



INFORME FINAL

Estructura poblacional de jurel

FIP N° 2010-18 / Noviembre 2014



INFORME FINAL

Estructura poblacional de jurel

FIP N° 2010-18 / Noviembre 2014

REQUIRENTE

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA
Presidente Consejo de Investigación Pesquera:
Raúl Sunico Galdames

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación Pesquera
Jorge Castillo Pizarro

JEFE DE PROYECTO

Rodolfo Serra Behrens



FIP N° 2010-18 / Noviembre - 2014

JEFE DE PROYECTO

Rodolfo Serra Behrens

AUTORES

Marcadores genéticos

Ricardo Galleguillos González
Sandra Ferrada Fuentes
Cristian Canales Aguirre

Marcadores parásitos

Marcelo Oliva Moreno
María Teresa González Yáñez

Morfometría del otolito

José Francisco Cerna Troncoso
Juan Carlos Saavedra Nievas
Juan Carlos Quiroz Espinosa

Química de otolitos

Julian Ashford
Rodolfo Serra Behrens

Marco Oceanográfico

Jaime Letelier Pino
Luis Soto Mardones
Sergio Núñez Elías
Sergio Salinas Marchant
Felipe Grossi Galeb

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo principal del proyecto que se informa es identificar la estructura poblacional del jurel (*Trachurus murphyi*) en el océano Pacífico sur. El estudio aplicó un enfoque metodológico multidisciplinario que incluye marcadores genéticos, parásito fauna, morfometría de otolitos, química de otolitos y aspectos oceanográficos. Su diseño considera 2 eventos de muestreo: en el otoño (período de alimentación) y a fines de la primavera-verano (período de reproducción), se recolectaron muestras en Perú, Chile y Nueva Zelandia.

El método genético usó marcadores moleculares nucleares tipo microsatélite, analizándose 852 individuos en las dos temporadas de muestreo. Se utilizaron 10 loci microsatélites (tres heterólogos y 7 especie-específicos). Los valores del índice F_{st} por pares de localidades para cada temporada indican la ausencia de estructuración genética espacial de la especie en su distribución geográfica (F_{st} bajos y no significativos). Por otro lado, el análisis temporal, basado en el índice F_{st} , no dio cuenta de diferencias genéticas temporales significativas. Estos resultados concuerdan con estudios anteriores concluyéndose que en términos genéticos el *jurel* se comporta como una población homogénea.

El método de análisis de parásitos metazoos, consideró 1.733 ejemplares, obtenidos desde nueve zonas de pesca, según: Nueva Zelandia (una), Perú (tres) y Chile (cinco). Se registró un total de 44.506 parásitos metazoos, pertenecientes a 18 especies. El análisis cualitativo indica que peces provenientes del Perú, presentan una fauna de parásitos metazoos más pobre que los de Chile. Los análisis univariados sobre prevalencia, abundancia e intensidad media de infección, particularmente para especies de valor como indicadores biológicos (particularmente nemátodos de la Familia Anisakidae, como *Anisakis simplex* e

Hysterothylacium sp.) muestran cambios asociados con un gradiente latitudinal, incrementando la carga parasitaria desde el norte de Chile hacia el sur, lo que se corresponde bien con las tendencias en la talla de los peces. Un incremento de la carga parasitaria, particularmente *A. simplex*, que se caracteriza por ser un parásito que se acumula en el pez en el tiempo, puesto que se encuentra desde su estado de larva y no puede abandonar el pez, así como de la talla de los peces, sugiere fuertemente movimientos migratorios desde el norte de Chile hacia el sur. Análisis multivariado sobre el total de la muestra permiten separar bien las muestras de Nueva Zelanda, Chiloé oceánico y centro norte del Perú. Estos resultados indican un proceso de colonización reciente en Nueva Zelanda. Chiloé oceánico incluye muestras de mayor tamaño y a la vez es un ambiente particular en cuanto a oferta alimenticia. Finalmente, la discriminación de muestras del centro norte de Perú está en concordancia con estudios previos.

En conclusión, la fauna parasitaria metazoa del jurel sugiere la existencia de una unidad de stock en Chile, separada del Perú, caracterizados por la ausencia de parásitos tales como *Anisakis simplex*; una baja prevalencia para *L. trachuri* (salvo norte del Perú en período de alimentación) y ausencia del nemátodo *H. aduncum* presente en todas las zonas de pesca, excepto las de Perú.

La morfometría de los otolitos fue evaluada por un conjunto de métodos multivariados sobre los descriptores de forma, lineales y armónicos. Se consideraron doce descriptores lineales estandarizados y normalizados respecto a la longitud de pez, que corresponden a mediciones lineales entre hitos del otolito. Los resultados del MANOVA aplicado sobre los descriptores de Fourier normalizados y centrados, muestran diferencias significativas ($F=0,28$; $P<0,05$) entre localidades y sugieren que en cada localidad los contornos de los otolitos poseen su propia forma promedio. Aunque estas diferencias están explicadas por

el tama1o de los peces en los contornos de los otolitos ($F=0,11$; $P<0,05$). La clasificaci3n de localidades mediante el an1lisis discriminante lineal (ADL), tambi3n separa adecuadamente las tallas entre localidades especialmente para el per3odo primavera-verano, mientras que localidades con una distribuci3n de tallas similares presentan un alto nivel de mezcla. Finalmente, se concluye que las diferencias en la forma del otolito son explicadas por un efecto alom3trico en el crecimiento del otolito m1s que a diferencias entre localidades.

Las mediciones de la qu3mica de elementos trazas en los otolitos fue realizada utilizando la espectrometr3a de masa acoplada inductivamente (ICPMS) con una m1quina Finnegan Mat Element 2 de campo-sector de doble-enfoque para evaluar i) la consistencia temporal de la qu3mica del otolito en el jurel depositada en diferentes ambientes, midiendo el anillo externo del otolito que corresponde con la fecha y tiempo de captura conocidos, y ii) la consistencia temporal en la estructura poblacional midiendo la qu3mica del n3cleo del otolito que registra el ambiente que el jurel experimenta en su vida temprana. Los otolitos colectados durante el per3odo de alimentaci3n en el 2011 y de reproducci3n en el 2011-2012, permitieron testear una hip3tesis de una estructuraci3n poblacional compleja debido al giro del Pac3fico sur, en el cual desove disperso resulta en sobrevivientes en 1reas donde las condiciones del oc3ano son favorables, conduciendo a mezcla entre grupos subyacentes centrados en i) el norte de Chile, ii) norte del Per3, y iii) aguas oce1nicas frente a Chile central.

Para determinar emp3ricamente como la qu3mica del otolito var3a espacialmente, se muestre3 material fijado en el tiempo inmediatamente anterior a la captura con una l3nea de raster a lo largo del borde pr3ximo-dorsal del otolito; para testar por heterogeneidad poblacional se muestre3 material fijado durante la vida temprana

usando un raster tipo grilla de 150 μm \times 200 μm fijado sobre el núcleo. Los otolitos fueron analizados para ^{25}Mg , ^{88}Sr , y ^{138}Ba y registrados como razones de ^{48}Ca .

La química del núcleo considerando datos transformados para satisfacer los supuestos de normalidad en la distribución de los datos, mostró considerables diferencias entre los periodos de alimentación y reproducción y fuerte evidencia de heterogeneidad espacial entre las áreas muestreadas. Sin embargo, no se encontraron evidencias que indiquen heterogeneidad poblacional regional entre el sur de Chile, norte de Chile y norte del Perú durante el período de desove cuando cualquier grupo subyacente es probable esté más segregado. Hubo fuerte evidencia de estructuración regional durante el período de alimentación entre el sur de Chile y centro-norte del Perú, pero ninguna entre los peces muestreados en el codo de Arica con el sur de Chile o el centro-norte de Perú.

La consistente diferenciación en la química del núcleo proporciona evidencia adicional de estructuración espacial del jurel, refutando nuevamente la hipótesis de una población sencilla que se mezcla al azar. La falta de diferenciación que corresponda con límites poblacionales es también inconsistente con la hipótesis de poblaciones discretas frente a Chile y Perú. Más aún, la química del núcleo de peces de Nueva Zelandia no muestra diferencia con la mayoría de los peces de Chile y Perú, no obstante las diferencias ambientales regionales registradas en la química del borde, lo que sugiere nuevamente un origen en Sudamérica. Los datos tampoco sustentan la hipótesis de agrupaciones espacial y temporalmente estables, con heterogeneidad generada por mezcla entre grupos subyacentes centrados en el sur de Chile, codo de Arica (Coquimbo a Olleros en el sur de Perú) y el centro-norte del Perú. Comparado con resultados del estudio previo (Serra *et al.*, 2010), no hubo evidencia de i) un grupo fuertemente diferenciado en el norte de Perú, ii) el patrón regional de heterogeneidad espacial predicha, y iii) una

tendencia norte-sur esperada durante el per3odo de desove. En cambio, la variabilidad entre las 3reas muestreadas, la falta de consistencia temporal o amplias diferencias regionales asociadas sugieren una baja fidelidad y mezcla en una escala espacial y temporal m3s fina, en una poblaci3n estructurada como manchas o parches por la exposici3n a zonas frontales asociadas con la surgencia.

La distribuci3n espacio-temporal de la temperatura y la salinidad en la regi3n del Pac3fico Suroriental (PSO) fue obtenida desde la climatolog3a global CARS. Esta climatolog3a fue validada a trav3s de la climatolog3a del WOA (World Ocean Atlas) (Correlaciones mayores a 90%). Adem3s se analizaron datos de altimetr3a satelital (1992-2010) provenientes del programa AVISO para caracterizar la variabilidad espacial y temporal de la Corriente del Pac3fico Sur (CPS), como tambi3n para calcular la energ3a turbulenta de remolinos de mesoescala (EKE). Los resultados sugieren una conexi3n de los flujos zonales ubicados en la zona de Deriva de los Vientos del Oeste y su principal corriente zonal, la Corriente del Pac3fico Sur (CPS), entre 3 grandes zonas: frente a Chile central asociada a las 3reas de desove de jurel y de surgencia de la VIII regi3n; frente a Per3 central vinculada a la zona de surgencia costera y la corriente oce3nica de Per3 y, por 3ltimo, a lo largo de la costa sudamericana asociada al sistema de corrientes de Humboldt y las zonas de surgencia a lo largo de Chile y sur de Per3. La Corriente del Pac3fico Sur (CPS) se asocia espacialmente al Frente Subtropical (FST), disminuye su intensidad promedio ($<10 \text{ cm s}^{-1}$) y se ensancha desde el 3rea de desove del jurel hacia la zona de bifurcaci3n frente al continente americano, abarcando entre los 32° S y 42°S. La parte de este flujo que se desv3a hacia el norte, sigue paralelo a la costa sudamericana para desviarse hacia el oeste a la altura de los 30°S y separarse en los 24°S formando la rama costera y oce3nica de la corriente de Per3. La estacionalidad en esta corriente frente a Chile central (36.5°S) muestra

valores moderados en primavera, facilitando el movimientos de huevos y larvas desde las áreas oceánicas a zonas costeras siguiendo la dirección de los vientos. El flujo zonal de la CPS se ve afectado por los eventos interanuales ecuatoriales disminuyendo su intensidad durante eventos cálidos y aumentando su componente oeste-este en eventos fríos. Los remolinos de mesoescala se mueven en sentido opuesto (este a oeste) al de la CPS, lo que favorece el desarrollo de intensos meandros que refuerzan el transporte hacia la costa.

Se distinguen dos grandes centros de surgencia costero de aguas subsuperficiales ubicados en Chile central (36.5°S) y Perú central (14.5°S) dando origen a intensos gradientes zonales en las propiedades oceanográficas. Estos gradientes aunque son permanentes se intensifican en primavera y verano en Chile central y a mediados de año en Perú acoplado a los cambios estacionales del anticiclón del Pacífico Sur. Las diferencias entre estos dos grandes centros de surgencia, permiten inferir que el aporte de agua salobre desde el sur disminuye durante los eventos El Niño y aumenta durante La Niña. En una escala temporal mayor el transporte de agua salobre entre el centro sur de Chile y Perú fue mayor en la década de los 90s hasta 2002, cuando se produce un punto de quiebre y la advección hacia el norte de agua subantártica y de fiordos disminuye.

El análisis integrado de los resultados de las diferentes técnicas aplicadas permite identificar una estructura poblacional de jurel compleja para el Pacífico sur oriental, con dos subpoblaciones o stocks parcialmente discretos frente a Chile y Perú, no siendo posible la identificación de un límite preciso sino una zona de sobreposición entre el extremo norte de Chile y el sur del Perú. Los resultados evidencian un flujo de jurel hacia el Perú, los que según los resultados no regresarían al sur. También se encontró que los jureles de Nueva Zelandia son de inmigración

reciente en esa zona y que emigraron desde frente a Chile y que por tanto no aportan a la producción biológica en el Pacífico sur oriental.

Los patrones migratorios en el ciclo vital muestran una tendencia de los individuos de mayor tamaño de concentrarse hacia el sur de Chile (sur 40°S) y al norte de Perú, ratificándose la emigración de jureles hacia Nueva Zelandia, lo que se califica como un proceso de colonización. Respecto a patrones migratorios estacionales, la única evidencia es la migración desde la zona principal de desove en el sector oceánico frente al centro-sur de Chile (Talcahuano), hacia la zona oceánica frente a Chiloé y su regreso a ella. Los resultados para la zona peruana son insuficientes para establecer patrones migratorios, lográndose establecer la existencia de biomasa permanente y de una estructura etaria completa. Asimismo, la ausencia en Perú de *A. simplex*, *H. aduncum* y la baja prevalencia de *L. trachuri* sugiere la inexistencia de migraciones estacionales entre ambos países.

EXECUTIVE SUMMARY

The project has as main objective to identify the population's structure of jack mackerel in South Pacific Ocean. The study looks at a methodological multidisciplinary focusing, which encloses genetic markers, parasite fauna, otoliths' morphometry, chemistry of otoliths and oceanographic aspects. Its design considers two samplings' events: The first one in the autumn-feeding period and the second one to the end of spring-summer-reproduction's period with zones, in addition with zones for taking predefined samplings, i.e., in Peru, Chile and New Zealand.

The genetic method used nuclear molecular markers of microsatellite, which have been amply used for identification of fish stocks. This mainly because they show great variability and can be analyzed a large number of loci. A total of 852 individuals were analyzed in two sampling's seasons, i.e., winter and summer from throughout its geographical distribution. A total of 10 microsatellite's loci were used (three heterologous and seven specific species). Index's values F_{ST} by pairs of locations, for each season denote the absence of spatial genetic structuration of specie in its geographic distribution (F_{st} low and not significant). Moreover temporal analysis based on index F_{st} did not evidenced significant temporal genetic differences. The results obtained here are consistent with previous studies related to the specie and concluded that *Trachurus murphyi* behaves as a homogeneous population in genetic terms.

Of the analysis of metazoan parasites of a total 1733 jack mackerel's specimens-*Trachurus murphyi* obtained from nine fishing areas, namely: one in New Zealand, three in Peru and five in Chile, obtained a total of 44.506 metazoan parasites belong to 18 species. A qualitative analysis indicates what fish obtained from

Peru's fishing areas evince a fauna of metazoan parasites poorer than occurs with fish obtained in Chile. Univariate analyses about prevalence, abundance and mean intensity of infection, particularly for species of value as biological indicators, (specially nematodes of the Anisakidae Family as *Anisakis simplex* and *Hysterothylacium* sp.) show changes associated with a latitudinal gradient increasing the parasitic charge from northern of Chile to south, which keeps well harmony with the tendencies in the fish's size. One increasing of the parasitic charge, particularly *A. simplex* (parasite, which found in larvae stage and cannot leave the fish, organism that accumulated and stayed over the time developing its vital cycle in the guest). As well as fish size allows strongly to infer migration's movements from northern Chile to the south. Multivariate analysis on the sample's total allows separating well samples of New Zealand, oceanic Chiloe and north central Peru. These results explained because New Zealand's samples represent a recent settlement process and a consequent loss of some parasites as well as an acquiring of parasites' fauna own of the new environment colonized. Oceanic Chiloe includes samples of larger size and at the same time is a particular environment regarding food supply. Finally samples' discrimination of north central Peru is in agreement with previous studies.

In conclusion, parasitic fauna metazoa of jack mackerel allows suggesting what fish in Chile well correspond with a stock's unit separated from those of Peru characterized by the absence of parasites with a high importance on discrimination such as *Anisakis simplex*, a low prevalence for *L. trachuri* (with exception in northern of Peru in feeding period) and also an absence of nematode *H. aduncum* presents in all fishing areas, except Peru.

Otoliths' morphometry was assessed by a set of multivariate methods on the descriptors of harmonic and lineal form. Twelve standardized, normalized and

linear descriptors were considered regarding to fish's length, which correspond to lineal measurements between landmarks of otolith. The analysis of main components (AMC) does not provide a classification of categorical variables (location or period), which make possible the conformation by groups of locations that explain the differences found in the analysis of variance.

The results of MANOVA applied on the descriptors of Fourier normalized and centered indicate significant differences ($F=0,28$; $P<0,05$) between locations and suggest that in each location the otoliths' contours have got its own average's form. However, by including in the MANOVA a second variable categorical descriptive of fish' size, average variance power is increased ($F=0,11$; $P<0,05$) showing that both sampling's location as the fish' sizes explain the differences in otoliths' contours. Coherent with this latter analysis, the locations' classification carried out by means a discriminating lineal analysis (DLA) on descriptors or harmonics of Fourier, properly separates those locations which represent major differences in the sizes' range of the sample, which is more evident for the second sampling's period (spring – summer), while locations with a similar sizes distribution present a high level of mixing. Conclusively, the analysis indicate that the differences in the otolith's form explained by the differences in the jack mackerels' sizes between locations and attributed to an allometric effect in the otolith's growth rather than differences between locations.

The classification by location, realized by means discriminating lineal analysis (DLA) about harmonic decomposition of Fourier, confirm the results in the sense that classification's success due to differences in the average's sizes of fish between locations and therefore to the ontogenetic differences, which reflected in the asymmetric growth and variations in the otoliths' form in the different stages of life's history of jack mackerel.

The chemistry's measurements of trace's elements in otoliths was performed using spectrometry of coupled mass, inductively (ICPMS) with a Finnegan Mat Element 2's machine of field-sector of double-focusing for assessing i) the temporal consistency of jack mackerel (*Trachurus murphyi*) of otolith's chemistry deposited in different environments measuring the outer ring of the otolith, which corresponds with date and capture's time known and ii) the temporal consistence in the population's structure measuring chemistry of the otolith's nucleus, which records the environment that jack mackerel experiences in its early life. Through utilization of otoliths de collected fish during feeding's period in 2011 and the reproduction between 2011-2012 tested a hypothesis of complex population structure by rotation of South Pacific in which scattered spawning survives in areas where ocean's conditions are favorable leading a mixing between underlying groups focused on i) northern Chile ii) northern Peru and iii) oceanic waters front central Chile.

To determine empirically as otolith's chemistry varies spatially, material fixed in time immediately before capture with a raster's line along the close-dorsal edge of otolith was sampled, to test by population heterogeneity sampled fixed material during the early life using a raster type grid $150\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$ fixed on core. The otoliths were analyzed for ^{25}Mg , ^{88}Sr and ^{138}Ba and recorded as reasons ^{48}Ca .

Core's chemistry showed significant differences between the means of the areas sampled during the feeding and reproduction seasons but the underlying distributions severely separated from normality. After processed core's data met statistical assumptions and chemistry, along the edge, conclusively demonstrated environmental heterogeneity. Strong evidence of spatial heterogeneity found in core's chemistry between the sampled areas. Nevertheless, it were not found evidences regarding regional and demographic heterogeneity between southern

Chile, northern Chile and northern Peru during the spawning period, when any group subjacent probably is more segregated. There was strong evidence of regional structure during the feeding period between southern Chile and north-central Peru but none among the sampled fish in the areas of Arica Elbow and southern Chile or north-central Peru.

The consistent differentiation in the nucleus' chemistry provides additional evidence of spatial structuring of jack mackerel refuting again the hypothesis of a simple population which mixes randomly. The differentiation's lack corresponding to demographic limits is also inconsistent with the hypothesis of discrete populations front Chile and Peru. Moreover, fish nucleus's chemistry from New Zealand do not show differences with the most fish of Chile and Peru, despite regional environmental differences observed in the edge's chemistry, suggests an origin in South America, again. The data neither support the hypothesis of spatial clusters temporally stable with heterogeneity generated by mix between underlying groups focused in southern Chile, Arica Elbow (Coquimbo to Olleros in southern Peru) and north central Peru. Comparing with the results of previous study (Serra et al., 2010) there was no evidence of i) a group strongly differentiated in northern Peru, ii) the regional pattern of spatial heterogeneity predicted and, iii) an expected north-south trending during spawning period. However, the variability among the sampled areas, the lack of temporal consistency or broad regional differences associated suggest a low-fidelity and mixing in a spatial and temporal scale finer, in a structuring population as spots or patches by the exposure to frontal zones associated with upwelling.

