001) informaron la ración diaria y tasa de evacuación gástrica de congrio dorado *Genypterus blacodes* (Forster, 1801) y pinta roja *Schroederichthys chilensis* (Guichenot, 1848), respectivamente.

Los sesgos metodológicos de análisis de contenidos estomacales han sido ampliamente discutidos en la literatura, como por ejemplo el grado de digestión de las presas. En efecto, no siempre la identificación de las presas es correcta debido al diferente grado de descomposición propio de cada especie de presa en el estómago del predador, lo que supone sesgo al pesar el contenido estomacal de ejemplares silvestres (Baker et al. 2014; Frisch et al. 2014). También se debe disponer de una cantidad considerable de estómagos para un correcto análisis, teniendo en cuenta que la mayoría de los predadores presenta, en promedio, al menos 40% de estómagos

vacíos (Baker et al. 2014). Otro factor importante que puede afectar el análisis del contenido estomacal es la técnica de captura y el arte de pesca. La mayoría de los predadores recursos pesqueros objetivo están influenciados por la fauna acompañante. Por ejemplo, en el bycatch de la pesquería de arrastre de merluza común (*Merluccius gayi*) aparecen predadores como jibia (*Dosidicus gigas*), cuyos ejemplares pueden seguir alimentándose dentro de la red, lo que inducirá a sesgos en análisis del contenido estomacal de la jibia. Consecuentemente, han surgido nuevas técnicas de análisis del contenido estomacal en peces, especialmente peces carnívoros, en respuesta a los sesgos mencionados, siendo una de aquellas técnicas la de isótopos estables para la identificación de presas, incluso en avanzado estado de digestión. Adicionalmente, la combinación del análisis del contenido estomacal y el uso de isótopos estables ha reducido el sesgo en estudios tróficos cuantitativos. Una de las principales ventajas en el uso de isótopos estables en el análisis del contenido estomacal de peces es que, dependiendo del tejido, los análisis pueden identificar lo que el pez predó semanas atrás e, incluso, hasta meses y años atrás. La técnica de estabilidad isotópica es una de las más robustas para estudios de ecología trófica, lo que radica en una estimación de tasas de consumo

4.5.1.2. Metodología

Análisis de laboratorio

- **Perfil energético y proxy C:N**

Se utilizó trozos de músculos de 1.350 individuos de jurel y 211 tejidos de las presas. Todos los tejidos fueron secados a 60°C en estufa por 24 h. Para la extracción lipídica, los tejidos fueron puestos en un aparato Soxhlet en solvente de éter de petróleo por 5 h. El éter de petróleo es un solvente que mantiene intactas las proteínas, a diferencia de su similar clorofomo:metanol, que también es usado como solvente de extracción lipídica, la que, sin embargo, destruye la fuente proteica de los tejidos (Sallaberry-Pincheira et al., 2018).

Para la extracción de proteínas, los tejidos fueron secados en estufa MEMERT a 40°C por 12 horas, y reducidos hasta el rango entre 400 y 500 ug. Posteriormente los tejidos fueron depositados en cápsulas de estaño de 5 mm x 9 mm, los que fueron analizados en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad Andrés Bello (UNAB) en Viña del Mar. Las mediciones de ^{15}N (fuente proteica) se realizaron en un analizador elemental acoplado a un espectrómetro de masas IRMS en modo flujo continuo. Los valores de Nitrógeno fueron reportados en notación de ug de N con sus desviaciones estándar. Los estándares de referencia fue Nitrógeno atmosférico para ^{15}N .

- **Análisis de datos**

Para el cálculo del consumo de presas se usó el modelo de ración diaria propuesto por Inger et al. (2006). Este modelo usa los valores energéticos e isotópicos para estimar la biomasa removida por el jurel. La expresión de la ecuación es:

$$RD = \frac{d \times p}{e \times a}$$

donde: RD es la ración diaria (g/h), d es el requerimiento energético diario del predador (Kcal/día); P corresponde a la contribución dietaria de las presas en su forma isotópica; e es el valor energético de la presas; a es la eficiencia de asimilación del alimento. Para el cálculo de d se usó los valores para peces de Brett & Groves (1979).

Por lo tanto, se tiene que:

a (eficiencia de asimilacion)

$$= \frac{(\text{percentil inferior} \times TEG) \times (1 - \exp(-TEG \times 24))}{\exp(-TEG \times (24 - T^\circ)) - \exp(-TEG \times 24)}$$

TEG (tasa de evacion gastrica)

$$= (-LN(\text{percentil inferior}/\text{percentil superior})) \times T^\circ$$

d (requerimientos engergeticos) = Energia total consumida – excreción (7%)

Los percentiles inferior (10%) y superior (95%) provienen de la información del contenido estomacal (objetivo específico 3), el cual correspondió al análisis del peso de las presas. La temperatura utilizada de la MZN es 16.4°C y de la MZS es 14.3°C.

Los valores energéticos (tejidos provenientes del Soxhlet) se asignaron a valores de calorías por gramo, de acuerdo a lo propuesto por la USDA², donde por 1 gramo de lípidos existe un aporte de 9 calorías (9 cal/g), mientras que por cada 1 gramo de proteínas hay un aporte de 4 calorías (4 cal/g). Entonces, para estimar la razón lipídica se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Lípidos} = \Delta \text{peso tejido final} - \text{inicial}$$

Mientras que para la razón proteica se usa la integración del área bajo la curva resultante del Nitrógeno total del IRMS, resultando la siguiente razón:

$$^{15}\text{N} = \left[\left(\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} \right) - 1 \right] \times 10^3$$

donde: R consiste en $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, respectivamente.

4.5.1.3. Resultados

Para los jureles de la MZN (tamaño promedio: 24,5 cm de LH; peso promedio: 216,8 g) se estima que la tasa de evacuación gástrica es 0,27 g/h y que la ración diaria (RD) de alimento es 11,17 g/día, lo que equivale a 5,15% del peso corporal. Estos valores han sido estimados con los valores energéticos (Kcal) de sus presas (Tabla 18). Por otro lado, para los jureles de la MZS (tamaño promedio: 29,5 cm de LH; peso promedio: 356,1 g) se estima que la tasa de evacuación gástrica es 0,38 g/h y que la ración diaria es 30,68 g/día, lo que equivale a 8,62% (Tabla 19).

² United States Department of Agriculture Agricultural Research Service. USDA Food Composition Databases <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>.

Tabla 18. Estadígrafos energéticos de las presas de jurel en las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS).

Presa	MZN		MZS	
	media (DS) Kcal/g	Min - Max	media (DS) Kcal/g	Min - Max
Anchoveta	0,95 (0,2)	0,40 – 1,66	0,88 (0,1)	0,67 – 1,05
Camarón			1,14 (0,3)	0,83 – 1,44
Cefalópodo			0,94 (0,1)	0,89 – 1,00
Estomatópodo	0,44 (0,2)	0,43 – 0,46		
Eufáusidos	0,57 (0,2)	0,24 – 0,96	0,88 (0,2)	0,50 – 1,54
Fitoplancton	1,17 (0,8)	0,10 – 1,89	0,10 (0,0)	0,10 – 0,12
Langostino	0,55 (0,1)	0,45 – 0,72		
Peces meso pelágicos			1,21 (0,5)	0,57 – 1,74
Sardina			0,78 (0,1)	0,70 – 0,85
Zooplancton	0,59 (0,2)	0,32 – 1,02	0,03 - (0,0)	0,03 – 0,04

Tabla 19. Consumo de alimento individual (presente estudio) calculado con el método combinado de isótopos estables, energético y contenido estomacal. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur.

	Presente estudio		Perú	Perú	Chile
	MZN	MZS	Alamo et al. (1996)	Alamo et al. (1997)	Klarian et al. (2017)
Ración diaria, RD (g/día)	11,17	30,68	37,75	2,91	7,33
Porcentaje del peso corporal del pez (BW%)	5,15	8,62	2,6		2,5
Tasa de evacuación gástrica (g/h)	0,27	0,38	0,88	0,20	0,44

Nota: en las últimas tres columnas se presenta valores de consumo informados por otros autores. Alamo et al. (1996) y Alamo et al. (1997) usan el método de Sainsbury (1986); Klarian et al. (2017) usan el método de Inger et al. (2006).

4.5.1.4. Discusión

En relación al consumo de alimento, Alamo et al. (1996) y Alamo et al. (1997) señalan a los lenguados en Perú como predadores con alimentación continua y consumo diario equivalente a 26% del peso corporal del pez. El presente estudio combinó métodos energéticos e isotópicos, y la tasa de consumo diario estimada para jurel equivale, en promedio, a entre 5,15% (macrozona norte) y 8,62% (macrozona centro-sur). Al parecer la tasa de consumo de alimento en jurel aumenta cuando presas como anchoveta están presentes y disponibles, y baja cuando el zooplancton aumenta su densidad. Comparativamente, en la MZN la principal contribución dietaria secundaria corresponde al zooplancton, mientras que en la MZS la principal contribución secundaria corresponde a anchoveta (ver resultados del objetivo específico 4).

De acuerdo con Ney (1993), los modelos bioenergéticos son efectivos para cuantificar las interacciones tróficas entre los predadores y sus presas cuando son alimentados con datos de la composición de dieta del predador, la estructura de tallas del predador, cambios térmicos y estimaciones de consumo. Por lo tanto, la cantidad de energía (Kcal/g) que aportan especies de presa, como las analizadas en el presente trabajo (Tabla 18), prácticamente no se encuentran en la literatura especializada, y tampoco de especies de presas que habitan en el Océano Pacífico Sur Oriental.

4.5.1.4. Conclusiones

- La ración diaria promedio individual (por pez; RD = 30,68 g/día) es más alta en la macrozona centro-sur (MZS) que en la macrozona norte (MZN; RD = 11,17 g/día).

4.5.1.5. Referencias

- Aedo, G. & Arancibia H. (2001). Gastric evacuation of the redspotted catshark under laboratory conditions. *J. Fish. Biol.* 58: 1454-1457.
- Alamo, A., Navarro I., Espinoza P. & Zubiata P. (1996). Relaciones tróficas, espectro alimentario y ración de alimentación de las principales especies pelágicas del Perú en el verano de 1996. Informes Técnicos N° 122, Instituto del Mar del Perú.
- Alamo, A., Espinoza P., Zubiata P. & Navarro I. (1997). Comportamiento alimentario de los principales recursos pelágicos peruanos en verano y comienzos de otoño de 1997. Informes Técnicos N° 127, Instituto del Mar del Perú.
- Baker R, Buckland A & Sheaves M. (2014). Fish gut analysis: robust measures of diet composition. *Fish and Fisheries* 15: 170-177.
- Blanchard, J.L., Pinnegar J.K. & Mackinson S. (2002). Exploring marine mammal-fishery interactions using ‘Ecopath whit Ecosim’: modelling the Barents Sea Ecosystem. *Sci. Ser. Tech Rep.*, CEFAS Lowestoft, 117: 52 pp.
- Chiaradia, A., Forero MG., McInnes JC., Ramírez F. (2014). Searching for the true diet of marine predators: Incorporating Bayesian priors into stable isotope mixing models. *PLoS One*. doi: 10.1371/journal.pone.0092665
- Cortes, E. (1997). A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 726-738.
- Cury, P., Bakun A., Crawford R. J. M., Jarre A., Quiñones R. A., Shannon L. J. & Verheye H. M. (2000). Small pelagics in upwelling systems: Patterns of interaction and structural changes in ‘wasp-waist’ ecosystems. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 57, 603–618.
- Christensen, V. & D. Pauly (eds.). (1993). Trophic models of aquatic ecosystems. *ICLARM Conference Proceedings*, 26: 390 pp.

- Du J, Cheung W, Zheng X, Chen Bm Liao J & Hu W. (2015). Comparing trophic structure of a subtropical bay as estimated from mass-balance food web model and stable isotope analysis. *Ecological Modelling* 312:175-181.
- Essington T, Moriaty P., Froehlich H, Hodgson E, Koehn L, Oken K, Siple M & Stawitz C. (2015). Fishing amplifies forage fish population collapses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(21): 6648-6652.
- Frisch A, Ireland M & Baker R. (2014). Trophic ecology of large predatory reef fishes: energy pathways, trophic level, and implications or fisheries in a changing climate. *Marine Biology* 161:61-73
- Inger, R., Ruxton G. D., Newton J., Colhoun K., Mackie K., Robinson J. A. & Bearhop S. (2006). Using daily ration models and stable isotope analysis to predict biomass depletion by herbivores: quantifying grazing by geese. *The Journal of Applied Ecology*, 43: 1022–1030.
- Klarian, SA., Lang C. & Schulzt E. (2017). Análisis de isotopos estables de jureles oceánicos en su etapa de máxima de reproducción. Informe Final. Instituto de Fomento Pesquero, 35 p.
- López SA. & Melendez R. (2014). Alimentación de peces altamente migratorios en aguas oceánicas del pacífico sur: Una visión ecosistémica. Informe Final: IFOP-SUBPESCA: Programa de seguimiento de peces altamente migratorios. 67 pp.
- Ney, J.J. (1993). Bioenergetics modeling today: growing pains on the cutting edge. *Transactions of the American Fisheries Society* 122, 736–748.
- Ortiz, M. & Wolf M. (2002). Dynamical simulation of mass-balance trophic models for benthic communities of north-central Chile: assessment of resilience time under alternative management scenarios. *Ecol. Model.*, 148: 277-291.
- Pauly, D., Christensen V. & Walters C. (2000). Ecopath, Ecosim and Ecospace as tools evaluating ecosystem impact of fisheries. *ICES J. Mar. Sci.*, 57: 697-706.

- Post DM. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* 83:703–718. doi: Doi 10.2307/3071875
- Sallaberry-Pincheira, P., Gálvez P., Molina-Burgos B. E., Fernandoy F., Meléndez R. & Klarian S. A. (2018) Diet and food consumption of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in South Pacific Antarctic Waters. *Polar Biology* 41: 2379–2385.
- Walters, C., Christensen V. & Pauly D. (1997). Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 7: 139-172
- Wetherbee, M. & Cortes E. 2004. Food consumption and feeding habits. In: Carrier, J., Musick, j., Heithus, M. & Carrier, C. *Biology of Sharks and Their Relatives*. CRC press, 596 pag.
- Yonezaki S, Kiyota M & Okamura H. 2015. Long-term ecosystem change in the western north Pacific inferred from commercial fisheries and top predator diet. *Deep-Sea Research II* 113:91-101.

4.5.2. Segunda Parte

Resumen

Se modeló las tramas tróficas marinas de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Chile en las cuales interviene el jurel, y se comparó su consumo de alimento poblacional en la condición actual y pasada (antes del colapso a fines de la década de los años 1990s) en las secciones costera y oceánica de la zona centro-sur de Chile (33°S a 39°S). También se comparó cambios en el consumo de alimento del jurel en la trama trófica de la zona norte de Chile en los mismos períodos. El cambio en biomasa del jurel entre el período pre-colapso (fines de los años 1990s) y el período más reciente (últimos años) se reflejó en la disminución de un orden de magnitud en el consumo poblacional, tanto en la macrozona norte como en la macrozona centro-sur. Este cambio no se habría producido en la zona oceánica, ya que en el período más reciente la biomasa del jurel se distribuye más alejada de las zonas costeras, a diferencia de lo que ocurría en el período de mayor biomasa (a inicios de los años 1990s). Independientemente de lo anterior, el mayor consumo poblacional de jurel se produce en la macrozona centro-sur, seguida por la macrozona norte y en último lugar la macrozona oceánica. El consumo de presas varió entre períodos (pre- y post-colapso a fines de los años 1990s) y macrozonas, lo que se explica por el cambio de magnitud de la biomasa del jurel, por un lado, y a que su dieta difiere entre macrozonas. Por lo tanto, el jurel exhibe diferente sobreposición trófica de presas con otros predadores del ecosistema, dependiendo de la macrozona en estudio.

4.5.2.1. Introducción

La descripción de quién se come a quién al interior de un ecosistema es una de las primeras observaciones de los ecólogos. Con el advenimiento de la ecología cuantitativa, estas descripciones cualitativas dieron paso a métodos cuantitativos para estimar la composición de

la dieta, el consumo de alimento, y las interacciones predador-presa en sistemas con y sin explotación pesquera. Aunque la ecología trófica es parte de los programas de seguimiento de varias pesquerías, normalmente no se considera en la “ecuación” de toma de decisiones. Sin embargo, la emergencia del enfoque ecosistémico para la administración de pesquerías ha revelado la importancia de los aspectos trofodinámicos (dieta y consumo de alimento) para la sustentabilidad y recuperación de stocks (Schweigert et al., 2010).

Por ejemplo, se ha estimado que en sistemas de surgencias la producción pesquera y la producción primaria se relacionan estrechamente. En efecto, en esas áreas la producción primaria requerida para sustentar las pesquerías representa el 25% de la producción primaria total (Pauly and Christensen, 1995). Sin embargo, existe evidencia que la regulación de las pesquerías no es necesariamente lineal y bottom-up. En efecto la relación entre productores primarios y peces pelágicos está mediada por el componente del zooplancton, y existe evidencia de efectos top-down entre peces pelágicos y sus presas del zooplancton (Cury et al., 2000).

El jurel es uno de los principales recursos pesqueros en el Océano Pacífico Sur-Oriental, sustentando pesquerías oceánicas (aguas fuera de ZEEs) y más costeras (dentro de ZEEs). En Chile esta pesquería se encuentra recuperándose lentamente del colapso de fines de los años 1990s. Se estima que la biomasa adulta del jurel a inicios de la década de los años 1990s era de 14 millones de toneladas (Cerdeira et al., 1997). Esa biomasa habría consumido al menos cien millones de toneladas de zooplancton, siendo los eufáusidos la principal presa, aportando >65% de la dieta (Arancibia et al., 1995). Esta predación tendría un fuerte impacto local top-down sobre la abundancia de eufáusidos (Quiñones et al., 1997), por lo que se podría plantear la hipótesis que el colapso del jurel afectó la estructura y funcionamiento de los ecosistemas en los cuales habita (e.g., liberado de predación a sus presas, de competencia a especies con las cuales existe sobreposición de nicho trófico y a sus predadores). Por lo tanto, más allá de la disminución de la mortalidad por pesca y las condiciones ambientales, las interacciones tróficas podrían influir en el potencial de recuperación del stock de jurel y su pesquería. Considerando lo anterior, en este proyecto se modela las tramas tróficas de la ZEE de Chile en las cuales interviene el stock de jurel y se compara su consumo poblacional en las condiciones actual y

pasada (antes del colapso a fines de la década de los años 1990s), independientemente en las secciones costera y oceánica de la macrozona centro-sur de Chile (33°S a 39°S). También se compara cambios en el consumo de alimento de jurel en la trama trófica de la zona norte de Chile en los mismos períodos.

4.5.2.2. Metodología

Nuestra aproximación metodológica corresponde al estudio cuantitativo de tramas tróficas marinas en las que participa el jurel, dentro de la ZEE de Chile. En este sentido, se estudió las secciones oceánica y costera de la macrozona central de Chile (33°S-39°S) y la sección costera de la zona norte (Regiones XV, I y II). Se utilizó modelos ecotróficos construidos para la macrozona norte (Barros et al., 2016) y la macrozona centros-sur de Chile (Neira et al., 2004; 2014), representando el período previo al colapso de la pesquería del jurel a fines de los años 1990s. Luego, los modelos fueron actualizados para representar el período reciente (posterior al colapso de la pesquería). También se construye dos modelos de la trama trófica oceánica frente a Chile central (33°S-39°S; 60 a 200 millas náuticas) para los períodos previo al colapso del jurel y reciente.

- **El modelo matemático**

La plataforma de modelación es el software Ecopath with Ecosim (EwE; Christensen y Pauly, 1992; Walters et al, 1997). El enfoque EwE posee dos supuestos básicos determinados a partir de dos ecuaciones principales, a saber: (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 predación, exportaciones y las mortalidades de acuerdo con la siguiente expresión:

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

La expresión matemática es:

$$P_i = Y_i + B_i M_{2i} + E_i + BA_i + M_{0i} \quad (1)$$

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 predación de i ; E_i es la tasa de migración neta de i (emigración menos inmigración); BA_i es la acumulación de biomasa de i ; M_{0i} es otras mortalidades, independiente de la predación y capturas, y se calcula como $P_i \cdot (1 - EE_i)$. 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 predación o captura. La ecuación 1 puede reordenarse como:

$$B_i (P/B)_i EE_i - \sum_{j=1}^n B_j (Q/B)_j DC_{ji} - Y_i - E_i - BA_i = 0 \quad (2)$$

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_{ji} es la fracción en peso de la presa i en la dieta del predador 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, en aquellos casos donde uno de los tres primeros es desconocido el modelo puede estimarlo si se ingresa un valor de EE . EE se distribuye entre 0 (la producción del grupo no es consumida por predadores ni por la pesquería, eg. el caso de un predador tope) y 1 (la producción del grupo es utilizada completamente por los predadores 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 predadores y/o la pesquería de i .

Por otro lado, el balance de masa de cada grupo del sistema está dado por:

$$Q = P + R + U \quad (3)$$

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

por predadores.

- **Estructura de los modelos**

La estructura de los modelos (i.e., número y tipo de grupos funcionales) construidos para las secciones costeras de las macrozonas norte y centro-sur de Chile se basa en estudios previos (Barros et al., 2014; Neira y Arancibia, 2004). La fuente de información y la metodología para estimar los parámetros de cada modelo (ver ecuaciones 1 y 2) son descritas en tales publicaciones. Sin embargo, esos estudios representan el período previo al colapso del stock de jurel y describen las tramas tróficas costeras. Por lo tanto, los modelos de Barros et al. (2014) y Neira y Arancibia (2004) fueron actualizados para representar el período más reciente.

La fuente de información para parametrizar los modelos actualizados (biomasas, tasa de consumo, tasa de producción, dietas y capturas) corresponde a proyectos públicos y privados desarrollados para las macrozonas de estudio, dirigidos a evaluar biomasa y otras variables de los grupos funcionales de interés. Además, se consultó literatura científica especializada en modelación ecológica.

A la fecha no existe modelos que caractericen la zona oceánica frente a Chile centro-sur por lo que se define la siguiente estructura: fitoplancton, microzooplancton, mesozooplancton, macrozooplancton, zooplancton gelatinoso, peces mesopelágicos, jurel, jibia, pez espada, tiburones pelágicos, y detrito. La fuente de información para los parámetros se obtuvo de cruceros para la estimación de la biomasa acústica de jurel, estadísticas del Servicio Nacional de Pesca, etc. También se considera un modelo para el periodo previo al colapso del jurel y uno para el periodo reciente.

- **Estimación de consumo poblacional**

Para calcular el consumo poblacional de jurel en cada sistema modelado, se combina estimaciones de biomasa de este grupo funcional en cada modelo (B_{jurel}) con el estimado de su

razón consumo/biomasa $(Q/B)_{\text{jurel}}$. Para estimar el consumo de las principales presas se combina B_{jurel} , $(Q/B)_{\text{jurel}}$ y la composición de la dieta $(DC)_{\text{jurel}}$ mediante la ecuación siguiente:

$$Q_{ij} = B_j [(Q/B)_j * DC_{ij}] \quad (4)$$

donde Q_{ij} es el consumo de la presa i por el predador j (jurel en este caso); B_j es la biomasa del depredador j ; Q/B_j es la razón consumo/biomasa del predador j ; DC_{ij} es la proporción de la presa i en la composición de la dieta de j (en peso).

Se calcula el índice de sobreposición de presas (O) de Pianka (1973) entre el jurel y otros grupos predadores en cada modelo. La ecuación es la siguiente:

$$\hat{O}_{jk} = \frac{\sum_i^n \hat{p}_{ij} \hat{p}_{ik}}{\sqrt{\sum_i^n \hat{p}_{ij}^2 \sum_i^n \hat{p}_{ik}^2}} \quad (5)$$

donde p_{ji} y p_{ki} son las proporciones de la presa i predada por las especies/grupos funcionales j y k , respectivamente.

De acuerdo con Pianka (1973), con O_{jk} se evalúa el grado en que dos predadores comparten presas. El indicador se distribuye entre 0 (no comparten presas) y 1 (sobreposición trófica completa), siendo más comunes los valores intermedios.

4.5.2.3. Resultados

El consumo poblacional de jurel disminuye notoriamente entre el período previo al colapso (fines de los años 1990s) y el período reciente (últimos años), tanto en la macrozona norte como en la macrozona centro-sur (Fig. 46). En la zona oceánica se habría producido también un cambio en la magnitud del consumo poblacional, aunque en sentido inverso.