The analysis of oceanographic framework performed taking in consideration oceanographic information of the Southeast Pacific region (SEP). The spatial and temporal distribution of temperature and salinity, in the region, was obtained from

global climatology CARS. This climatology was validated through climatology of WOA-World Ocean Atlas (correlations greater than 90%). Additionally, analyzed satellite hypsometry data (1992 – 2010) from the program AVISO for characterizing the spatial and temporal variability of South Pacific Current (SPC) as well as to calculate the turbulent energy of mesoscale eddies (EKE).

Results of this project suggest a connection between three great areas of interest, i.e.: a band front central Chile associated to spawning area and upwelling area of region VIII; a band front central Peru linked to the coastal upwelling zone of Peru and oceanic current of Peru, finally a band along the South American Coast associated with Humboldt Current and the upwelling areas along Chile and south Peru. The connexion among these areas occurred by means of zonal flows located in the area of Deriva de los Vientos del Oeste and its main zonal current The Stream South Pacific (SSP). These current, associated spatially on Subtropical Front (STF), decreases its average intensity ($< 10 \text{ cm s}^{-1}$) and widens from spawning area of jack mackerel toward bifurcation's zone against American Continent reaching range between 32° S to 42° S . Part of this flow is diverted to the north, keeps on parallel to the South American Coast for deviating westward up to 30° S and separated into the 24° S forming the coastal oceanic branch of Peru's current. The observed seasonality in this zonal current front central Chile (36.5° S) shows moderate values in spring and would facilitate the movement of eggs and larvae from oceanic areas against coastal zones keeping on the wind's direction. The zonal flow of SSP is affected by equatorial interannual events as well during warm events the SSP intensity trends to decrease while during cold events the component west-east of SSP increases its intensity.

The results also show how the mesoscale eddies move in the opposite direction (east – west) to the SSP but this movement benefits the development of intensive meanders which reinforce the onshore transport.

In the large areas of upwelling off central Chile (36.5 ° S) and central Peru (14.5° S) the rise of subsurface waters on the coast give rise to strong zonal gradients in the oceanographic properties associated with the formation of an upwelling's front. These processes make the oceanic waters warmer, with less oxygen and fewer nutrients being significantly different from those that are under the influence of coastal upwelling, i.e., colder, less oxygen and nutrient-rich. These gradients are permanent even intensify in spring and summer in central Chile and mid-year in Peru due to the seasonal changes of the upwelling caused by seasonal movement of the South Pacific Anticyclone. Quantitative exploration of the differences between the two upwelling centers showed a consistency which allows inferring that during events –El Niño reduces the supply of brackish water from south while during The Girl increases it. On a larger time scale the brackish water transport between north central Chile and Peru was higher early 90 until 2002, when a break point occurs and the advection toward northern of subantarctic water and of fjords decreases.

The integrated analysis of results of different applied techniques allows identifying a complex demographic structure to Eastern South Pacific with two sub-populations or stocks partially discrete front Chile and Peru not being possible the identification of a precise limit but a overexposure's area between northern Chile and southern Peru. The results show a jack mackerel's flow to Peru which according to the results not return to the home area. It also found that jack mackerels of New Zealand are of recent immigration in that area and that migrated

of the region front Chile and do not contribute to the biological production in the South Eastern Pacific.

Regarding to migration patterns identified evidences of them in the vital first cycle due to individuals' tendency of larger size, in concentrating toward southern Chile, southern Corral. In the Peru's case described a differentiated similar distribution but opposite, where the larger size spread northward. Results confirm the migration of jack mackerels to New Zealand, which described as colonization's process.

Regarding seasonal migrations' patterns, the only evidence is the migration from the main area of spawning in the oceanic zone front south-central area of Chile-Talcahuano, towards oceanic zone front Chiloe and its return to it. The results on Peruvian zone do not allow determining migration patterns in it but if allow establishing the existence of permanent biomass in it and a full age structure. Also, the absence of *A. simplex* and *H. aduncum* in Peru and the low prevalence of *L. trachuri* refutes the existence of seasonal migrations between both countries.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN EJECUTIVO / EXECUTIVE SUMMARY	i
ÍNDICE GENERAL	xvi
ÍNDICE TABLAS	xviii
ÍNDICE FIGURAS	xxv
ÍNDICE ANEXOS	xi
1. ANTECEDENTES	1
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	6
3.1 Muestreo.	7
3.1.1 Obtención de las muestras.....	7
3.2. Marcadores genéticos.	9
3.2.1. Extracción de ADN.	12
3.2.2. Amplificación loci microsatélites.	13
3.2.3. Análisis de datos.	14
3.3. Parásito fauna.	16
3.3.1. Metodología para el análisis de los parásitos.....	22
3.4. Morfometría de otolitos.....	25
3.4.1 Muestreo y selección de otolitos	26
3.4.2 Procedimiento de Laboratorio	27
3.4.3 Análisis estadístico de variables morfométricas	29
3.4.4 Análisis morfométrico de contornos de otolitos	31
3.5. Química de otolitos.....	33
3.6. Marco oceanográfico.	48
3.7. Análisis integrado	52

4. RESULTADOS.....	54
4.1 Puesta en marcha proyecto.....	54
4.2 Muestreo.	54
4.2.1 Primera muestra.....	54
4.2.2 Segunda muestra.	59
4.3. Marcadores genéticos.	61
4.4 Parásito fauna como herramienta para la identificación de stocks.....	77
4.5. Morfometría de otolitos.....	153
4.6. Química del otolito.....	183
4.7. Marco oceanográfico.	208
5. ANÁLISIS INTEGRADO.	239
6. INVESTIGACIÓN FUTURA	253
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	254

ANEXOS:

Anexo 1. Análisis permutacional manova a resultados de parásitos.

Anexo 2. Base de datos Proyecto FIP N° 2010-18.

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Parásitos metazoos registrados en el jurel en diversos estudios realizados en Chile y Perú. Se consideran sólo estudios cuantitativos (Oliva, 1994; Oliva, 1999; George-Nascimento, 2000, Serra *et al.* 2010).
- Tabla 2.** Número de otolitos analizados por zona, localidad de estudio y periodo de muestreo. Periodo 1 corresponde al muestreo de otoño y Periodo 2 al muestreo de primavera-verano. Se incluye el número de otolitos utilizados en el análisis de medidas lineales entre “landmarks” y elíptica de Fourier.
- Tabla 3.** Resultados del primer muestreo de jurel.
- Tabla 4.** Resultados del segundo muestreo de jurel.
- Tabla 5.** Parámetros de variabilidad genética de *T. murphyi* para las diferentes zonas a lo largo de su distribución en la temporada de invierno.
- Tabla 6.** Parámetros de variabilidad genética de *T. murphyi* para las diferentes zonas a lo largo de su distribución en la temporada de verano.
- Tabla 7.** Valor del índice de estructuración F_{st} por cada par de localidades analizadas en la temporada de invierno.
- Tabla 8.** Análisis de varianza molecular para diferentes hipótesis para muestras de invierno.

- Tabla 9.** Valor del índice de estructuración F_{st} por cada par de localidades analizadas para la temporada de verano, excluyendo loci monomórficos. Valores en negrita muestran diferencias significativas una vez que se aplicó el test de Bonferroni.
- Tabla 10.** Análisis de varianza molecular para diferentes hipótesis para muestras de verano.
- Tabla 11.** Análisis de varianza molecular para diferentes temporadas de invierno y verano.
- Tabla 12.** Comparación de los parámetros de variabilidad genética promedio entre las diferentes temporadas, proyecto FIP2007-27 (Serra *et al.* 2010) y descripción de loci microsatélites en Canales-Aguirre *et al.* (2010b)
- Tabla 13.** Característica de las muestras analizadas en cada localidad.
- Tabla 14.** Resultado de la comparación de la talla media, para las 5 zonas de pesca en que se obtuvieron 2 muestras temporalmente espaciadas.
- Tabla 15.** Características de las muestras obtenidas en dos proyectos FIP, durante el período reproductivo.
- Tabla 16.** Talla media de peces obtenidos en dos periodos reproductivos en las mismas zonas de pesca.
- Tabla 17.** Prevalencia global de infección; considera el porcentaje de peces infectados con al menos una especie de parásito.

Tabla 18. Prevalencia de infección de las diferentes especies de parásitos en las zonas de pesca analizadas.

Tabla 19. Resultados de la prueba χ^2 para evaluar significancia en las diferencias en prevalencia de infección para aquellas especies presentes en más de dos Zonas de pesca.

Tabla 20. Resultados de la prueba χ^2 para evaluar significancia en las diferencias en prevalencia de infección, para aquellos parásitos presentes en periodo reproductivo y periodo de alimentación.

Tabla 21. Resultados de la prueba de X^2 para evaluar significancia en la diferencia de prevalencia de infección para aquellos parásitos presentes en una misma zona de pesca, en dos periodos reproductivos.

Tabla 22. Abundancia media de infección de las diferentes especies de parásitos en las zonas de pesca analizadas, durante el período reproductivo y de alimentación.

Tabla 23. Resultados de análisis de varianza para evaluar significancia en las diferencias en abundancia media de infección, para aquellos parásitos presentes en ambas muestras.

Tabla 24. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *L. trachuri*.

Tabla 25. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *C. filiferum*.

Tabla 26. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *A. simplex*.

Tabla 27. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *H. aduncum*.

Tabla 28. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *R. trachuri*.

Tabla 29. Resultados de un análisis de varianza para evaluar significancia de las diferencias en abundancia media de infección, para aquellas especies de parásitos presentes en la misma zona de pesca, en dos períodos reproductivos.

Tabla 30. Intensidad media de infección de las diferentes especies de parásitos en las zonas de pesca analizadas.

Tabla 31. Resultados de análisis de varianza para evaluar significancia en las diferencias en intensidad media de infección, para aquellos parásitos presentes en ambas muestras de una misma zona de pesca.

Tabla 32. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infección de *L. trachuri*.

Tabla 33. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infección de *C. filiferum*.

Tabla 34. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infección de *A. simplex*.

Tabla 35. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infección de *H. aduncum*.

Tabla 36. Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infección de *R. trachuri*.

Tabla 37. Resultados de un análisis de varianza para evaluar significancia de las diferencias en intensidad media de infección, para aquellas especies de parásitos presentes en la misma zona de pesca, en dos períodos reproductivos.

Tabla 38. Códigos aplicados en análisis de correspondencia.

Tabla 39. Matriz de asignación correcta de las diferentes zonas de pesca en función de la intensidad media de infección.

Tabla 40. Valores de F-para-remover y tolerancia del análisis de discriminación múltiple, sobre intensidad media de infección.

Tabla 41. Matriz de asignación correcta de las diferentes zonas de pesca en función de la intensidad media de infección con zonas de pesca integrada.

Tabla 42. Valores de F-para-remover y tolerancia del análisis de discriminación múltiple, sobre intensidad media de infección con zonas de pesca integradas.

Tabla 43. Resultado del análisis de componentes principales (ACP) de las variables morfométricas correspondientes a las distancias entre puntos del otolito o “landmarks”. Se presenta el porcentaje de la varianza

explicado por los tres primeros componentes para el análisis de cada periodo de muestreo.

Tabla 44. Funciones discriminantes de los DF correspondientes a nueve localidades de muestreo del Pacífico sur, durante otoño del 2011 (primer periodo) y primavera-verano 2011-2012 (segundo periodo). Se destacan en gris las dos primeras funciones.

Tabla 45. Resultado de los test de Chi cuadrado y Lambda de Wilks que contrastan las Funciones de discriminación canónicas de los coeficientes descriptores de elíptica de Fourier del otolito de jurel, correspondientes a nueve localidades muestreo del Pacífico sur, durante otoño del 2011 (primer periodo) y primavera-verano 2011-2012 (segundo periodo). Se destacan las dos primeras funciones.

Tabla 46. Matriz de clasificación de los otolitos de jurel para nueve localidades muestreadas durante el otoño del 2011 (primer periodo), resultado del análisis discriminante aplicado sobre coeficiente del análisis de elíptica de Fourier.

Tabla 47. Matriz de clasificación de los otolitos de jurel para cinco localidades muestreadas durante la primavera del 2011 y verano del 2012 (segundo periodo), resultado del análisis discriminante aplicado sobre coeficiente del análisis de elíptica de Fourier.

Tabla 48. Química del borde en el período de alimentación. Los resultados del ANOVA y SNK muestran diferencias de a) $Mg \cdot Ca^{-1}$ b) $Sr \cdot Ca^{-1}$ c) $Ba \cdot Ca^{-1}$ entre las áreas muestreadas de la costa oeste de Sudamérica y Nueva Zelanda. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas con el test SNK.

Tabla 49. Química del núcleo en la estación de desove: Los resultados del ANOVA y SNK muestran diferencias de a) $\text{Mg}\cdot\text{Ca}^{-1}$ b) $\text{Sr}\cdot\text{Ca}^{-1}$ c) $\text{Ba}\cdot\text{Ca}^{-1}$ entre las áreas muestreadas de la costa oeste de Sudamérica y Nueva Zelandia. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas con el test SNK.

Tabla 50. Química del núcleo en la estación de alimentación: la asignación a dos clusters se basa en la similitud de la historia de vida temprana registrada en el núcleo. El Análisis de clusters se basa en el enfoque de varianza mínima de Ward.

Tabla 51. Química del borde en la estación de desove: Los resultados del ANOVA y SNK muestran diferencias de a) $\text{Mg}\cdot\text{Ca}^{-1}$ b) $\text{Sr}\cdot\text{Ca}^{-1}$ c) $\text{Ba}\cdot\text{Ca}^{-1}$ entre las áreas muestreadas de la costa oeste de Sudamérica y Nueva Zelandia. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas con el test SNK. *Tratamiento de control.

Tabla 52. Química del núcleo en la estación de desove: Los resultados del ANOVA y SNK muestran diferencias de a) $\text{Mg}\cdot\text{Ca}^{-1}$ b) $\text{Sr}\cdot\text{Ca}^{-1}$ c) $\text{Ba}\cdot\text{Ca}^{-1}$ entre las áreas muestreadas de la costa oeste de Sudamérica. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas con el test SNK. *Tratamiento de control.

Tabla 53. Química del núcleo en la estación de desove: la asignación a dos clusters se basa en la similitud de la historia de vida temprana registrada en el núcleo. El Análisis de clusters se basa en el enfoque de varianza mínima de Ward.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribución de *Trachurus murphyi* en el Pacífico Sur.
- Figura 2.** Modelo conceptual de la utilización de parásitos como herramienta en la identificación de movimientos migratorios y unidades de stock.
- Figura 3.** Medidas entre distintos puntos (landmark) del otolito sagitta derecho de jurel, registradas con el software Image-Pro Plus Otolito. Las medidas son descritas en el párrafo anterior.
- Figura 4.** El panel superior muestra el esquema clásico de las corrientes del PSO, modificado de Tomczak & Godfrey, 2002.
- Figura 5.** Localización de las muestra de jurel obtenidas en el período de otoño del 2011 (primer evento de muestreo).
- Figura 6.** A) Distribución de frecuencia de longitud (porcentual) de los peces colectados en cada una de las localidades, B) Boxplot en que presenta la longitud mediana de cada localidad, la caja agrupa el 50% de los casos, la línea corresponde al cuartil (25% y 75%) y círculos y asteriscos a valores alejados.
- Figura 7.** Gráfico que presenta la composición de tallas en cada zona; presenta la longitud mediana, la caja agrupa el 50% de los casos, la línea superior e inferior corresponde al cuartil (25% y 75%) y puntos negros a valores alejados.

- Figura 8.** Localización geográfica de la segunda muestra de jurel obtenida durante el período reproductivo.
- Figura 9.** Talla media de los peces para cada zona de pesca considerada.
- Figura 10.** Talla media de peces obtenidos en la zona de pesca del norte de Perú y norte de Chile en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 11.** Talla media de peces obtenidos en la zona de pesca de Coquimbo y Talcahuano en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 12.** Talla media de peces obtenidos en la zona de pesca de Nueva Zelanda en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 13.** Talla media de los peces en periodo de alimentación y reproducción
- Figura 14.** Talla media de peces en la misma zona de pesca, durante el período reproductivo (Norte de Perú y Centro de Perú)
- Figura 15.** Talla media de peces en la misma zona de pesca, durante el período reproductivo (Norte de Chile y Coquimbo)
- Figura 16.** Talla media de peces en la misma zona de pesca, durante el período reproductivo (Talcahuano costa y Chiloé oceánico)
- Figura 17.** Talla media de peces en la zona de pesca de Nueva Zelanda, durante el período reproductivo.
- Figura 18.** Tendencias latitudinales en la talla media de los peces durante dos periodos reproductivos.

- Figura 19.** Tendencia latitudinal en la talla media de los peces FIP 2010/18, período de alimentación.
- Figura 20.** Relación entre talla media por zona de pesca y prevalencia de infección
- Figura 21.** Tendencias latitudinales en la prevalencia de infección de *C. gaudichaudii* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 22.** Tendencias latitudinales en la prevalencia de infección de *L. trachuri* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 23.** Tendencias latitudinales en la prevalencia de infección de *A. simplex* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 24.** Tendencias latitudinales en la prevalencia de infección de *R. trachuri* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 25.** Relación entre talla y abundancia de infección.
- Figura 26.** Abundancia media de infección de *C. gaudichaudii* en las zona de pesca Norte de Chile y Coquimbo en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 27.** Abundancia media de infección de *L. trachuri* en las zona de pesca Norte de Perú y Norte de Chile en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 28.** Abundancia media de infección de *L. trachuri* en las zonas de pesca Coquimbo y Talcahuano costa en dos muestreos temporalmente espaciados.

- Figura 29.** Abundancia media de infección de *A. simplex* en las zonas de pesca Norte de Chile y Coquimbo en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 30.** Abundancia media de infección de *A. simplex* en la zona de pesca Talcahuano costa y Nueva Zelandia en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 31.** Abundancia media de infección de *Contracaecum sp.* y *C. filiferum* en la zona de pesca de Nueva Zelandia en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 32.** Abundancia media de infección de *R. trachuri* en las zona de pesca de Coquimbo y Talcahuano costa en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 33.** Abundancia media de infección de *H. aduncum* en las zona de pesca Coquimbo, Talcahuano costa y Nueva Zelandia en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 34.** Abundancia media de *L. trachuri* y *C filiferum*, para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes.
- Figura 35.** Abundancia media de *A. simplex* y *H. aduncum*, para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes.
- Figura 36.** Abundancia media de *R. trachuri* para las zonas de pesca en que esta especie estuvo presente.
- Figura 37.** Tendencias latitudinales en la abundancia de infección de *C. gaudichaudii* durante el periodo reproductivo y de alimentación.

- Figura 38.** Tendencias latitudinales en la abundancia de infección de *L. trachuri* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 39.** Tendencias latitudinales en la abundancia de infección de *A. simplex* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 40.** Tendencias latitudinales en la abundancia de infección de *R. trachuri* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 41.** Abundancia media de *L. trachuri* en dos períodos reproductivos en la zona de pesca norte de Perú y centro de Perú.
- Figura 42.** Abundancia media de *L. trachuri* en dos períodos reproductivos en la zona de pesca norte de Chile (izquierda) y Coquimbo (derecha).
- Figura 43.** Abundancia media de *L. trachuri* en la zona de pesca Talcahuano Costa y *C. filiferum* en la zona de pesca Nueva Zelandia en dos períodos reproductivos.
- Figura 44.** Abundancia media de *A simplex* en la zona de pesca Norte de Chile y zona de pesca Coquimbo en dos períodos reproductivos.
- Figura 45.** Abundancia media de *A simplex* en la zona de pesca Talcahuano costa y zona de pesca Chiloé oceánico en dos períodos reproductivos
- Figura 46.** Abundancia media de *A simplex* en la zona de pesca de Nueva Zelandia en dos períodos reproductivos.

- Figura 47.** Relación entre talla e Intensidad de infección.
- Figura 48.** Intensidad media de infección de *L. trachuri* en las zona de pesca de Norte de Chile y Coquimbo en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 49.** Intensidad media de infección de *L. trachuri* en las zona de pesca de Norte de Perú y Talcahuano costa en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 50.** Intensidad media de infección de *A. simplex* en las zonas de pesca de Norte de Chile y Coquimbo en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 51.** Intensidad media de infección de *A. simplex* en las zonas de pesca de Talcahuano costa y Nueva Zelandia en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 52.** Intensidad media de infección de *C. gaudichaudii* en la zona de pesca de Coquimbo y de *C. filiferum* en la zona de pesca de Nueva Zelandia en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 53.** Intensidad media de infección de *Contracaecum sp.* y *H. aduncum* en la zona de pesca de Nueva Zelandia en dos muestreos temporalmente espaciados.
- Figura 54.** Intensidad media de infección de *R. trachuri* en las zonas de pesca de Coquimbo y Talcahuano costa en dos muestreos temporalmente espaciados.

- Figura 55.** Intensidad media de infección de *L. trachuri* y *C. filiferum* para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes.
- Figura 56.** Intensidad media de infección de *A. simplex* y *H. aduncum* para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes.
- Figura 57.** Intensidad media de infección de *R. trachuri* para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes.
- Figura 58.** Tendencias latitudinales en la intensidad de infección de *C. gaudichaudii* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 59.** Tendencias latitudinales en la intensidad de infección de *L. trachuri* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 60.** Tendencias latitudinales en la intensidad de infección de *A. simplex* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 61.** Tendencias latitudinales en la intensidad de infección de *R. trachuri* durante el periodo reproductivo y de alimentación.
- Figura 62.** Intensidad media de *L. trachuri* en la zona de pesca norte de Perú y centro de Perú en dos períodos reproductivos
- Figura 63.** Intensidad media de *L. trachuri* en la zona de pesca de norte de Chile y Coquimbo en dos períodos reproductivos.
- Figura 64.** Intensidad media de *L. trachuri* en la zona de pesca Talcahuano costa y *C. filiferum* en la zona de pesca Nueva Zelandia en dos períodos reproductivos.

- Figura 65.** Intensidad media de *A. simplex* en la zona de pesca de Coquimbo y Talcahuano costa en dos períodos reproductivos.
- Figura 66.** Abundancia media de *A. simplex* en la zona de pesca de Chiloé oceánico y Nueva Zelandia en dos períodos reproductivos.
- Figura 67.** Intensidad media de *R. trachuri* en la zona de pesca norte de Chile y Coquimbo en dos períodos reproductivos.
- Figura 68.** Intensidad media de *R. trachuri* en la zona de pesca Talcahuano costa y Chiloé oceánico en dos períodos reproductivos.
- Figura 69.** Representación en un espacio bidimensional del resultado del análisis de correspondencia para prevalencia de infección.
- Figura 70.** Representación en un espacio bidimensional del resultado del análisis de correspondencia para intensidad media de infección.
- Figura 71.** Representación en un espacio bidimensional del resultado del análisis de correspondencia para prevalencia de infección con zonas de pesca integradas.
- Figura 72.** Representación en un espacio bidimensional del resultado del análisis de correspondencia para intensidad media de infección con zonas de pesca integradas.
- Figura 73.** Distribución de frecuencia de longitud de las muestras de jurel recolectadas en cada localidad y periodo. Periodo 1 corresponde a otoño (abril-junio) y periodo 2 primavera-verano (noviembre y enero).

Las localidades corresponden, en forma descendente en la gráfica, a zonas de muestreo desde el norte de Perú al sur de Chile y Nueva Zelanda. La ubicación exacta de cada localidad se presenta en la metodología y Tabla 1.

Figura 74. Relaciones entre las distintas variables morfométricas, medidas entre distintos “landmarks” o puntos del otolito de jurel, correspondiente al periodo 1. Se incluye además la longitud del otolito (LO) y el ancho del otolito (AO). Hacia la izquierda se presentan la dispersión de puntos y la línea que corresponde al ajuste lineal entre las variables, hacia la derecha los coeficientes de determinación de los ajustes. El significado de cada variable se presenta en la metodología y figura 1.

Figura 75. Relaciones entre las distintas variables morfométricas, medidas entre distintos “landmarks” o puntos del otolito de jurel, correspondiente al periodo 2. Se incluye además la longitud del otolito (LO) y el ancho del otolito (AO). Hacia la izquierda se presentan la dispersión de puntos y la línea que corresponde al ajuste lineal entre las variables, hacia la derecha los coeficientes de determinación de los ajustes. El significado de cada variable se presenta en la metodología y figura 1.

Figura 76. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales (ACP) para el primer periodo de muestreo, correspondiente a otoño del 2011. A) Relación entre la primera y la segunda componente, B) relación entre la primera y tercera componente.

Figura 77. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales para el

primer periodo de muestreo, correspondiente a otoño del 2011. Se muestra la relación entre la segunda y tercera componente.

Figura 78. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales (ACP) para el segundo periodo de muestreo, correspondiente a primavera-verano del 2011-2012. A) Relación entre la primera y la segunda componente, B) relación entre la primera y tercera componente.

Figura 79. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales para el segundo periodo de muestreo, correspondiente a primavera-verano del 2011-2012. Se muestra la relación entre la segunda y tercera componente.

Figura 80. Contornos promedios normalizados del otolito de jurel por localidad.

Figura 81. Contornos de otolitos de jurel promedios normalizados para las macrozonas Sur-Oeste y Norte.

Figura 82. Contornos de otolitos de jurel promedios normalizados para las localidades agrupadas en las macrozonas Sur-Oeste y Norte.

Figura 83. Contornos promedios normalizados de otolitos de jurel para las localidades de la macro zona Norte durante el período 1 (otoño).

Figura 84. Contornos promedios normalizados de otolitos de jurel para la localidad ChThco (Talcahuano costa) durante el segundo período (época reproductiva) categorizado en torno a una longitud de horquilla de 40 cm.

- Figura 85.** Primera y segunda función discriminante canónica de los DF de jurel correspondiente al primer periodo de muestreo.
- Figura 86.** Ploteo de los valores de la primera y segunda función discriminante canónica de la forma de los otolitos de jurel correspondientes al segundo periodo de muestreo.
- Figura 87.** Ploteo de los valores de la primera y segunda función discriminante canónica de la forma de los otolitos de jurel correspondientes al segundo periodo de muestreo, en que se dividió la muestra de Talcahuano en otolitos de peces juveniles (ChThco-J) y adultos (ChThco-A) (**A**). El histograma indica la distribución de longitudes de la muestra para cada localidad (**B**).
- Figura 88.** Concentración media de los elementos trazas a lo largo del borde del otolito durante la estación de alimentación. a) $Mg \cdot Ca^{-1}$ b) $Sr \cdot Ca^{-1}$ c) $Ba \cdot Ca^{-1}$.
- Figura 89.** Concentración media de los elementos trazas a lo largo del borde del otolito durante la estación de alimentación. a) $Mg \cdot Ca^{-1}$ b) $Sr \cdot Ca^{-1}$ c) $Ba \cdot Ca^{-1}$.
- Figura 90.** Concentración media de los elementos trazas a lo largo del borde del otolito durante la estación de desove a) $Mg \cdot Ca^{-1}$ b) $Sr \cdot Ca^{-1}$ c) $Ba \cdot Ca^{-1}$.
- Figura 91.** Concentración media de los elementos trazas en el núcleo del otolito durante la estación de desove a) $Mg \cdot Ca^{-1}$ b) $Sr \cdot Ca^{-1}$ c) $Ba \cdot Ca^{-1}$.

- Figura 92.** Química del borde del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes áreas muestreadas durante la estación de alimentación, utilizando análisis discriminante canónico: a) todas las zonas muestreadas, b) Nueva Zelanda vs Perú y c) Chiloé 2 vs Perú y d) Chiloé 2 vs Coquimbo.
- Figura 93.** Química del núcleo del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes áreas muestreadas durante la estación de alimentación, utilizando análisis discriminante canónico: a) todas las zonas muestreadas, b) Chiloé oceánico vs centro-norte de Perú.
- Figura 94.** Química del borde del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes áreas muestreadas durante la estación de desove usando MDS; a) todos los peces b) sur de Chile c) norte de Chile d) norte de Chile y tratamiento de control.
- Figura 95.** Química del núcleo del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes áreas muestreadas durante la estación de desove usando análisis discriminante canónico; a) todos los peces b) norte vs tratamiento de control.
- Figura 96.** Química del núcleo: ejemplo de una secuencia de 85 escaneos tomados en un raster rectangular; mostrar los conteos dentro del núcleo para Ba.
- Figura 97.** a) Perfiles de salinidad con información proveniente de CARS (línea azul) y de WOA (línea verde) en una estación oceanográfica situada a 100°W y 29°30'S. b) Correlación lineal entre estas climatologías ($r=0,9934$; $P=1,0444 \times 10^{-15525}$).

- Figura 98.** a) Perfiles de temperatura con informaci3n proveniente de CARS (l3nea azul) y de WOA (l3nea verde) en una estaci3n oceanogr3fica situada a 100°W y 49°30'S. b) Correlaci3n lineal entre estas climatolog3as ($r=0,9996$; $P=0,9153X - 0,4248$).
- Figura 99.** Promedio climatol3gico de la temperatura (°C) superficial y en el estrato de 100 metros de profundidad derivada de CARS.
- Figura 100.** Promedio climatol3gico de la salinidad superficial y en el estrato de 100 metros de profundidad derivada de CARS.
- Figura 101.** Evoluci3n temporal de (a) la temperatura (°C) superficial del mar y (b) la temperatura a 100 metros de profundidad derivada desde CARS. El panel izquierdo presenta los diagramas latitud versus tiempo. El panel derecho presenta la evoluci3n meridional del promedio temporal, incluyendo el promedio total (negro), el promedio de meses c3licos (rojo) y meses fr3os (azul).
- Figura 102.** Evoluci3n temporal de (a) la salinidad superficial del mar y (b) la salinidad a 100 metros de profundidad derivada desde CARS. El panel izquierdo presenta los diagramas latitud versus tiempo. El panel derecho presenta la evoluci3n meridional del promedio temporal, incluyendo el promedio total (negro), el promedio de meses c3licos (rojo) y meses fr3os (azul).
- Figura 103.** a) El panel superior muestra en l3nea continua la evoluci3n temporal del gradiente t3rmico zonal (°C km⁻¹) y en l3nea segmentada la se3al anual del gradiente zonal frente a la costa central de Per3 derivado de datos SODA (oc3ano-costa). El panel inferior (b) muestra la anomal3a temporal del gradiente t3rmico (Gradiente-Se3al anual del gradiente).

Figura 104. a) El panel superior muestra en línea continua la evolución temporal del gradiente térmico zonal ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$) y en línea segmentada la señal anual del gradiente zonal frente a la costa central de Chile derivado de datos SODA (océano-costa). El panel inferior (b) muestra la anomalía temporal del gradiente térmico (Gradiente-Señal anual del gradiente).

Figura 105. a) El panel superior muestra en línea continua la evolución temporal el gradiente térmico meridional ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$) y en línea segmentada la señal anual del gradiente térmico meridional entre la costa de Perú central y Chile central derivado de datos SODA (océano-costa). El panel inferior (b) muestra en línea continua la evolución temporal el gradiente salino meridional (psu km^{-1}) y en línea segmentada la señal anual del gradiente salino meridional entre la costa de Perú central y Chile central derivado de datos SODA (océano-costa)

Figura 106. a) El panel superior muestra la evolución histórica de la anomalía de gradiente térmico meridional ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$) y el panel inferior (b) la evolución histórica de la anomalía del gradiente salino meridional entre la costa de Perú central y Chile central derivado de datos SODA (norte-sur).

Figura 107. Corrientes geostróficas superficiales referida a 1000 m de profundidad durante los meses de noviembre, diciembre, marzo y julio. La línea blanca marca la isohalina superficial de 34,8 (Stramma *et al.* 1995) y la línea roja la isoterma de 14°C a 150 m de profundidad (Chaigneau & Pizarro 2005) las que definen la posición del FST y la CPS. El rectángulo negro marca el área principal de desove (Sepúlveda *et al.*, 2006, Cubillos *et al.*, 2008).

Figura 108. Corrientes geostroficas zonales referidas a 1000 m de profundidad en los meses de enero y julio (representativos de las estaciones) a las longitudes de 100°W(a, b), 90°W(c, d) y 85° W(e,f). La zona anaranjada muestra la corriente del Pacifico Sur con su magnitud (cm s^{-1}). La linea blanca marca la isohalina de 34,8 (Stramma *et al.* 1995) y la linea roja la isoterma de 14°C a 150 m de profundidad (Chaigneau & Pizarro 2005) las que definen la posici3n del Frente Subtropical (FST).

Figura 109. Corrientes geostroficas zonales promedio temporal estacional (cm s^{-1}) en las longitudes 100°W(a), 95°W(b), 90°W(c) y 85° W(d). La linea negra es el promedio, la linea azul el promedio de la estaci3n de invierno y la linea roja el promedio de la estaci3n de verano.

Figura 110. Promedio temporal de la Energfa turbulenta de remolinos (EKE en $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$) derivada de las velocidades geostroficas satelitales del programa AVISO.

Figura 111. Energfa cinetica (EKE en $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) del Pacifico Sur-oriental durante el periodo 1992-2012. Los paneles incluyen los promedios estacionales de a) verano (diciembre-febrero), b) otono (marzo-mayo), c) invierno (junio-agosto) y d) primavera (septiembre-noviembre).



ANEXOS

Anexo 1. Análisis permutacional manova a resultados de parásitos.

Anexo 2. Base de datos Proyecto FIP N° 2010-18.

1. ANTECEDENTES

El jurel presenta una amplia distribuci3n en el Oci3no Pacífico Sur-Oriental. Por el norte llega hasta 1° 38'N y alrededor de las Islas Galápagos y por el sur hasta el extremo de Chile (55°S) (Serra 1991). Tanto frente a Perú como de Chile, su distribuci3n sobrepasa el límite de las 200 mn de ZEE; frente a la zona centro sur de Chile su distribuci3n sobrepasa las 1000 mn (**Figura 1**). Esta especie expandió su distribuci3n colonizando hacia el oeste a través de la corriente de Deriva del Oeste. Fue detectado a mediados de la década 1980 cerca de Nueva Zelanda (Evsenko, 1987, Bailey, 1989, Serra, 1991,) y posteriormente hasta las aguas en torno a Tasmania. Su presencia es detectada en aguas de Nueva Zelanda por primera vez en 1987 (Kasahara *et al.*, 1988, **En:** Taylor, 2002).

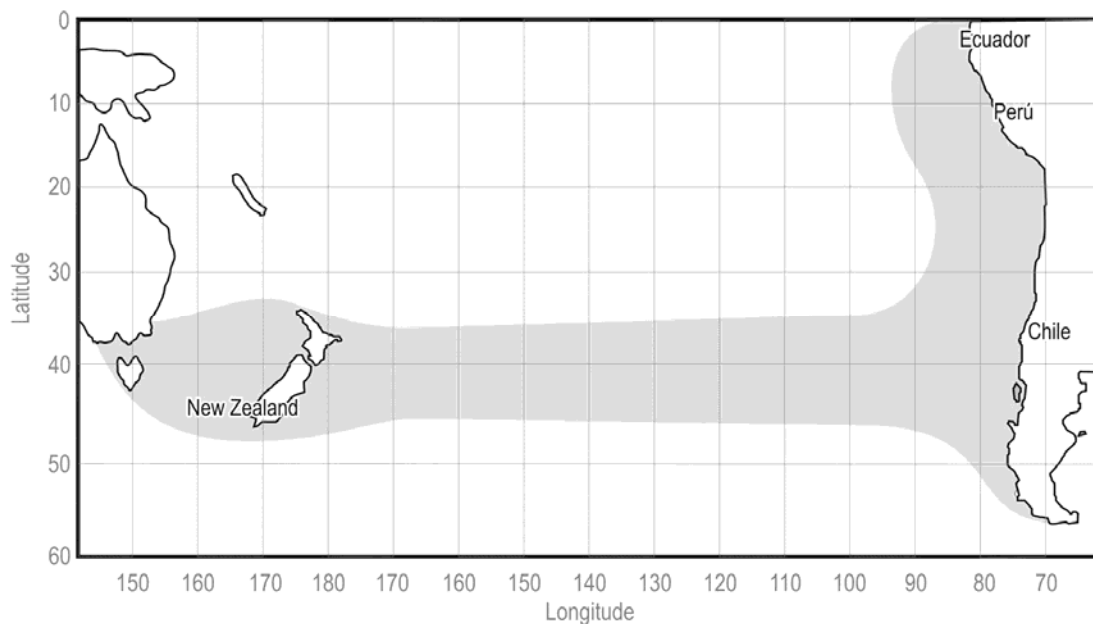


Figura 1. Distribuci3n de *Trachurus murphyi* en el Pacífico Sur.

El jurel chileno pertenece al grupo “picturatus” junto con *T. symmetrucus* del hemisferio norte y *T. picturatus* del Atl3ntico; es el grupo m3s evolucionado del g3nero *Trachurus* y que ha desarrollado un comportamiento ner3tico-oce3nico, lo que explica la amplia distribuci3n del jurel chileno hacia la Alta Mar y el desarrollo de su ciclo de historia natural en ambos sistemas (Serra, 1991).

El jurel es explotado en toda su distribuci3n. Existen pesquer3as en Ecuador, Per3, Chile, Alta Mar frente a Chile central por una flota internacional y en Nueva Zelanda por flotas locales.

Este recurso, que se ha constituido como una de las pesquer3as m3s importantes del mundo, registr3 desembarques m3ximos de 4,4 millones de toneladas en el a3o 1994, para disminuir a capturas en torno a los 1,2 millones de toneladas a partir del a3o 1998 como respuesta a regulaciones administrativas. Desde comienzos de la d3cada 2000, la distribuci3n espacial de la flota cerquera de Chile centro-sur realiz3 un significativo desplazamiento hacia aguas oce3nicas para alcanzar zonas de pesca m3s all3 de la ZEE de Chile, lo que se ha intensificado desde el a3o 2008, coincidiendo con flotas china y europea que operan en aguas internacionales frente a Chile central (Zhang *et al.*, 2008; Corten, 2008). Desde el a3o 2010 los desembarques de jurel se han mantenido por debajo de las 400 mil toneladas.

La problem3tica de la definici3n de la estructura gen3tica poblacional que presentaría esta especie en su distribuci3n en el Pac3fico Sur, ha sido abordada en diferentes estudios, existiendo disparidad en los resultados obtenidos con diferentes aproximaciones metodol3gicas.

La problemática de la estructura poblacional del jurel es un tema que, no obstante revisado en comités técnicos convocados por SUBPESCA, aún contiene un grado de controversia, que afecta el manejo de la pesquería nacional e internacional. En relación con la problemática de recurso transzonal y la operación de pesca de barcos de países distantes que operan frente a Chile, en la zona adyacente a la ZEE, el tema cobró nueva relevancia por su implicancia para el manejo pesquero por la Organización Regional de Ordenamiento Pesquero del Pacífico Sur (OROP-PS). Cabe anotar que durante la Segunda Reunión Internacional de la OROP-PS realizada en Hobart, Tasmania, en noviembre de 2006, el Grupo de Trabajo Científico recomendó la realización de un proyecto de investigación para abordar este problema. En la Tercera Reunión Internacional realizada a fines de abril en Reñaca, Chile, la delegación científica nacional entregó para discusión un documento, en el que destaca un enfoque multidisciplinario para abordar el problema, resalta aspectos relevantes a ser considerados en la ejecución de un proyecto regional y la experiencia en Chile sobre la materia debido a los numerosos trabajos realizados. Como resultado de esta presentación fuimos designados junto con Rusia para formular un estudio por los países que participan del proceso de negociación para la creación de la OROP, el que finalmente no prosperó y Chile a través del FIP tomó la iniciativa para abordar el problema. Es así que se identificó y se ejecutó el proyecto FIP 2010-27 “Estudio de migración de jurel en Chile (fase I), 2007”, el que entre sus objetivos se identificaba la determinación de unidades poblacionales de jurel en el Pacífico sur. Los resultados de este estudio concluyeron sobre la existencia de dos unidades de stock en el Pacífico sur oriental y que el jurel *T. murphyi* de Nueva Zelandia habría nacido frente a Chile. En este trabajo se recomendó realizar un segundo estudio a fin de evaluar la estabilidad de los marcadores y corroborar consecuentemente los resultados encontrados, lo que gatilló la realización del estudio que se informa.



El presente informe corresponde al informe final del proyecto y contiene los resultados de la investigaci3n realizada.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general

Determinar la estructura poblacional del jurel en el Pacífico sur.

Objetivos específicos

- Identificar las unidades de stock del jurel y sus probables límites.
- Identificar posibles patrones migratorios en el ciclo vital del jurel en su distribución en el Pacífico sur.
- Identificar posibles patrones migratorios estacionales del jurel en el Pacífico sur oriental.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se busca alcanzar el objetivo del proyecto por medio de un conjunto de métodos, lo que determina la aplicación de un enfoque holístico o multidisciplinario y que representa el enfoque moderno para abordar este problema de investigación. Es por tanto posible decir que la identificación de stocks es un campo multidisciplinario que comprende el reconocimiento de unidades autosustentables dentro de las poblaciones naturales (especies) y representa un tema central en la ciencia pesquera, por cuanto tiene incidencia directa en la eficacia del manejo pesquero.

El enfoque de este estudio ha sido recomendado por Waldman (1999) y Begg y Waldman (1999) y representa el enfoque moderno o actualizado para la identificación de stocks. Este enfoque fue aplicado en el proyecto HOMSIR (Horse Mackerel Stock Identification Research) para resolver el problema de la estructura poblacional del jurel *Trachurus trachurus* en toda su distribución en el Atlántico Noreste y Mar Mediterráneo y en el primer estudio sobre *Trachurus murphyi* (proyecto FIP 2007-27 “Estudio de migración de jurel en Chile (Fase 1), 2007”). Se considera hoy que este enfoque es más adecuado que el tradicional, que consiste en la aplicación independiente de alguno de los métodos. Sin embargo cuando los resultados de diferentes métodos son visualizados en el contexto del aspecto preciso que abordan y son combinados, es posible lograr un resultado derivado desde una perspectiva múltiple y por tanto más completa, que provee información más confiable sobre la identificación de la unidad biológica o unidad de stock. De acuerdo con Begg y Waldman (1999) el sobreponer todos los resultados de un conjunto de técnicas permite elaborar un patrón generalizado y definitivo de la estructura de stock en conformidad con las necesidades del manejo pesquero.