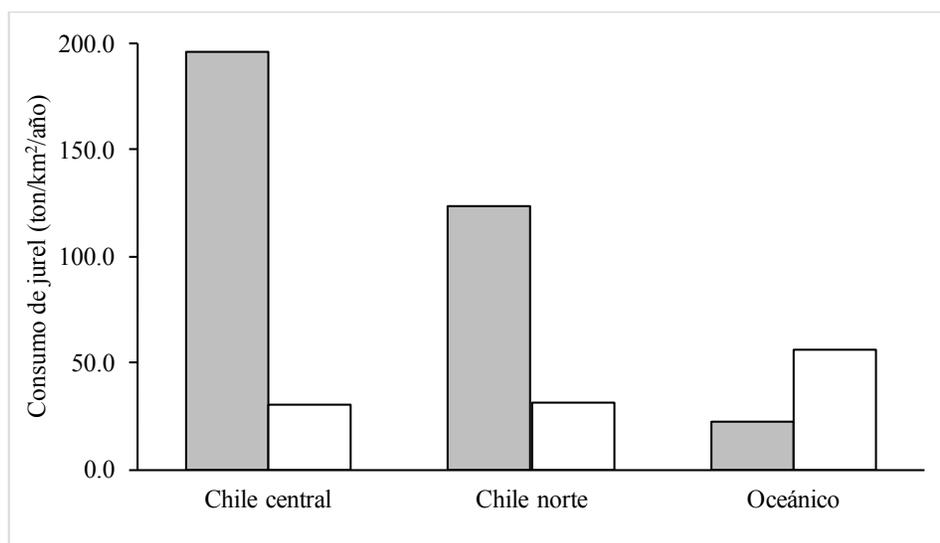


Figura 46. Consumo poblacional de jurel para las macrozonas norte, centro-sur y oceánica de Chile en dos períodos de tiempo. Nomenclatura: barra gris = período previo al colapso de la pesquería de jurel (previo al año 1998); barra blanca = período reciente (últimos 3 años).

Con respecto al consumo de las principales presas, este también varió entre ambos períodos y macrozonas (Fig. 47). En efecto, en la macrozona norte las principales presas de jurel son eufáusidos, gelatinosos, caballa, anchoveta y peces mesopelágicos (Fig. 47a). En la macrozona centro-sur de Chile, la principal presa de jurel corresponde a eufáusidos, siendo muy secundarios los gelatinosos y peces mesopelágicos (Fig. 47b). Algo similar ocurre en la macrozona oceánica (Fig. 47c), donde el mayor consumo corresponde al zooplancton (eufáusidos, copépodos y gelatinosos).

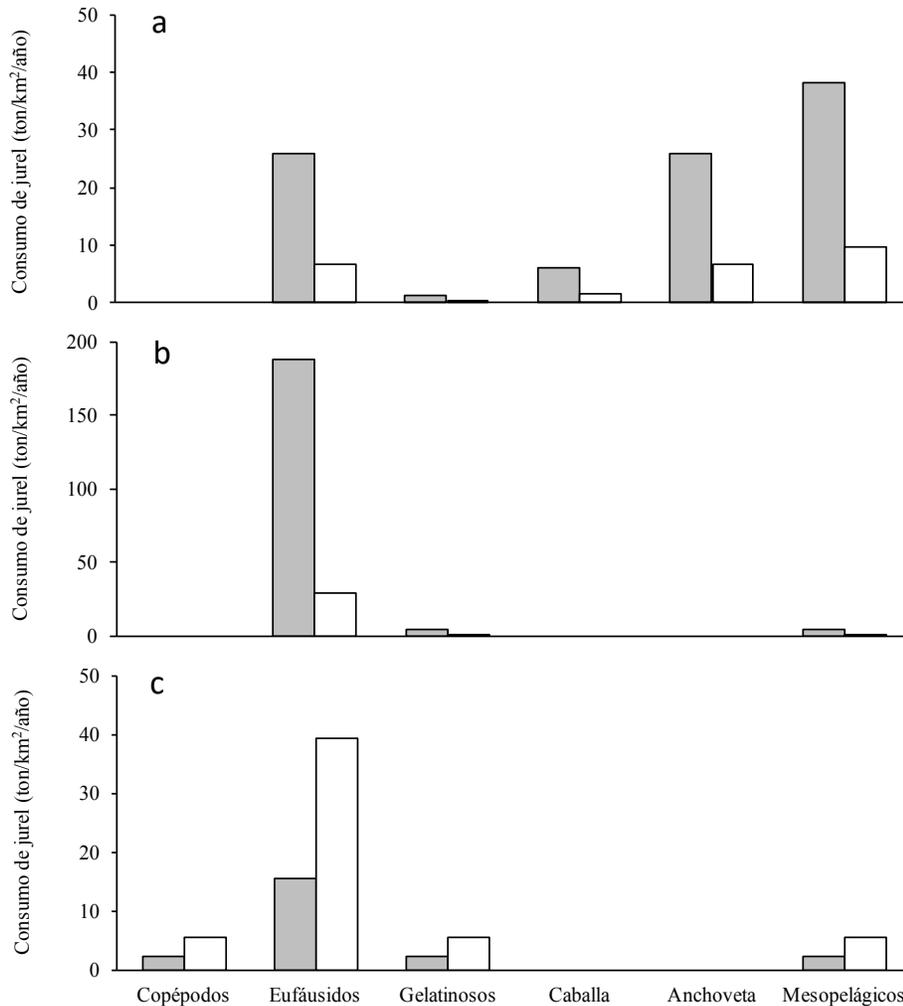


Figura 47. Consumo de presas de jurel en las macrozonas norte (a), centro-sur (b) y oceánica (c) de Chile en dos periodos contrastantes (antes y después del colapso de la pesquería de jurel en 1998). Nomenclatura: barra gris = período previo al colapso de la pesquería de jurel; barra blanca = período reciente.

Con respecto a la sobreposición de nicho trófico entre el jurel y otros predadores, se encuentra que la similitud es media a alta con jibia (*Dosidicus gigas*), bonito (*Katsugomus pelamis*) y dorado (*Coryphaena hippurus*) en la macrozona norte (Fig. 48a). En la macrozona centro-sur, la mayor sobreposición de presas de jurel se obtiene con peces pelágicos I (merluza de cola *Macruronus magellanicus* y reineta *Brama australis*) (Fig. 48b). En la macrozona oceánica sólo se encuentra una sobreposición de nicho importante (>0,8) con jibia.

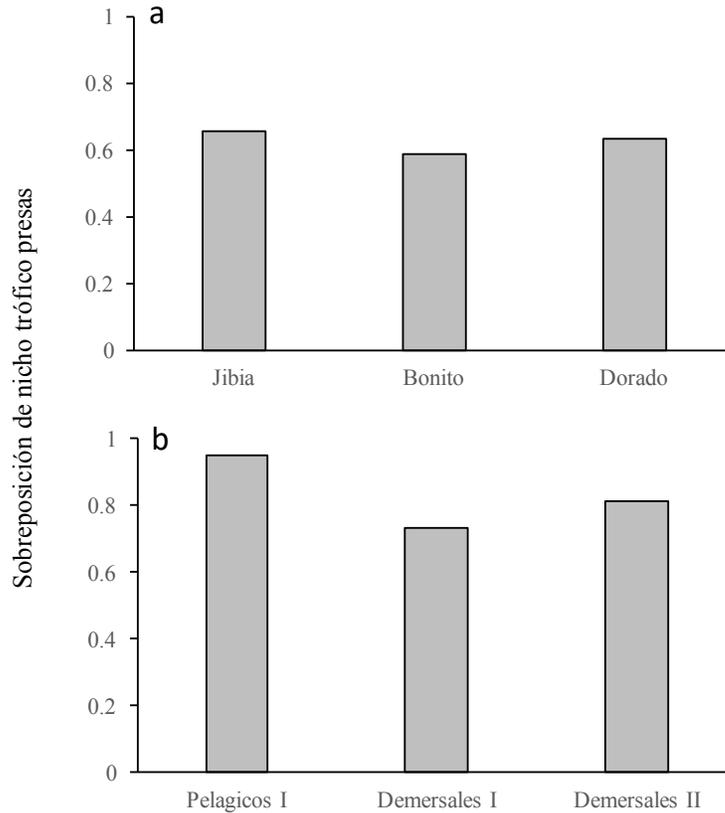


Figura 48. Sobreposición de nicho trófico (presas) entre jurel y grupos funcionales de los modelos tróficos de las macrozonas norte (a) y centro-sur de Chile (b).

4.5.2.4. Discusión

El cambio en biomasa del jurel entre el período pre-colapso (fines de los años noventa) y el período más reciente (últimos años) se refleja en la disminución, en un orden de magnitud, del consumo poblacional de alimento, tanto en la macrozona norte como en la macrozona centro-sur de Chile. Este cambio no se habría producido en la macrozona oceánica, ya que en el período más reciente la biomasa del jurel se distribuye más alejada de los sectores costeros, a diferencia de lo que ocurría en el período de mayor biomasa de jurel (inicios de los años 1990s) Independiente de lo anterior, el mayor consumo poblacional de jurel se produce en la macrozona

centro-sur, seguida por la macrozona norte y, en último lugar, la macrozona oceánica. El consumo de presas de jurel varía entre períodos (pre- y post-colapso) y entre macrozonas (norte, centro-sur y oceánica), lo que se explica por el cambio en magnitud de la biomasa de jurel, por un lado, y porque la dieta del jurel difiere entre macrozonas debido a su carácter de predador oportunista, por el otro lado (Arancibia et al., 1995; Medina y Arancibia, 2002; Alegre et al., 2015; IFOP, 2018; este proyecto), lo que se relaciona con que el jurel exhibe mayor/menor sobreposición trófica con otros predadores en las distintas macrozonas. En efecto, en la sección oceánica el jurel presenta sobreposición trófica alta con un solo grupo funcional (jibia), lo que puede deberse a que los modelos ecotróficos disponibles para la macrozona oceánica son más simples (en términos del número de grupos funcionales) que los modelos costeros de las macrozonas norte y centro-sur de Chile.

4.5.2.5. Conclusiones

- El consumo poblacional del jurel ha sido mucho mayor en las zonas más costeras de las macrozonas norte y centro-sur de Chile que en la macrozona oceánica. A su vez, antes del colapso del stock y la pesquería del jurel (1998), el consumo poblacional era mucho mayor antes de ese año que después debido a la abundancia del stock.
- Los eufáusidos, los mesopelágicos y la anchoveta, en ese orden, son las principales presas consumidas por el jurel en la MZN de Chile, aunque en mucho menor cantidad que en la MZS, donde predomina largamente los eufáusidos como la principal presa consumida. En la macrozona oceánica la principal presa consumida son los eufáusidos tanto antes como después de 1998.

4.5.2.6. Referencias

- Alegre, A., Bertrand A., Espino M., Espinoza P., Dioses T., Ñiquen M., Navarro I., Simier M. & Ménard F. (2015). Diet diversity of jack and chub mackerels and ecosystem changes in the northern Humboldt Current system: A long-term study. *Progress in Oceanography* 137: 299-313.
- Allen, K.R. (1971). Relation between production and biomass. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 28:1573-1581.
- Arancibia, H., Miranda L. & Alarcón R. (1995). Trofodinámica. En *Evaluación Hidroacústica del Jurel en la Zona Centro-Sur, V a IX Regiones*, pp. 90–98. Ed. by R. A. Quiñones, H. Muñoz, J. Córdova, J. Núñez, and R. Serra. Informe Científico-Técnico IFOP/Fondo de Investigación Pesquera, Valparaíso, Chile.
- Barros M., Neira S. & Arancibia H. (2014). Trophic interactions in northern Chile upwelling ecosystem, year 1997. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 42(5): 42 [5]: 1109-1125.
- Cerda, A., Aliaga B., Dresner R., Bobenrieth E., Quiñones R., Sepúlveda A., Gálvez M., & Hernández A. (1997). Evaluación Bioeconómica de la Pesquería Industrial de Jurel en la Zona Centro-Sur. Fase 1. Informe Final Proyecto Fondo de Investigación Pesquera, FIP 95-12, Subsecretaría de Pesca, Chile. 228 pp.
- Christensen, V. & Pauly D. (1992). Ecopath II software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modeling* 61: 169-185.
- Cury, P., Bakun A., Crawford R. J. M., Jarre A., Quiñones R. A., Shannon L. J. & Verheye H. M. (2000). Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 603–618.
- IFOP. 2018. Evaluación hidroacústica de jurel en la zona centro sur, año 2017. Instituto de Fomento Pesquero, 65 pp + Anexos.
- Medina, M. & Arancibia H. (2002). Dinámica trófica del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el norte de Chile. *Investigaciones Marinas*, 30(1): 45-55-
- Neira, S. & Arancibia H. (2004). Trophic interactions and community structure in the Central Chile marine ecosystem (33°S-39°S). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 312: 349-366.

- Neira, S., Moloney C., Cury P., Christensen V., Arancibia H. (2014). Analyzing changes in the southern Humboldt ecosystem for the period 1970-2004 by means of dynamic food web modeling. *Ecological Modelling*, 274: 41-49.
- Pauly, D. & Christensen, V. (1995). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 374: 255–257.
- Pianka, E.R. (1973). The structure of lizard communities. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 4: 53-74.
- Quiñones, R., Serra R., Núñez S., Arancibia H., Córdova J. & Bustos F. (1997). Relación espacial entre el jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) y sus presas en la zona centro-sur de Chile. En: E. Tarifeño (ed.). *Gestión de Sistemas Oceanográficos del Pacífico Oriental*. Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO. IOC/INF-1046, 432 pp.
- Schweigert, J. F., Boldt J. L., Flostrand L. & Cleary. J. S. (2010). A review of factors limiting recovery of Pacific herring stocks in Canada. – *ICES Journal of Marine Science*, 67: 1903–1913.
- Walters, C., Christensen V. & Pauly D. (1997). Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 7: 139-172.

4.6. Objetivo Específico 6

Determinar los componentes energéticos en la dinámica trófica de individuos de jurel y analizar el factor de condición nutricional de individuos analizados.

Resumen

Se determina las tasas de consumo de alimento de jurel mediante métodos integradores de isótopos estables y contenido energético. Además, en el músculo esquelético de 123 ejemplares de jurel se caracterizó las secuencias de DNA y los niveles de RNA a través de RT-qPCR para obtener tasas de condición nutricional en forma de RNA:DNA. Se comparó y combinó los factores de *proxy* en condición nutricional de C:N (provenientes de los isótopos estables), RNA:DNA y perfil lipídico (% de lípidos). En la macrozona centro-sur (MZS) se obtuvo un mayor factor de RNA:DNA, aunque las diferencias con la macrozona centro-sur no son significativas. Por otro lado, el *proxy* nutricional isotópico permito señalar que los individuos de jurel de la MZS presentan mejor condición nutricional que los jureles de la MZN.

4.6.1. Introducción

4.6.1.1 Condición nutricional

La oferta ambiental y, por consiguiente, la selección de las presas varía en cantidad y calidad nutricional (Höök, et al. 2008). De esta forma, los factores influyentes en la supervivencia y crecimiento de los predadores marinos, especialmente en peces, son los relacionados con la alimentación y la nutrición (Tanaka et al. 2008).

Para comprender estos factores se puede definir a la alimentación como el proceso de captura e ingesta del material de origen biológico necesario para el funcionamiento de los organismos vivos, donde estos compuestos contienen cantidades variables de agua, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y otros elementos (Barboza et al. 2009), mientras que la nutrición se define como el proceso por el que los organismos utilizan el alimento para la obtención de la energía para el crecimiento, mantenimiento y reparación de los tejidos. Ambos factores influyen directamente en la condición de los peces. Hipotéticamente se plantea que una buena condición permite que las progenies sean viables en el tiempo con etapa larval con reservas de lípidos importantes y con capacidad de recuperación a periodos de inanición (Barboza et al. 2009). El análisis energético es una herramienta en estudios ecológicos-pesqueros debido a que los lípidos son la principal fuente de energía en los ecosistemas marinos, transfiriéndose desde las algas a los niveles tróficos superiores a través de las tramas tróficas, formando parte de muchas estructuras únicas sintetizadas, proporcionando firmas versátiles que se emplean cada vez más para delinear la transferencia de material dietético a través de redes alimentarias marinas y terrestres (Parrish et al. 2015), permitiendo interpretar cambios inter poblacionales, espaciales y temporales en la dieta de los predadores (Pethybridge et al. 2011).

En la industria pesquera, el tejido muscular de los peces es un factor clave, siendo considerado fuente de proteínas y ácidos grasos. El tejido muscular corresponde a la porción comestible de los peces y, por lo tanto, es altamente cotizado en los mercados, más aún si se considera que la utilización de la producción pesquera a nivel mundial se enfoca mayormente a consumo humano (FAO, 2010).

4.6.1.2 Técnicas moleculares, energéticas e isotópicas para evaluar la condición nutricional de individuos de jurel

La selección de las presas está influenciada por el tipo de hábitat y por la estacionalidad, y de acuerdo a esto, cada ítem alimentario puede variar en cantidad y calidad (Duellman & Trueb, 1986). Los factores que influyen en la supervivencia y crecimiento de los peces marinos son los

relacionados con la alimentación y la nutrición. Ambos factores influyen directamente en la condición física de los peces, siendo esencial analizar diferentes dietas para observar cómo puede variar la fisiología alimenticia en las poblaciones marinas. Evaluar las condiciones fisiológicas de especies marinas, y que además juegan un rol importante en los ecosistemas, resulta esencial para el entendimiento de cómo los cambios en el medioambiente pueden afectar la sobrevivencia e inferir, de manera parcial, cómo una especie interactuará con competidores y predadores (Dahlhoff 2004).

En la actualidad existe creciente interés en determinar las condiciones fisiológicas de los individuos en un contexto natural, más aun en especies de importancia comercial (Bayne & Widdows 1978; Dahlhoff & Menge 1996; Guderley et al. 1996; Hawkins et al. 1998; Hofmann & Somero 1995; Torres & Somero 1988; Wagner e al. 1998; Wolcott 1973).

La biología pesquera moderna ha integrado otras técnicas para explicar estos procesos, como por ejemplo los indicadores bioquímicos. Los indicadores bioquímicos, en la actividad metabólica de los peces, son componentes claves en las vías biosintéticas que están directa o indirectamente vinculados a los procesos para la sobrevivencia o la reproducción. La premisa básica de su uso es que los ajustes de las tasas fisiológicas son necesarios para poner las demandas metabólicas en alineación con el suministro de energía disponible. Los indicadores bioquímicos de estrés son típicamente componentes de la respuesta celular al estrés, que se regula positivamente como consecuencia de la exposición a las condiciones ambientales que perturban la estructura de las proteínas celulares. Por ejemplo, cambios en la concentración de los componentes bioquímicos de la actividad metabólica o de estrés, es un resultado directo de las condiciones ambientales, y que resulta en alteraciones en la síntesis de proteínas o el metabolismo que impacta en el rendimiento, el crecimiento o reproducción. Por lo tanto, la medición de indicadores bioquímicos de estrés o el metabolismo se puede utilizar como una "instantánea" de la condición del individuo en el momento en que se colectó (Dahlhoff 2004).

Los indicadores bioquímicos de la condición fisiológica han sido desarrollados por biólogos pesqueros para examinar las poblaciones de peces de importancia económica (Buckley 1984; Foster et. al., 1993; Houlihan et. al., 1988; Mathers et. al., 1992; Smith & Chong 1982). Las técnicas tradicionales para determinar las tasas de crecimiento o estado nutricional, como el

tamaño de los otolitos o el índice hígado-somático, consumen mucho tiempo y pueden ser utilizados para medir cambios en la condición nutricional o la tasa de crecimiento en escalas de tiempo cortas (Foster et. al., 1993; Dean et. al., 1983). Estas medidas son de poca utilidad para la evaluación de la supervivencia y el crecimiento de los primeros estadios larvarios en los que la disponibilidad de alimento del medio ambiente, la temperatura y las toxinas pueden tener efectos importantes (Foster et. al., 1993).

Con el estudio de la relación RNA:DNA se puede inferir funciones relacionadas con la formación de tejidos y, por lo tanto, de la condición fisiológica del individuo (Chung et al. 1991). Esta relación tiene por principio que “la información genética de las células, contenida dentro de los núcleos y codificada en la secuencia de nucleótidos de la doble hélice del ácido desoxirribonucleico (DNA), se hace funcionalmente disponible a través de la síntesis de moléculas complementarias de ácido ribonucleico (RNA), las cuales son transferidas al citoplasma, donde sirven de molde para la biosíntesis de proteínas”.

En consecuencia, el estudio de la concentración de ácidos nucleicos en los tejidos de los individuos durante las diferentes etapas de su desarrollo, reviste especial interés para obtener la mejor comprensión de la fisiología de los individuos. El principio teórico de la utilización de la relación RNA:DNA asume “que el contenido de DNA es virtualmente constante en las células somáticas, de tal manera que las concentraciones tisulares reflejan el número de células y es independiente de la condición nutricional”; mientras que la cantidad de RNA celular, y principalmente de RNA ribosomal (rRNA) disponible en los tejidos, es directamente proporcional al nivel de síntesis de proteínas, lo que puede verse afectado por la condición nutricional del individuo.

La relación RNA:DNA resultante refleja la intensidad metabólica celular y ha sido utilizada para medir la condición y el crecimiento potencial de las larvas de peces de diferentes especies (Clemmenssen 1996). La relación RNA:DNA ha demostrado ser un indicador útil de la condición nutricional y crecimiento para larvas y juveniles de peces (Wright & Herzel, 1985; Clemmesen 1989, Houlihan 1991, Gwak & Tanaka 2001). Sin embargo, los factores ambientales que podrían afectar a los de índices deben aplicarse a los peces que viven en

diferentes condiciones abióticas que podrían influir en los procesos fisiológicos y bioquímicos de peces (Elliot 1982, Buckley 1984, Hawkins et. al., 1998).

El estudio de índices de condición en peces, tal como la relación RNA:DNA, la relación longitud-peso u otras proporcionan información indirecta del crecimiento, madurez, reproducción, nutrición y del estado de salud de las poblaciones. Entonces, esta propuesta plantea que con mejor alimentación, en términos nutricionales y energéticos, los ejemplares de jurel presentarán mayor síntesis del músculo esquelético, esto es, mayor tasa de RNA:DNA (Fig. 49).

Consecuentemente, este objetivo específico se focaliza en:

- caracterizar y evaluar las secuencias de DNA y los niveles de RNA a través de RT-qPCR en el músculo esquelético de ejemplares de jurel para estimar tasas de condición nutricional en forma de RNA:DNA; y,
- comparar y combinar los factores *proxy* de condición nutricional de C:N (provenientes de isótopos estables), RNA:DNA y perfil lipídico (% de lípidos).

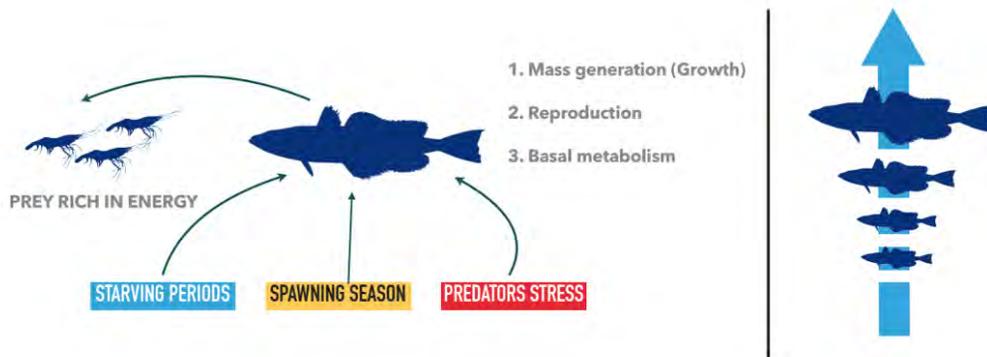


Figura 49. Esquema de ingesta de presas ricas en energía en peces.

4.6.2. Metodología

4.6.2.1 Análisis de laboratorio

- **Proxy C:N.**

Se utilizó trozos de músculos de 1.350 individuos de jurel y 211 tejidos de las presas. Todos los tejidos fueron secados a 60°C en estufa por 24 h. Para la extracción lipídica, los tejidos fueron puestos en un aparato Soxhlet en solvente de éter de petróleo por 5 h. El éter de petróleo es un solvente que mantiene intactas las proteínas, a diferencia de su similar clorofoma:metanol, que también es usado como solvente de extracción lipídica, la que, sin embargo, destruye la fuente proteica de los tejidos (Sallaberry-Pincheira et al., 2018).

Para la extracción de proteínas, los tejidos fueron secados en estufa MEMERT a 40°C por 12 horas, y reducidos hasta el rango entre 400 y 500 ug. Posteriormente los tejidos fueron depositados en cápsulas de estaño de 5 mm x 9 mm, los que fueron analizados en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad Andrés Bello (UNAB) en Viña del Mar. Las mediciones de ¹⁵N (fuente proteica) se realizaron en un analizador elemental acoplado a un espectrómetro de masas IRMS en modo flujo continuo. Los valores de Nitrógeno fueron reportados en notación de ug de N con sus desviaciones estándar. Los estándares de referencia fue Nitrógeno atmosférico para ¹⁵N.

- **Perfil genético (RNA:DNA)**

Para la extracción de RNA³ de los ejemplares de jurel se utilizó 128 muestras, conjuntamente, provenientes de la macrozona norte (MZN) y la centro-sur (MZS). Los ejemplares de jurel fueron colectados y almacenados en hielo seco a bordo de la nave, extrayendo posteriormente

³ Método de kit TRIZOL® reagent (Invitrogen, Carlsbad, CA, USA): <https://www.thermofisher.com/us/en/home/brands/invitrogen.html>

trozo de músculo esquelético, almacenándolo a -80°C para posterior uso. Luego se utilizó $0,1 \text{ g} \pm 0,01$ de tejido, colocándolos en tubos Eppendorf de 2 ml, agregando 1 ml de TRIZOL®. Luego se homogenizó en hielo. Una vez homogenizado el tejido se procedió a centrifugar a 14.000 RPM a 4°C por 5 min, extrayendo la fase acuosa e incubando a temperatura ambiente por otros 5 min. Se adicionó 200 μl de cloroformo y se agitó vigorosamente durante 15 segundos, volviendo a incubar por 5 min a temperatura ambiente. Se centrifugó a 12.000 RPM a 4°C por 15 min. Finalizado este procedimiento se observa tres fases: fase transparente (superior), fase blanca (centro) y fase rosa (inferior). Se recuperó la fase superior, y se trasladó en tubos estériles de 1.5 ml. El RNA de la fase acuosa se precipitó con 250 μl de isopropanol al 100%, incubando a temperatura ambiente por 10 min. Posteriormente se centrifugó a 12.000 RPM a 4°C durante 10 min. Luego se obtiene un pellet de color blanco más una fase acuosa, eliminando esta última, reteniendo solo el precipitado, el que fue lavado con 500 μl de etanol al 75% y centrifugado a 8.000 RPM a 4°C por 5 min (se repitió este paso entre 3 a 5 veces). Finalmente se elimina el etanol (75%) y se seca el pellet a temperatura ambiente, re-suspendiendo con 30 μl agua (mili-Q) libre de nucleasas.

Se cuantificó y verificó de pureza del RNA obtenido de músculo esquelético de jurel a través de un equipo Nanodrop marca Epoch. Con el uso del software “Gen5” se obtiene la concentración en ng/uL del RNA y los valores de absorbancia a 260 nm y 280 nm. La razón de absorbancia (260:280) se usa para establecer el grado de pureza de las muestras. La integridad de los geles de agarosa se obtiene por preparación del buffer de corrida 1X, adicionando 100 ml de buffer MOPS 10X más 20 ml de formaldehído 37% y 880 ml de agua destilada. Luego se calienta para disolver la agarosa, adicionando 1,8 ml de formaldehído al 37% y 3 μl de GelRed o 5 μl de SaferView. El gel es pre-corrido durante 30 min a 70 volts, adicionando las muestras de RNA de músculo esquelético de individuos de jurel.

Para la síntesis de cDNA⁴ se seleccionaron las muestras que presentaron una mayor integridad.

⁴ Metodo QuantiTect® Reverse Transcription, QIAGEN. “cDNA synthesis with integrated removal of genomic DNA contamination For use in real-time two-step RT-PCR” Handbook: www.thermofisher.com

Las muestras fueron descongeladas en hielo y los reactivos del kit (Buffer gDNA Wipeout, Quantiscript Reverse Transcriptase, Quantiscript RT Buffer, RT Primer Mix y el agua libre de nucleasas) se descongelaron a 25°C. En primer lugar, se preparó la reacción de eliminación de DNA genómico en hielo, para esto se adicionaron 2 µl del Buffer gDNA Wipeout (7X) y 800 ng de RNA, la solución resultante fue llevada a un volumen final de 14 µl con agua libre de nucleasas, luego se incubó por 2 min a 42°C en un termociclador. Al terminar, los tubos fueron puestos inmediatamente en hielo. A continuación, se preparó el mix para la transcripción reversa, mezclando 1 µl de Quantiscript Reverse Transcriptase, 4 µl de Quantiscript RT Buffer (5X) y 1 µl RT Primer Mix, posteriormente se adicionaron los 14 µl que contenían el RNA, se incubó por 15 minutos a 42°C y luego por 3 minutos a 95°C, al terminar los tubos fueron almacenados a -20°C hasta su posterior uso. Para la cuantificación del DNA, se usó el mismo procedimiento que RNA a través de un equipo nanodrop marca Epoch, el cual mediante el programa “Gen5” entrega la concentración en ng/uL de DNA.

4.6.2.2 Análisis de datos

Los valores energéticos (tejidos provenientes del Soxhlet) se asignaron a valores de calorías por gramo, de acuerdo a lo propuesto por la USDA⁵, donde por 1 gramo de lípidos existe un aporte de 9 calorías (9 cal/g), mientras que por cada 1 gramo de proteínas hay un aporte de 4 calorías (4 cal/g). Entonces, para estimar la razón lipídica se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Lípidos} = \Delta \text{peso tejido final} - \text{inicial}$$

Mientras que para la razón proteica se usa la integración del área bajo la curva resultante del Nitrógeno total del IRMS, resultando la siguiente razón:

⁵ United States Department of Agriculture Agricultural Research Service. USDA Food Composition Databases <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>

$$^{15}\text{N} = \left[\left(R_{\text{muestra}} / R_{\text{estándar}} \right) - 1 \right] \times 10^3$$

donde: R consiste en $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, respectivamente.

En este análisis se aplica precisión menor a $\pm 0.1\%$ para ^{15}N . Para comparar los datos de RNA:DNA, la razón C:N y el perfil lipídico entre macrozonas (norte y centro-sur), se usa test de ANOVA de una vía (Quinn & Keough, 2002). Para la combinación de RNA:DNA/C:N como *proxy* de condición se usa un test de PERMANOVA (Quinn & Keough, 2002). Para estimar relaciones entre el factor de condición vs. tamaños/peso por macrozona se utiliza un test de ANCOVA (Quinn & Keough, 2002).

4.6.3. Resultados

En la Tabla 20 se resume resultados del análisis genético. Los resultados de la pureza de geles de agarosa revelan alto grado de pureza, por lo tanto, aquellos son empleados para posteriores análisis ([Anexo 2](#)).

Los ejemplares de jurel de la macrozona norte (MZN) presentaron, en promedio, $719,8 \pm 3,4$ ng/uL de DNA y $631,3 \pm 3,1$ ng/uL de RNA; ambos son inferiores a los ejemplares de jurel de la macrozona centro-sur ($823,2 \pm 3,7$ ng/uL de DNA y $781,1 \pm 3,5$ ng/uL de RNA). El factor de condición nutricional de ejemplares de jurel de la MZN (RNA:DNA = $0,9 \pm 0,1$) es menor al de los ejemplares de la MZS (RNA:DNA = $1,01 \pm 0,6$), aunque esta diferencia no es significativa (test de ANOVA; $F=1,032$; $p=0,2426$), esto es, los jureles de ambas macrozonas presentan condición nutricional similar (Fig. 50).

Además, las relaciones entre el tamaño de los jureles y el factor nutricional (razón RNA:DNA) (Fig. 51), por un lado, y entre el peso de los jureles y el factor nutricional (Fig. 52), por el otro, no son significativas, esto es, los ejemplares de jurel de distintas tallas y pesos presentan similar fracción de RNA:DNA. Esto se interpreta como que la replicación del RNA en las células

somáticas es independiente del tamaño o del peso del pez, mientras que la síntesis de DNA se mantiene constante.

Tabla 20. Estadígrafos de los descriptores bioquímicos en individuos de jurel por macrozona. Nomenclatura: MZN = macrozona norte; MZS = macrozona centro-sur; DNA = ácido desoxirribonucleico; RNA = ácido ribonucleico; ng = nanogramos, uL = microlitros; DS = desviación estándar.

Macrozona	media (DS) DNA ng/uL	media (DS) RNA ng/uL	media RNA:DNA (DS)
MZN	719.8 (3.4)	631.3 (3.1)	0.90 (0.1)
MZS	823.2 (3.7)	781.1 (3.5)	1.01 (0.6)



Figura 50. Promedio del factor de condición ribosomal (RNA:DNA) en ejemplares de jureles de las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS).

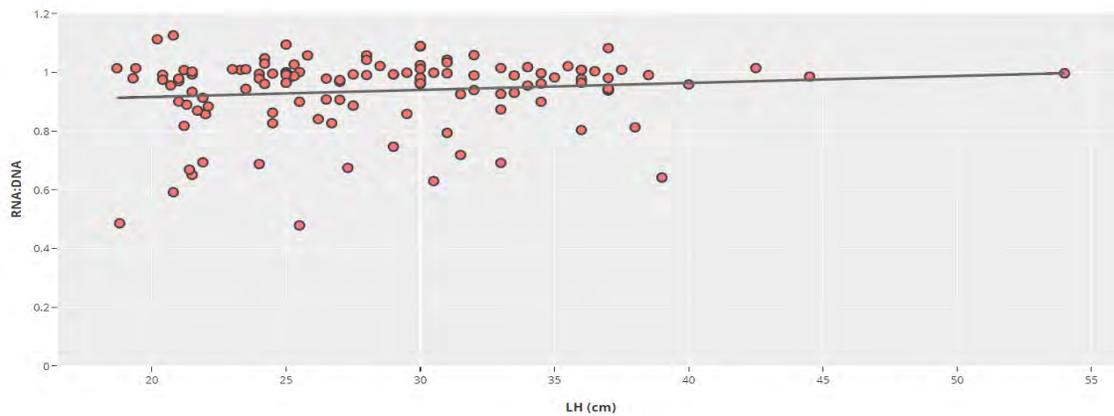


Figura 51. Relación de la longitud de la horquilla (LH) de ejemplares de jurel y el factor de condición ribosomal (RNA:DNA).

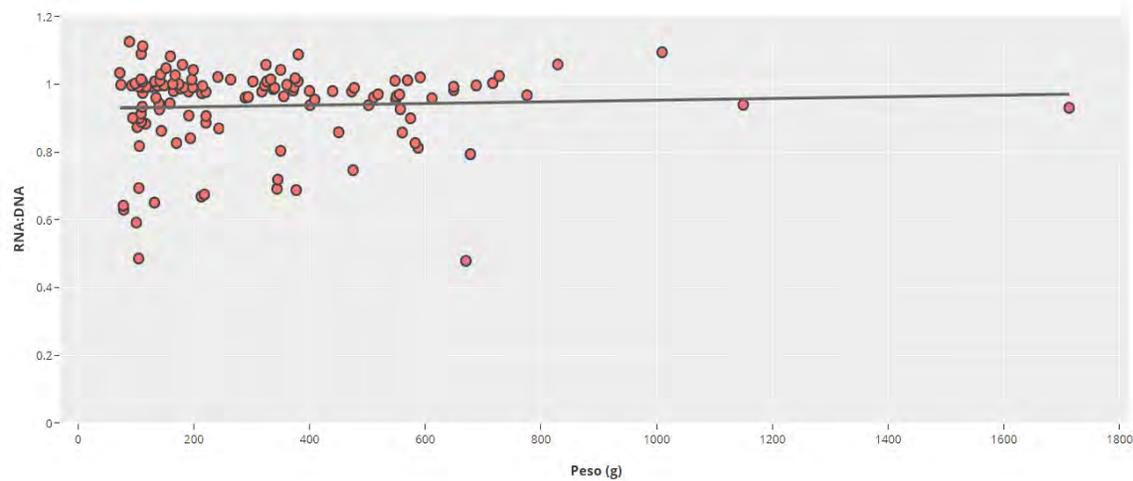


Figura 52. Relación el peso de ejemplares de jurel y el factor de condición ribosomal (RNA:DNA).

En la Tabla 21 se resume resultados del perfil lipídico y el *proxy* de la relación C:N encontrados para jureles analizados en el presente estudio. Se comprueba que la razón C:N es un buen predictor del *proxy* nutricional (Fig. 53), esto es, a mayor valor en C:N el individuo de jurel

presentará mayor cantidad lipídica (porcentual). La distribución energética (Kcal (g)) muestra la misma tendencia. Además, los jureles de ambas macrozonas presentan similar relación longitud-peso (ANCOVA; $F=44,7$; $p<0,0001$) (Fig. 54).

El %lipídico promedio en la musculatura de jurel es $40,2\% \pm 1,5$. La distribución de energía del jurel es mayor en la MZS ($1,56 \pm 1,5$ Kcal) que en la MZN ($1,16 \pm 0,5$ Kcal) (Tabla 21). La concentración energética de jureles se presentó en dos tamaños (Fig. 55), uno cerca de 33 cm de LH y el otro en 43 cm de LH, prácticamente coincidiendo con la concentración de C:N (Fig. 56). En efecto, el proxy de C:N es levemente mayor en jureles de la MZS ($3,60 \pm 0,6$) que de la MZN ($3,48 \pm 0,3$). Al combinar los efectos de C:N y RNA:DNA se ratifica que los jureles de la macrozona centro-sur presentan mayor estatus nutricional que aquellos del norte (test PERMANOVA; $F=10,64$; $p=0,0004$). Complementariamente, los ejemplares de jurel de la MZN presentan menor C:N que los de la MZS y también son más pequeños (Fig. 57).

Tabla 21. Estadígrafos (media, d.s. y rango) para % de lípidos, proxy nutricional de C:N y energía (Kcal/g) de jureles de las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS).

Macrozona	%Lípidos	Proxy C:N	Min-Max (C:N)	Kcal/g	Min-Max (Kcal/g)	Kcal/g USA	Kcal/g Zacarias et al. (2011)	Kcal/g IMARPE	Kcal/g Córdova (2015)
MZS	40,20 (1,5)	3,60 (0,6)	2,1 – 4,8	1,56 (0,7)	0,07 – 2,89	1,22	1,46	1,21	1,2
MZN		3,48 (0,3)	1,7 – 4,4	1,16 (0,5)	0,01 – 4,16				

Nota: en las últimas cuatro columnas se presenta resultados de otros estudios que reportan la cantidad energética encontrada la musculatura de jurel. Los trabajos de USA y Zacarias et al. (2011) analizaron ejemplares de jurel capturados frente a Chile. Los trabajos de IMARPE y Córdova (2015) analizaron jureles capturados frente a Perú.

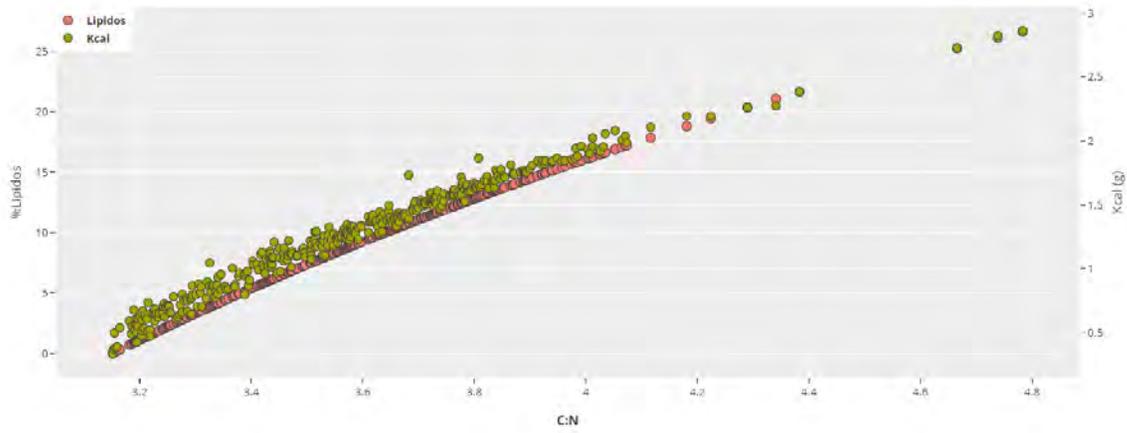


Figura 53. Relaciones entre el proxy nutricional C:N con el % lipídico y la distribución energética (Kcal) de individuos de jurel.

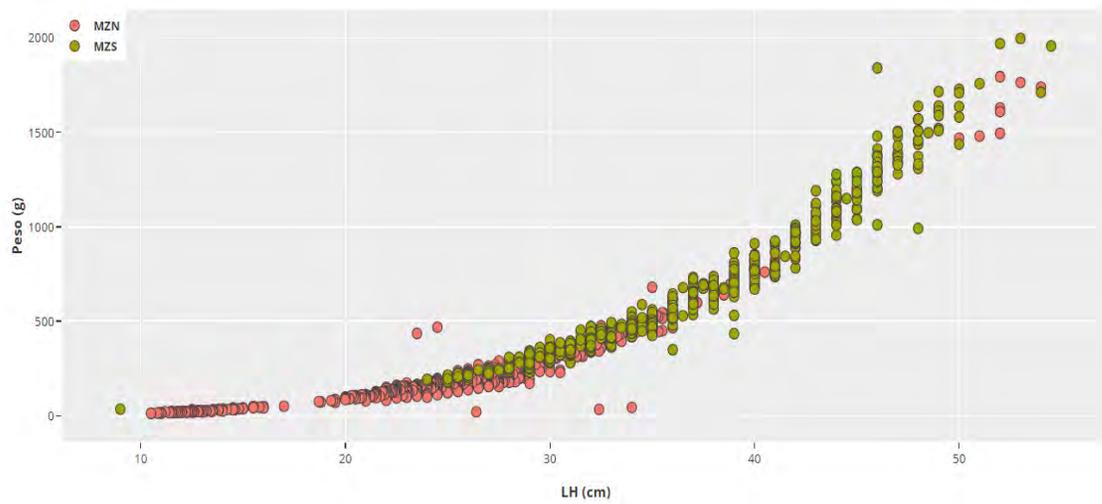


Figura 54. Relación tamaño-peso de jurel por macrozona (norte: MZN; centro-sur: MZS).

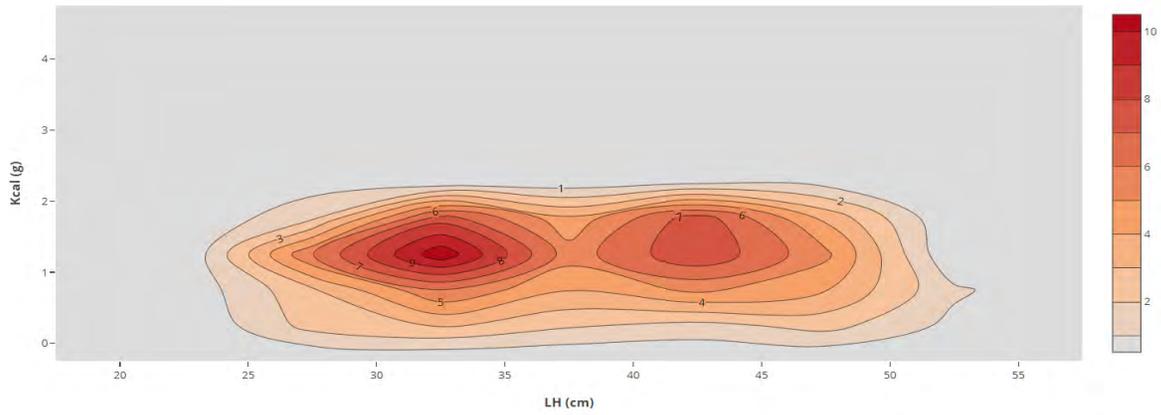


Figura 55. Distribución de la energía (Kcal) de la musculatura de jurel y relación con la longitud horquilla (LH, cm)

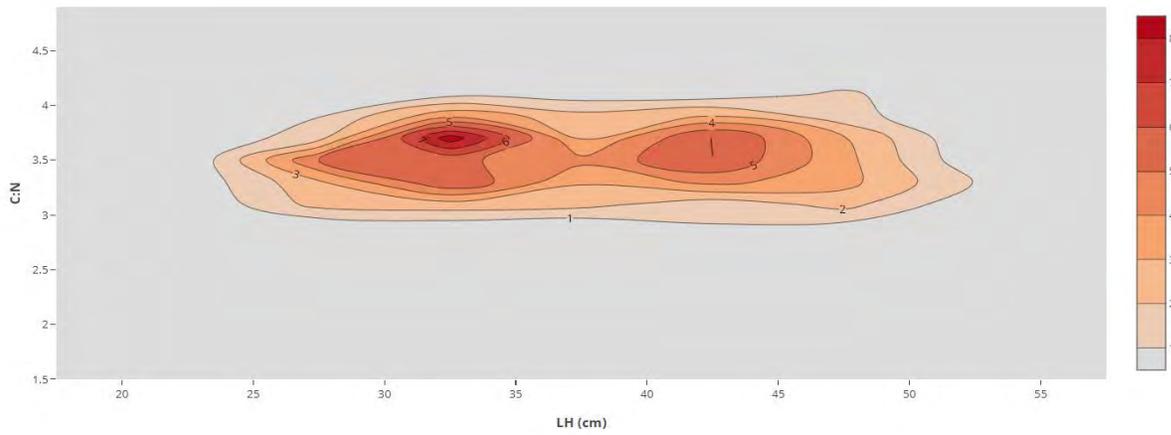


Figura 56. Distribución del proxy nutricional de C:N en jurel y relación con la longitud horquilla (LH, cm)

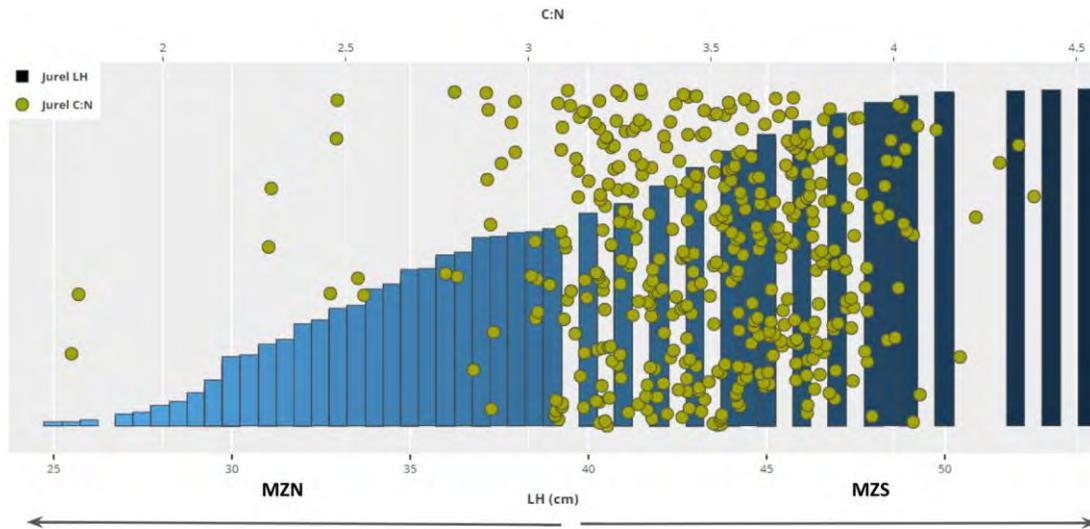


Figura 57. Relación entre los valores de C:N de jurel para las macrozonas norte (MZN) y centro-sur (MZS) y la longitud horquilla (LH).

4.6.4. Discusión

La combinación de resultados obtenidos con las técnicas de isótopos, energéticos y moleculares, para indagar en patrones de condición nutricional de jurel, hacen que este proyecto sea particular en el sentido que anteriormente no se había aplicado esta aproximación. Además, ésta es la primera vez que se usa del método RNA:DNA para peces en Chile. Zhou et al. (2001), Fathallah et al. (2010) y Tillner et al. (2015), en otros países, señalan que esta aproximación bioquímica es una herramienta útil para cuantificar la diversidad nutricional, la que está condicionada al tamaño del predador, a la epigenética y también al método de almacenamiento de la muestra.

Nuestros resultados permiten señalar que el método estuvo bien aplicado, pues los análisis de pureza (geles de agarosa) estuvieron bien identificados (Anexo 2). Otra situación relevante es la condición de estrés en la que podrían haber estado los peces analizados, lo que sesgaría la replicación del RNA (De Raedemaeker et al., 2012). En efecto, la replicación del RNA en las

células puede atribuirse no solo al crecimiento celular, sino también a la atrofia muscular por condiciones adversas en el hábitat, desacelerando el crecimiento somático.

Entonces, los peces (jureles, en este caso) pueden haber estado sometidos a dos escenarios, a saber: i) que el pez presente valores altos de RNA:DNA por el hecho de que está creciendo somáticamente y, por lo tanto, replicando sus hebras de RNA; o ii) que el pez presente valores altos de RNA:DNA por estrés ambiental, desacelerando el crecimiento, aunque sus células pueden seguir replicando hebras de RNA, aunque específicamente proteínas de estrés y atrofia muscular. Por lo tanto, el escenario i) radica en que el pez come y “se nutre bien”, por lo que el presupuesto energético estará en valores positivos. Por lo tanto, el cuerpo del pez estará en condiciones de replicar hebras de RNA para hipertrofia muscular. En cambio, bajo el escenario ii) el pez comerá, pero “sobrevive”, sin nutrirse adecuadamente. De esta forma el presupuesto energético estará en cero o cercano a cero. En este caso el pez comenzará a priorizar funciones basales del metabolismo y, consecuentemente, generando proteínas de atrofia muscular (Kim et al., 2008).

Los resultados del factor de nutrición ribosomal encontrado en jureles, en el presente estudio, no tiene comparación, pues que no existen trabajos previos en este ámbito. Sin embargo, de acuerdo con Chicharo & Chicharo (2008), valores $> 1,0$ en la razón RNA:DNA se deberían a que el pez estaría replicando hebras para proteínas hipertróficas, mientras que valores $< 0,8$ de RNA:DNA estarían expresando proteínas de atrofia. Por lo tanto, los ejemplares de jurel de las dos macrozonas estudiadas, en el presente trabajo, habrían estado en buena condición nutricional cuando fueron capturados.