La identificaci3n de stocks es una materia compleja y justamente esto es lo que justifica el enfoque holístico o multidisciplinario. Cuando se detectan diferencias con cualquiera de las técnicas empleadas estas son verdaderas y deben ser explicadas. Por consiguiente, solo la heterogeneidad puede ser demostrada pero no la homogeneidad (Waldman, 1999) y por ello el enfoque holístico es el adecuado para la identificaci3n de stocks, especialmente en el caso del jurel por su complejidad. Entrega una comprensi3n más profunda y robusta de la estructura de stock en contraste con aplicaciones basadas en una sola técnica.

Consecuentemente, para alcanzar los objetivos de la investigaci3n se utilizaron marcadores genéticos, parásito fauna, morfometría de los otolitos y química de otolitos. Además se incluye un análisis de aspectos oceanográfico para facilitar la interpretaci3n de los resultados.

3.1 Muestreo

3.1.1 Obtenci3n de las muestras

Se planific3 obtener las muestras cubriendo toda la distribuci3n del jurel. En este estudio se identifica realizar dos eventos de muestreo: en abril-mayo y en octubre-noviembre del 2011. Estos períodos corresponden con los de alimentaci3n y de reproducci3n (principal) del jurel respectivamente. Es condici3n óptima que las muestras en las diferentes localidades se obtengan de la manera lo más simultánea posible, en especial durante el período reproductivo. El concentrar el muestreo durante el período reproductivo se justifica porque durante este proceso los individuos de un stock se segregan espacialmente en sus zonas de desove, lo que minimiza la probabilidad de mezcla de individuos de diferentes subpoblaciones o stocks. Por su parte durante el período de alimentaci3n los

individuoas se dispersan y por tanto se genera mayor probabilidad de mezcla lo que permite conocer aspectos relativos a su migración estacional.

Se propuso tomar las muestras de jurel en puertos de desembarque de la pesca comercial y en cruceros de investigación en la medida de lo posible. Para efecto de extender el muestreo hacia el oeste se consideró la colaboración de la flota europea, la que fue comprometida en la 9ª. Reunión del Grupo de Trabajo Científico realizado en Viña del Mar en octubre del 2010. Cabe decir que frente al Perú la mayor concentración del jurel ocurre en la franja costera, dentro de la ZEE, de manera similar que en el norte de Chile y no hay flotas extranjeras pescando fuera de ella.

Los lugares identificados para tomar las muestras son:

- Norte de Perú (de Pacasmayo al norte);
- Trujillo/Chimbote (se extendió hasta Callao);
- Parácas;
- Norte de Chile (Iquique);
- Coquimbo;
- Talcahuano costa;
- Talcahuano oceánico;
- Chiloé oceánico;
- Nueva Zelandia.

La razón para agrupar las localidades obtenidas en macrozonas (Perú, Chile y Nueva Zelandia) fue para tener un punto de comparación entre las diferentes temporadas.

El tamaño de muestra fijado por localidad (macrozonas) es de 100 ejemplares. Las muestras obtenidas fueron conservadas congeladas y almacenadas en cámaras frigoríficas hasta su procesamiento simultáneo en laboratorios pre-establecidos para la obtención de muestras de tejido, vísceras y branquias y otolitos. Cada ejemplar fue puesto en una bolsa plástica con una etiqueta con identificación del lugar y fecha de captura.

3.2 Marcadores genéticos

Los loci microsatélites han sido utilizados en una gran variedad de aplicaciones en el campo de la genética, tales como estudios de parentesco, de conservación y estudios de poblaciones. La popularidad de estos marcadores esta dada por características, dentro de las cuales podemos citar:

- a) pueden ser amplificados mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR, replicación *in vitro*);
- b) se comportan de acuerdo a las leyes de herencia mendeliana (presentan segregación independiente);
- c) son codominantes (pudiéndose diferenciar los individuos homocigotos de los heterocigotos) (DeWoody & Avise, 2000),
- d) al encontrarse, principalmente en regiones no codificantes (genes que no sintetizan proteínas) se les cataloga como marcadores selectivamente neutros (genes mutados no tienen ventajas selectivas en comparación con genes no mutados), salvo algunas excepciones y por último,
- e) presentan una elevada tasa de mutación, lo que conlleva a un elevado polimorfismo (la variación en el número de repeticiones es lo que constituyen los múltiples alelos) (Tautz, 1989).

Estos marcadores moleculares han sido ampliamente utilizados en estudios de diferenciaci3n gen3tica de organismos marinos (e.g. peces (Canales-Aguirre *et al.* 2010a), moluscos (Pressa *et al.* 2002) y crust3ceos (Cruz *et al.* 2002). Adem3s han mostrado ser una muy buena herramienta para especies que presentan alta vagilidad, es decir capacidad de moverse o dispersarse en un determinado ambiente, y que en estudios previos no se haya podido detectar diferencias gen3ticas.

En Chile el recurso jurel *Trachurus murphyi*, dada su importancia comercial a nivel nacional como internacional, ha sido objeto de varios estudios que han tenido como prop3sito determinar si en su distribuci3n esta especie presenta estructuraci3n gen3tica poblacional. En cuanto a los antecedentes gen3ticos de la especie se ha indicado que debido a su conducta migratoria no se ha podido detectar diferencias gen3ticas en su distribuci3n geogr3fica, esto basado en diferentes marcadores gen3ticos utilizados. De esta manera los antecedentes que encontramos son: Galleguillos y Torres (1988) analizando muestras de jurel provenientes desde Chilo3, Talcahuano, Juan Fern3ndez, Iquique, Per3 y muestras oce3nicas (39°24'S; 76°45'W) y utilizando loci enzim3ticos polim3rficos no se detectan diferencias significativas entre ellas. Posteriormente, utilizando nuevamente loci enzim3ticos (Arancibia *et al.* 1996) para muestras provenientes de Chile no se observan diferencias significativas, corroborando los resultados obtenidos en el estudio previo con loci enzim3ticos. Posteriormente y utilizando una marcador molecular que presenta una mayor cantidad de polimorfismo como lo es la t3cnica PCR RFLP se digiri3 en fragmento correspondiente al ITS2 (Internal Transcribed Spacer) con la enzima MspI. En este estudio por primera vez se incorporaron muestras del oc3ano Pac3fico sur occidental (Nueva Zelanda y Australia). El estudio nuevamente no detecta diferencias gen3ticas significativas entre las muestras analizadas, observ3ndose patrones de homogeneidad gen3tica en el 3rea de estudio para este marcador gen3tico (Sep3lveda *et al.* 1996). Posteriormente, con la finalidad de

utilizar una herramienta molecular que pudiese tener mayor información, Cárdenas *et al.* (2009) mediante ADN mitocondrial y nuclear (loci microsatélites heterólogos) ponen a prueba la hipótesis de homogeneidad genética en muestras provenientes del océano Pacífico sur oriental y océano Pacífico sur occidental. Los resultados encontrados dieron cuenta de un fragmento del ADN mitocondrial con muy baja variabilidad (en comparación con otros peces pelágicos) y loci microsatélites polimórficos, no obstante los resultados no dieron cuenta de diferencias genéticas entre las zonas analizadas. Posteriormente basado en un esfuerzo multidisciplinario en el proyecto FIP 2007-27 (Serra *et al.* 2010) se utilizaron loci microsatelites heterólogos (los utilizados por Cárdenas *et al.* 2009) y tres loci especie específicos descritos por Canales-Aguirre *et al.* (2010b). Estos marcadores fueron utilizados a lo largo de toda su distribución y no fueron determinantes para encontrar diferencias entre las diferentes zonas analizadas, corroborando los resultados encontrados en estudios anteriores. Todas estas investigaciones han sido realizadas en un solo periodo de muestreo, por otro lado si bien los loci microsatelites son buenos marcadores para determinar diferencias poblacionales la utilización de un bajo número de ellos podría no mostrar diferencias.

El presente estudio tiene como objetivo determinar unidades poblacionales de jurel en la ZEE de Chile y otras regiones del Pacífico Sur mediante marcadores y técnicas de diferenciación genética, específicamente loci microsatélites para muestras temporales (otoño y primavera-verano).

El muestreo se realizó en dos temporadas, 1) periodo de otoño y 2) periodo de primavera-verano (periodo reproductivo). Los individuos fueron muestreados a lo largo de su distribución en el hemisferio sur. Para el periodo de otoño, las localidades y sus respectivas nomenclaturas por macrozonas (en paréntesis) fueron: Pimentel (PePN), Chimbote y Ancon (PeTCH), Cañete, Tambo de moras y

Olleros (PePa) desde Per3, Iquique y Mejillones (ChNo), Coquimbo (ChCo), Talcahuano costa (ChThco), Chilo3 oce3nico (ChChoc) desde Chile y Nueva Zelandia (NZ). Para el periodo de primavera-verano, las localidades y sus respectivas nomenclaturas por zona (en par3ntesis) fueron: Chiclayo (PeTCH) desde Per3, Iquique (ChNo), Coquimbo (ChCo), Talcahuano costa (ChThco), Chilo3 costa (ChChco) desde Chile y Nueva Zelandia (NZ).

3.2.1 Extracci3n de ADN.

La obtenci3n del ADN gen3mico se realiz3 utilizando un protocolo basado en sales (Jowett, 1986), el cual se describe a continuaci3n: Se cort3 un tejido muscular de aproximadamente 100 mM, el cual se coloc3 en tubo Eppendorf® de 1.5 mL. Se agreg3 500 µL de buffer A (100 mM Tris-HCl pH 7.5; 100 mM EDTA; 100 mM NaCl; 0.5% SDS (p/v); pH 7.5) y se tritur3 el tejido con una tijera. Se agreg3 5 µL de proteinasa K (20 mg/mL) y se mezcl3 invirtiendo varias veces. Posteriormente se incub3 la reacci3n a 65 °C por 2 hrs, agitando las muestras cada 20 min. Una vez terminada la incubaci3n se agreg3 a cada tubo 570 µL de LiCl 6M m3s 230 µL de KAc 5M. Se incub3 en hielo por 20 min y luego se centrifug3 a 12000 g (aprox. 11000 rpm) por 15 min. Se transfiri3 900 µL del sobrenadante a un tubo nuevo de 1.5 mL, evitando transferir material particulado. Para precipitar los 3cidos nucleicos se agreg3 550 µL de Isopropanol fr3o (en hielo) y se agit3 energ3ticamente. Luego se centrifug3 a 12000 g (aprox. 11000 rpm) por 15 min y se desech3 por completo el sobrenadante. Se lav3 el pellet formado con 500 µL de etanol 70% fr3o (-20°C) por 2 a 3 min, centrifugando a 12000 g (aprox. 11000 rpm) por 10 min. Una vez finalizado este paso se desech3 por completo el sobrenadante. Por 3ltimo se sec3 el pellet a 37°C por 5 min m3ximo y se resuspendi3 el pellet en 100 µL de agua ultrapura. La calidad del ADN fue revisada en un gel de agarosa al 1% teñido con bromuro de etidio.

3.2.2 Amplificaci3n loci microsat3lites

Los loci microsat3lites utilizados fueron los descritos por Kasapidis y Magoulas, (2008) (Tt29, Tt62 y Tt133) y Canales-Aguirre *et al.* (2010b) (Tmur A101, Tmur A104, Tmur A115, Tmur B2, Tmur B6, TmurB104 y Tmur C4). Para los loci descritos por Kasapidis y Magoulas (2008) las condiciones se describen a continuaci3n: La PCR se realiz3 en un volumen final de 10 μ L, el cual, contuvo 20 ng de ADN templado, 1.5 mM de $MgCl_2$, 0.2 mM de dNTP's, 0.2 μ M de cada partidor y 0.1 U/ μ L de Taq ADN polimerasa (Invitrogen®). El primer "forward" de cada pareja fue marcado en su extremo 3' con un colorante fluorescente. Las amplificaciones de los loci fueron realizadas en un termociclador PTC-200 (MJ-Research®) con las siguientes condiciones: una temperatura de denaturaci3n inicial a 94°C por 5 min; seguido de 35 ciclos, temperatura de denaturaci3n 94°C por 30 seg, temperatura de hibridaci3n 58°C por 45 seg, temperatura de extensi3n a 72°C por 45 seg y una extensi3n final a 72°C por 5 min. Por otro lado, para los loci descritos por Canales-Aguirre *et al.* (2010b) las condiciones se describen a continuaci3n: la PCR se realiz3 en un volumen final de 10 μ L, el cual, contuvo 20 ng de ADN templado, 2 mM de $MgCl_2$, 0.2 mM de dNTP's, 0.2 μ M de cada partidor y 0.03 U/ μ L de Taq ADN polimerasa (Invitrogen®). Las amplificaciones de los loci fueron realizadas en un termociclador PTC-200 (MJ-Research®) con las siguientes condiciones: denaturaci3n inicial de 94°C por 3 min; seguido de 35 ciclos, denaturaci3n 94°C por 40 seg, temperatura de hibridaci3n a 57°C por 30 seg, temperatura de extensi3n a 72°C por 30 seg y una temperatura de extensi3n final a 72°C por 5 min. Las amplificaciones fueron visualizadas en geles de agarosa teñidas con bromuro de etidio. Los tamaños al3licos obtenidos a la fecha fueron visualizados en un analizador gen3tico ABI PRISM 3730 utilizando el m3todo de electroforesis capilar. La asignaci3n de los tamaños

alélicos obtenidos para cada locus se realizó en el programa PeakScanner v1.0 (AppliedBiosystem).

3.2.3 Análisis de datos

Parámetros de variabilidad genética

Se determinó la diversidad genética de la especie para cada locus analizado y localidades, mediante número de alelos (N_a), heterocigosidad observada (H_o) y heterocigosidad esperada (H_e) en el programa GENALEX v6 (Peakall y Smouse 2006). Por otro lado, se evaluó si las localidades muestreadas presentaban desviación significativas al equilibrio de Hardy y Weinberg (H&W) basado en un test exacto incorporado en el programa Arlequin 3.0 (Excoffier *et al.* 2005). El valor de probabilidad fue estimado mediante un test de permutaciones basado en 10000 réplicas. Los análisis de variabilidad genética se realizaron para cada set de datos, a) periodo otoño y b) periodo primavera-verano.

Estructuración poblacional espacial y temporal

Se determinó si las muestras de *T. murphyi* presentaban algún patrón de estructuración poblacional utilizando el índice de estructuración poblacional F_{st} , en donde valores cercanos a cero indican la ausencia de estructuración y valores cercanos a 1 indican una marcada diferenciación poblacional. Se estimó el índice F_{st} por pares de localidades en el programa Arlequin 3.0. El valor de probabilidad asociado a cada índice fue estimado mediante un test de permutaciones basado en 10000 réplicas. Por otro lado se realizó un análisis de varianza molecular (AMOVA) para testear diferentes hipótesis (agrupaciones espaciales) de diferenciación poblacional que han sido obtenidas mediante aproximaciones no

genéticas. Las hipótesis testeadas fueron: a) Panmixia (Homogeneidad genética entre sitios); b) Dos poblaciones, PSE y PSO (diferenciación por aislamiento por distancia); c) Diferencias poblacionales mediante diferentes aproximaciones (e.g. Serra (1991); George-Nascimento y Arancibia (1992), Hernández *et al.* (1998)). Finalmente se realizó un análisis AMOVA incorporando ambas bases de datos otoño y primavera-verano, con la finalidad de estimar si hay estructuración temporal en las muestras analizadas, tanto para el índice F_{st} como el R_{st} .

Análisis diferenciados: sexo y talla (cohortes)

No todos los individuos recolectados a lo largo de las diferentes temporadas (i.e. otoño y primavera-verano) fueron sexados, habiendo varias localidades de las cuales no se pudo contar con esta información. Por otro lado, para las tallas tuvimos un problema similar. La distribución de tallas entre localidades no es coincidente, por lo que mismas cohortes no están presentes en todas las localidades, no haciéndose comparables para el análisis. Aunque no se observa un efecto producto de la ausencia de esta información (ver discusión). El no contar con la información de todos los individuos, disminuiría el poder estadístico de los datos, así como reduciríamos el número de muestras al segregarlo, sesgando los resultados y posteriormente las conclusiones del estudio.

Análisis de clusters: GENELAND y STRUCTURE

El análisis de aproximación frecuentistas del F_{st} y R_{st} , no entregan evidencias en relación a estructuración estadísticamente significativamente entre las muestras catalogadas como “otoño” y “primavera-verano”. Considerando que el análisis de cluster tanto en Structure y Geneland se basan en la estimación del F_{st} , y la posterior aplicación del teorema de Bayes, los resultados de estos últimos sólo vendrían a

corroborar los del Fst y Rst, no aportando mayor información. Análisis más detallados se están preparando para la publicación de la presente investigación.

3.3 Parásito fauna

Desde el trabajo pionero de Herrington *et al* (1939), los parásitos han sido utilizados con éxito como marcas biológicas en estudios poblacionales, no sólo de peces marinos sino también en moluscos, crustáceos e incluso cetáceos (ver referencias en Oliva y Sánchez, 2005). Bajo una perspectiva eminentemente pesquera, los parásitos han demostrado su utilidad como marcas biológicas que han permitido entender no solo movimientos migratorios y estructura poblacional, sino también discriminar el hábitat ocupado por peces (Oliva *et al.* 2004).

Como ha sido indicado por MacKenzie y Abaunza (2005), los principios básicos que gobiernan el uso de parásitos (tanto metazoos como protista) como marcas biológicas indican que un pez se infecta con una especie particular de parásito sólo cuando el pez (huésped) está en el área endémica de tal especie de parásito. La asociación huésped-parásito implica la existencia de dos tipos de parásitos, aquellos altamente específicos que a su vez representan un sistema que ha co-evolucionado y parásitos generalistas, los que están fuertemente asociados con procesos ecológicos más que evolutivos. En el primer caso tenemos una asociación en un escenario evolutivo que dará importantes pistas acerca de la estructura poblacional; en el segundo caso se obtendrá información referida a movimientos migratorios (**Figura 2**). Otra aproximación implica que si peces infectados se encuentran fuera del área endémica del parásito, podremos inferir que ese pez ha estado en algún momento de su historia de vida en tal área endémica (MacKenzie y Abaunza, 2005). Esta aproximación exige conocer la extensión exacta de esa especie de parásito, un problema no fácil de resolver. En

todo caso, dos postulados zoogeogr3ficos refuerzan el uso de par3sitos como marcas biol3gicas: las primeras reglas biol3gicas de Ihering (1901) que indican que los animales acarrear a sus par3sitos durante sus migraciones, y los postulados de Noble y Noble (1982) que indican que cuando una poblaci3n se separa en dos o m3s grupos, entonces la fauna de par3sitos de cada nuevo grupo tender3 a una divergencia.



Figura 2. Modelo conceptual de la utilizaci3n de par3sitos como herramienta en la identificaci3n de movimientos migratorios y unidades de stock.

De cualquier modo, el uso de par3sitos como marcas biol3gicas requiere que se cumplan ciertos criterios bien descritos por Mackenzie y Abaunza (2005) y que se pueden resumir en:

- El par3sito debe ser com3n en una poblaci3n y raro o estar ausente en otra.
- Debe tener, preferentemente, un ciclo de vida directo, infectando un solo hu3sped en su ciclo vital.

- La infección debe ser de relativamente larga duración y cubrir al menos la escala de tiempo del estudio.
- La incidencia (prevalencia) de infección debe permanecer relativamente constante.
- Las condiciones ambientales a través de toda el área de estudio deben corresponder con los límites de tolerancia del parásito.
- No se deben considerar ectoparásitos que sean fácilmente desprendible o que no dejen evidencias de su presencia, ya que pueden perderse en la captura o durante la manipulación.
- El método de examen debe considerar un mínimo de disección y preferiblemente un alto nivel de especificidad por un hábitat definido.
- El parásito debe ser fácilmente detectable e identificable.
- El parásito no debe tener marcados efectos patológicos, ya que de lo contrario originará mortalidades selectivas o cambios conductuales en el huésped, afectando su valor como marcador.

Estos criterios son aceptados en su totalidad pero no es necesario que se cumplan de manera simultánea.

Un factor importante que se debe considerar en el uso de parásitos como herramienta en la identificación de stock, es la potencial variabilidad (o estabilidad) en escalas espaciales locales y temporales de los descriptores de los procesos infecciosos, tal como lo ha indicado Chavez *et al.* (2007).

Los parásitos han sido exitosamente utilizados en la identificación de la estructura poblacional en peces de importancia comercial de Chile, como la merluza

Merluccius gayi (George -Nascimento 1996, Oliva y Ball3n 2002), *Merluccius australis* (Gonzalez y Carvajal, 1994), el cascajo o cabrilla espa3ola *Sebastes capensis* (Oliva y Gonzalez, 2004), la anchoveta *Engraulis ringens* (Valdivia *et al.*, 2007), la merluza de cola *Macruronus magellanicus* (Oliva, 2001) y el jurel *Trachurus murphyi* (George Nascimento 2000; Aldana *et al.* 1995; Oliva 1999; Serra *et al.* 2010), entre otros.

Con relaci3n al jurel, la informaci3n referida a sus par3sitos metazoos se puede considerar como adecuada, habi3ndose registrado la presencia de no menos de 35 especies de metazoos (**Tabla 1**). Sin embargo, la aplicaci3n de esta informaci3n en estudios pesqueros puede resultar algo confusa y contradictoria, ya que los procedimientos anal3ticos utilizados por diversos autores no han seguido el mismo patr3n. Los trabajos m3s completos son los de Oliva (1999), George Nascimento (2000) y Serra *et al.* (2010). Estos estudios analizan la fauna de par3sitos metazoos del jurel a lo largo de las costas de Chile y Per3 (Oliva, 7 localidades: desde Paita – Per3 a Talcahuano), desde Iquique a Valdivia (6 localidades, George Nascimento 2000) y desde Per3 a Chile, adem3s de Nueva Zelanda con un total de 9 localidades (Serra *et al.* 2010).

La informaci3n aportada por Oliva (1999) sugiere fuertemente la existencia de dos stock bajo su acepci3n pesquera, (Centro - Norte del Per3 y un 3nico stock a lo largo de las costas de Chile) en base a An3lisis univariados. George Nascimento (2000) sugiere dos stock ecol3gicos en aguas Chilenas: un stock norte y un stock sur, basado en t3cnicas multivariadas. El concepto de stock ecol3gico utilizado por George-Nascimento (2000) refiere a stocks que pueden originarse como card3menes de larvas que derivan desde el oc3ano abierto hacia la costa, donde puede ocurrir fragmentaci3n, gener3ndose grupos de peces juveniles con una ontogenia divergente en t3rminos geogr3ficos, entonces estas diferencias

geogr3ficas explicarían las diferencias observadas en la abundancia relativa de parásitos. Sin embargo, esta definici3n no se corresponde con el stock en su acepci3n pesquera. Desafortunadamente, George Nascimento (2000) mezcla *a priori* localidades del norte y del sur, sin analizar un potencial gradiente latitudinal. Un re-análisis de los datos de Oliva (1999), basado en análisis multivariados usando no sólo parásitos como variable explicatoria sino también la talla del pez, demuestra que la discriminaci3n est3 significativamente soportada por la talla del pez más que por sus parásitos.

Por otro lado, la informaci3n aportada por Serra *et al.* (2010) sugiere que las muestras provenientes de la zona centro norte de Perú representan una unidad discreta, siendo aquellas provenientes de Chile un grupo discreto en el cual, procesos de migraci3n desde el norte al sur, son sugeridos por las tendencias latitudinales en prevalencia e intensidad de infecci3n, en particular de parásitos que se acumulan con la edad, como nematodos larvales.

Esta discrepancia requiere una re-evaluaci3n de la informaci3n parasitol3gica basada en nueva informaci3n que permita llenar los vacíos de informaci3n de Oliva (1999) y Serra *et al.*, (2010) específicamente incrementar el esfuerzo de muestreo entre Callao y Paita y obtener informaci3n adicional entre Callao y Arica, adem3s de considerar el potencial efecto generado por muestras obtenidas durante el perío do reproductivo (Serra *et al.*, 2010) y perío do de alimentaci3n. Este nuevo protocolo de muestreo debería incluir adem3s muestras de la fracci3n oceánica y de Nueva Zelanda, cubriendo el cintur3n oceánico y las costas de América hasta, idealmente, la latitud de Paita.

Tabla 1.

Parásitos metazoos registrados en el jurel en diversos estudios realizados en Chile y Perú. Se consideran sólo estudios cuantitativos (Oliva, 1994; Oliva, 1999; George-Nascimento, 2000, Serra *et al.* 2010).

Parásito	Estadio	Autor				
		Oliva 1994	Oliva 1999	George Nascimento 2000	Serra <i>et al.</i> 2010	Este estudio
CRUSTACEA						
<i>Ceratothoa gaudichaudii</i>	Adulto	X	X	X	X	X
<i>Rocinela</i> sp.	Adulto				X	
<i>Nerocila</i> sp.	Adulto					X
<i>Lernanthropinus trachuri</i>	Adulto	X	X	X	X	X
<i>Caligus bonito</i>	Adulto	X (*)				
MONOGENEA						
Axinidae gen sp.			X		X	X
<i>Heteraxinoides</i> sp.						X
<i>Pseudonthocotyloides</i> sp. (+)	Adulto		X			
<i>Cemocotyle aff. trachuri</i>	Adulto		X		X	
<i>Kuhnia scombri</i> (+)	Adulto		X			
DIGENEA						
Opecoelidae gen. sp.	Adulto	X	X	X		
Hemiuridae	Adulto		X			
<i>Copiatestes filiferum</i>	Adulto		X (***)		X	X
<i>Monascus</i> sp.						X
Digenea gen.sp.	Adulto					X
CESTODA						
<i>Scolex pleuronectis</i>	Larva	X	X			
<i>Nybelinia</i> sp.	Larva	X	X	X	X	X
<i>Tentacularia coryphaenae</i>	Larva	X	X			
Tetrahynchida	Larva			X		
Pseudophyllidea	Larva			X		
<i>Hepatoxylon trichuri</i>	Larva		X	X	X	X
<i>Eutetrahynchus</i> sp.	Larva		X		X	
Tetraphyllidea	Larva				X	
NEMATODA						
<i>Anisakis</i> II	Larva			X		
<i>Anisakis simplex</i>	Larva	X (**)	X	X	X	X
<i>Contracaecum</i> sp.	Larva			X	X	X
<i>Pseudoterranova</i> sp.	Larva			X	X	X

Continuación Tabla 1,

Parásito	Estadio	Autor				
		Oliva 1994	Oliva 1999	George Nascimento 2000	Serra <i>et al.</i> 2010	Este estudio
Anisakidae	Larva					X
ACANTOCEPHALA						
<i>Corynosoma australe</i>	Larva	X	X	X	X	X
<i>Bolbosoma</i> sp.				X		X
<i>Rhadinorhynchus trachuri</i>	Adulto		X	X	X	X
QND						X

(*) = Como *Caligus* sp., (**) = Como *Anisakis* sp.

(***) = Como *Syncoelium filiferum*,

(+) = Consideradas como especies accidentales.

QND = Quistes de naturaleza desconocida.

3.3.1 Metodología para el análisis de los parásitos

La toma de muestras para el examen de parásitos fue obtenida de los ejemplares de jurel colectados por localidad. Haciendo uso de las facilidades logísticas existentes de los laboratorios del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Universidad de Concepción (UDEC), Universidad de Antofagasta (UANOF), Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y Museo de Historia Natural Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú (MHN-UNMSM) se separaron las muestras según el siguiente protocolo:

- Identificación (numero correlativo para cada pez por cada localidad)
- medición (longitud a la horquilla, precisión 1 cm.).

- Lavado prolijo del cuerpo y cavidad bucal en un recipiente, filtrado del agua de lavado (filtro de 450 micras o menos) y fijación en alcohol (70°) del material filtrado el que fue almacenado en frascos individuales por cada pez y enviado al laboratorio de Parasitología Marina de la Facultad de Recursos del Mar- Universidad de Antofagasta.
- Disección de cada pez. Separación de branquias y lavado de las mismas según el procedimiento indicado en "b" para recuperar parásitos branquiales. Fijación y almacenamiento del material según indicado en "b". Retiro de órganos y tejidos: corazón, tracto digestivo, gónadas, tejido renal y mesenterios de la cavidad celomica. Este material fue adecuadamente fijado, preservado (alcohol 70°) y almacenado en frascos individuales, los que fueron enviados al laboratorio de Parasitología Marina de la Facultad de Recursos del Mar- Universidad de Antofagasta.
- Identificación y cuantificación de parásitos metazoos recolectados.
- Análisis estadísticos univariados
 - Análisis de varianza para evaluar si la talla media de peces, así como abundancia media e intensidad de infección (ambas variables transformadas a log n+1, dada la no normalidad de los datos) para cada especie de parásito, varían entre las muestras obtenidas desde las diferentes localidades consideradas. El mismo análisis se aplicará para determinar posibles variaciones temporales en los mismos parámetros, pero considerando aquellas muestras para las cuales se tiene información en ambos periodos de muestreo.
 - Análisis de tablas de contingencia para evaluar, a través del estadístico χ^2 , si la prevalencia de infección, para una misma especie de parásito, varía entre localidades. El mismo análisis se aplicó para

determinar posibles variaciones temporales en la prevalencia de infecci3n, pero considerando aquellas muestras para las cuales se tiene informaci3n en ambos periodos de muestreo.

- An3lisis de regresi3n para determinar posible asociaci3n entre la talla media de los peces por cada localidad y par3metros de infecci3n.
- An3lisis estadísticos multivariados para evaluar si la composici3n de las comunidades de par3sitos permite la identificaci3n de posibles unidades de stock.

Adicionalmente, se incorpora en el an3lisis la informaci3n original de Serra *et al.* (2010), que corresponden al per3odo de actividad reproductiva, la que permitir3 contrastar diferencias temporales, para una misma zona de pesca. Las zonas de pesca que se identifican con los d3gitos 11 luego del c3digo, corresponden a muestras obtenidas en este proyecto, durante el per3odo de reproducci3n y aquellas seguidas por los d3gitos 12 al per3odo de alimentaci3n.

Los par3metros de infecci3n utilizados en este informe corresponden a la **Prevalencia de Infecci3n (PI)**, que se define como el n3mero de peces infectados con una especie particular de par3sito dividido por el n3mero total de peces examinados, expresado como porcentaje; **Intensidad Media de Infecci3n (IM)**, que se define como el n3mero total de par3sitos de un tax3n en particular, dividido por el n3mero de peces infectados con ese tax3n en particular. Otro par3metro de uso com3n es la **Abundancia (A)**, que es el n3mero de individuos par3sitos de un tax3n particular, dividido por el n3mero total de peces estudiados (Bush *et al.* 1997). En todo caso, estos tres par3metros est3n relacionados seg3n:

$$A = IM * PI \quad (PI \text{ expresada como proporci3n})$$

Entonces, conociendo PI y otro de los restantes parámetros, es posible estimar el tercero. Cuando tanto la intensidad de infección como la prevalencia son bajas, entonces la abundancia tiende a 0. Por el contrario, cuando la prevalencia de infección tiende al 100% (todos los peces infectados) entonces tanto la abundancia como la intensidad tienden a un mismo valor, el que se hace idéntico cuando la prevalencia es 100%.

Los análisis estadísticos multivariados (análisis de correspondencia y análisis de discriminación) se realizaron sólo considerando aquellas especies con prevalencia de infección superior al 5% y utilizando el utilitario SYSTAT V.12 y siguen las recomendaciones de Zar (1996). Los análisis de asociación que incluyen prevalencia se realizaron sobre la transformación arco seno, ya que este parámetro corresponde a una proporción (Zar, 1996).

3.4 Morfometría de otolitos

La morfometría de los otolitos es un rasgo característico de una especie (Hecht and Appelbaum, 1982; Gaemers, 1984) y también específico de una población en algunos casos (Neilson *et al.*, 1985), puesto que variaciones en la forma de los otolitos puede revelar la presencia de diferentes stocks (Bird *et al.*, 1986; Campana and Casselman, 1993; Begg and Brown, 2000; Turan, 2000; Turan *et al.*, 2006 y Turan, 2006).

Las características morfométricas usadas como indicadores para identificar distintos stock se resumen en tres categorías: 1) Las tradicionales medidas lineales de una dimensión, atributos relativos al tamaño, como longitud y ancho del otolito (Begg and Brown, 2000; Bolles and Begg, 2000) y distancias entre puntos específicos del otolito (ejemplo, Turan, 2000 y 2006). Así también, se incluyen

medidas internas del otolito como la longitud del núcleo y ancho de las bandas hialinas e incrementos. 2) Comprende las medidas de tamaño en dos dimensiones como el área y perímetro (Campana and Casselman, 1993, Begg and Brown, 2000; Bolles and Begg, 2000) y diferentes índices de forma que incluyen la circularidad, rectangularidad, elipticidad, excentricidad, redondez y factores de forma (Pothin *et al.*, 2006). 3) La más reciente técnica morfológica analiza el contorno de la forma del otolito en dos dimensiones, por medio de transformadas de Fourier, elíptica de Fourier o transformadas de wavelets (Bird *et al.*, 1986; Smith, 1992; Campana and Casselman, 1993, Begg and Brown, 2000; Bergenius *et al.*, 2005; Parisi-Baradad *et al.*, 2005; Pothin *et al.*, 2006; Turan, 2006). Si con el análisis de Fourier se logra discriminar stock en forma estadísticamente significativa, este método provee también una ventaja como herramienta de monitoreo, particularmente para detectar niveles de mezcla en áreas pesqueras comunes.

3.4.1 Muestreo y selección de otolitos

Las muestras fueron obtenidas cubriendo la mayor parte de la distribución del jurel en el Pacífico Sur, en 19 puntos de muestreo que permitieron agrupar la información en 9 Localidades de origen, abarcando la costa de Perú y Chile, dos áreas oceánicas adyacentes frente al sur de Chile y Nueva Zelanda. El muestreo comprendió dos eventos, uno durante la época de alimentación del recurso, en otoño del 2011 (abril-junio), denominado “Periodo 1” y otro en época de reproducción primavera-verano (noviembre 2011 y enero del 2012), denominado “Periodo 2”. El número total de otolitos colectados fue de 1732, de los cuales 1033 corresponde al muestreo de otoño y 699 al de primavera-verano, de estos se seleccionaron 1041 otolitos para análisis morfométrico lineal y 1001 otolitos para los análisis de reconstrucción de contornos (**Tabla 2**)

El muestreo de otolitos consideró al menos los siguientes datos de cada ejemplar: longitud horquilla, peso, fecha de captura, zona de captura, y en algunos casos se registró el sexo y el estado de madurez. Los otolitos fueron almacenados en capsulas debidamente rotulados con un número de registro que permitió asociarlos con los datos biológicos del pez.

3.4.2 Procedimiento de Laboratorio

En el laboratorio los pares de otolitos sagitta de distintas localidades fueron lavados con agua destilada bajo microscopio estereoscópico, para eliminar restos de tejido y sangre, enseguida el otolito izquierdo fue separado del derecho en distintos envases. El otolito derecho fue empleado para el estudio de morfometría, en tanto que el izquierdo fue enviado al Center for Quantitative Fisheries Ecology de la Universidad de Old Dominion, para el análisis microquímico.

Cada otolito derecho fue fotografiado utilizando una cámara digital de alta resolución empotrada en un microscopio estereoscópico (aumento 10X y luz transmitida) conectado a un computador provisto del Software para análisis de imágenes Image-Pro Plus (*MediaCybernetics*). La digitalización de la imagen fue estandarizada asentando el otolito sobre una cápsula Petri, de fondo negro y aceite como líquido aclarador, con el lado cóncavo (cara externa) hacia arriba y el rostro dirigido hacia el frente.

Dos tipos de mediciones fueron realizadas sobre la imagen digitalizada del otolito. Primero se rescataron medidas lineales entre hitos ('landmark') demarcados sobre el otolito (**Figura 3**), que permiten caracterizar la forma y crecimiento de la estructura. La segunda medición corresponde a la digitalización del contorno del otolito, por medio de pares ordenados (x,y) de un sistema cartesiano. Ambas mediciones tienen como finalidad la descripción morfométrica del otolito.

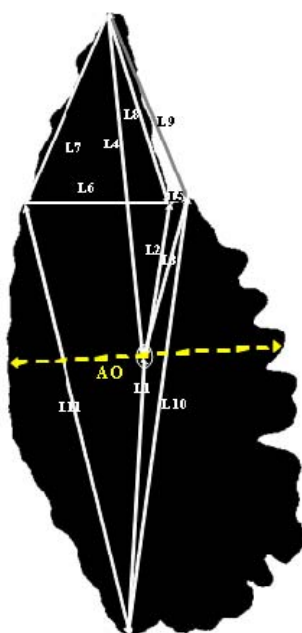


Figura 3. Medidas entre distintos puntos (landmark) del otolito sagitta derecho de jurel, registradas con el software Image-Pro Plus Otolito. Las medidas son descritas en el párrafo anterior.

Las medidas lineales o 'landmark' fueron tomadas en milímetros de acuerdo al aumento del microscopio estereoscópico. Para cada otolito se registraron mediciones básicas que describen la longitud (L_0), ancho (A_0), perímetro (P_0) y área (A_0). Como soporte para la descripción morfométrica lineal, y teniendo presente el posible crecimiento asimétrico del otolito a través de su ontogenia, se registró un conjunto de once medidas que correspondieron a las distancias entre los siguientes landmarks: L1) distancia foco-cauda ; L2) distancia foco antirostro; L3) distancia foco- incisura rostro; L4) distancia foco-rostro; L5) distancia antirostro –incisura rostro; L6) distancia antirostro – punto del borde ventral (corresponde al punto final de la línea que se proyecta desde la incisura del rostro); L7) distancia entre punto borde ventral – rostro; L8) distancia rostro – incisura rostro; L9) distancia del rostro al antirostro; L10) distancia antirostro – cauda y L11) distancia cauda – punto del borde ventral (**Figura 3**).

En el caso de la medición de contornos, cada otolito fue binarizado y se extrajeron entre 500 y 1500 pares ordenados (x,y) bajo un sistema de coordenadas cartesianas equidistantes. Cada cadena de pares ordenados fue almacenado y conectado a los descriptores como localidad, y periodo, etc. (**Tabla 2**).

Tabla 2

Número de otolitos analizados por zona, localidad de estudio y periodo de muestreo. Periodo 1 corresponde al muestreo de otoño y Periodo 2 al muestreo de primavera-verano. Se incluye el número de otolitos utilizados en el análisis de medidas lineales entre “landmarks” y elíptica de Fourier.

Zonas de Muestreo				Número de otolitos Analizados			
Latitud	Longitud	Localidad	Zona	Periodo 1		Periodo 2	
				Distancias	Fourier	Distancias	Fourier
07° 12' 00"	81° 17' 00"	PePN	Pimentel	56	55		
07° 42' 09"	79° 50' 00"		Chicaza			80	80
09° 08' 00"	80° 11' 00"	PeTCa	Chimbote	40	39		
11° 50' 00"	77° 30' 00"		Ancon	41	40		
13° 05' 00"	77° 19' 00"	PePa	Cañete	30	30		
13° 30' 00"	77° 12' 00"		Tambo	25			
14° 50' 00"	71° 21' 00"		Olleros	25	25		
20° 32' 00"	70° 40' 00"	ChNo	Iquique	43	44		
22° 10' 00"	70° 30' 00"		Tocopilla			50	51
22° 33' 00"	70° 36' 00"		Cobija			27	26
21° 19' 00"	70° 10' 00"		Mejillones	13	14		
29° 45' 24"	71° 20' 45"	ChCo	Coquimbo	77	79	80	80
32° 56' 00"	73° 59' 00"	ChThco	Con-con			25	25
35° 35' 00"	73° 45' 00"		Carranza			26	26
38° 10' 20"	73° 45' 00"		Talcahuano	78	78		
41° 58' 42"	72° 48' 48"		Bajo Chauchil			29	30
43° 40' 00"	79° 43' 00"	ChChoc_a	Chiloe Oceanico-a	80	80		
43° 10' 36"	82° 55' 24"	ChChoc_b	Chiloe Oceanico-b	78	80		
40° 00' 00"	173° 00' 00"	Nz	Nueva Zelanda	59	58	79	61
Total				645	622	396	379

3.4.3 Análisis estadístico de variables morfométricas

Las diferencias del tamaño del pez entre las distintas localidades fueron examinadas por análisis de varianza (ANOVA). Para eliminar el efecto del tamaño del pez (longitud horquilla) sobre las variables morfométricas, se estimó la relación alométrica entre las medidas morfométricas con la longitud del otolito como medida estándar de referencia. En el ajuste se empleó una ecuación potencial con los datos transformados a logaritmo para homogenizar la varianza residual. Cada una de las medidas originales (Y) fue transformada en una medida estandarizada (Z) de acuerdo a la siguiente ecuación (Lleonart *et al.*, 2000; Torres *et al.*, 2000):

$$Z = Y \left(\frac{X_0}{X} \right)^b$$

Donde:

- X = la variable o medida estándar de referencia para cada pez analizado.
- X_0 = el promedio de la longitud del otolito.
- B = la pendiente de la relación alométrica de cada variable con la variable de referencia.

Se aplicó el test de Mahalanobis para determinar la existencia de normalidad multivariada basado en el análisis del sesgo y la Kurtosis, además de un test de homogeneidad multivariada basado en las distancias euclidianas para establecer si se aplica realizar test de comparación de varianza paramétrica o no paramétrica.

Para el análisis estadístico de las medidas entre puntos del otolito (“landmarks”) se consideraron 12 variables. Se empleó el test no-paramétrico de Kruskal Wallis para

determinar la existencia de diferencias entre localidades. Posteriormente se aplic3 el an3lisis de componentes principales (ACP), sobre las medidas estandarizadas, para investigar el agrupamiento de las variables morfom3tricas en subgrupos similares e identificar las variables que contribuye a la diferenciaci3n entre zonas. Se analiz3 la relaci3n de las tres primeras componentes identificando los individuos de cada localidad, con el prop3sito establecer la existencia de grupos.

3.4.4 An3lisis morfom3trico de contornos de otolitos

Un total de 1001 otolitos, de los cuales 622 correspondieron al primer periodo y 379 al segundo fueron seleccionados para la construcci3n de descriptores El3pticos de Fourier.