En un sistema presa/depredador, si un pez tiene mayor densidad de energía, que puede entenderse como *proxy* nutricional de C:N (que la presa entrega al predador), entonces el consumo será estimado adecuadamente, pudiendo inferirse la eficiencia de conversión (Hewett & Stewart, 1989). Las diferencias en los contenidos en calorías deberían explicarse, en primer lugar, por la constitución de los tejidos, la fisiología de los peces (jureles) y las rutas metabólicas asociadas a la alimentación (Geist et al., 2013, 2015). De esta manera, para generar una explicación de las diferencias calóricas de los tejidos se requiere disponer de estudios de alimentación y de las tasas de consumo, y relacionarlos con la cantidad de calorías que presentan

las presas de los predadores. En segundo término se tiene a los estudios bioquímicos, en particular aquellos que tratan de las rutas metabólicas que han adquirido estas especies en el proceso evolutivo y su fisiología asociada.

4.6.5. Conclusiones

- Los análisis de la razón RNA:DNA muestran que los jureles de las macrozonas norte y centro-sur se presentan en buena condición nutricional (RNA:DNA > 0.8).
- El *proxy* C:N ratifica los resultados de la razón RNA:DNA al presentar valores >35% de lípidos en el músculo de jurel.

4.6.6. Referencias

- Barbosa, P.S., Parker K.L. & Hume I.D. (2009). Integrative Wildlife Nutrition. Springer Verlag; ISBN: 978-3-540-87884-1. 342 p.
- Bayne BL, Widdows J. (1978). The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* L. *Oecologia* 37:137–62.
- Buckley LJ. (1984). RNA-DNA ratio: an index of larval fish growth in the sea. *Mar. Biol.* 80:291–98.
- Chícharo, M.A. & Chícharo L. (2008). RNA: DNA ratio and other nucleic acid derived indices in marine ecology. *Int. J. Mol. Sci.*, 9: 1453-1471.
- Chung, M. H., Kasai H., Jones D. S., Inoue N., Ishikawa H., Ohtsuka, E. & Nishimura S. (1991). *Mutat. Res.* 254:1-12.
- Clemmesen, C. M. (1989). RNA/DNA ratios of laboratory-reared and wild herring larvae determined with a highly sensitive fluorescence method. *Journal of Fish Biology* Volume 35 sA. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1989.tb03078.x>
- Dahlhoff, EP. & Menge BA. (1996). Influence of phytoplankton concentration and wave exposure on the ecophysiology of *Mytilus californianus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 144:97–107
- Dahlhoff, EP. (2004). Biochemical Indicators of Stress and Metabolism: Applications for Marine Ecological Studies Annual Review of Physiology, 66:183-207. doi.org/10.1146/annurev.physiol.66.032102.114509
- Dean, J., Wilson C., Haake P. & Beckman D. (1983). Micro-structural features of teleost otoliths. In *Biomineralization Biological Metal Accumulation*, ed. P Westbroek, E de Jong, pp. 353–59.
- De Raedemaeker, F., Brophy D., O’Connor I. & O’Neill B. (2012) Dependence of RNA:DNA ratios and Fulton’s K condition indices on environmental characteristics of plaice and dab nursery grounds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 98: 60–70.
- Duellman, W. E. & Trueb L. (1986). *Biology of amphibians*, McGraw-Hill Book Company, 670 pp.
- Elliot, J. M. (1978). Rates of gastric evacuation in brown trout *Salmo trutta* L. *Freshwater Biology* 2:1-18.

- FAO. (2010). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 2010. ISBN 978-92-5-306675-9. 218 p.
- Fathallah, S., Medhioub M. N., Medhioub A. & Boussetta H. (2010) Biochemical indices (RNA/DNA Ratio and Protein Content) in studying the nutritional status of *Ruditapes decussatus* (Linnaeus 1758) juveniles. *Aquaculture Research* 42, 139–146.
- Foster, AR, Houlihan DF, Hall SJ. (1993). Effects of nutritional regime on correlates of growth rate in juvenile Atlantic cod *Gadus morula*: comparisons of morphological and biochemical measurements. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50:502–12
- Geist, S. J., Ekau, W. & Kunzmann, A. (2013) Energy demand of larval and juvenile Cape horse mackerels, *Trachurus capensis*, and indications of hypoxia tolerance as benefit in a changing environment. *Marine biology* 160, 3221–3232.
- Geist, S. J., Kunzmann A., Verheye H.M., Eggert A., Schukat A. & Ekau W. (2015) Distribution, feeding behaviour, and condition of Cape horse mackerel early life stages, *Trachurus capensis*, under different environmental conditions in the northern Benguela upwelling Ecosystem. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 72, 543–557.
- Guderley H, Dutil JD, Pelletier D. (1996). The physiological status of Atlantic cod, *Gadus morhua*, in the wild the laboratory: estimates of growth rates under field conditions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:550–57
- Gwak, W. S. & Tanaka M. (2001). Developmental change in RNA: DNA ratios of fed and starved laboratory-reared Japanese flounder larvae and juveniles, and its application to assessment of nutritional condition for wild fish. *Journal of Fish Biology*, 59(4): 902-915. doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb00160.x
- Hawkins, AJS., Bayne BL., Bougrier S., Héral M., Iglesias JIP., Navarro E., Smith RFM. & Urrutia MB. (1998). Some general relationships in comparing the feeding physiology of suspension-feeding bivalve molluscs. *J Exp Mar. Biol. Ecol.*, 219:87–103.
- Hewett, S.W., & Stewart D.J. (1989). Zooplanktivory by alewives in Lake Michigan: Ontogenetic, Seasonal, and historical pattern. *Trans. Amer. Fish Soc.* 118 : 581-596
- Hofmann GE. & Somero GN. (1995). Evidence for protein damage at environmental temperatures: seasonal changes in levels of ubiquitin conjugates and HSP70 in the intertidal mussel *Mytilus trossulus*. *J. Exp. Biol.* 198:1509–18.
- Höök, T., Gorokhova E., & Hansson S. (2008). RNA:DNA ratios of Baltic Sea herring larvae and copepods in embayment and open sea habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(1, 1): 29-35. doi.org/10.1016/j.ecss.2007.06.012
- Houlihan, DF., Hall SJ., Gray C., & Noble BS. (1988). Growth rates and protein turnover in Atlantic cod, *Gadus morula*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45:951–64.

- Houlihan, D.F. (1991). Protein Turnover in Ectotherms and Its Relationships to Energetics. In: *Advances in Comparative and Environmental Physiology. Advances in Comparative and Environmental Physiology*, vol 7. Springer, Berlin, Heidelberg. doi.org/10.1007/978-3-642-75897-3_1
- Kim, J. H., Kim S. J., Min G. S. & Han, K. N. (2008) Nutritional condition determined using RNA/DNA ratios of the river pufferfish *Takifugu obscurus* under different salinities. *Marine Ecology Progress Series* 372, 243–252.
- Mathers, EM, Houlihan DF. & Cunningham MJ. 1992. Nucleic acid concentrations and enzyme activities as correlates of growth rate of the Saithe *Pollachius virens*-growth rate estimates of open-sea fish. *Mar. Biol.* 112:363–69
- Parrish, CC., Nichols PD., Pethybridge H. & Young JW. 2015. Direct determination of fatty acids in fish tissues: quantifying top predator trophic connections. *Oecologia* 177:85–95. doi: 10.1007/s00442-014-3131-3
- Pethybridge, H, Daley RK. & Nichols PD. 2011. Diet of demersal sharks and chimaeras inferred by fatty acid profiles and stomach content analysis. *J Exp Mar Bio Ecol* 409:290–299. doi: 10.1016/j.jembe.2011.09.009
- Pethybridge, HR, Young JW., Kuhnert PM. & Farley JH. 2015. Using stable isotopes of albacore tuna and predictive models to characterize bioregions and examine ecological change in the SW Pacific Ocean. *Prog Oceanogr* 134:293–303. doi: 10.1016/j.pocean.2015.03.001
- Sallaberry-Pincheira, P., Galvez P., Molina-Burgos B. E., Fernandoy F., Melendez R. & Klarian S. A. (2018). *Polar Biology*, 1-7 p.
- Smith J, Chong C. (1982). Body weight, activities of cytochrome c oxidase and electron transport system in the liver of the American plaice *Hippoglossoides platessoides*. Can these activities serve as indicators of metabolism? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 9:171–79
- Tanaka, Y., Satoh K., Yamada H., Takebe T., Nikaido H. & Shiozawa S. (2008). Assessment of the nutritional status of field-caught larval Pacific bluefin tuna by RNA/DNA ratio based on a starvation experiment of hatchery-reared fish. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 354(1, 4): 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.10.007>
- Tillner, R., Assheuer, T., Rennert, B., Trubiroha, A., Clemmesen, C. & Wuertz, S. (2015) Evaluation of an improved RNA/DNA quantification method in a common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus 1758) larval feeding trial with artemia, two nematodes (*Panagrellus redivivus* Linnaeus 1758, *Panagrolaimus* sp. Fuchs 1930) and dry feed. *Zeitschrift für angewandte Ichthyologie = Journal of applied ichthyology* 31, 466–473.
- Torres JJ. & Somero GN. (1988). Metabolism, enzymic activities and cold adaptation in Antarctic mesopelagic fishes. *Mar. Biol.* 98:169–80

- Wagner, M, Durbin E. & Buckley L. (1998). RNA:DNA ratios as indicators of nutritional condition in the copepod *Calanus finmarchicus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 162:173–81.
- Wolcott, TG. (1973). Physiological ecology and intertidal zonation in limpets (*Acmaea*): a critical look at ‘limiting factors.’ *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole* 145:389–422.
- Wright, DA. & Hetzel EW. (1985). Use of RNA:DNA ratios as an indicator of nutritional stress in the American oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25:199–206.
- Zhou, B. S., Wu R. S., Randall D. J. & Lam P. K. (2001) Bioenergetics and RNA/DNA ratios in the common carp (*Cyprinus carpio*) under hypoxia. *Journal of Comparative Physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 171, 49–57.

5. Taller y reuniones

5.1. Reunión de coordinación

La reunión de coordinación técnica se desarrolló con el sectorialista de Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SubPesca), se realizó el lunes 8 de enero de 2018, a las 10:40 horas en dependencias del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA), se adjunta acta ([Anexo 3](#)).

5.2. Taller de difusión de resultados

El taller de difusión se realizó el jueves 11 de abril de 2019 en el Auditorio de la Universidad de Andrés Bello, Sede Viña del Mar ([Anexo 4](#)). Las temáticas fueron presentadas de acuerdo con el programa ([Anexo 5](#)) por los relatores (investigadores que participan en el proyecto). Se abordó y discutió los principales resultados de este proyecto.

En el taller participaron las personas que aparecen en el listado de asistentes ([Anexo 6](#)). De este taller se acentúa la importancia de contar con un sistema de monitoreo y análisis de estómagos periódico para aquellas especies que son recursos objetivo de las principales pesquerías, así como de especies que son predadores tope. La información cuantitativa del contenido estomacal de peces y predadores será un insumo para las evaluaciones multiespecíficas y el manejo de pesquerías con enfoque ecosistémico en Chile.

En el [Anexo 7](#) se presenta las PPT mostradas en el taller.

6. Composición y organización del equipo profesional y técnico

Nombre	Título	Rol y Función
Hugo Arancibia	Biólogo Marino Diplomado Gestión por Competencias, U. Mayor <i>Dr. rer. nat.</i> , Uni Bremen	Jefe de Proyecto <ul style="list-style-type: none"> • Coordinación y administración general proyecto • Encargado objetivos específicos 1 y 5 • Relator talleres • Responsable de informes
Rubén Alarcón	Lic. Biología M. Sc. Pesquerías Dr.(c) Ciencias	Co-investigador y Director Alterno <ul style="list-style-type: none"> • Responsable objetivo específico 2 • Relator Talleres • confección informes
Sergio Neira	Lic. Biología Marina M. Sc. Pesquerías Doctor of Philosophy (m. Zoology)	Co-investigador <ul style="list-style-type: none"> • Participación en objetivo específico 5 • Relator Talleres • Confección informes
Mónica Barros	Ingeniero Pesquero, M.Sc. Pesquerías	Co-investigador <ul style="list-style-type: none"> • Asistente técnica del jefe de proyecto • Coordinación actividades proyecto • Participación objetivos específicos 1 y 5 • Organización talleres • Responsable edición informes
Daniela Yepsen	Biólogo Marino M.Sc. Biología Marina	Co-investigador <ul style="list-style-type: none"> • Participación objetivos específicos 1 y 2. • Apoyo análisis de datos • Confección informes
Elier Armas	Lic. Meteorología	Co-investigador <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de datos objetivo específico 2
Sebastian Klarian	Biólogo Marino M.Sc. Biología Marina Dr. Medicina de la Conservación	Co-investigador <ul style="list-style-type: none"> • Encargado de objetivos específicos 3 y 4 • Participación objetivos específicos 5 y 6 • Participación en talleres • Confección de informes
Juan Valdés	Lic. Bioquímica Dr. Ciencias Biomédicas	Co-investigador <ul style="list-style-type: none"> • Participación objetivos específicos 6 • Participación en talleres • Confección de informes
Marianela Medina	Bióloga Pesquera	Co-investigador <ul style="list-style-type: none"> • Participación objetivos específicos 3 y 5 • Análisis y clasificación de información • Participación en talleres • Confección de informes
Alexis Gacitúa	Lic. Ciencias del Mar Biólogo Marino M.Sc. Biología Pesquera	Co-investigador <ul style="list-style-type: none"> • Participación en objetivos específicos 3 y 5 • Responsable gestión y logística actividades •

Nombre	Título	Rol y Función
Chris Harrod	Ing. Mecánico Dr. Ecología de Peces	Co-investigador <ul style="list-style-type: none"> Participación en objetivo específico 4 Confección de informes
Eric Schultz	B.S. Zoology, Magna cum Laude, Duke University Ph.D. Aquatic and Population Biology, University of California, Santa Barbara	Consultor experto Participación en el objetivo específico 6
Técnico NN1		<ul style="list-style-type: none"> Participación en el objetivo 3
Técnico NN2		<ul style="list-style-type: none"> Participación en el objetivo 3
Técnico NN3		<ul style="list-style-type: none"> Participación en el objetivo 3
Técnico NN4		<ul style="list-style-type: none"> Participación en el objetivo 3
Técnico NN5		<ul style="list-style-type: none"> Participación en el objetivo 3

6.1. Horas mensuales ejecutadas por profesionales y técnicos.

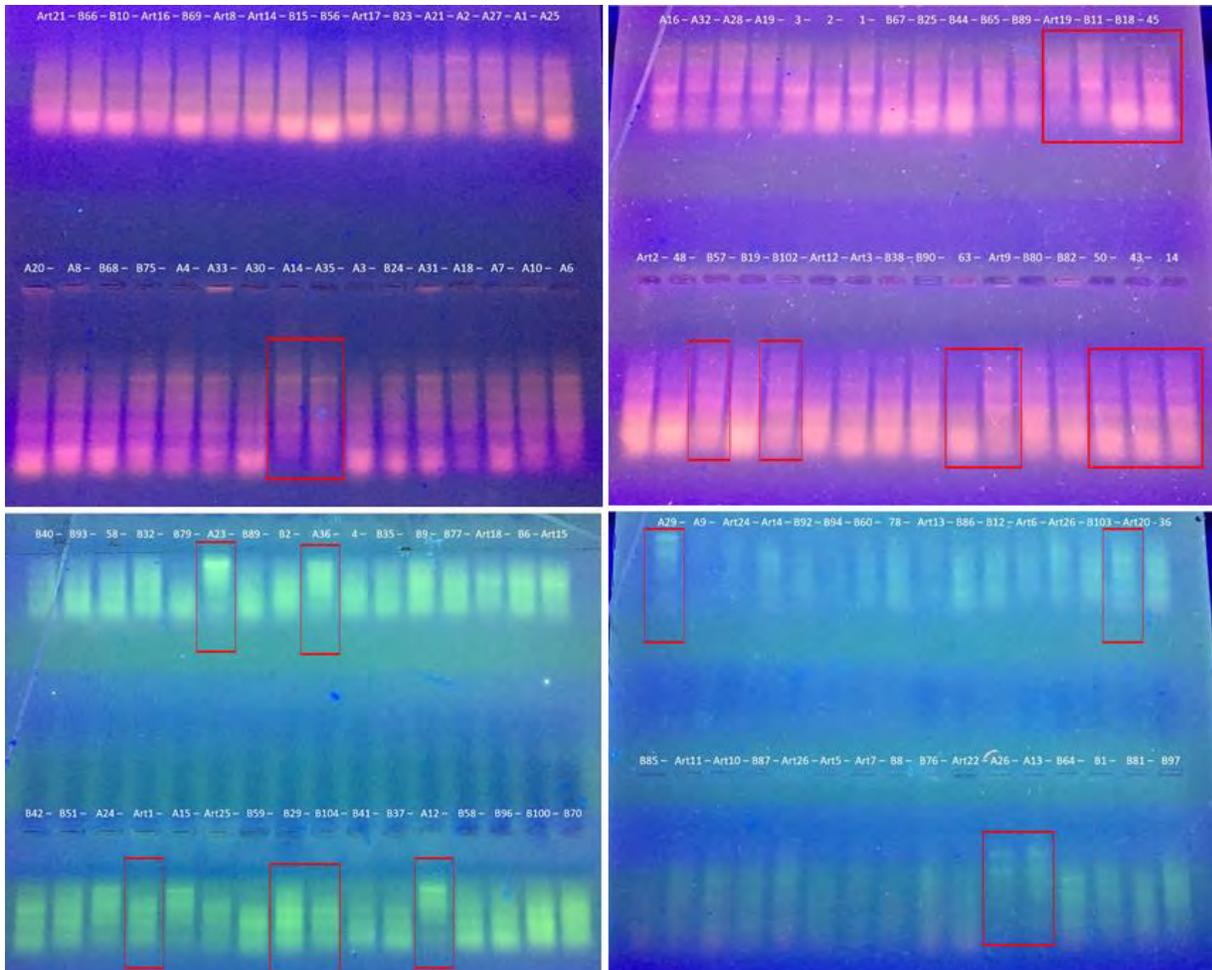
Nombre	M E S																			Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Hugo Arancibia	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	46	46	46	46	10	10	10	768	
Ruben Alarcón	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	10	10	10	512	
Sergio Neira	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	10	10	10	512	
Mónica Barros	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	10	10	10	512	
Daniela Yepsen	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	10	10	10	512	
Sebastian Klarian	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	46	46	46	46	10	10	10	768	
Juan Valdés	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	10	10	10	512	
Marianela Medina	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	10	10	10	512	
Alexis Gacitúa	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	10	10	10	512	
Cris Harrod	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	30	30	10	10	10	512	
Técnico NN1	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72				1152	
Técnico NN2	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72				1152	
Técnico NN3	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72				1152	
Técnico NN4	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72				1152	
Técnico NN5	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72				1152	
Andrew Jackson	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	10	10	10	532	
Eric Schultz	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	10	10	10	532	
Total	797	786	786	786	786	130	130	130	12968												

A N E X O S

Anexo 1. Dossier bibliográfico electrónico (se presenta en CD adjunto)

Anexo 2. Integridad de muestras de RNA extraídas (ejemplo)

Los geles fueron preparados al 1,2% p/v de agarosa y buffer mops 1X. Las muestras denotadas con un rectángulo rojo fueron elegidas para sintetizar cDNA mediante retro transcripción para estudios posteriores de identificación de genes de hiperplasia y atrofia muscular.



Anexo 3. ACTA DE REUNIÓN DE COORDINACIÓN

Proyecto FIPA 2017-63 “Conducta trófica del jurel”

De acuerdo con el Contrato de Investigación de este proyecto, según Resolución Exenta N° 3961 de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SubPesca) de 28 de noviembre de 2017, en el Artículo Quinto, numeral 1.2, se establece que el Consultor desarrollar una reunión técnica con el sectorialista de SubPesca, la que se realizó el lunes 8 de enero de 2018 en dependencias del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA) e inició a las 10:40 con los siguientes participantes:

- Sr. Luis Carroza (Director Ejecutivo del FIPA);
- Sr. Mario Acevedo (Sectorialista de SubPesca);
- Dr. Sebastián Klarian (Coinvestigador); y,
- Dr. Hugo Arancibia (Jefe de Proyecto).

El señor Arancibia expone los objetivos específicos del proyecto y menciona el modo de organización para desarrollarlo colaborativamente entre la Universidad de Concepción (UdeC), como institución principal, y las siguientes instituciones en calidad de Sub-contratadas: Universidad Arturo Prat (UNAP), Universidad de Antofagasta (UAntof) y Universidad Nacional Andrés Bello (UNAB).

En particular se comenta que se muestreará de los desembarques de las flotas industriales de Iquique (Primera Región) y San Vicente (Octava Región) por lo que los muestreos serán dependientes de la disponibilidad de materia prima de jurel en épocas regulares de pesca (normalmente de marzo a agosto/septiembre en Iquique y de enero a julio en San Vicente). El señor Acevedo está de acuerdo con esta aclaración y solicita que los muestreos ocurran exclusivamente de las cuotas de pesca autorizadas, agregando que el jurel no es recurso objetivo en la macrozona norte, sino fauna acompañante de las capturas de anchoveta, por lo que se debe extremar los resguardos atendiendo la operación de la flota industrial del norte, por un lado, y estar pendientes de las temporadas de veda de anchoveta, por el otro.

El señor Arancibia insiste que se debe informar al evaluador de lo comentado arriba, pues no se contempla compra de materia prima de pesca industrial o artesanal, lo que supone costos no considerados en el proyecto. El señor Arancibia reitera el pedido que el evaluador no exija muestreos –y, consecuentemente que esto no sea motivo de rechazo de informes de este proyecto– en meses en los que se verifique vedas de anchoveta en el norte de Chile ni fuera de las temporadas de pesca regular mencionadas en el párrafo precedente.

Se dialoga extensamente de las características de los muestreos biológico-específicos de jurel en este proyecto de los desembarques Iquique y San Vicente, pues las flotas operan irregularmente incluso en su período normal de pesca. El señor Arancibia compromete acudir a profesionales y gerentes de las flotas industriales cerqueras de las Regiones Primera y Octava para tratar de asegurar los muestreos y aplicar el mayor esfuerzo posible en la obtención de muestras propuestas en este proyecto.

Se dialoga de la importancia de los resultados de este proyecto, en particular de la disponibilidad de esos resultados de en para, eventualmente, presentarlos en la próxima reunión del Comité Científico de la Organización Regional de Pesca del Océano Pacífico Sur (CT-ORP), la que se desarrollaría en agosto de 2018. Nota: esa reunión se realizó en abril pasado, pero aún no había resultados disponibles de este proyecto. Además, los trabajos a presentar deben ser enviados 1 mes antes a la secretaría del CT-ORP, esto es, en marzo pasado.

Luego se le solicita al señor Klarian que comente y aclare la técnica de isótopos estables aplicado al análisis del contenido estomacal en peces, en particular en jurel, así como el uso de tejidos del pez, como el músculo. El señor Klarian señala que en la UNAB-Viña del Mar se ha implementado y equipado un laboratorio para análisis de isótopos, lo que nos independiza de enviar las muestras al extranjero. Luego él comenta los fundamentos ecológicos del análisis de isótopos estables y su complemento con análisis del contenido estomacal clásico, el que también se debe desarrollar en el presente proyecto.

Se cierra la reunión a las a 12:15 horas.

Anexo 4. Invitación al taller de difusión de resultados FIPA 2017-63.



*Dr. Hugo Arancibia, jefe del proyecto FIPA 2017-63 “Conducta trófica de jurel” y Dr. Juan Manuel Estrada, Director del Centro de Investigación Marina Quintay (UNAB), saludan atentamente a usted y tienen el agrado de invitarle al **Taller de Difusión de Resultados** de dicho proyecto, el que se efectuará el jueves 11 de abril de 2019 a partir de las 09:30 horas en el Auditorio Rojo, Piso -1, de la Universidad de Andrés Bello (Sede Viña del Mar, Av. Quillota 980).*

*Concepción / Viña del Mar, abril de 2019.
S.R.C.: ivomme.quintanilla@unab.cl*

Anexo 5. Programa del taller de difusión de resultados FIPA 2017-63.

PROGRAMA TALLER de DIFUSION
Proyecto FIP 2017-63 “Conducta trófica de jurel”

Lugar: Auditorio Rojo, Piso -1, Universidad de Andrés Bello, Sede Viña del Mar, Av. Quillota 980.

Fecha: miércoles 11 de abril de 2019; **hora:** de 09:30 a 12:30 horas

Hora	Título y expositor
09:15 a 09:30	Inscripciones
09:30 a 09:45	Presentación de objetivos del proyecto. Jefe de proyecto: Hugo Arancibia
09:45 a 10:00	Objetivo Específico 1: Antecedentes históricos y actuales de alimentación del jurel. Expositor: Mónica Barros
10:00 a 10:15	Objetivo Específico 2: Recopilación de información geo-referenciada de ítems alimentarios de jurel. Expositor: Rubén Alarcón
10:15 a 10:30	Objetivo Específico 3: Determinación del contenido estomacal de los principales ítems alimentarios de jurel. Expositores: Sebastián Klarian
10:30 a 11:00	Pausa de café
11:00 a 11:15	Objetivo Específico 4: Principales ítems alimentarios de jurel con la técnica de isótopos estables. Expositor: Sebastián Klarian
11:15 a 11:30	Objetivo Específico 5: Tasa de consumo de alimento de jurel. Expositor: Sebastián Klarian + Sergio Neira
11:30 a 11:45	Objetivos Específicos 6: Componentes energéticos en la alimentación del jurel y el factor de condición nutricional. Expositor: Juan Valdés
11:45 a 12:15	Comentarios y conclusiones

Anexo 6. Asistencia al taller de difusión de resultados.



Taller de Difusión de Resultados Proyecto FIP 2017-63

"Conducta trófica de jurel"

Universidad Andrés Bello, abril 11 de 2018

ASISTENCIA

N°	Nombre	Institución	Email y/o Teléfono	Firma
1	Diego Riquelme	UNAB	diego.v.guerrero@unab.cl	[Firma]
2	Ana Dacia Guzmán	Andrés Bello	anixcas@gmail.com	[Firma]
3	Mario Acevedo G.	SUBPESCA	macevedo@subpesca.cl	[Firma]
4	PABLO BOVATI D	UNAB	PABLOBOVATI@gmail.com	[Firma]
5	Consuelo Flores	UNAB	Consue.flores@gmail.com	[Firma]
6	Algo Arancibia	UdeC	harauaib@udec.cl	[Firma]
7	Mónica Barros	UdeC	mobarros@udec.cl	[Firma]
8	Joseph Julca	UNAB	julca@uc.cl	[Firma]
9	Carolina Cárcamo	UNAB	carolinacarcamo8@gmail.com	[Firma]
10	Mariano Fernández	PUCV	Marianofernandeztorres@gmail.com	[Firma]



Taller de Difusión de Resultados Proyecto FIP 2017-63

"Conducta trófica de jurel"

Universidad Andrés Bello, abril 11 de 2018

ASISTENCIA

N°	Nombre	Institución	Email y/o Teléfono	Firma
1	LUIS CARMOZIN	FIDA	Lc12mon@subpesca.cl	[Firma]
2	Felipe Sepúlveda	UNAB	F.sepulveda@gmail.com	[Firma]
3	Pauline Sallaberry	UNAB	sallaberry.pauline@gmail.com	[Firma]
4	Ivonne Quintana	UNAB	ivonne.quintana@unab.cl	[Firma]
5	Stephanny Cruz Leiva	Unab	stephanycruz.leiva@gmail.com	[Firma]
6	Scherin Ktiani	UNAB	scherrin.ktiani@unab.cl	[Firma]
7	Da-da Teresa	UdeC	da-da.teresa@udec.cl	[Firma]
8	Pablo A. Ormazabal	UNAB	Pablo.ornazabal@unab.cl	[Firma]
9				
10				

Anexo 7. Registro fotográfico del taller



Foto 1. Jefe del proyecto, Dr. Hugo Arancibia



Foto 2. Coinvestigador del proyecto, Dr. Sebastian Klarian.

Anexo 8. Presentaciones del taller



Universidad
Andrés Bello



UNIVERSIDAD ARTURO PRAT
DEL TERCER VALLE



Taller de Difusión de Resultados

Proyecto FIPA 2017-63 “Conducta trófica de jurel”

Viña del Mar, 11 de marzo de 2019



Universidad
Andrés Bello



UNIVERSIDAD ARTURO PRAT
DEL TERCER VALLE



Objetivo General

Determinar los componentes trofodinámicos del jurel en las zonas costeras y oceánicas en Chile (XV – II Regiones y V-X Regiones)



Jurel
Trachurus murphyi

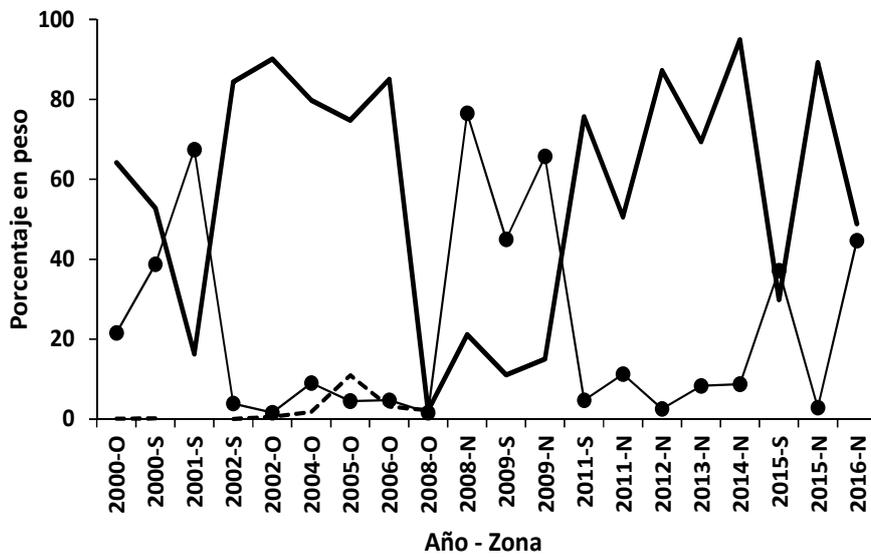
Objetivos Específicos

1. Revisar la bibliografía histórica y actual de alimentación del jurel y confeccionar un dossier, incluyendo la revisión bibliográfica de la aplicación de la estabilidad isotópica en ecología trófica.
2. Recopilar información científica geo-referenciada de proyectos de investigación realizados por el estado, respecto de ítems alimentarios de jurel en los últimos 10 años.
3. Determinar y cuantificar, a través del análisis del contenido estomacal, los principales ítems alimentarios de individuos de jurel por grupos de tamaño disponibles desde las capturas comerciales (de preferencia juveniles y adultos), tanto espacial como temporalmente.
4. Determinar, a través de la técnica de isótopos estables, la contribución de los principales ítems alimentarios de juveniles y adultos de jurel, y probar si existen diferencias intra-específicas (ontogenéticas).



Objetivos Específicos (cont.)

5. Estimar mediante métodos indirectos las tasas de consumo de alimento y de excreción en jurel.
6. Determinar los componentes energéticos en la dinámica trófica de individuos de jurel y analizar el factor de condición nutricional de individuos analizados.



Aporte de las principales presas (porcentaje en peso) en el contenido estomacal de jurel por año y zona. Período: 2000 a 2016. Nomenclatura: línea continua = eufáusidos; línea con círculos = peces linterna; línea discontinua = salpas; N (zona norte), S (zona centro-sur), O (zona oceánica).



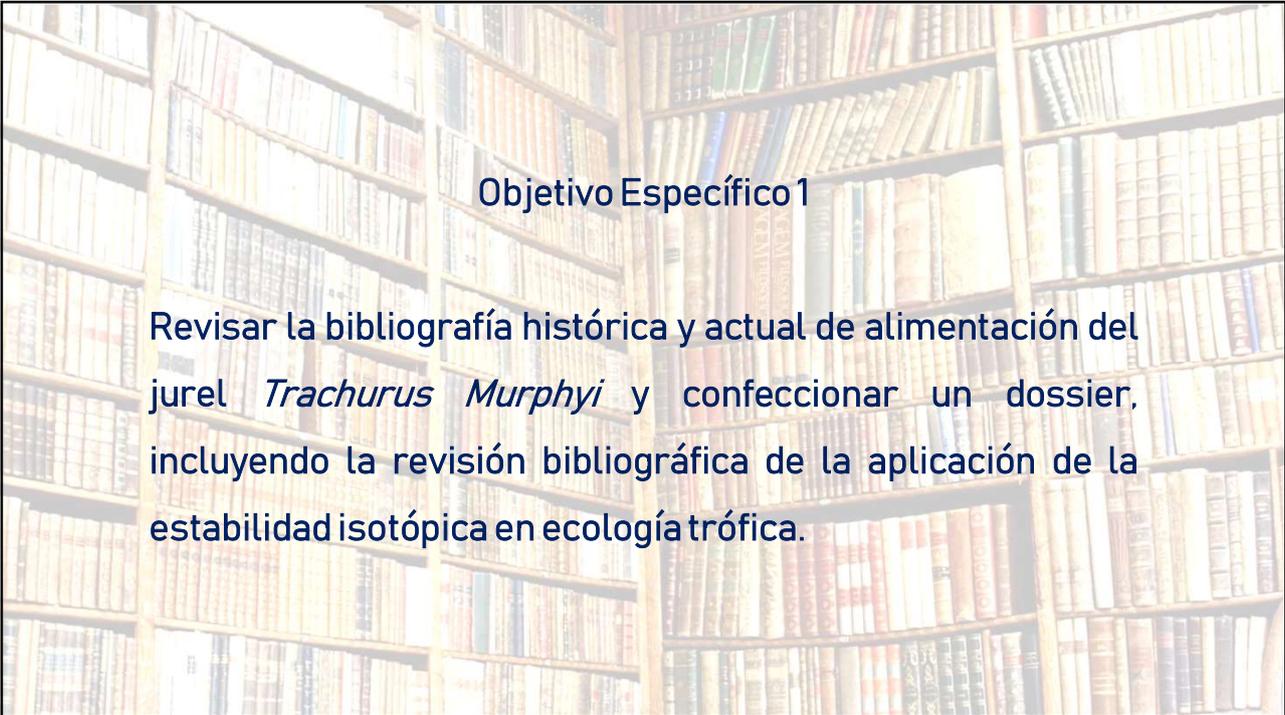
Universidad
Andrés Bello



Taller de Difusión de Resultados

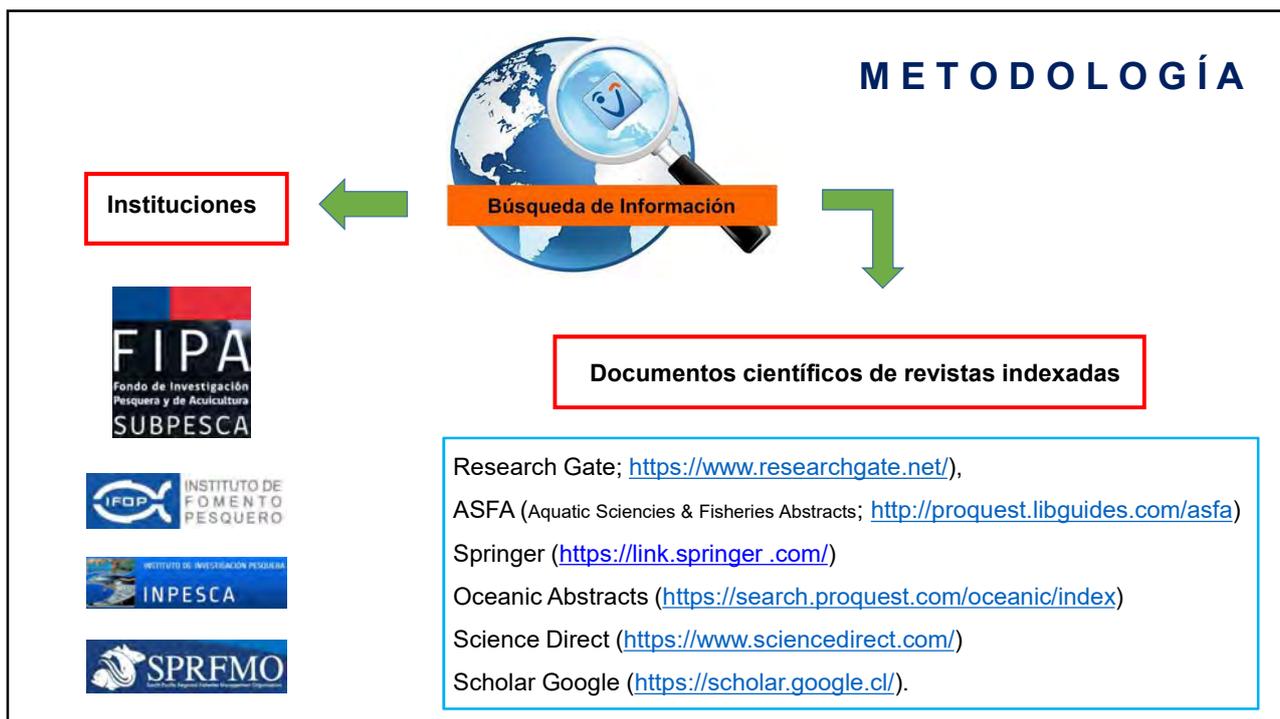
Proyecto FIPA 2017-63 “Conducta trófica de jurel”

Mónica Barros



Objetivo Específico 1

Revisar la bibliografía histórica y actual de alimentación del jurel *Trachurus Murphyi* y confeccionar un dossier, incluyendo la revisión bibliográfica de la aplicación de la estabilidad isotópica en ecología trófica.



- ## RESULTADOS
- ➔ Se revisó los proyectos que incluyeron en sus resultados la alimentación de jurel, entre los años 1993 y 2018:
 - FIP/FIPA: 65 Informes técnicos,
 - IFOP: 4 Informes técnicos,
 - Biblioteca de catálogos de revistas: 29 documentos científicos.
 - ➔ Se confeccionó un Dossier Bibliográfico (GRB: EndNote X8).
 - ➔ Se categorizó la información publicada a través del método del semáforo (Halliday et al. 2001) de acuerdo con el aporte significativo al objetivo general del proyecto.

Tabla de categorización de las publicaciones para *Trachurus murphyi* y género *Trachurus*, de acuerdo con el aporte significativo al objetivo general del proyecto.

Referencia	Tema	Tópico/Ubicación	Observación	Categorización	Referencia	Tema	Tópico/Ubicación	Observación	Categorización
Alvarez L., 2006.	Distribución vs. Ambiente	Comportamiento poblacional/Chile centro sur.		aporte incompleto	Bailey K. 1989.	Alimentación, distribución.	Predador del jurel / Zona de convergencia al este de Nueva.	Análisis de muestras de jurel encontradas en estuarios de Albufera Tinnus olinagus	aporte regular
Arco A., Guillot L., Núñez J. 2002.	Pesquería	Análisis pesquería vs. El Niño / Chile.	Se indica que la dieta de jurel es afectada por el Niño 97-98. En artículo.	aporte regular	Beltrán et al., 2004.	Distribución y ecología trófica.	Relación trófica predador-presa / Chile.		aporte regular
Cárdenas et al., 2009.	Estructuras poblacionales.	Genética / Chile.		aporte regular	Beltrán et al., 2006.	Distribución y comportamiento vs. Alimentación.	Relación trófica predador-presa / Chile centro sur.	Análisis de datos acústicos. Estudio local.	aporte regular
Cuadros & Alarcón, 2010.	Historia de vida.	Estimación y comparación de tallas medias maduras sexuales / Chile-Perú.		aporte regular	Boecklen et al., 2011.	Ecología trófica, isotopos estables.	Método análisis de estudios con isotopos estables (2007-2009).	Comparar con isotopos diferentes problemas ecológicos.	aporte regular
Cuadros et al., 2008.	Distribución y pesque.	Análisis distribución espacial / Chile centro.	Se indica a la región centro y occidente de Chile.	aporte regular	Carce et al. 2013 (Editees)	Ecología, pesquería y conservación del jurel.	Estudio general del jurel Perú.	Numero Especial dedicado al jurel.	aporte regular
Parada et al., 2013.	Pesquería y Ambiente.	Variables ambientales vs. Distribución recursos pesqueros Chile.		aporte regular	Geist et al., 2015.	Distribución y comportamiento alimentario.	Ecología trófica y condiciones nutricionales / Sistema Surpacífico Norte Búsqueda.	Genero <i>Trachurus</i> .	aporte regular
Taylor, 2002.	Stock y biología poblacional.	Genética / Perú-Chile.	Hace revisión estudios de alimentación.	aporte regular	Emmett & Kuznirowsky 2008.	Alimentación, distribución.	Predación sobre salmón juvenil, Columbia River / Washington and Oregon.		aporte regular
Hutchings & Arntsen, 2007.	Distribución.	Estrategia especie vs. condiciones ecológicas y biológicas de hábitat / Chile centro sur.	Los datos son de cruceros científicos, años 1997, 1998 y 1999.	aporte regular	Madiga et al., 2012.	Ecología trófica, isotopos estables.	Análisis de isotopos estables, cadena trófica Waip-Whait Food Ecosystem Pelágico de surgencia Corriente de California.		aporte regular
Kanapogu & Duquepey, 2013.	Historia de vida.	Crecimiento / Mar Negro (Europa).	Genero <i>Trachurus</i> .	aporte regular	Medina & Arancibia, 2002.	Alimentación.	El estudio es completo, se llega a especie o grupo especie Chile norte.	Estudio local.	aporte regular
Konchina, 1980.	Ecología trófica.	Alimentación y composición de la dieta de jurel / Perú.		aporte regular	Miller et al., 2010.	Ecología trófica, isotopos estables.	Estructura trófica de la red alimentaria pelágica Norte de California.		aporte regular
Konchina, 1983.	Ecología trófica.	Alimentación y composición de la dieta de jurel / Perú.		aporte regular	Miranda et al., 1998.	Alimentación.	Alimentación y selectividad de la presa, Chile.	Datos de un crucero de verano. Estudio estacional.	aporte regular
Allegre et al., 2015.	Alimentación.	Diversidad de la dieta / Perú.	La composición de la dieta no difiere entre eventos El Niño - La Niña (y "neutral").	aporte regular	Ortega & Mando 2015.	Ecología trófica.	Hábitos alimentarios.		aporte regular
Allegre et al., 2013.	Ecología trófica.	Variabilidad espacio-temporal de la dieta / Perú.		aporte regular	Romano et al., 2014.	Ecología trófica, isotopos estables.	Variación en la alimentación peces pelágicos Mar Mediterráneo.	Genero <i>Trachurus</i> .	aporte regular
Bailey K. 1989.	Alimentación, distribución.	Predador del jurel / Zona de convergencia al este de Nueva.	Análisis de muestras de jurel encontradas en estuarios de Albufera Tinnus olinagus	aporte regular	Sanz et al., 2003.	Ecología trófica.	Hábitos alimentarios, Mar Adriático central.	Estudio local. Se especifica la especie.	aporte regular
Beltrán et al., 2004.	Distribución y ecología trófica.	Relación trófica predador-presa / Chile.		aporte regular	Taylor, 2002.	Stock y biología poblacional.	Genética, hace revisión trabajos de alimentación.		aporte regular
Beltrán et al., 2006.	Distribución y comportamiento vs. Alimentación.	Relación trófica predador-presa / Chile centro sur.		aporte regular					



aporte incompleto



aporte regular



aporte significativo

CONCLUSIÓN

La información de la alimentación de jurel en Chile es escasa y discontinua, sin publicaciones en revistas científicas indexadas de corriente principal con factor de impacto internacional.

Existe información gris desde 1990.



Universidad
Andrés Bello



Taller de Difusión de Resultados

Proyecto FIPA 2017-63 “Conducta trófica de jurel”

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN GEO-REFERENCIADA DE ÍTEMS ALIMENTARIOS DE JUREL

Objetivo Específico 2

Recopilar información científica geo-referenciada de proyectos de investigación realizados por el estado, respecto de ítems alimentarios de jurel en los últimos 10 años.

Antecedentes

- Konchina (1980): El jurel es una especie **heterótrofa**, esto es, con capacidad de incursionar en distintos biotopos y alimentarse de diferentes presas (asegurando su supervivencia en condiciones límite).
- Konchina (1983): El jurel se comporta como **predador facultativo**, alimentándose de presas que presentan **alta disponibilidad** tanto en el ambiente nerítico como en el sistema epipelágico del mar abierto.
- Varios estudios de alimentación de jurel en el Pacífico Suroriental, concuerdan en que: **"... el jurel posee amplio espectro trófico, que varía de acuerdo a su composición de tamaños, época del año y zona de pesca"**.
- Frente a Perú (Konchina, 1980; 1983),
- En el océano abierto (fuera ZEE) de Perú y Chile (Ermolovich & Gardina, 1994)
- En la costas de Chile centro-sur (Arancibia *et al.*, 1995; Miranda *et al.* 1998) **"... el jurel presenta amplio espectro trófico, predominando los eufúsidos"**.

Métodos

- Se analizó la distribución espacial de las principales especies del zooplancton, y que son frecuentemente presas del jurel.
- Se construyó cartas de distribución espacial de la densidad poblacional acumulada, número de individuos por 1000 m³ de agua de mar.
- Se analizó además la distribución espacial de la abundancia de jurel, expresada como la intensidad acústica.
- Se utilizó celdas de 30 x 30 mn, calculándose luego la densidad acumulada al interior de cada celda.
- Período de análisis: 2007-2017.
- **No fue objetivo de este estudio re-estimar la biomasa de jurel y su distribución.**

Fuentes de datos

- Bases de datos de proyectos FIP (2007-2013) y evaluaciones directas realizadas por IFOP (2014-2017).
- Se construyó base de datos con los registros de las evaluaciones acústicas y otra con la información de los muestreos de zooplancton.

Fuente	Código	Título	Recibido Si/No
	2007-07	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2007	Si
	2007-08	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2007	Si
	2007-09	Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones, año 2007	Si
	2008-05	Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2008	Si
	2008-06	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2008	Si
	2008-07	Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones, año 2008	Si
	2008-21	Monitoreo de condiciones bio-oceanográficas entre la I y IV Regiones, año 2008	Si
	2009-05	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2009	Si
FIPA	2009-07	Evaluación hidroacústica de jurel en la XV, I y II Regiones, año 2009	Si
	2009-38	Monitoreo de condiciones bio-oceanográficas entre la XV y IV Regiones	Si
	2011-05	Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2011	Si
	2011-06	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2011	Si
	2012-01	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2012	Si
	2012-03	Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones, año 2012	Si
	2013-08	Evaluación hidroacústica de jurel entre la XV y III Regiones, año 2013	Si
	2013-31	Condición biológica de jurel en alta mar, año 2013	No
		Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones. Año 2014.	Si
		Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones. Año 2015	Si
		Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones. Año 2016	Si
		Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II Regiones. Año 2017	Si
SSPA		Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones. Año 2015	Si
		Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones. Año 2016	No
		Evaluación hidroacústica de jurel entre la V y X Regiones. Año 2017	Si
		Condición biológica de jurel en alta mar. Año 2014	Si
		Condición biológica de jurel en alta mar. Año 2017	Si

Resultados

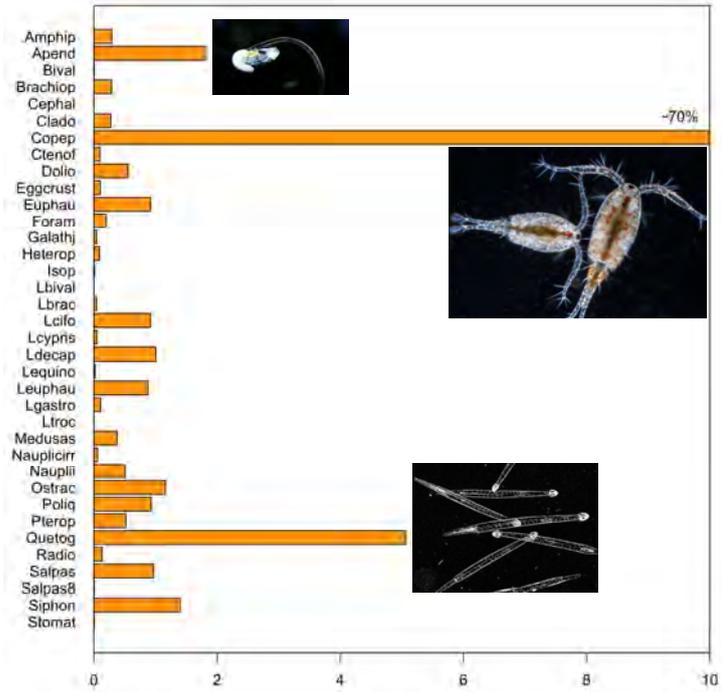
- Información disponible (número registros)

Recurso	Información acústica		Zooplancton	
	Nº registros	Años	Nº registros	Años
Zona norte	77.096	2007 - 2017	25.785	2007-2017
Zona Centro-Sur	113.714	2007 - 2017	13.860	2007-2017
Total	190.810		39.645	

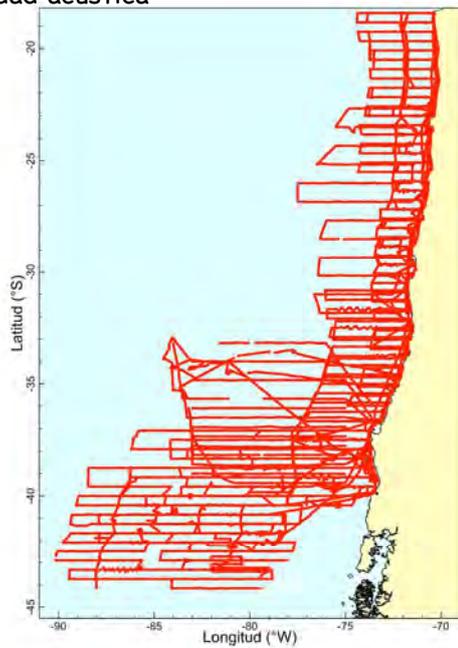
- Especies/componentes del zooplancton.