El an3lisis el3ptico de Fourier consiste en la descripci3n de una curva cerrada, en este caso el contorno del otolito caracterizado por coordenadas (x,y) equidistantes, por medio de la sumatoria infinita de elipses con diferentes amplitudes y 3ngulos. El objetivo del an3lisis es la descripci3n del contorno del otolito utilizando el m3nimo n3mero de elipses.

Cada elipse del an3lisis de Fourier es llamado Descriptor el3ptico de Fourier (DF) o simplemente arm3nico, ya que su forma funcional es por medio de funciones senos y cosenos. Debido a que la forma descrita por los DF es sensible a la orientaci3n, tama3o y punto de partida de los pares ordenados (x,y), es necesario un proceso de normalizaci3n que en este caso fue realizado siguiendo las recomendaciones de Kuhl y Giardina (1982). El proceso de normalizaci3n soslaya el sesgo en los DF debido la correlaci3n con otras variables morfol3gicas como la longitud del pez.

Para la descripci3n de los contornos se utilizaron un total de 200 DF, los que fueron calculados para cada otolito de acuerdo al algoritmo descrito por Claude (2008) para el software R (R Developed Team 2010), y permiten reproducir aproximadamente un 99,99% de la varianza de los DF. Como se indic3 en la secci3n anterior, una descripci3n insesgada del contorno es alcanzado cuando el n3mero de DF tiende a infinito. Sin embargo, la característica del análisis de Fourier es que permite describir un alto porcentaje de la forma por medio un conjunto reducido de DF.

Posterior a la reconstrucci3n, los DF fueron utilizados en dos análisis multivariados orientados a clasificar y discriminar los diferentes contornos de otolitos para un conjunto de variables descriptoras (localidad y periodo, ver **Tabla 2**). Los análisis multivariados utilizaron los primeros 14 DF del conjunto de 200 DF utilizado en la reconstrucci3n. Este subconjunto fue seleccionado como el n3mero m3nimo de DF requerido para reconstruir con un 99% la explicaci3n de la media y varianza asociada a la construcci3n del contorno digitalizado.

Como primer análisis se implement3 un análisis multivariado de varianza (MANOVA), para explorar las diferencias entre las variables categ3ricas localidad y periodo. El objetivo es probar la hip3tesis de “no existencia de diferencias” en la forma del otolito entre variables categ3rica. Este análisis fue complementado por la construcci3n de los contornos promedios de los otolitos para diferentes combinaciones de las variables categ3ricas, los que fueron tambi3n explorados por MANOVA.

El segundo análisis implementado fue un m3todo de clasificaci3n lineal, cuyo prop3sito es utilizar los DF para predecir la clasificaci3n de las variables categ3ricas. Altos porcentajes de clasificaci3n permiten apoyar la separaci3n de

los contornos de los otolitos intra y/o inter variable categórica, y por el contrario, un bajo porcentaje de clasificación indica niveles de mezcla en los contornos de los otolitos entre o inter variables categórica. Además, este análisis posibilidad describir las diferencias entre categorías y la predicción de pertenencia a los grupos en función de ciertas características dadas por las variables independientes. Este análisis se realizó utilizando el software estadístico SPSS, que entrega la clasificación por medio de funciones cuadráticas, el porcentaje de varianza explicada por cada función, los autovalores y correlación canónica, junto con el test de Lambda de Wilks para estimar la significancia de cada función.

3.5 Química de otolitos

3.5.1 Antecedentes

Los modelos tradicionales de dinámica poblacional asumen frecuentemente poblaciones panmícticas, sin embargo los peces marinos pueden existir en agrupaciones estructuradas espacialmente conectadas entre si por migraciones. Desde esta perspectiva los procesos críticos en el modelamiento de la dinámica son la inmigración y emigración, como también natalidad y mortalidad. La inmigración puede permitir la persistencia de un grupo, incluso con un reclutamiento bajo o nulo y una alta mortalidad que lo llevaría a la extinción si estuviera aislado. Donde ocurre extinción la inmigración continua permite la recolonización del habitat. Sin embargo, donde la oferta de migrantes es interrumpida permanentemente los habitats permanecerán deshabitados. De este modo cambios en la conectividad pueden potencialmente destabilizar los grupos sobre los cuales depende la pesquería.

Sin embargo, las tasas de movimientos han probado ser difíciles de medir, haciendo el enfoque difícil de seguir.

El método de ablación por laser de los otolitos y la espectrometría de masa acoplada inductivamente (Laser-based Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometry (Laser-ICPMS)) ha sido aplicada con éxito en el Centro de Ecología Pesquera Cuantitativa (CEPC) de la Universidad de OldDominion de EEUU, para examinar la química de los otolitos de especies de bacalao (*Dissostichus eleginoides* y *D. mawsoni*) y el pez de hielo (*Chaenocephalus aceratus*) en los océanos del sur y peces estuarinos a lo largo de la costa este de EEUU. La química fijada en los incrementos del otolito por crecimiento refleja la composición del agua que pasa a través de las branquias y por tanto de las masas de agua en la cual el pez ha estado. Los incrementos de crecimiento también proporcionan el registro cronológico de la historia de vida del pez hasta su captura. Como resultado, la química del otolito puede servir como marcas naturales de la localización del pez en espacio y tiempo, lo cual ha sido usado para determinar la fidelidad con el sitio de nacimiento y las migraciones en peces jóvenes. Los investigadores del CEPC han encontrado diferencias significativas en esta química entre regiones y entre masas de agua alrededor del océano del sur y evidencia de estabilidad temporal dentro de regiones. Más aún, cambios en la química fijada dentro de los otolitos sugiere fuertemente la existencia de movimientos entre masas de agua.

En la primera fase del proyecto (FIP 2007-18) para examinar la estructura poblacional del jurel (*Trachurus murphyi*), usamos Laser-ICPMS para testar dos hipótesis rivales previamente identificadas en la Organización Regional de Ordenamiento Pesquero del Pacífico SUR (OROPPS) (Anónimo, 2008):

- a) Una sola población en el Pacífico Sur Oriental con un área principal de desove en aguas oceánicas frente a Chile central, y
- b) varias poblaciones (stocks) discretas frente a Perú, Chile y Nueva Zelanda.

Si la hipótesis de una sola población fuese cierta, todos los peces deberían mostrar similitud en la química del núcleo, fijada en sus estadíos tempranos de vida. Alternativamente, poblaciones desovantes discretas geográficamente, deberían mostrar las correspondientes diferencias en la química del núcleo. Pero la química fijada en el núcleo del otolito muestra gran heterogeneidad espacial, descartando la existencia de una sola población que se mezcla aleatoriamente. La química del núcleo tampoco muestra evidencia de límites poblacionales no obstante hubo considerable heterogeneidad en la química fijada en el borde antes de la captura en Perú, Chile y Nueva Zelanda.

En cambio los resultados sugieren una poblacional espacialmente compleja estructurada por el giro del Pacífico sur y definida por sobrevivencia y conectividad inducida por el ambiente. De este modo, el desove disperso resulta en sobrevivencia en áreas donde las condiciones del océano son favorables, conduciendo a grupos subyacentes reclutados del norte de Chile, norte del Perú, como también de aguas oceánicas frente a Chile central. Importante mezcla entre estos grupos genera heterogeneidad, sin embargo pueden tener coherencia espacial y temporal suficiente para ser considerados sub-poblaciones separadas. Consistente con esta hipótesis, la química del núcleo sugiere que:

- a) los peces capturados en Nueva Zelanda pueden tener origen en Sudamérica,
- b) la zona de desove frente a Chile central puede abastecer las pesquerías del Pacífico sur; y
- c) el desove en el norte de Chile puede ser una fuente importante de los peces capturados localmente y en Perú, pero el norte del Perú no abastece las pesquerías de Chile y Nueva Zelanda.

En este segundo proyecto, en la medida de las posibilidades logísticas, se obtuvieron muestras esencialmente de las mismas zonas que en la primera fase (FIP 2007-27), para testar estas nuevas hipótesis y examinar la historia de vida y migraciones estacionales del jurel a lo largo de Sudamérica y a través del océano Pacífico. Con el laser-ICPMS de alta resolución evaluamos la consistencia temporal de la química de los otolitos fijada en los diferentes ambientes, muestreando en el borde del otolito que corresponde con la fecha y lugar de captura conocidos. Se comparan las áreas a través de años y estaciones para caracterizar las diferencias espaciales que la técnica permite detectar. A continuación se evalúa la consistencia temporal en la estructura poblacional midiendo la química del núcleo del otolito que registra el ambiente que el jurel habitó en sus estadios tempranos de vida. Comparando a través de años las áreas muestreadas, se examina si la estructura poblacional detectada en el primer proyecto es estable en el tiempo y si la contribución de los jureles desovantes de cada grupo subyacente se mantiene espacialmente consistente. Al comparar las áreas muestreadas a través de las estaciones se examina la manera como la migración estacional afecta la estructura de estos grupos espaciales.

3.5.2 Química del otolito para testar la estructura poblacional y la conectividad.

La hipótesis de una población compleja estructurada espacialmente por el giro del Pacífico sur implica que los peces que siguen un ciclo de vida en aguas oceánicas y costeras frente a centro sur de Chile y aquellos del norte de Chile y de Perú, son caracterizados por historias de vida separada en los estados tempranos, centrados respectivamente en las zonas de desove cercanas al giro del Pacífico sur, con áreas de auto-reclutamiento de Coquimbo al norte y frente al Perú. Sin embargo,

una importante conectividad entre áreas resulta en altas tasas de mezcla y considerable intercambio de las historias de vida recorridas en cada área.

La química del otolito toma ventaja de la heterogeneidad ambiental generada por forzamientos físicos. En los océanos del sur, la química de otolitos ha diferenciado con éxito peces expuestos a: Agua Intermedia Antártica y Agua Profunda Circumpolar (Ashford *et al.* 2005, Ashford and Jones 2007); Agua Antártica de Fondo, Agua Profunda Circumpolar y aguas costeras en el Mar de Ross (Ashford *et al.* 2012a); zonas frontales en la ACC separadas por los frentes Subantárticos y Polar (Ashford *et al.* 2007); y diferentes mezclas de Agua Circumpolar Profunda (Ashford *et al.* 2010) a lo largo del sistemas de plataformas de la Península Antártica y las Georgias del Sur. Peces de una población sencilla, expuestas al mismo ambiente durante su vida temprana depositan la misma química en los núcleos de los otolitos. Los peces continúan acarreando su misma química del núcleo incluso después de una posterior dispersión a diferentes ambientes, proporcionando una marca natural que puede ser usada para testar hipótesis poblacionales. En la Antártica la química del núcleo ha detectado con éxito límites poblacionales conocidos (Ashford *et al.* 2006; Ashford and Jones 2007), ha sido usado para testar hipótesis poblacionales (Ashford *et al.* 2010, Ashford *et al.* 2012a), examinar la estructuración poblacional por la circulación de gran escala (Ashford *et al.* 2008), y aclarar las interacciones entre la hidrografía y la historia de vida que estructura agrupaciones mezcladas de bacalao juvenil (*Dissostichus eleginoides*) sobre la plataforma patagónica (Ashford *et al.* 2012b).

En sistemas oceánicos como el Pacífico sur, la dispersión ocurre frecuentemente durante la vida temprana; advechados por corrientes en la circulación de gran escala, peces juveniles con historia de vida similar registrada en distribuciones en su química del núcleo son no obstante distribuidos a través de una diversidad de

ambientes y pueden mezclarse con otros peces con diferente química del núcleo que reflejan su origen. Movimientos posteriores en estados mayores conducen a una serie de resultados potenciales reflejados en la química del núcleo. Así, una población sencilla que se mezcla aleatoriamente va a tener una historia de vida temprana común y una distribución espacial homogénea en la química del núcleo; auto-reclutamientos locales en poblaciones que son discretas van a mostrar heterogeneidad entre áreas en su química del núcleo, pero no dentro de ellas, reflejando exposición de los grupos de larvas a diferentes condiciones ambientales. Alternativamente, migrantes de agrupaciones larvales de un área transportados a otra van a mostrar su misma química en el núcleo de aquellas que quedaron atrás; si estos migrantes se mezclan con los peces reclutados localmente, la química del núcleo en estados mayores va a mostrar heterogeneidad espacial en tanto las proporciones de mezcla cambian en tiempo y espacio. En sistemas estables o donde la fidelidad con los lugares son importantes, estas proporciones pueden mostrar poca variación, pero donde la migración o los forzantes físicos conduzcan cambios en corta escala de tiempo, se espera que estas proporciones fluctúen y la heterogeneidad espacial en la química del núcleo sea más variable en el tiempo.

Durante nuestro trabajo previo demostramos que la química del núcleo puede registrar importante heterogeneidad ambiental en el jurel en escalas oceánicas, con diferencias significativas entre zonas oceánicas que reflejan distribuciones de agua antártica superficial (AASW) y agua superficial subtropical (STSW). También se encontró heterogeneidad entre las áreas de muestreo en Nueva Zelandia, zonas oceánica y costeras frente a Sudamérica y en la escala regional entre el norte del Perú, norte de Chile y sur del Perú y centro sur de Chile. No se encontraron evidencias en la química del núcleo sobre límites poblacionales entre Nueva Zelandia, Perú y Chile. No obstante, la gran heterogeneidad espacial refuta

la hipótesis de una población sencilla que se mezcla aleatoriamente y sugiere en cambio de considerable mezcla entre varios grupos subyacentes. En este proyecto testamos estas hipótesis y examinamos la estabilidad de la heterogeneidad espacial encontrada en escalas estacionales, que reflejan tasas de movimiento entre estaciones reproductivas y de alimentación; y en escalas interanuales que reflejen fidelidad espacial y estructuración de movimientos por el ambiente físico.

3.5.3 Interrogantes de investigación para el proyecto actual

- a) ¿Se organiza el jurel chileno en estructuras poblacionales espacialmente complejas caracterizadas por mezcla entre grupos subyacentes que se reclutan de aguas frente al norte de Chile, Perú y aguas oceánicas frente a Chile centro sur?
- b) ¿Es la estructura espacial del jurel estable sobre escalas de tiempo anual y estacional?
- c) ¿Como la historia de vida y las migraciones anuales dan forma a estas estructuras, particularmente a lo largo de la costa oeste de Sudamérica?

Objetivos del proyecto

Los objetivos de investigación identificados son:

- a) Examinar si la química fijada en los otolitos y la escla espacial en la cual varía es estable entre años y estaciones.
- b) Testar las hipótesis de i) una población sencilla en el Pacífico sur y ii) poblaciones discretas frente a Perú, Chile y Nueva Zelanda, contra la nueva hipótesis de iii) estructurada por el giro del Pacífico sur con tres grupos subyacentes centrados cerca del centro del giro, la plataforma del norte de Chile y el norte del Perú.

- c) Examinar el efecto de la historia de vida y los movimientos estacionales que apoyan o sostienen la conectividad, especialmente entre el sur y norte de Chile y Perú.

Diseño de experimentos

Para testar la hipótesis de auto-reclutamientos locales versus la conectividad, medimos la química fijada en el núcleo del otolito durante la vida temprana en áreas muestreadas en las zonas oceánicas y costeras del sur de Chile y a lo largo de la costa del norte de Chile y de Perú durante el período de alimentación del 2011 y reproductivo a comienzos del 2012. Auto-reclutamientos locales predicen que los peces van a mostrar heterogeneidad entre áreas en su química del núcleo, pero no dentro de ellas, reflejando la exposición de agrupaciones larvales a diferentes condiciones ambientales. Alternativamente, migrantes de agrupaciones larvales de un área transportados a otra área van a mostrar la misma química en el núcleo de los otolitos que aquellos dejados atrás; si estos migrantes se mezclan con los peces reclutados localmente, la química del núcleo de los estados mayores va a mostrar heterogeneidad espacial en la medida que las proporciones cambian en tiempo y espacio. Como la homogeneidad puede simplemente reflejar similitud ambiental, para este caso de regímenes oceanográficos similar en área oceánicas y costeras del oeste de Sudamérica, caracterizada por la presencia de agua subtropical, testamos también por diferencias entre áreas muestreadas midiendo la química fijada justo antes de la captura en el borde del otolito.

Para esta situación y basado en las muestras obtenidas se construyó el siguiente diseño:

Estaci3n reproductiva

Para procesamiento se consideraron seis muestras para cada tratamiento de 58 peces cada uno, formado por tres 3reas del sur de Chile y tres correspondientes al norte de Chile y Per3, con dos tratamientos de control de 48 peces cada uno, que da un total de 444 muestras. Se incluyeron 29 peces de Cobija en el campo muestral de Tocopilla para hacer un tratamiento de 58 peces. Los otros cinco tratamientos consistían de 58 peces seleccionados al azar de cada una de las cinco otras 3reas. Para el tratamiento de control se usaron 48 peces de la muestra obtenida en Caldera durante el estudio anterior (FIP 2007-27) y tambi3n de Talcahuano costa para sobre ellos construir comparaciones entre a3os. El an3lisis ICPMS consisti3 de 48 portaobjetos con un otolito seleccionado al azar de cada uno de los seis muestras para cada tratamiento y dos tratamientos de control, produciendo un dise3o completamente balanceado. Las muestras fueron completamente aleatorizadas como lo indica el protocolo. Para complementar el tama3o muestral para los tratamientos se analizaron otras diez placas con otolitos de s3lo los seis tratamientos.

Estaci3n de alimentaci3n.

Se consideraron diez muestras para cada tratamiento de 40 peces cada uno; formados por cuatro de Per3, dos del norte de Chile, tres del sur de Chile y uno de Nueva Zelanda; con dos tratamientos de control de 40 peces cada uno, que da un total de 480 muestras a procesar. Para las dos muestras de terreno de Chilo3, aproximadamente el mismo n3mero de peces fueron seleccionados. Para el control se usaron las muestras tomadas en el estudio anterior de las zonas Chilo3 oce3nico e Iquique. El an3lisis de ICPMS consisti3 de 40 portaobjetos con un otolito seleccionado al azar de cada una de las diez muestras para cada

tratamiento y dos tratamientos de control, produciendo un diseño completamente balanceado. Completa aleatorización fue asumida como lo indica el protocolo.

3.5.4 Procedimiento de análisis de los otolitos

Los otolitos obtenidos fueron lavados en agua destilada, limpiados, secados y guardados en capsulas plásticas. Un otolito del par fue enviado por IFOP al Centro Cuantitativo de Ecología Pesquera de la Universidad de OldDominion en dos tandas; una después de la estación de alimentación y la otra del reproductivo. Los otolitos usados para el análisis de elementos trazas fueron submuestreados al azar de las colecciones obtenidas para cada lugar de acuerdo con el diseño de experimento.

La preparación de los otolitos para el análisis de los elementos trazas fue descrito en Ashford *et al.* (2011) y el mismo procedimiento fue seguido, excepto que esta vez los otolitos fueron aleatorizados al comienzo de la fase de preparación, para evitar que cualquier efecto de preparación influyera los resultados. Después los otolitos fueron lavados con agua Milli-Q, puestos en peróxido de hidrógeno Ultra-Puro al 20% por cinco minutos, enjuagados nuevamente en agua Milli-Q para remover cualquier contaminación. Para producir secciones transversales gruesas, fueron cortados desde el extremo anterior usando una sierra de cortar de un equipo HillQuist Thin Section para dar una superficie transversal anterior al núcleo. Los otolitos fueron montados sobre esta superficie en un portaobjetos usando *crystalbond*, que fue probado anteriormente para asegurarse que no fuera una fuente de contaminación, y seccionados desde el lado posterior para revelar un plano transversal a través del núcleo del otolito. La superficie de la sección gruesa montada que se originó fue seccionada finamente y pulida con un equipo Crystalmaster 8. En una sala limpia Class 100, las secciones fueron lavadas con agua Milli-Q bajo una campana de flujo laminar y pulidas finamente a mano usando pinzas plásticas limpias y película de pulir

de laboratorio Mark V. Cada otolito fue limpiado sucesivamente con tres piezas de película limpia 3M, acabado con película 0,3M, lavadas, y la superficie fue empapada con peróxido de hidrógeno Ultra-Pure al 20% por cinco minutos antes de ser lavada una vez más. Después del secado, las secciones de cada tratamiento fueron elegidas al azar, sacadas del portaobjetos y montadas en orden aleatorio sobre portaobjetos petrográficos limpios bajo una campana de flujo laminar usando *crystalbond*. Las secciones montadas se lavaron, fueron insonificadas por cinco minutos, se volvieron a lavar, todo con agua Milli-Q, y se pusieron a secar.

Se usó ICPMS de campo-sector de doble-enfoque Finnegan Mat Element 2 ubicado en el Laboratorio de Investigación de Isótopos y Elementos Traza (Laboratory for Isotope and Trace Element Research, LITER) del instituto oceanográfico Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) para examinar la química menor y de elementos traza de los otolitos. Las muestras fueron introducidas en secuencia automatizada (Chen *et al.*, 2000) utilizando un sistema de ablación láser y un nebulizador de microflujo. El material otolítico ablacionado de la celda de la muestra fue mezclado en la cámara de “spray” con aerosol de 1% HNO_3 introducido por el nebulizador y la mezcla fue después transportada a la antorcha del ICP. Para el control de calidad, se usó material de referencia de otolito disuelto obtenido del National Research Council de Canadá, que fue introducido de la misma forma a la cámara de spray por medio del nebulizador como aerosol antes de ser transportado a la antorcha del ICP. Los testigos (blancos) de aerosol de 1% HNO_3 fueron introducidos a la cámara por medio del nebulizador.