- Anfípodos (Amphi)	- Apendicularias (Apend)
- Bivalvos (Bival)	- Braquiópodos (Brachiop)
- Cefalópodo (Cephal)	- Cladóceros (Clado)
- Copépodos (Copep)	- Ctenóforos. Ctenophora (Ctenof)
- Doliólidos (Dolio)	- Huevos de crustáceos (Eggcrust)
- Estomatópodo (Stomat)	- Eufáusidos (Euphau)
- Foraminíferos (Foram)	- Langostino juvenil (galatheidae)(Galathj)
- Heterópodos (Heterop)	- Isópodos (Isop)
- Larva bivalvos (Lbival)	- Larva braquiópodos (Lbrac)
- Larva cifonautas (Lcifo)	- Larva cypris (Lcypris)
- Larva decápodos (Ldecap)	- Larva equinodermos (Lequino)
- Larva eufáusidos (Leuphau)	- Larva gastrópodos (Lgastro)
- Larva trocófora (Ltroc)	- Paralarva = larva de cefalópodos
- Medusas	- Nauplis
- Ostracodos (Ostrac)	- Poliquetos. Polichaeta (Poliq)
- Pterópodos (Pterop)	- Quetognatos (Quetog)
- Radiolarios (Radio)	- Salpas
- Sifonóforo. Siphonofora (Siphon)	- Huevos de crustáceos (indeterminados)
- Huevos de peces (indeterminados)	- Larvas de peces (indeterminados)
- Huevos de jurel (huevos/10m)	- Larvas de jurel (ind/10m)
- Otros huevos (huevos/10m). En crucero	- Otras larvas (ind/10m). En crucero
condición biológica jurel	condición biológica jurel

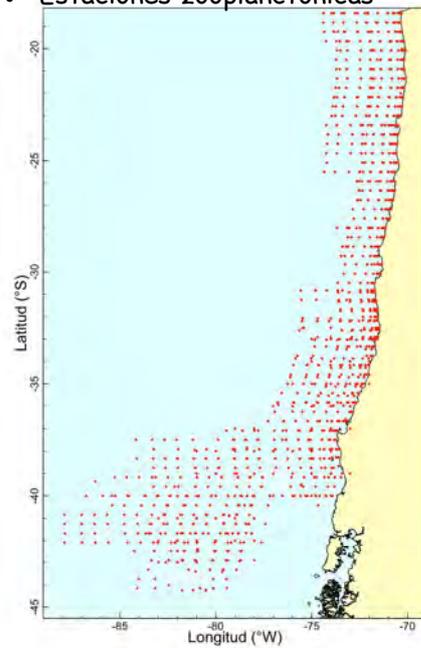
- Importancia relativa (en número)
 - Copépodos (Copep)
 - Quetognatos (Quetog)
 - Apendicularias (Apend)
- Euphausidos (Euphau)



- Intensidad acústica

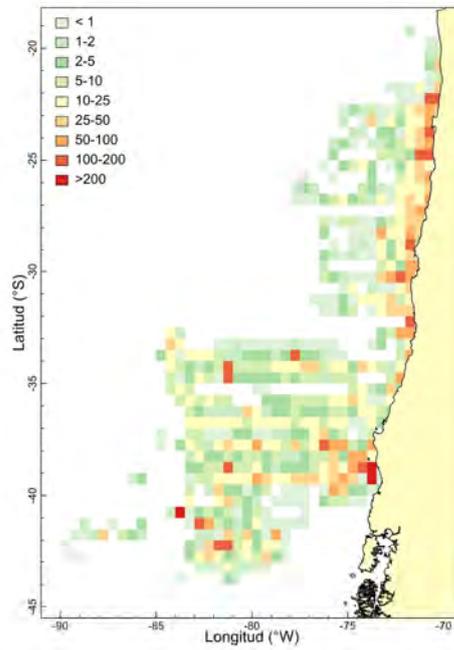


- Estaciones zooplánctónicas



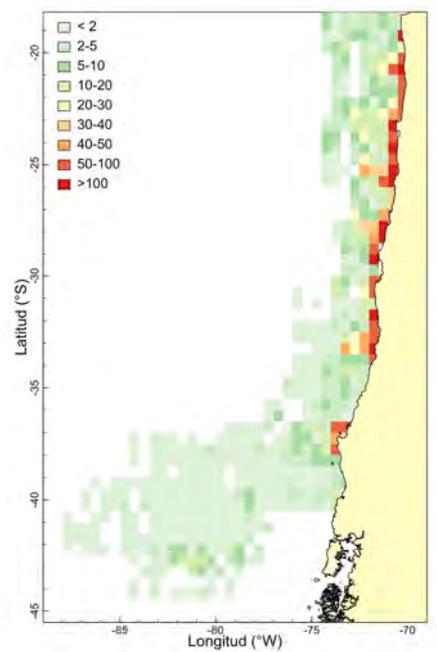
- Intensidad acústica
 - miles m^2/mn^2
 - Periodo: 2007-2017

- Alta dispersión espacial de la densidad acústica

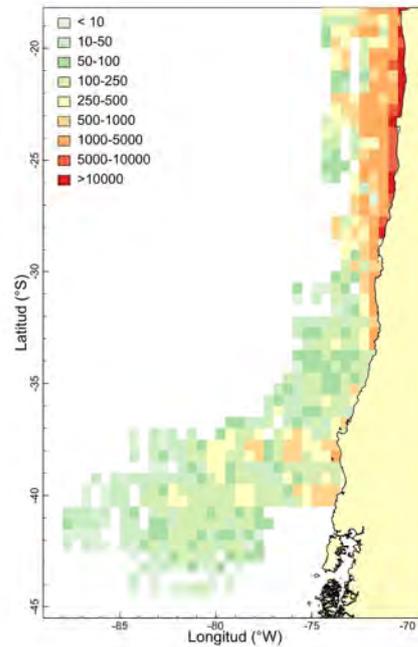


- Euphausidos
 - miles ind./1000 m^3
 - Periodo: 2007-2017

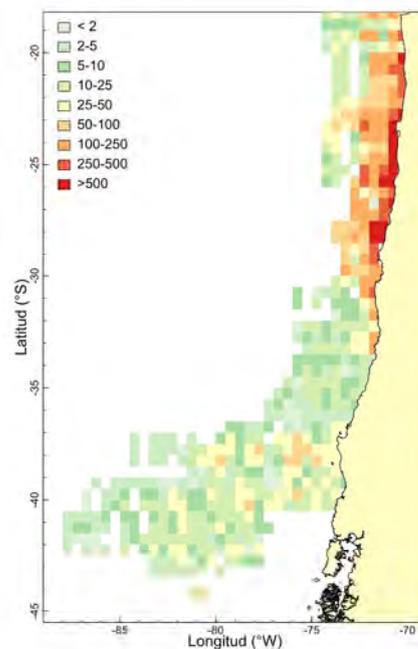
- Presencia: 97% de las estaciones
 - Mayor abundancia en sector costero



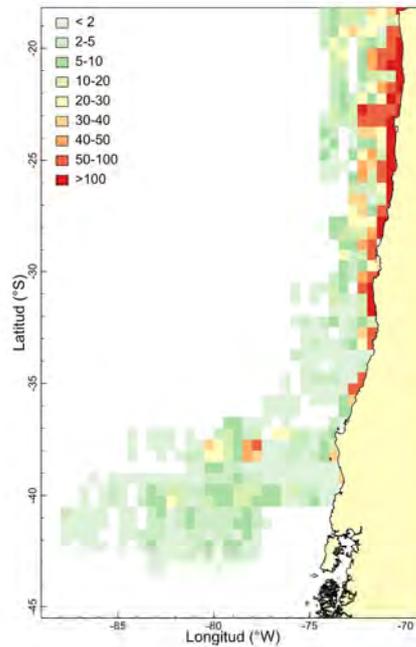
- Copépodos
 - miles ind./1000 m³
 - Período: 2007-2017
 - Presencia: 98% de las estaciones
 - Ampliamente distribuidos sector costero
 - Principalmente zona norte (XV-II Región)



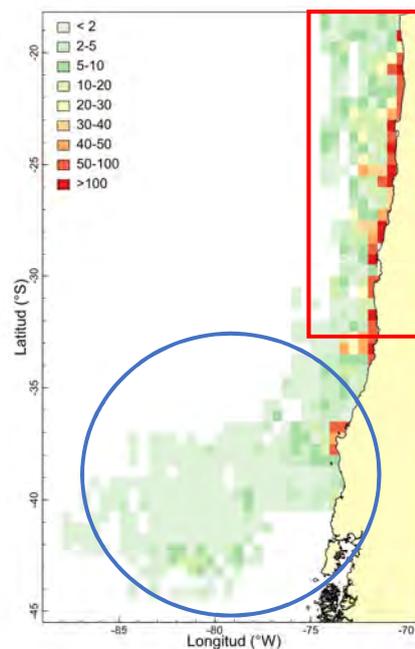
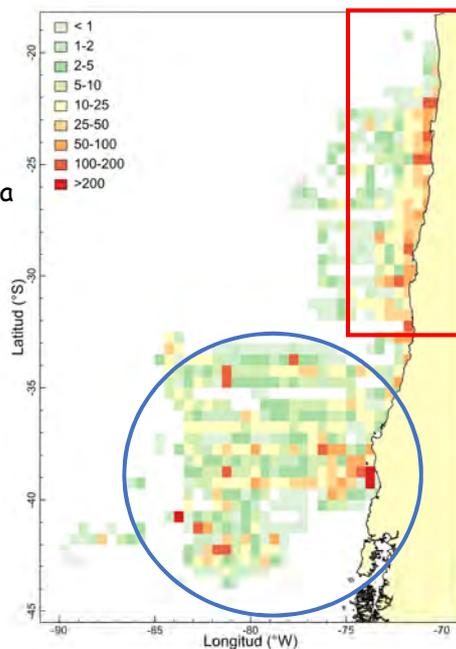
- Quetognatos
 - miles ind./1000 m³
 - Período: 2007-2017
 - Presencia: 93% de las estaciones
 - Ampliamente distribuidos sector costero y oceánico (zona centro-sur)
 - Principalmente zona norte (II-IV Región)



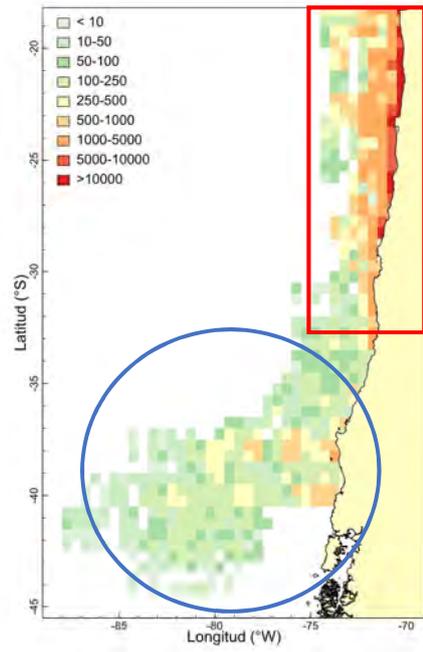
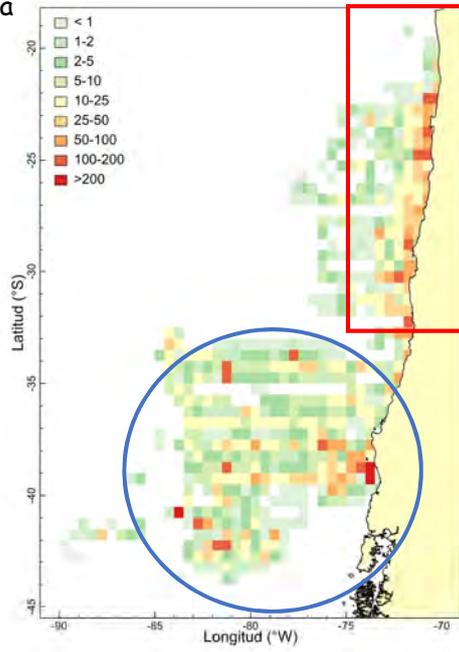
- Apendicularias
 - miles ind./1000 m³
 - Período: 2007-2017
 - Presencia: 87% de las estaciones
 - Ampliamente distribuidos sector costero y oceánico (zona centro-sur)
 - Principalmente zona norte (II-IV Región)



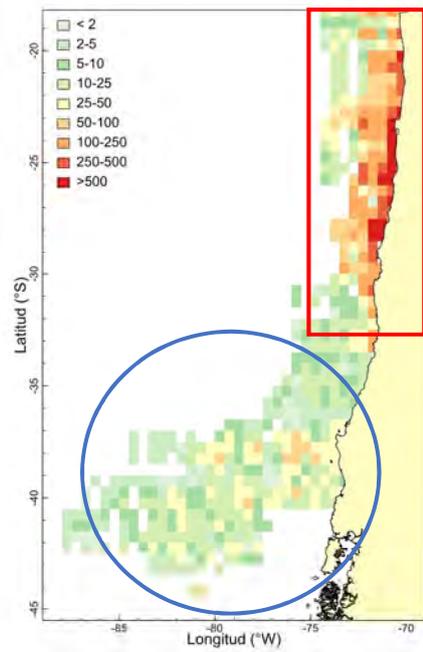
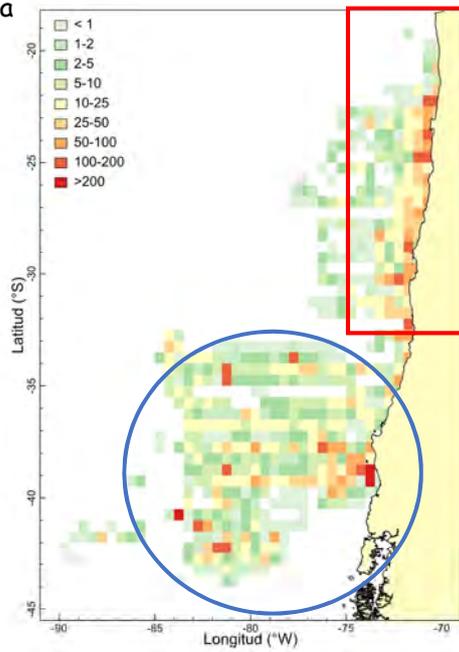
- Sobreposición espacial (comparación visual)
- Intensidad acústica v/s abundancia de eufáusidos



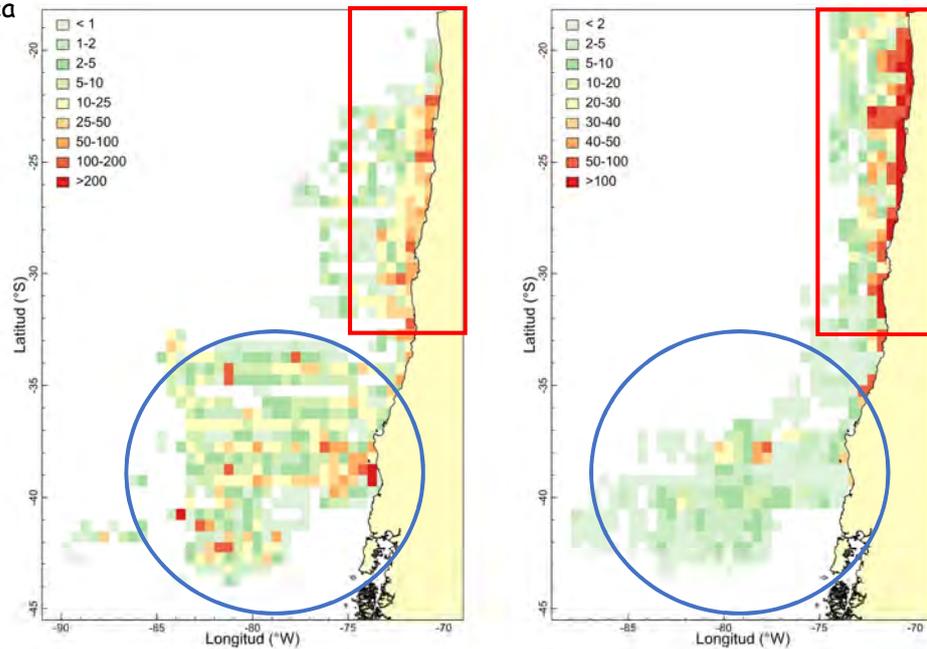
- Intensidad acústica v/s abundancia de copéodos



- Intensidad acústica v/s abundancia de quetognatos



- Intensidad acústica v/s abundancia de apendicularias



Conclusiones

- Se confirma que los copépodos son el taxón más importante (en número), seguidos en mucho menor magnitud por quetognatos y apendicularias. Los copépodos muestran amplia distribución espacial tanto en el sector costero de la zona norte como en el sector oceánico de la zona centro-sur.
- Los eufáusidos y las apendicularias muestran mayor abundancia en el sector costero de las zonas norte y centro-norte.
- La densidad acústica acumulada de jurel muestra tendencia a valores más altos hacia el sector costero de la zona norte, mientras que en la zona centro-sur no se observa un patrón definido (valores altos tanto en el sector costero de la zona norte como en la zona oceánica de la zona sur).
- Sobreposición espacial baja entre la densidad acústica de jurel (predador) y la distribución espacial del zooplancton (eufáusidos, copépodos, quetognatos y apendicularias como presas), excepto en los sectores costeros de la zona norte y de la zona centro-norte.



UConn
UNIVERSITY OF CONNECTICUT



UNAP
UNIVERSIDAD ARTURO PRAT
DESARROLLO REGIONAL



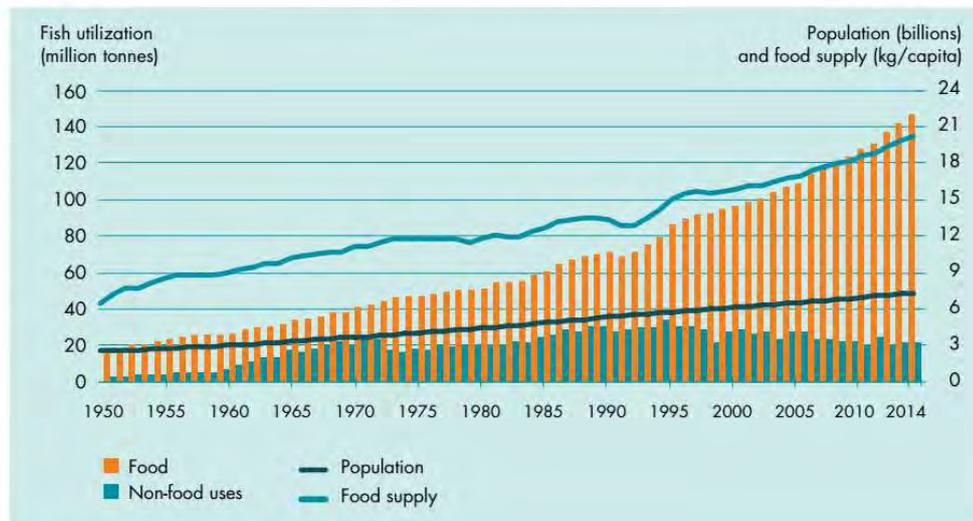
Ecología Trófica del Jurel

Objetivos 3, 4, 5 y 6

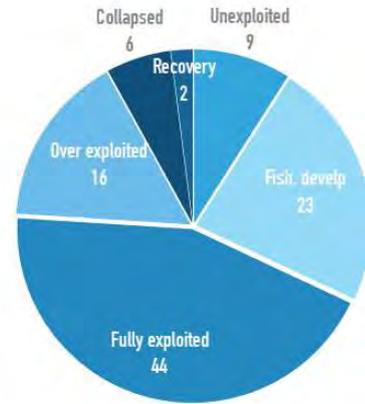
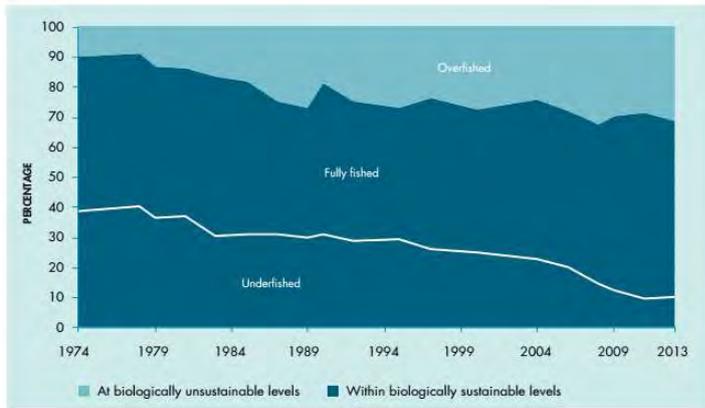
Sebastian A. Klarian, Francisco Fernandez, Ivonne Quintanilla, Juan Antonio Valdes, Marianela Medina, Chris Harrod, Eric Schultz, Andrew Jackson, Fernanda Vargas, Carolina Carcamo, Joseph Julca & Hugo Arancibia

WHY FISHERIES ARE SO IMPORTANT TO US?

WORLD FISH UTILIZATION AND SUPPLY



GLOBAL FISHERIES STATUS



OVER-EXPLOITATION CONSEQUENCES (MONO-SPECIFIC)

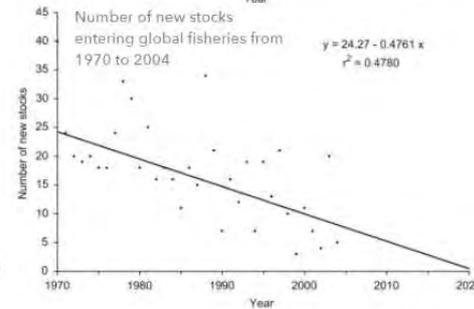
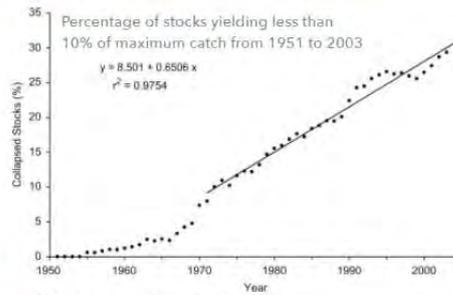
Fig. 1. Typical reference points and stock status definitions for stock biomass and fishing mortality.



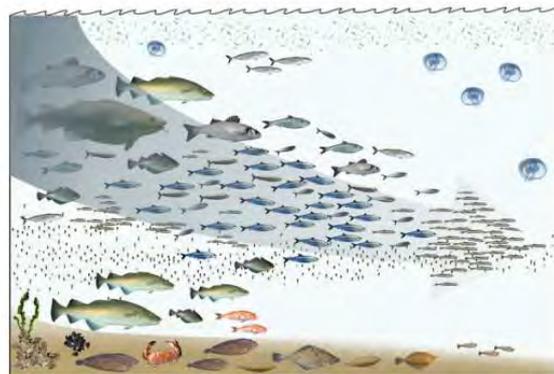
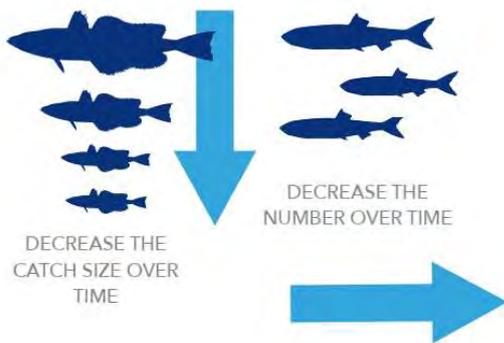
J. R. Beddington et al. Science 7, 1734-1735 (1976)



Froese et al. 2009



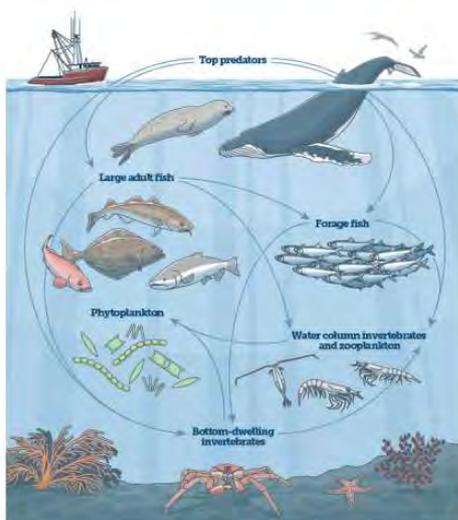
FISHING EFFECTS ON MARINE ECOSYSTEMS (JENNINGS AND KAISER 1998)



FISHING DOWN
FOOD WEBS

ECOSYSTEM-BASED FISHERIES MANAGEMENT (EBFM)

The Bering Sea Food Web



© 2014 The Pew Charitable Trusts

EBFM has as its backbone the relationships among the species, but also needs to know migrations, natal origin and food consumption.

BUT.....



Fisheries



ISSN: 0364-3113 (Print) 1548-8646 (Online) journal homepage: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03643113.2015.1024308>

Myths that Continue to Impede Progress in Ecosystem-Based Fisheries Management

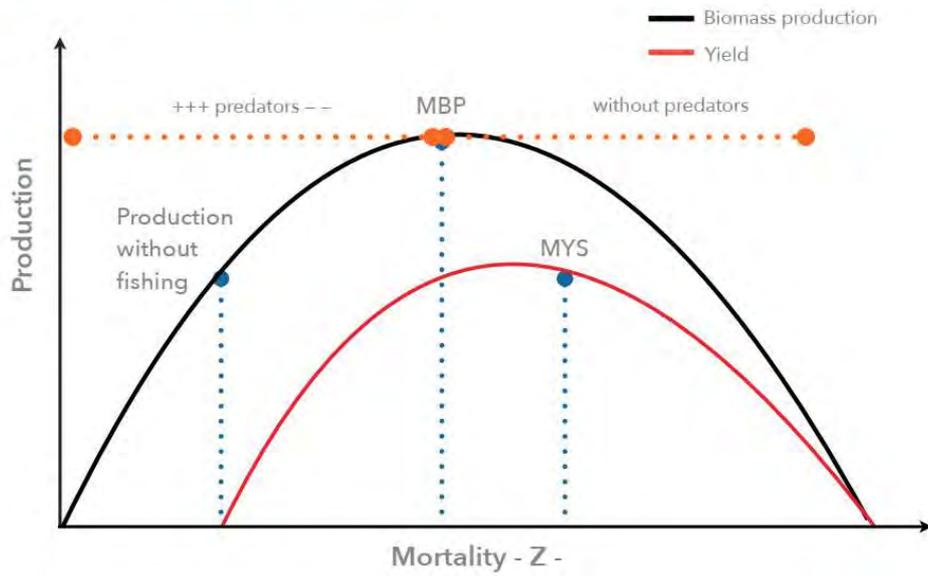
Wesley S. Patrick & Jason S. Link

To cite this article: Wesley S. Patrick & Jason S. Link (2015) Myths that Continue to Impede Progress in Ecosystem-Based Fisheries Management, Fisheries, 40:4, 155-160, DOI: 10.1080/03643113.2015.1024308

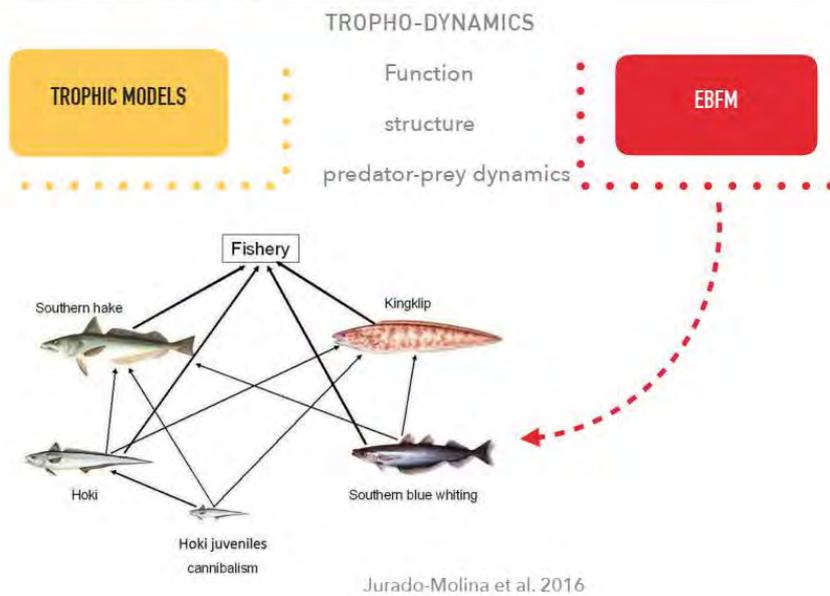
To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/03643113.2015.1024308>

American Fisheries Society

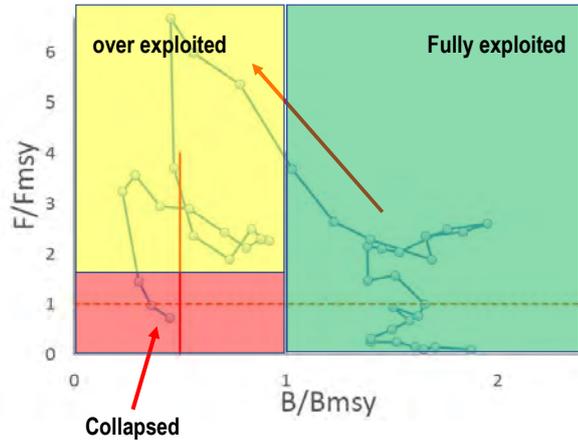
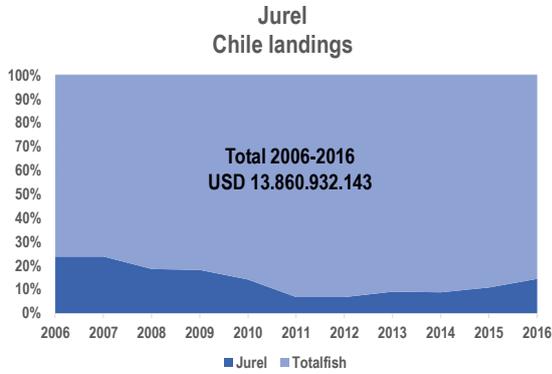
ECOLOGICAL - FISHERIES INTEGRATION



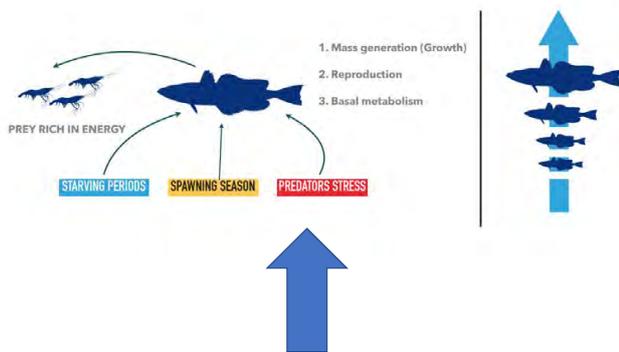
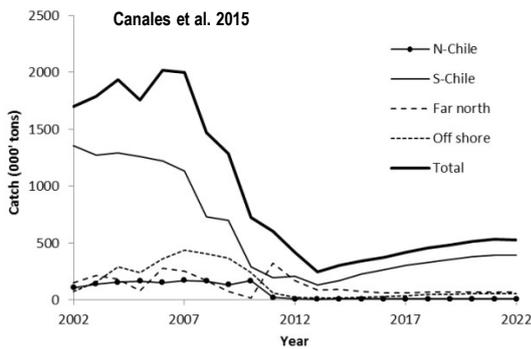
ECOLOGICAL - FISHERIES INTEGRATION



Jurel; a high value economic fish!



What will be the jurel's future?



But how will the mackerels maintain their biomass? **Eating!**

RQ... very simple questions

What are they eating?

What are the consumption levels?

Do they have a good nutritional condition?



Where?...

- Macrozona Sur
- Macrozona Norte



METHODS

1. What are they eating?

Gut contents



%PSIRI Brown et al. 2012

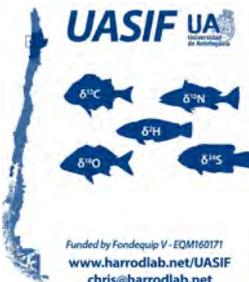


Universidad
Andrés Bello
Conectar · Innovar · Liderar

As prior



MixSIAR



Funded by Fondecap V - EQM160171
www.harrodlab.net/UASIF
chris@harrodlab.net



CSIA; aminoacids

METHODS

What are their consumption levels?

- Gastric evacuation rate (g/h)
- Daily ration g per day
- DR/W



Prey, eggs and jurel muscle



Do they have a good nutritional condition?

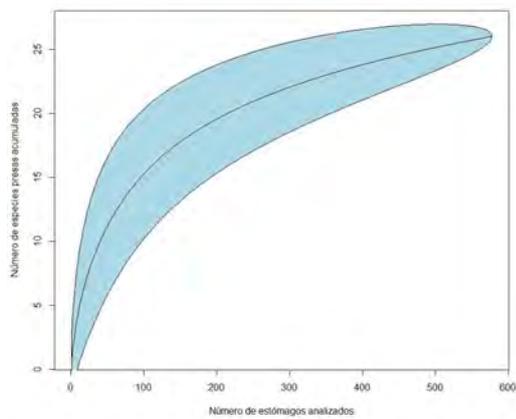
- RNA/ DNA and C:N as a proxy nutritional status



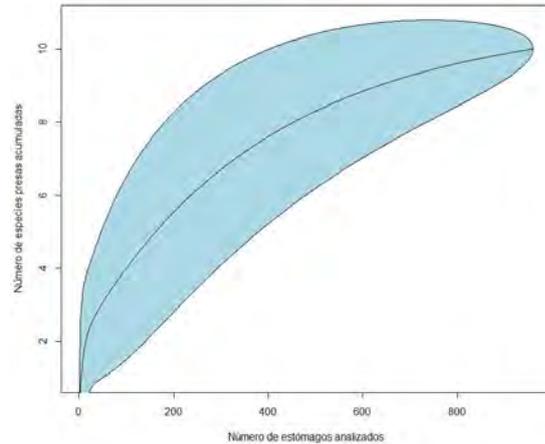
1. What are they eating?

RESULTS 1.1 GUTS CONTENTS

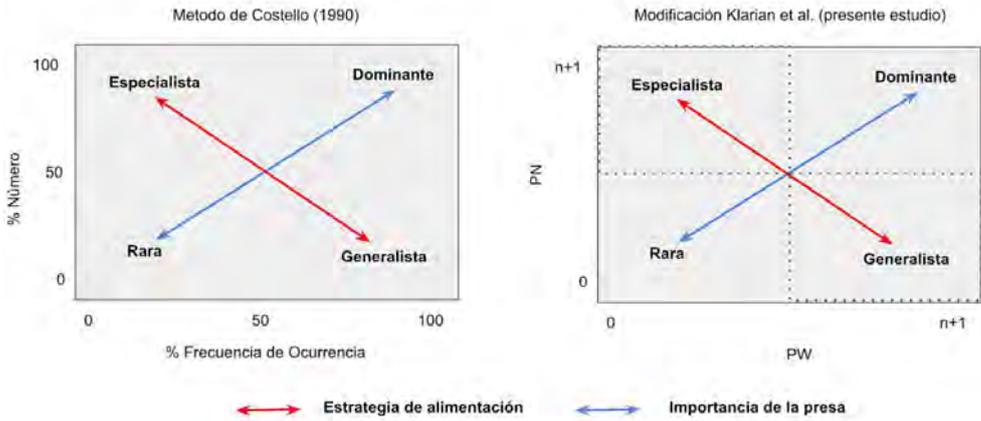
MZN



MZS

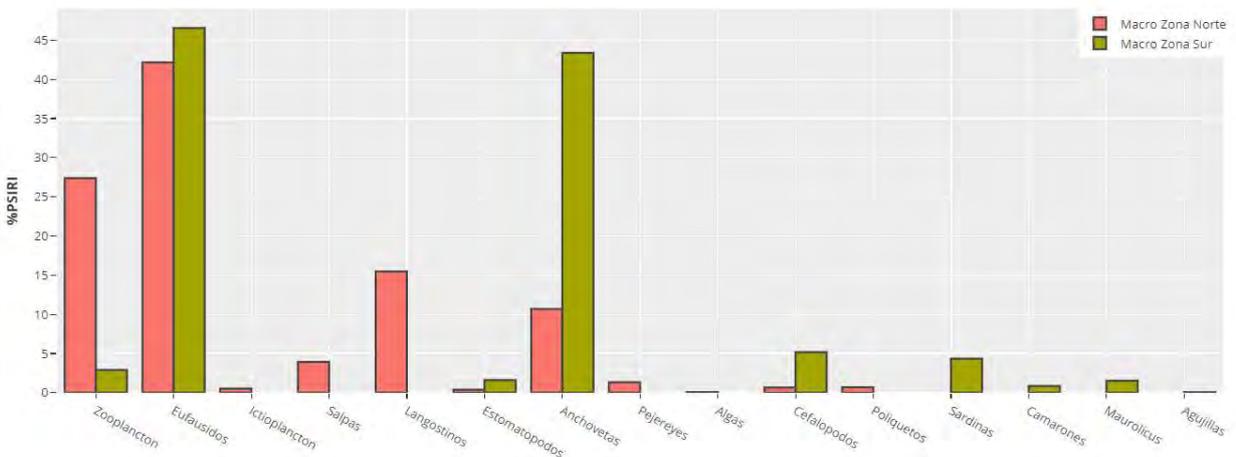


METHODS GUTS CONTENTS



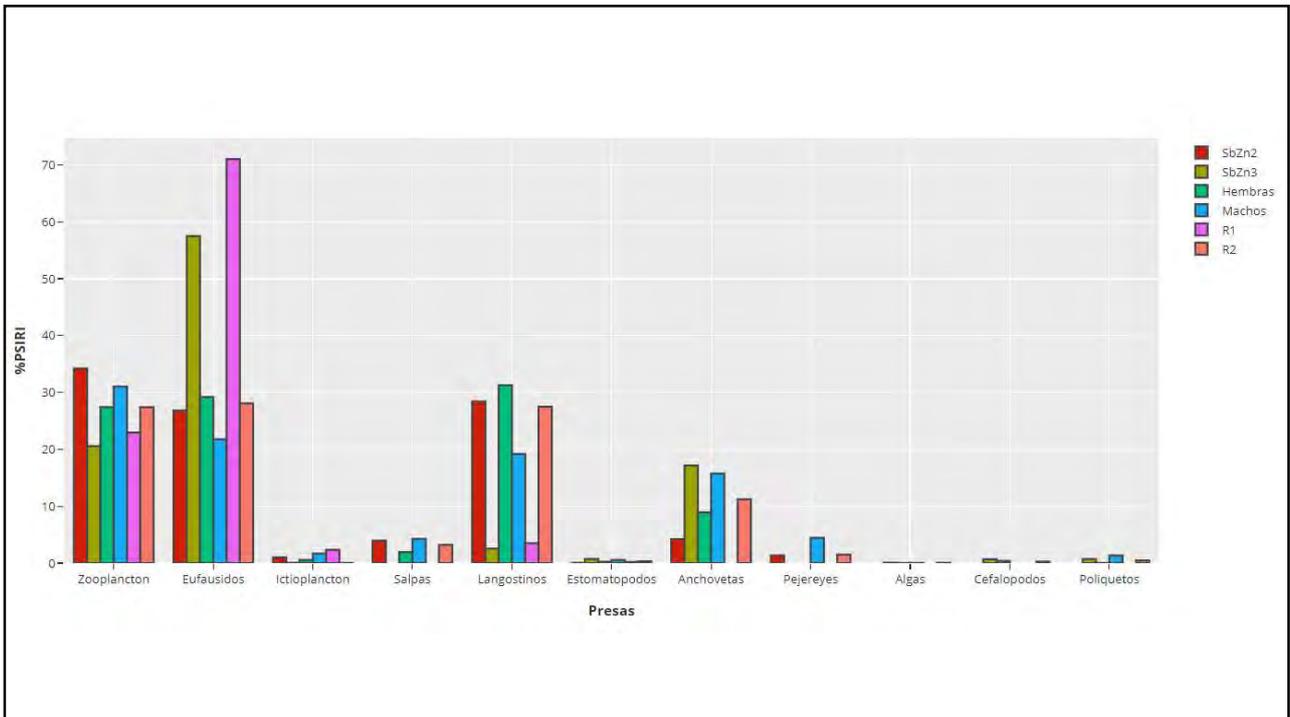
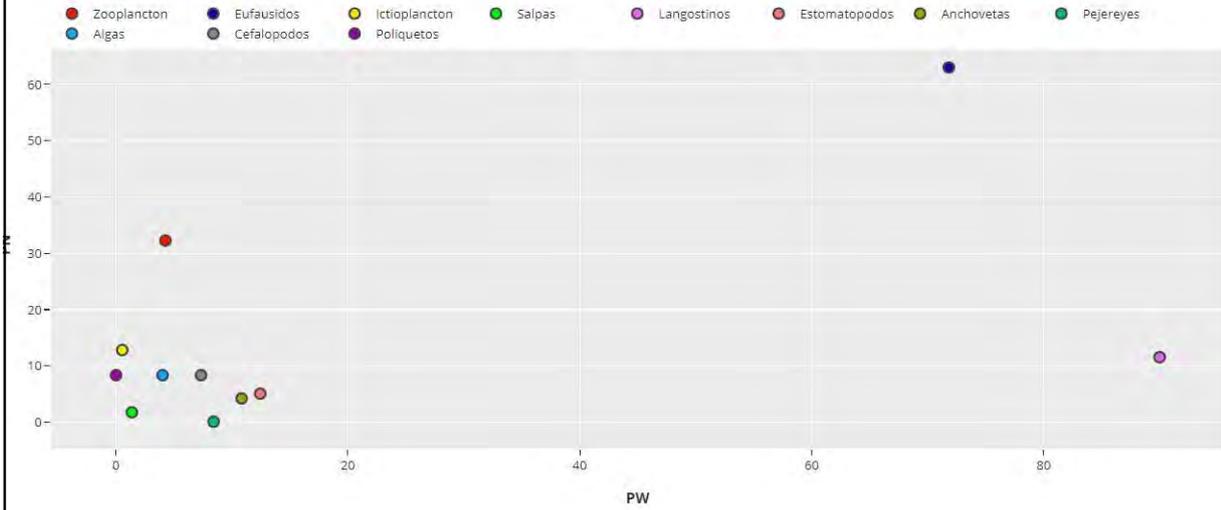
1. What are they eating?

GENERAL JUREL'S FEEDING



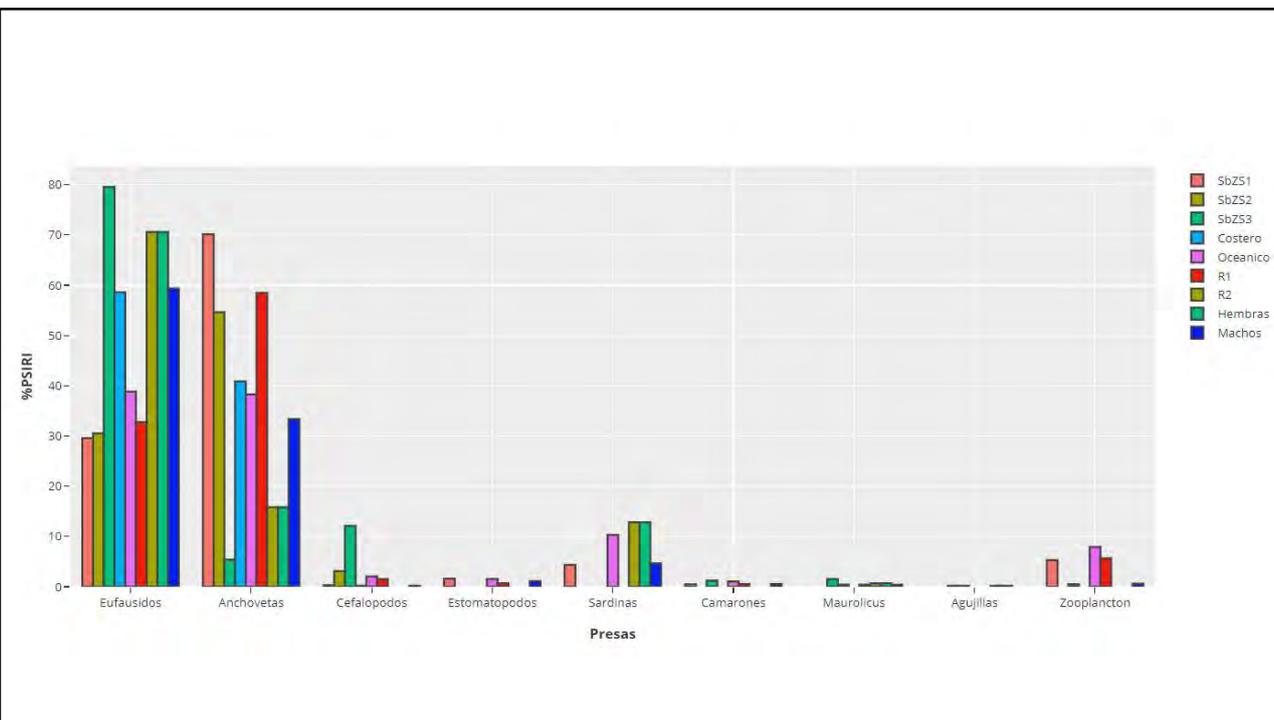
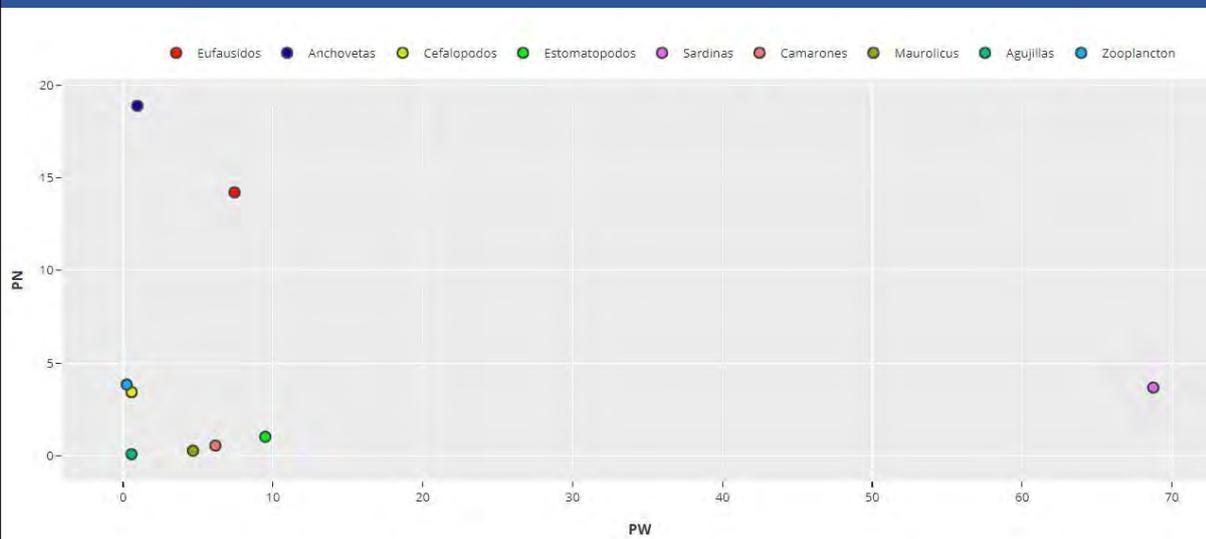
1. What are they eating?

MZN



1. What are they eating?

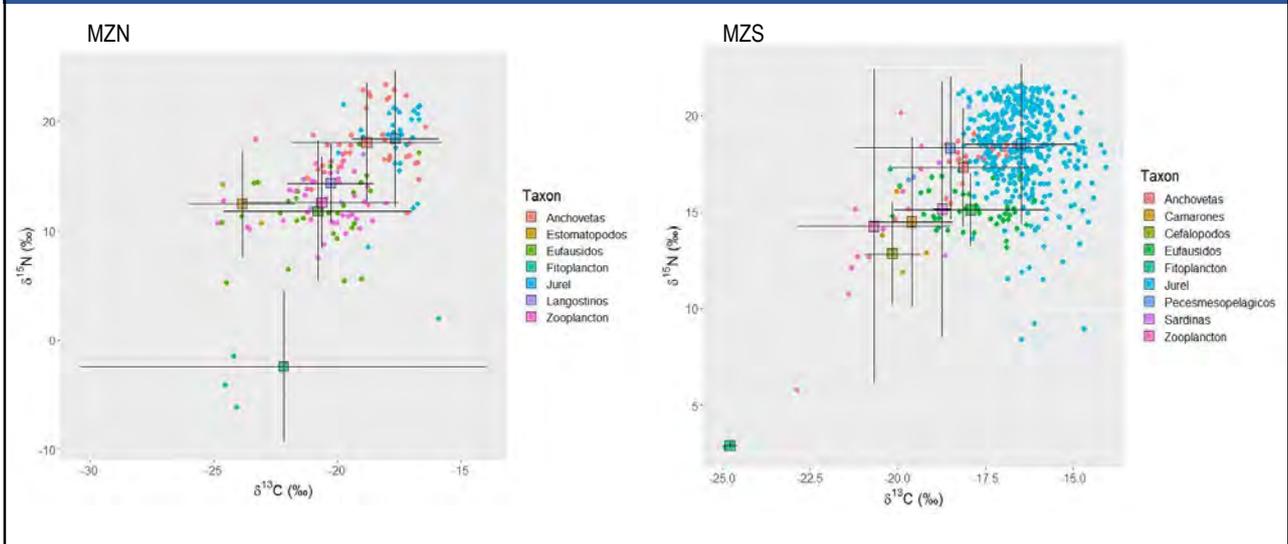
MZS



1. What are they eating?

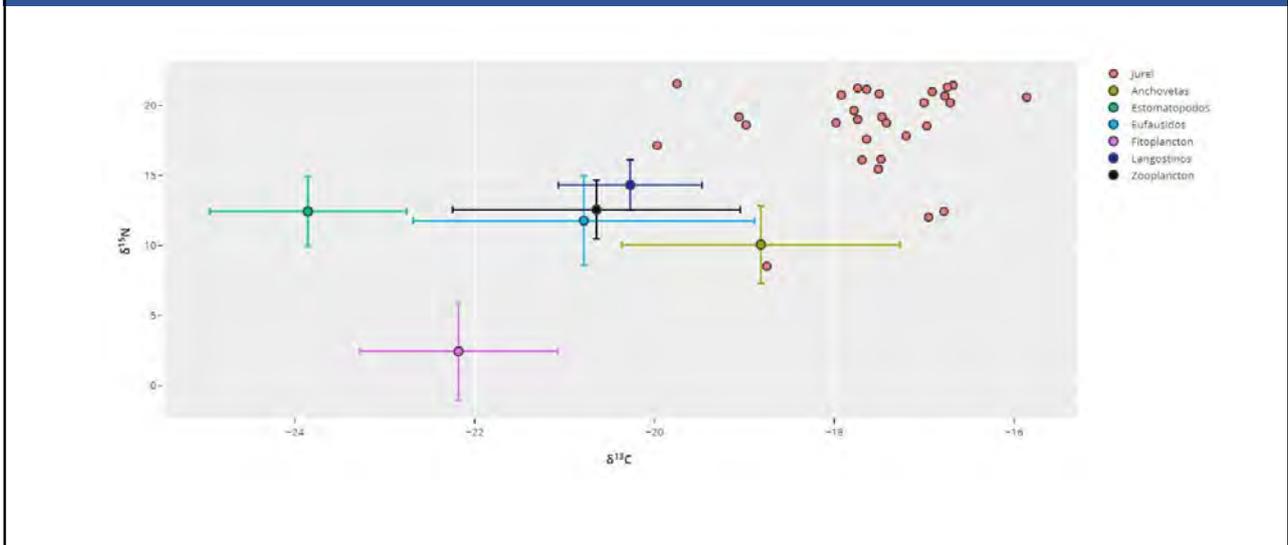
RESULTS

1.2 STABLE ISOTOPES



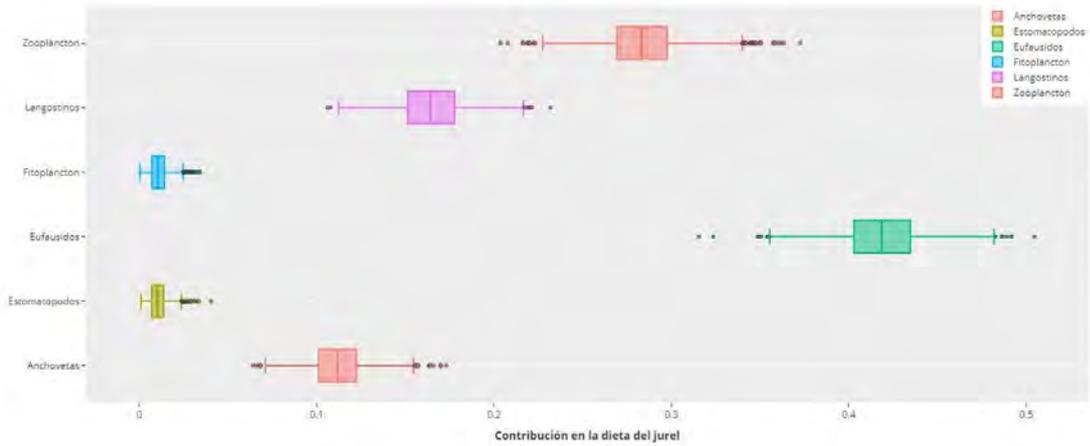
1. What are they eating?