Para controlar la variabilidad operacional en el Láser-ICPMS, se usó un diseño de bloques al azar con cada portaobjeto petrográfico como factor de bloque, considerando que fue seleccionado aleatoriamente y con cada área de muestreo considerada como tratamiento fijo. Las lecturas de la tasa de conteo

(conteos/segundo) de los blancos y los est3ndares se obtuvieron antes y despu3s de la presentaci3n al azar de las secciones de otolitos en cada bloque y cada tres o cuatro otolitos dentro de cada bloque. Debido a que la celda muestral de la m3quina UP193 era mayor que la de la UP213 usada en el estudio anterior, varias placas fueron introducidas despu3s de procesar individualmente las placas 41-57. Para la estaci3n reproductiva las placas 58-87 fueron analizadas en una secuencia continua de tres placas, las placas 88-93 en una secuencia continua de dos placas. Para la estaci3n de alimentaci3n todas las placas fueron analizadas en secuencia continua con la excepci3n de los ensayos.

Los otolitos fueron analizados para ^{48}Ca , ^{25}Mg , ^{55}Mn , ^{88}Sr y ^{138}Ba , y fueron reportados en su raz3n con ^{48}Ca . Para calcular la raz3n de Ca (Me/Ca) las ablaciones de referencia se restaron de las ablaciones de los otolitos por interpolaci3n entre las lecturas de referencia dentro de cada secuencia y las ablaciones (conteos) de otolitos corregidos fueron convertidos a concentraciones $\text{Me}\cdot\text{Ca}^{-1}$ usando las lecturas de referencia (Me es un s3mbolo general y representa cualquier elemento). Para determinar emp3ricamente como la qu3mica del otolito var3a espacialmente, se muestre3 material fijado en el tiempo antes de la captura coloc3ndo un raster a lo largo del borde pr3ximo-dorsal del otolito. Se us3 un haz l3ser de 20 μm de di3metro, 10 Hz de frecuencia y 60 % de potencia, que se desplazaba aproximadamente 900 μm a lo largo del borde a 6 $\mu\text{m s}^{-1}$ y que produjo cr3ter de ancho promedio previsto de 17 μm y con una profundidad aproximada de 100 μm (Jones & Chen 2003, ecuaci3n 3). Para testar la heterogeneidad poblacional se muestre3 el material establecido durante los primeros estadios del ciclo de vida. Se ubic3 una grilla de raster de 150 $\mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ sobre el n3cleo dentro de la primera zona transparente para incluir el primordio y el material que lo rodea y se us3 el mismo arreglo.

3.5.5 M3todos estad3sticos

El an3lisis de los datos fue realizado de manera separada para los otolitos muestreados durante el per3odo de alimentaci3n y de reproducci3n. Para los datos del borde y del n3cleo fueron identificados datos escapados multivariados graficando los residuos de la distancia de Mahalanobis al cuadrado (D^2_i) contra los correspondientes cuantiles (Q-Q plot) de la distribuci3n de chi-cuadrado (Khattree and Naik, 1999). Sobre la base de tests usando la medici3n de sesgo y curtosis de Mardia ($\alpha = 0.05$), y Q-Q plots de la distancia de Mahalanobis al cuadrado (D^2_i), tanto los datos del borde como del n3cleo concuerdan con normalidad multivariada. Las matrices de varianza-covarianza no eran iguales de acuerdo con la modificaci3n de Bartlett ($\alpha = 0.1$). Sin embargo la transformaci3n de potencia univariada (e.g., Kuehl 1994 page 121, Ashford *et al.* 2007) estabiliza la varianza (F_{max} test, $\alpha = 0.05$). Para la estaci3n de alimentaci3n los datos transformados concuerdan con normalidad multivariada con igual matrices de varianza-covarianza tanto para el borde como el n3cleo, permitiendo an3lisis multivariado. Para la estaci3n de desove los an3lisis multivariados fueron solo posibles para los datos del n3cleo. Las transformaciones seleccionadas fueron:

	Per3odo de alimentaci3n		Per3odo reproductivo	
	Borde	N3cleo	Borde	N3cleo
Mg·Ca ⁻¹	$y^{-0.3}$	$y^{-0.5}$	$y^{-0.3}$	$y^{-0.04}$
Sr·Ca ⁻¹ y ^{0.6}	$y^{-2.4}$		$y^{-0.7}$	y^{-1}
Ba·Ca ⁻¹	$y^{0.1}$	$y^{-0.5}$	$y^{0.1}$	$y^{-0.8}$

El an3lisis de datos se restringi3 a aquellas placas con un n3mero completo de muestras para cada tratamiento y que corresponde con un dise1o en bloque balanceado completamente aleatorizado. Para la estaci3n de alimentaci3n se dej3

fuera un portaobjeto (portaobjeto 4) debido a que el $Mg.Ca^{-1}$ fue negativo de manera constante debido a una lectura anómala del estándar; tres datos escapados fueron eliminados de los datos del borde ($n=347$) y cinco de los datos del núcleo ($n=345$). De la estación reproductiva el portaobjeto 47 de los datos del borde fue eliminado debido a que los datos de $Mg.Ca^{-1}$ estaban claramente comprometidos. De los datos del borde cinco datos escapados fueron eliminados ($n=362$) y cinco del núcleo ($n=372$). Tratamientos de control fueron incluidos en los análisis presentados de la estación de desove pero no en la de alimentación. Debido a que toda la selección de otolitos y su colocación sobre los portaobjetos fue completamente aleatoria, la reducción del tamaño de muestra y remoción del tratamiento de control no tiene un efecto de sesgo.

Puesto que los datos satisfacen los supuestos multivariados se usó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) para testar:

- a) los datos del borde para la heterogeneidad ambiental entre el sur de Chile, norte de Chile y Perú; y
- b) los datos del núcleo para la heterogeneidad espacial, en especial entre el sur de Chile, norte de Chile y Perú;

Para hacer esto se construyeron contrastes entre las áreas muestreadas frente al sur de Chile

- Estación de alimentación: Talcahuano Costa, Chiloe Oceanico 1 and Chiloe Oceanico 2; estación reproductiva: Con-Con, Carranza, Bajo Chauchil) y frentes al norte de Chile y Perú.
- Estación de alimentación: Coquimbo, Mejillones, Olleros; estación reproductiva: Coquimbo, Tocopilla, Chicaza.

Se usaron modelos univariados de rangos múltiples Student-Newman-Keuls (SNK) para comparaciones pareadas y en arreglos ordenados de todas las medias de tratamiento basadas en tasas de error por experimento, para testar por heterogeneidad dentro de las regiones y examinar la influencia de cada razón Me.Ca^{-1} . Debido a que los valores de Mn.Ca^{-1} fueron menores que los límites de detección y no mostraron diferencias, no fueron incluidos en los análisis. Para el análisis del borde se incluyó el tamaño del jurel como co-variable para protección de efectos ontogénicos y considerando el tamaño como proxy de edad. Puesto que las razones de varianza-covarianza eran iguales se calcularon las variables discriminante canónicas para ilustrar gráficamente la heterogeneidad ambiental y poblacional entre áreas (Khattree and Naik 2000). Porque nuestro interés no era ubicar muestras de procedencia desconocida a áreas o poblaciones representadas en la muestra original, no usamos análisis de discriminante para examinar el éxito de clasificación.

Puesto que la química del borde no cumplía los supuestos multivariados durante la estación de reproducción usamos análisis univariado para cada comparación, dentro de una familia de cuatro comparaciones y ajustamos para el nivel experimental α . Los datos cumplieron el supuesto de homogeneidad de la varianza (F_{\max} ; $\alpha = 0.01$) para todas las razones de Me.Ca^{-1} . Las distribuciones de Mg.Ca^{-1} fueron normales para todas las áreas muestreadas (Kolmogorov-Smirnov > 0.05). Similarmente el Sr.Ca^{-1} excepto para Coquimbo (Kolmogorov-Smirnov = 0.03). El Ba.Ca^{-1} se aparta de la normalidad para Tocopilla, Con-Con y Bajo Chauchil (Kolmogorov-Smirnov < 0.01). Sin embargo, el ANOVA es robusto para divergencias debido a curtosis y sólo Con-Con muestra demasiada asimetría. Debido a que las matrices de varianza-covarianza no eran iguales no se pudo usar análisis discriminante canónico y en vez se usó escalamiento multidimensional no-métrico (nMDS) (Kruskal & Wish, 1978; Schiffman *et al.*, 1981) para ilustrar

gráficamente las diferencias encontradas. Porque las variables tenían diferentes magnitudes absolutas y rangos, fueron estandarizadas a la misma escala. Para construir una matriz de disimilitud basada en distancias Euclidianas se crearon proyecciones bi-dimensionales de distancia entre individuos usando el criterio de convergencia de stress < 0.01 .

Puesto que heterogeneidad espacial también puede existir cuando los peces aunque desoven separadamente, se dispersen después y se mezclen en diferentes proporciones entre las áreas muestreadas, se empleó el análisis de conglomerados para explorar los datos por mezcla entre las áreas muestreadas usando el enfoque jerárquico de varianza mínima de Ward sobre los datos multivariados, evitando el efecto debido a las diferentes concentraciones entre las razones de los elementos, estandarizándolos a la misma escala. Para determinar la calidad de los clusters se usó la raíz de la desviación cuadrática media (RMSSTD), R cuadrado semi-parcial (SPRSQ), R-cuadrado (RSQ) y suma de cuadrados entre agregaciones (BSS) para medir la pérdida de homogeneidad a través de las sucesivas uniones de clusters. El número apropiado de clusters fue tomado como el bajo el cual las mediciones comienzan a cambiar de manera marcada (Khattree and Naik 2000).

3.6 Marco oceanográfico

Los objetivos del marco oceanográfico son:

- a) Analizar discontinuidades oceanográficas meridionales y zonales a lo largo de la costa de Perú y Chile mediante gradientes oceanográficos de temperatura, salinidad y densidad.

- b) Analizar la variabilidad estacional e interanual de las corrientes superficiales en el Pacífico Sur-oriental (corriente de deriva del oeste y las corrientes a lo largo de la costa de Chile y Perú), con enfoque a las corrientes que favorecen el transporte de huevos y larvas de jurel.

La variabilidad ambiental es estudiada principalmente para información climática y oceanográfica asociada a los hábitats de pesca y desove de jurel en el Pacífico Suroriental (**Figura 4**).

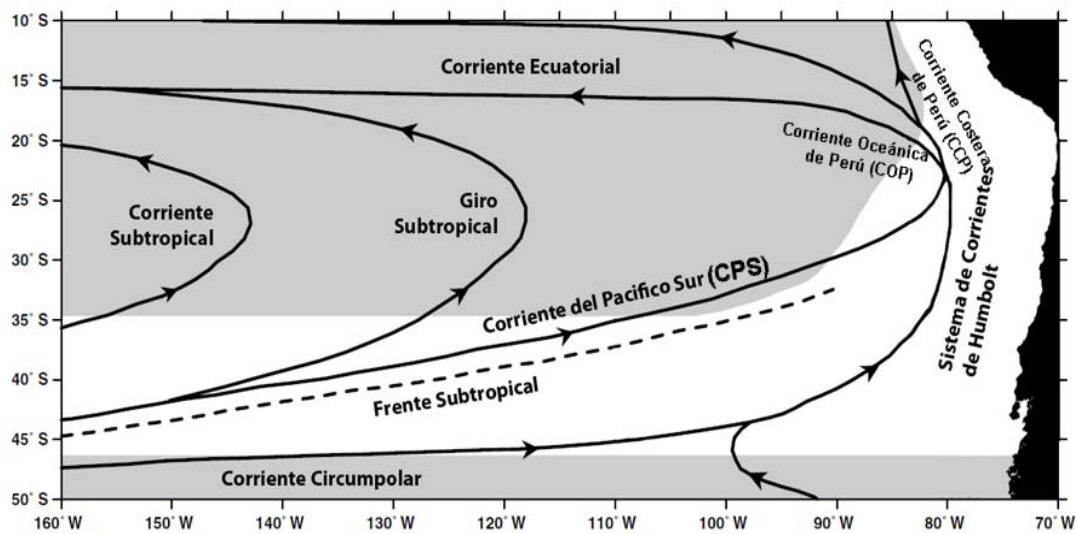


Figura 4. Esquema clásico de las corrientes del PSO, modificado de Tomczak & Godfrey, 2001.

3.6.1 Metodología del marco oceanográfico

La recopilación de información climática y oceanográfica incluyó información oceanográfica de terreno (cruceros científicos y barcos de oportunidad), información satelital y resultados de modelos en la escala estacional. La región analizada involucra las áreas de pesca y de desove del jurel en el Pacífico Suroriental.

Perfiles diarios de temperatura y salinidad con una resolución espacial máxima de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ y cobertura global, fueron obtenidos de la climatología global CARS (CSIRO Atlas of Regional Seas) que incorpora información oceanográfica de 50 años de cruceros de investigación, barcos de oportunidad, satélites, boyas y modelos de asimilación (<http://www.marine.csiro.au/~dunn/cars2009/>).

La validación de la climatología diaria CARS (en los perfiles de temperatura y salinidad), se realizó con información de la climatología del World Ocean Atlas (WOA) en los 100°W y los 90°W . En estas longitudes, el WOA ha sido previamente validado con boyas ARGOS y por los resultados de las transectas WOCE del Pacífico Suroriental (PSO). La validación se realizó usando un análisis de regresión lineal (r), encontrando el polinomio de ajuste de curvas (P) entre las respectivas variables.

Paralelamente, con datos de un modelo de asimilación de datos, también validado (SODA, versión 226), se extrajeron los campos superficiales de temperatura y salinidad del PSO. Estos datos permitieron realizar un análisis histórico (1990-2010) de gradientes superficiales zonales frente a las zonas de Perú central ($14,5^\circ\text{S}$) y Chile central ($36,5^\circ\text{S}$), como también la evolución temporal del gradiente meridional norte-sur que separa ambas zonas. El uso de esta información se justifica desde el punto de vista de su calidad y su extensión temporal. Los gradientes zonales fueron

calculados usando la diferencia de temperatura entre la costa y el océano divididos por la distancia entre ambos ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$). La ubicación oceánica consideró una transecta longitudinal promedio donde la temperatura se mantiene relativamente constante en relación a la variabilidad de la costa, 1080 km frente a Perú y 1610 km frente a Chile central. En el caso de los gradientes meridionales de temperatura y salinidad se consideró la distancia de separación entre ambas zonas (2440 km). Los resultados preliminares mostraron que la distribución de salinidad es irregular y no sigue patrones reconocibles por lo que no se consideró en los resultados (no se observó un patrón estacional, anual o interanual), mientras que la señal entre ambos centros y evaluada mediante el gradiente meridional de salinidad es clara y está asociada a procesos cíclicos e interanuales.

En resumen, la información utilizada en el análisis del marco oceanográfico considerado para el presente informe incluyó la siguiente información: a) climatología CARS de 366 días para campos espacio-temporales de temperatura y salinidad y corrientes geostroficadas para delimitar la corriente del Pacífico Sur, b) climatología mensual WOA derivada de información de boyas ARGO, cruceros científicos y datos satelitales (para validación de CARS), y c) datos de altimetría satelital (1992-2010) provenientes del programa AVISO para derivar la energía turbulenta de remolinos de mesoescala (Eddie Kinetic Energy, EKE).

Una vez validada la climatología CARS, se extrajeron bandas promedio paralelas a la costa fuera de la influencia ambiental de la zona costera (>50 Km), con el propósito de construir diagramas latitud versus tiempo (diagramas Hovmöller). Estas bandas corresponden a promedios zonales de temperatura y salinidad en el estrato de superficie y de 100 metros de profundidad, construidos con el promedio entre los 50 y 200 km de la costa.

Posteriormente, y utilizando la climatología CARS, se calcularon las velocidades geostróficas superficiales referidas a 1000 metros de profundidad en la zona del Pacífico Suroriental. Se utilizó la metodología estándar descrita por Pond & Pickard (1983). Esto fue posible debido a que la climatología CARS corresponde a campos de salinidad y temperatura de un océano global distribuido en capas a profundidades de 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 100, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 175, 180, 190, 200, 210, 220, 225, 230, 240, 250, 260, 270, 275, 280, 290, 300, 325, 350, 375, 400, 425, 450, 475, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950 y 1000 metros (Pond & Pickard, 1983).

A partir de las velocidades geostróficas CARS, se derivó la energía cinética promedio de las corrientes la que fue estimada a través del campo superficial de corrientes geostróficas.

3.7 Análisis integrado

El enfoque utilizado para investigar la estructura poblacional del jurel, esto es: la identificación de stocks y sus límites, está basado en una aproximación metodológica múltiple (Begg y Waldman, 1999; Waldman, 1999), aplicada también en el proyecto HOMSIR sobre el jurel *T. trachurus* del Océano Atlántico y del Mediterráneo. En el estudio cada técnica es analizada sobre sus propias metodologías y los resultados de cada una son después discutidos, destacando y explicando las similitudes y diferencias entre ellas para detectar la estructura poblacional. Para un análisis adecuado se debe tener en cuenta la naturaleza y la escala temporal en que opera cada técnica.

Para el análisis conjunto de todos los resultados obtenidos con las diferentes técnicas, la escala de tiempo en la cual opera cada una necesariamente debe ser

tomada en cuenta (Begg y Waldman, 1999). Por ejemplo la genética opera en la escala evolutiva y requiere además de un grado de aislamiento de algunos miles de años. Tasas de mezcla incluso del 1 % resulta en homogeneidad genética (Ward, 2000) y no permitirían identificar la estructura poblacional aún cuando dicha estructura exista en la naturaleza. La morfometría de otolitos son expresiones fenotípicas asociadas a componentes genéticos y ambientales, donde este último opera en los primeros estados de la ontogenia del individuo. Los otros métodos como fauna parasitaria y química del otolito se basan en marcas naturales asociadas con el área geográfica ocupada por los individuos (habitat) y operan en una escala temporal mucho más corta. La parasitofauna opera en una escala temporal entre 3 y 6 meses y lo mismo la química del otolito. Ambas en realidad operan en una escala temporal prácticamente instantánea pero 3 meses sería el tiempo mínimo para distinguir cambios significativos en la parasitofauna; en el caso de la química del otolito depende de la resolución del láser y de la edad de los peces. En los peces jóvenes debido al mayor incremento entre anillos la resolución temporal puede ser de 2 meses y de hasta 6 meses en los de mayor edad (7 años y más). Consecuentemente, la integración de los resultados obtenidos con los diferentes métodos se hace sobre la base del contraste de estos resultados y su análisis crítico considerando las escalas temporales en que operan los marcadores asociados.

Cuando se detectan diferencias con cualquiera de las técnicas empleadas estas son verdaderas y deben ser explicadas. Por consiguiente, solo la heterogeneidad puede ser demostrada pero no la homogeneidad (Waldman, 1999) y por ello el enfoque holístico es el adecuado para la identificación de stocks, especialmente en el caso del jurel por su complejidad. Entrega una comprensión más profunda y robusta de la estructura de stock en contraste con aplicaciones basadas en una sola técnica.

4. RESULTADOS

4.1 Puesta en marcha proyecto

Con fecha 11 de enero del 2011 se recibió nota del FIP comunicando que el proyecto había tomado razón en Contraloría el 21 de diciembre pasado. Por tanto se inició la preparación del proyecto para cerrar los subcontratos con las universidades participantes, de acuerdo con la Propuesta Técnica. Asimismo se iniciaron los preparativos para realizar el primer evento de muestreo en abril-mayo del 2011, de acuerdo con lo comprometido en la Propuesta Técnica.

4.2 Muestreo

4.2.1 Primera muestra

Las muestras en el norte de Chile, Coquimbo, Talcahuano y Chiloé se tomaron por personal de IFOP. Para la obtención de las muestras en Perú y Nueva Zelandia se contó con la colaboración del Instituto del Mar del Perú y del Ministerio de Industrias Primarias de Nueva Zelandia. Se tuvo conocimiento de importantes capturas que se realizaron en Ecuador durante enero del 2011, por lo que se realizaron gestiones para obtener muestras también allí, lo que finalmente no prosperó. La captura de jurel en Ecuador fue un evento inesperado por cuanto hacia años que no se capturaba jurel allí y por tanto no había sido incluido en el plan de muestreo original. También se obtuvo la colaboración de Polonia para la obtención de una muestra durante el otoño del 2011 en la zona oceánica frente a Chile centro sur, la que lamentablemente no logró ser recibida. La muestra debía ser desembarcada en Callao para lo cual se contó con la colaboración de IMARPE. Sin embargo el barco adelantó su llegada en 1 día coincidiendo con la

celebraci3n de fiestas patrias del Per3 lo que determin3 que la coordinaci3n establecida fallara. No obstante esa zona qued3 cubierta con la muestra tomada de barcos nacionales. Finalmente, y debido a la no operaci3n de barcos pesqueros nacionales en la zona oce3nica frente a la zona de Talcahuano esta zona no logr3 ser cubierta con una muestra. Esta zona corresponde a la zona principal de desove y en general la operaci3n de pesca en ella en el oto3o es escasa. Finalmente, cabe decir que la obtenci3n de las muestras en Chile no fue un proceso f3cil y expedito debido a la escasez de jurel. Esto motiv3 que se extendiera el muestreo hasta junio a fin de completar la muestra de la zona de Talcahuano y hasta julio en Par3cas. El resultado del primer evento de muestreo se resume en la **Tabla 3**.