ISO SCAPES MZN



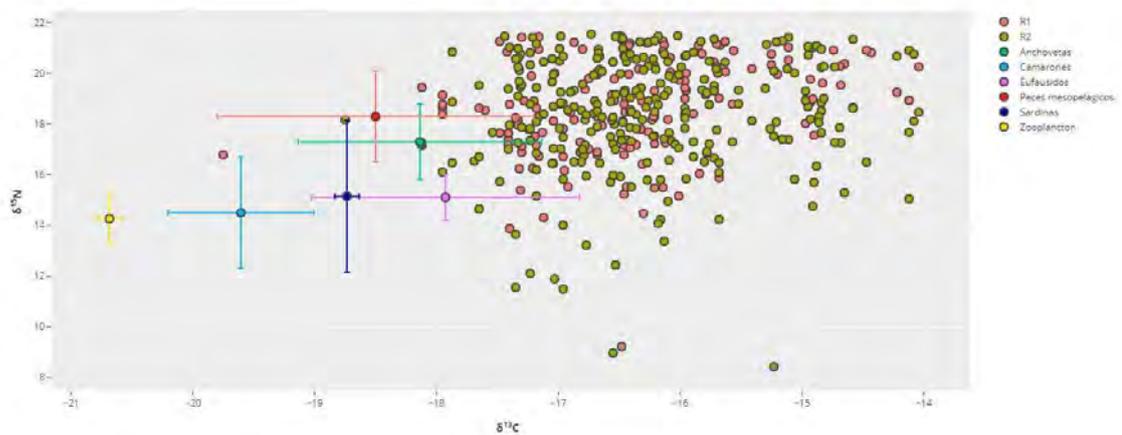
1. What are they eating?

MZN FEED



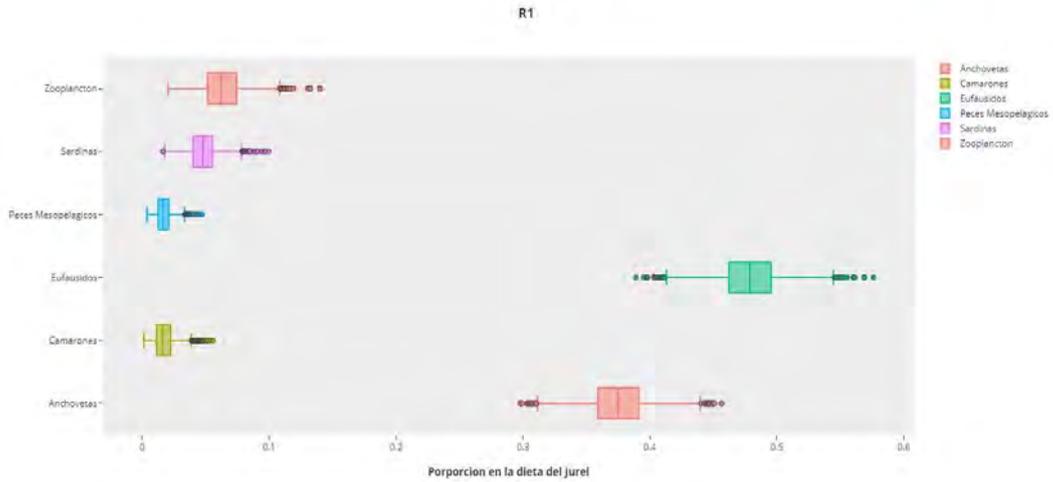
1. What are they eating?

ISO SCAPES MZS



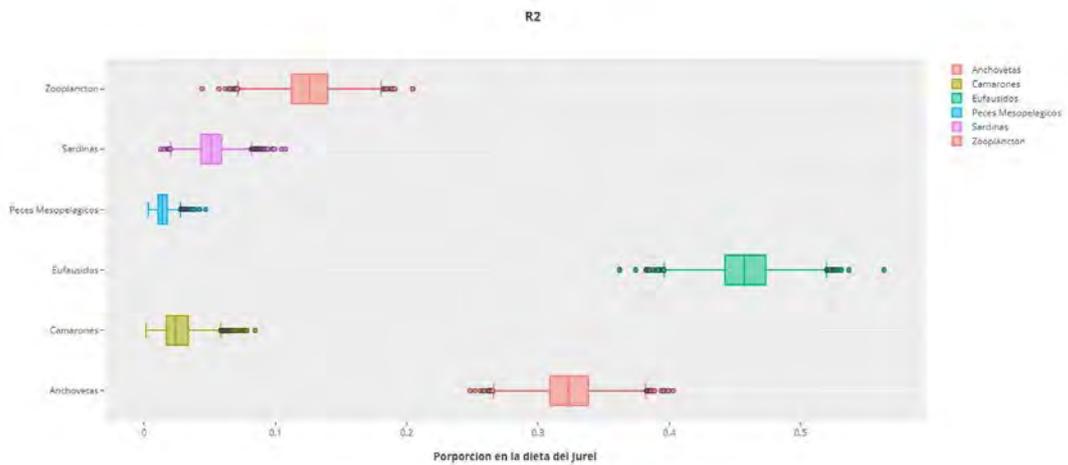
1. What are they eating?

MZS FEED



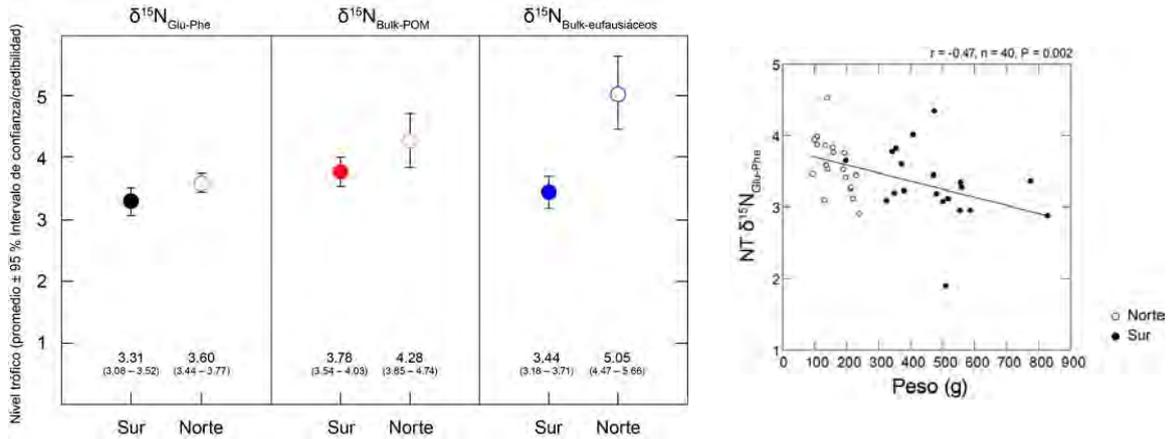
1. What are they eating?

MZS FEED



1. What are they eating?

TP



What are their consumption levels?

RESULTS
1.3 FOOD CONSUMPTION

Presas	MZN		MZS	
	media (DS) Kcal/g	Min - Max	media (DS) Kcal/g	Min - Max
Anchovetas	0.95 (0.2)	0.40 - 1.66	0.88 (0.1)	0.67 - 1.05
Camarones	-	-	1.14 (0.3)	0.83 - 1.44
Cefalopodos	-	-	0.94 (0.1)	0.89 - 1.00
Estomatopodos	0.44 (0.2)	0.43 - 0.46	-	-
Eufausidos	0.57 (0.2)	0.24 - 0.96	0.88 (0.2)	0.50 - 1.54
Fitoplancton	1.17 (0.8)	0.10 - 1.89	0.1 (0.0)	0.10 - 0.12
Langostinos	0.55 (0.1)	0.45 - 0.72	-	-
Peces Mesopelagicos	-	-	1.21 (0.5)	0.57 - 1.74
Sardinas	-	-	0.78 (0.1)	0.70 - 0.85
Zooplancton	0.59 (0.2)	0.32 - 1.02	0.03 - (0.0)	0.03 - 0.04

What are their consumption levels?

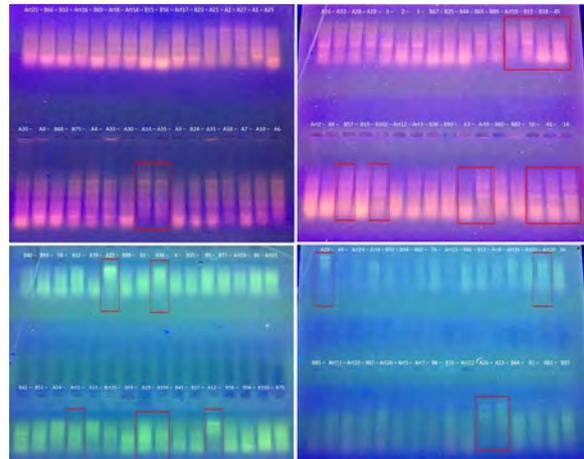
RESULTS 1.3 FOOD CONSUMPTION

	Presente estudio		Perú	Perú	Chile
	MZN	MZS	Alamo et al. (1996)	Alamo et al. (1997)	Klarian et al. (2017)
RD g/dia	11.17	30.68	37.75	2.91	7.33
BW%	5.15	8.62	26	-	2.5
Tasa de evacuacion Gastrica g/h	0.27	0.38	0.88	0.20	0.44

Do they have a good nutritional condition?

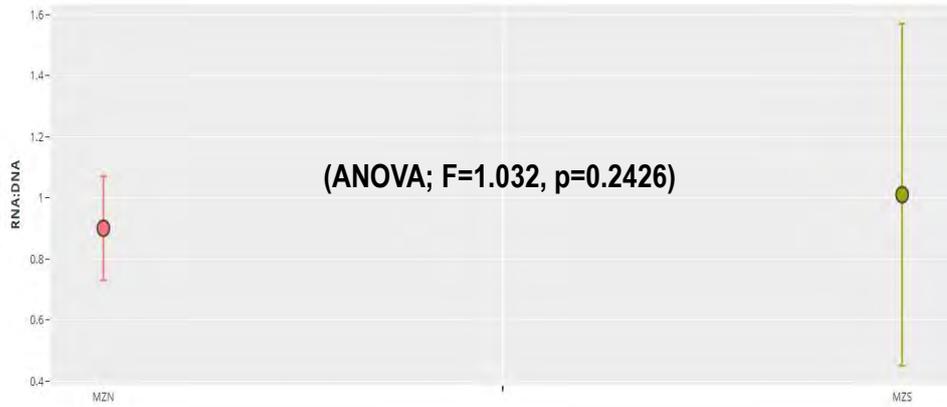
RESULTS 1.4 NUTRITIONAL STATUS

Macrozona	media (DS) DNA ng/uL	media (DS) RNA ng/uL	media RNA:DNA (DS)
MZN	719.8 (3.4)	631.3 (3.1)	0.90 (0.1)
MZS	823.2 (3.7)	781.1 (3.5)	1.01 (0.6)



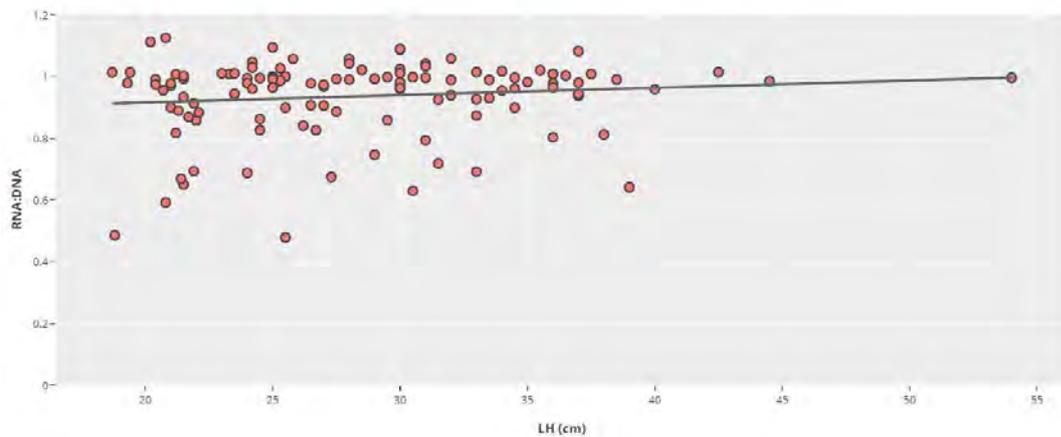
Do they have a good nutritional condition?

RESULTS 1.4 NUTRITIONAL STATUS



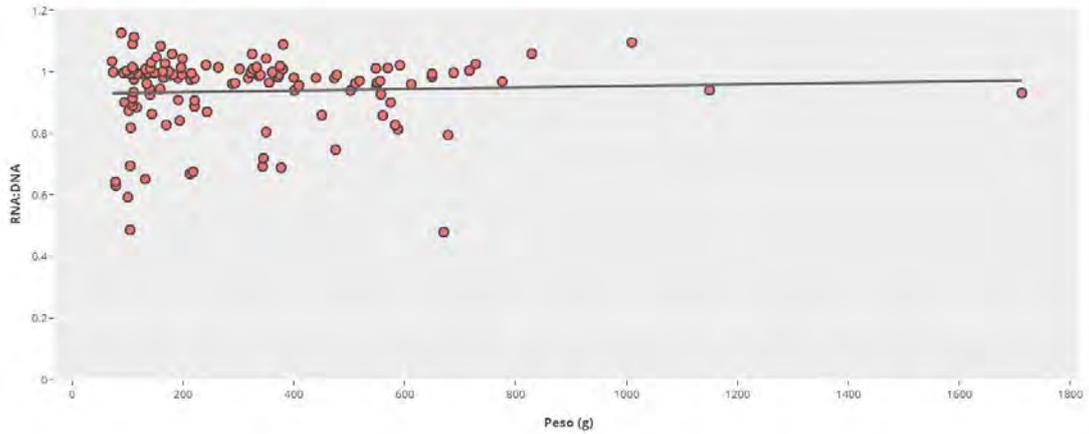
Do they have a good nutritional condition?

RESULTS 1.4 NUTRITIONAL STATUS



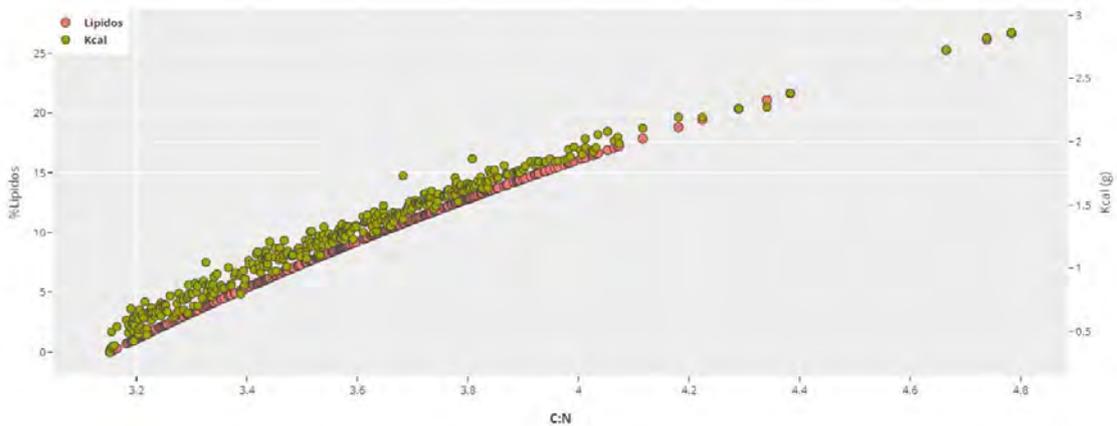
Do they have a good nutritional condition?

RESULTS 1.4 NUTRITIONAL STATUS



Do they have a good nutritional condition?

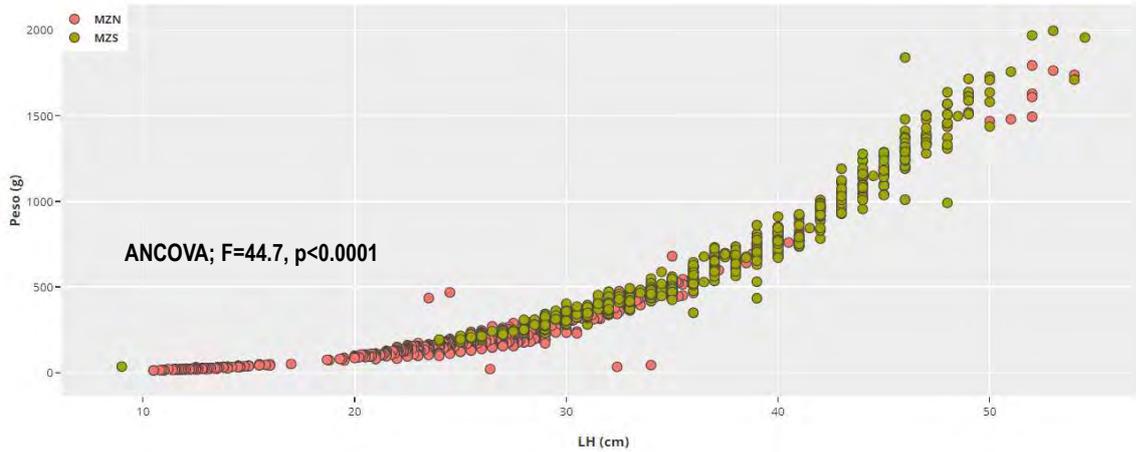
RESULTS 1.4 NUTRITIONAL STATUS



Do they have a good nutritional condition?

RESULTS

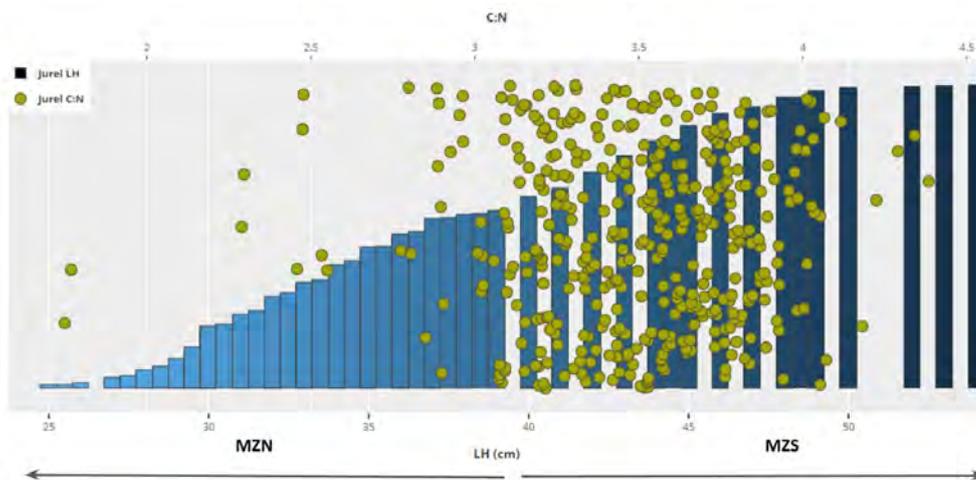
1.4 NUTRITIONAL STATUS



Do they have a good nutritional condition?

RESULTS

1.4 NUTRITIONAL STATUS



DISCUSSION

1. What are they eating?

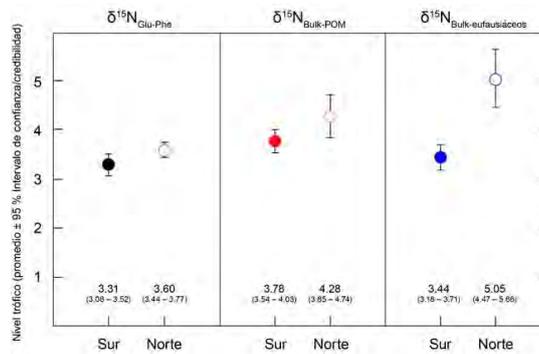
No doubt that krill were the main prey



Q: Is their diet different from other studies?

A: NO, KRILL'S STILL THE MOST IMPORTANT PREY.

But, energy comes from Phyto

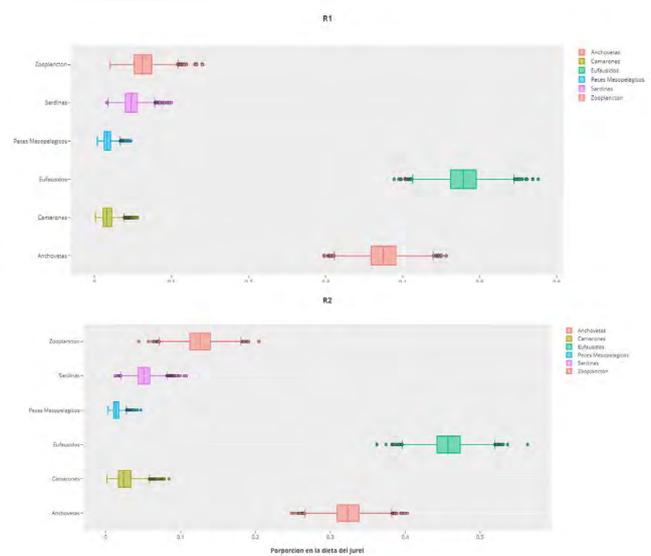
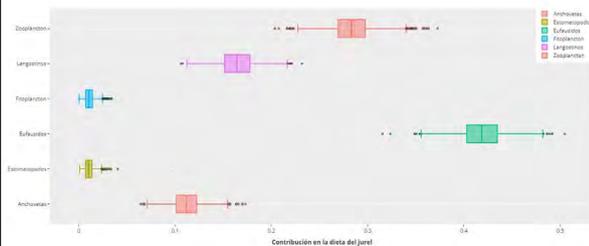


1. What are they eating?

DISCUSSION

Q: Is there a difference between the fishing zones?

A: NO, YES AND MAYBE...



DISCUSSION

What are their consumption levels?

	Presente estudio	
	MZN	MZS
RD g/dia	11.17	30.68
BW%	5.15	8.62
Tasa de evacuacion Gastrica g/h	0.27	0.38

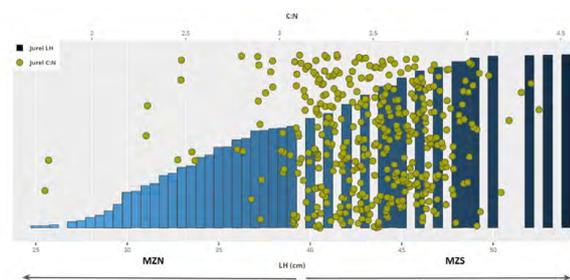
Q: OTHERS? WHAT THEY SAYS?

Perú	Perú	Chile
Alamo et al. (1996)	Alamo et al. (1997)	Klarian et al. (2017)
37.75	2.91	7.33
26	-	2.5
0.88	0.20	0.44

DISCUSSION

Do they have a good nutritional condition?

A.1: YES!...



A.2: BUT... IN THE SOUTH ITS MUCH BETTER