Tabla 3.
Resultados del primer muestreo de jurel.

País	Macro Zona	Nº Muestras	Nº Ejemplares	Fecha
Perú	Pacasmayo al norte	1	70	18/03/2011
	Trujillo/Callao	2	140	31/03/2011 12/08/2011
	Par3cas	3	210	28/06/2011 01/07/2011 21/07/2011
Chile	Iquique/Mejillones (Norte Chile)	2	98	28/04/2011 26/05/2011
	Coquimbo	1	100	19/05/2011
	Talcahuano costa	1	100	23/06/2011
	Talcahuano oce3nico	-	-	
	Chilo3 oce3nico	2	215	12/05/2011 18/05/2011
Nueva Zelandia	Nueva Zelandia.	1	100	03/2011

En Per3 las muestras obtenidas tuvieron una mayor distribuci3n que la planificada originalmente. Fueron obtenidas en Pimentel (Pacasmayo al norte), Chimbote y Anc3n (Trujillo/Callao); Cañete, Tambo de Mora y Olleros (Par3cas al sur). En cada uno de estos lugares se obtuvieron 70 ejemplares.

La distribuci3n geogr3fica de la primera muestra de jurel se muestra en la **Figura 5**.

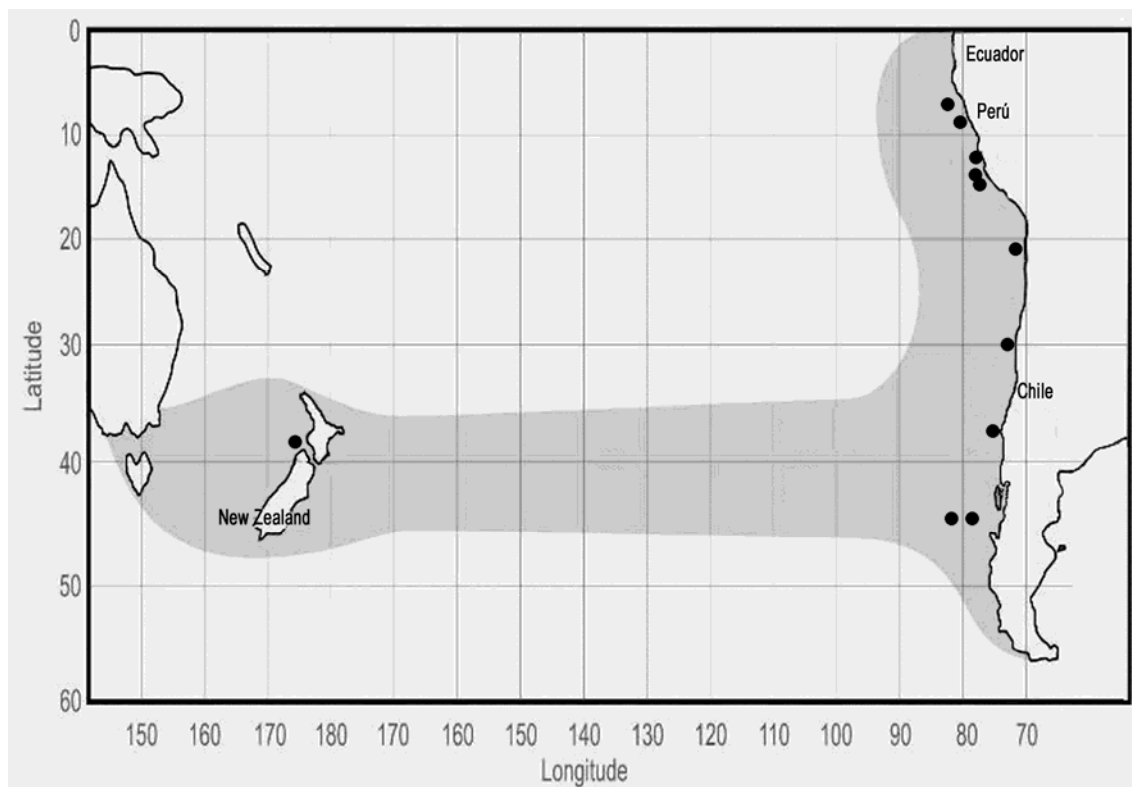


Figura 5. Localizaci3n de las muestra de jurel obtenidas en el per3odo de otoño del 2011 (primer evento de muestreo).

El procesamiento de las muestras fue realizado de manera simultánea para extraer un trozo de músculo (genética), vísceras y branquias (parásitos), y otolitos (morfometría y química), para satisfacer la demanda de las diferentes técnicas aplicadas en la investigación. Esto debido a que es necesario que los datos de genética, parásitos, y morfometría y química de otolitos estén asociados, exigencia también necesaria para minimizar los efectos de las variaciones individuales. Por tanto el procesamiento de las muestras fue hecho por un grupo de trabajo identificado para este efecto.

El procesamiento de las muestras se realizó en la U. de Antofagasta, IFOP-Coquimbo, IFOP-Valparaíso, U. de Concepción. Se viajó al Perú para realizar el procesamiento de las muestras allí, para lo cual se contó con el apoyo logístico de IMARPE. La muestra de Nueva Zelandia fue enviada congelada, recibida en buenas condiciones y finalmente procesada en la sede de IFOP en Valparaíso.

La información registrada con los ejemplares en cada localidad es: nombre de la localidad o georreferencia, fecha, n° correlativo, talla (cm LH), sexo y madurez sexual.

No obstante la instrucción de tomar muestras de jurel de talla entre 30 y 40 cm LH, esto no logró ser cumplido debido a la escasez de jurel y que simplemente dichas tallas no estaban presentes en la captura de ciertas localidades. Los resultados se muestran en la **Figura 6**.

Finalmente, es importante destacar que la colaboración comprometida por IMARPE de Perú y el Ministerio de Pesquerías de Nueva Zelanda fue cumplida a cabalidad.

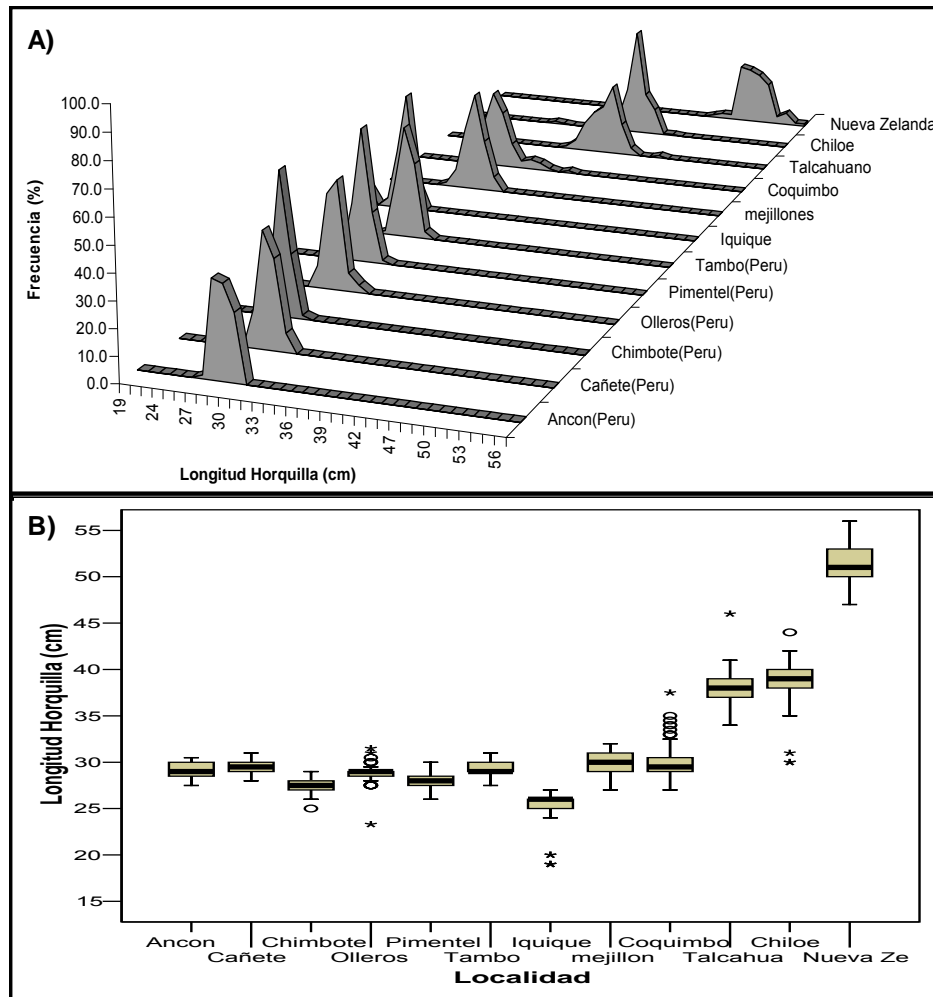


Figura 6. A) Distribución de frecuencia de longitud (porcentual) de los peces colectados en cada una de las localidades, B) Boxplot en que presenta la longitud mediana de cada localidad, la caja agrupa el 50% de los casos, la línea corresponde al cuartil (25% y 75%) y círculos y asteriscos a valores alejados.

4.2.2 Segunda muestra

La obtención de la segunda muestra tampoco fue un proceso expedito. Esta muestra correspondió ser tomada durante el período principal de desove (octubre-diciembre) que como se sabe corresponde al período de menor disponibilidad de jurel en la pesquería. En Perú finalmente se logró obtener una sola muestra en el norte de este país. Hay que señalar que se había logrado obtener un mayor número de muestras para Perú y con mayor cobertura geográfica. Estas muestras estaban almacenadas congeladas y según informó IMARPE se perdieron debido a un corte de electricidad. Las muestras finalmente obtenidas se detallan en la **Tabla 4** y las tallas en la **Figura 7**.

Tabla 4.
Resultados del segundo muestreo de jurel.

País	Macro Zona	Nº Muestras	Nº Ejemplares	Fecha
Perú	Pacasmayo al norte (Frente Chicama)	1	100	01/2012
	Trujillo/Callao	s/m		
	Parácas	s/m		
Chile	Zona Norte (Tocopilla/Cobija)	2	100	8/11/2011 15/11/2011
	Coquimbo	1	100	5/01/2012
	Talcahuano costa (Con-Con/Carranza)	2	199	23/12/2011 30/12/2011
	Talcahuano oceánico	s/m		
	Chiloé oceánico	s/m		
	Chiloé costa	1	100	10/02/2012
Nueva Zelandia	Nueva Zelandia.	1	100	11-12/2011

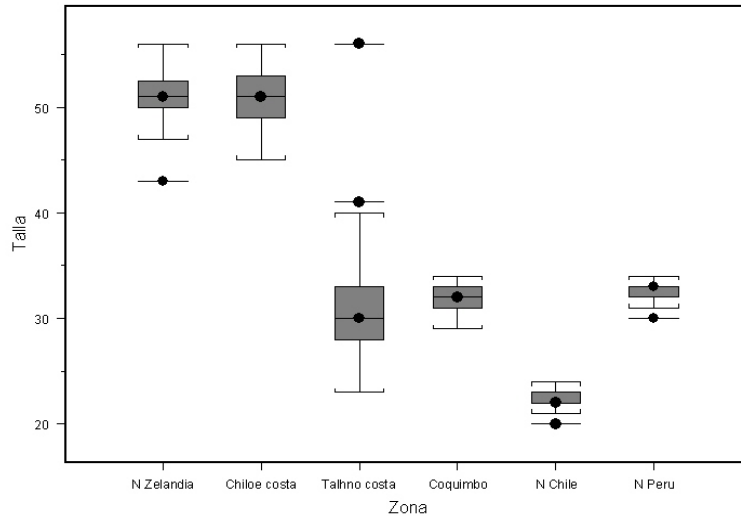


Figura 7. Gráfico que presenta la composición de tallas en cada zona; presenta la longitud mediana, la caja agrupa el 50% de los casos, la línea superior e inferior corresponde al cuartil (25% y 75%) y puntos negros a valores alejados.

A los ejemplares de las muestras obtenidas en Coquimbo, Cobija y Perú no se pudo examinar la madurez sexual por no encontrarse en buen estado; los de Nueva Zelandia, Bajo Chauchil y Carranza estaban todos maduros sexualmente y en desove; de las localidades de Con-Con el 74% y de Tocopilla el 44% estaban maduros y en desove.

La flota nacional prácticamente no operó fuera de la ZEE frente a la zona centro sur, que corresponde a la zona principal de desove, y por tanto no fue posible obtener muestras en la zona oceánica frente a Talcahuano. Durante el período reproductivo la flota no opera en la zona Chiloé oceánica porque el recurso migra hacia la zona de desove, lo que explica la falta de muestra también en esta zona. La operación en ella de las flotas nacional e internacional ocurre durante el otoño; después del desove los jureles migran a esta zona para alimentarse, puesto que

constituye una zona rica en crustáceo pelágicos (Vinogradov *et al.*, 1990). La distribución geográfica de la segunda muestra se entrega en la **Figura 8**.

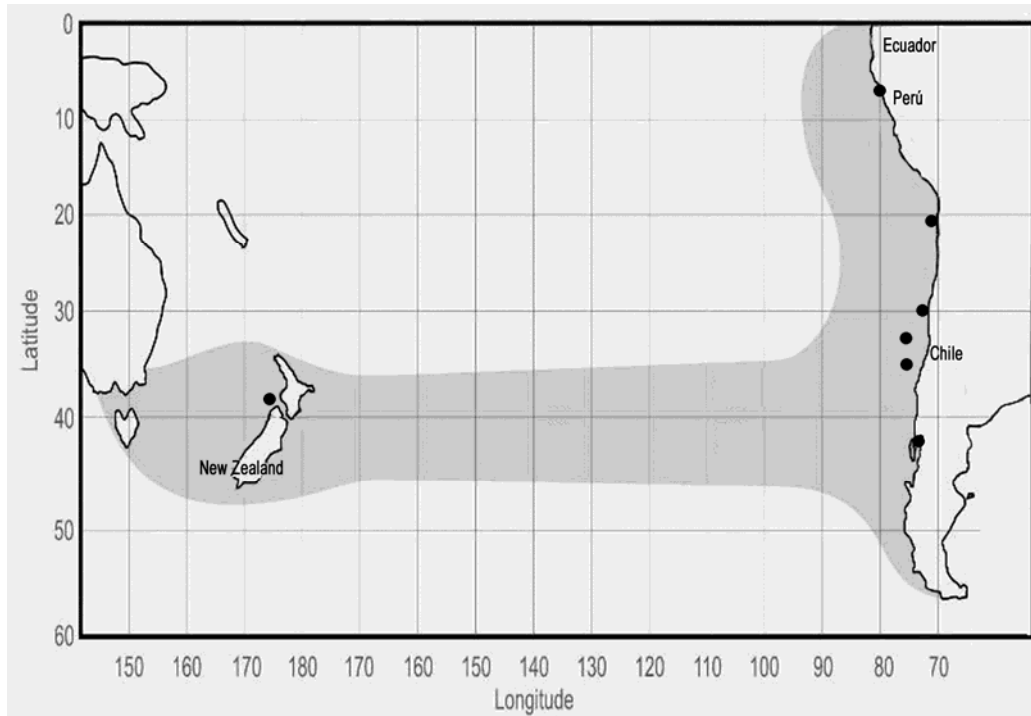


Figura 8. Localización geográfica de la segunda muestra de jurel obtenida durante el período reproductivo.

4.3 Marcadores genéticos

4.3.1 Variabilidad genética para período de otoño.

Los 10 loci analizados presentaron alta variabilidad (**Tabla 5**). La heterocigocidad esperada (H_e) promedio por locus fluctuó entre 0,521 (TmurB104) y 0,930 (TmurA104). El número promedio de alelos (N_a) por locus fluctuó entre 5,9 (TmurB104) y

25,6 (TmurA115). Parámetros de variabilidad genética para los 10 loci analizados y N_a , H_e y H_o (heterocigocidad observada) por locus y población analizada se observa en la **Tabla 5**. Al evaluar el equilibrio de H&W (**Tabla 5**) encontramos que algunas zonas presentaron loci con valores significativos ($p \leq 0,05$), PePN (TmurA104, TmurB2 y Tt133), PeTCH (TmurC4, TmurA101, TmurB104, TmurB2 y Tt133), PePa (TmurA115, TmurB104, TmurB2 y Tt133), ChNo (TmurB6, TmurB104, TmurB2, Tt62 y Tt133), ChCo (TmurA104, TmurA115, Tmur A101, Tt133), ChThco (TmurA104), ChChoc (TmurA101 y Tt133), yNZ (TmurA101, TmurB104, TmurB2 y Tt133). Por otro lado se observaron loci monomórficos en algunas zonas (ver **Tabla 5**).

4.3.2 Variabilidad genética para período primavera-verano.

Los 10 loci analizados presentaron alta variabilidad (**Tabla 6**). La heterocigocidad esperada promedio por locus fluctuó entre 0,444 (TmurB6) y 0,945 (TmurA115). El número promedio de alelos por locus fluctuó entre 9,2 (TmurB6) y 27,3 (TmurA104). Parámetros de variabilidad genética para los 10 loci analizados y N_a , H_e y H_o por locus y población analizada se observa en la **Tabla 6**. Al evaluar el equilibrio de H&W (**Tabla 6**) encontramos que algunas zonas presentaron loci con valores significativos ($p \leq 0,05$), PeTCH (TmurA115, TmurC4, TmurB104, y Tt62), ChNo (TmurB6, TmurB104, y TmurB2), ChCo (TmurB6, TmurC4, TmurB104, y TmurB2), ChThco (TmurB6, TmurA115, TmurA101, TmurB104, y Tt133), ChChco (TmurB6, TmurA104, TmurB104, TmurB2, Tt133), y NZ (TmurA115, TmurC4, TmurA101, TmurB104, y Tt133). Por otro lado, al igual que en el set de datos de otoño se observaron loci monomórficos en algunas zonas (ver **Tabla 6**).

Tabla 5.
Parámetros de variabilidad genética de *T. murphyi* para las diferentes zonas a lo largo de su distribución en la temporada de otoño.

Zona	Parámetro	Microsatélite										Promedio
		TmurB6	TmurA104	TmurA115	TmurC4	TmurA101	TmurB104	TmurB2	Tt29	Tt62	Tt133	
PePN	Na	17	18	20	10	16	0	8	9	8	15	12,1
	Ho	0,861	0,742	0,821	0,710	0,889	0,000	0,588	0,719	0,867	0,607	0,680
	He	0,872	0,906	0,916	0,817	0,877	0,000	0,787	0,761	0,799	0,774	0,751
	H&W	0,570	0,002	0,148	0,130	0,547	Mono	0,021	0,309	0,488	0,018	
PeTCH	Na	23	27	35	14	8	8	10	12	17	12	16,6
	Ho	0,937	0,975	0,937	0,765	0,333	0,447	0,537	0,800	0,944	0,299	0,697
	He	0,921	0,954	0,958	0,844	0,861	0,760	0,632	0,740	0,853	0,715	0,824
	H&W	0,348	0,812	0,184	0,003	0,000	0,000	0,000	0,971	0,411	0,000	
PePa	Na	23	28	36	16	25	9	12	14	17	21	20,1
	Ho	0,931	0,941	0,960	0,827	0,833	0,483	0,551	0,838	0,897	0,377	0,764
	He	0,910	0,951	0,953	0,870	0,943	0,725	0,663	0,759	0,828	0,791	0,839
	H&W	0,309	0,464	0,031	0,095	0,072	0,000	0,005	0,395	0,649	0,000	
ChNo	Na	15	26	37	12	7	9	9	12	13	17	15,7
	Ho	0,740	0,951	0,964	0,870	0,600	0,589	0,480	0,771	0,824	0,512	0,730
	He	0,861	0,939	0,952	0,833	0,780	0,692	0,740	0,765	0,877	0,815	0,825
	H&W	0,000	0,377	0,969	0,781	0,064	0,017	0,000	0,438	0,021	0,000	
ChCo	Na	16	16	20	9	16	2	3	10	14	10	11,6
	Ho	0,879	0,533	0,714	0,680	0,765	0,000	0,400	0,867	0,897	0,417	0,615
	He	0,884	0,913	0,935	0,764	0,893	0,500	0,460	0,788	0,851	0,759	0,775
	H&W	0,524	0,000	0,000	0,225	0,004	0,333	0,334	0,941	0,780	0,000	

Tabla 5. (Continuación)

Parámetros de variabilidad genética de *T. murphyi* para las diferentes zonas a lo largo de su distribución en la temporada de otoño.

Zona	Parámetro	Microsatélite										Promedio
		TmurB6	TmurA104	TmurA115	TmurC4	TmurA101	TmurB104	TmurB2	Tt29	Tt62	Tt133	
ChThco	Na	14	16	4	6	15	0	2	9	12	4	8,2
	Ho	0,870	0,650	0,333	0,714	0,792	0,000	0,000	0,625	0,933	0,800	0,572
	He	0,896	0,918	0,722	0,816	0,843	0,000	0,500	0,729	0,884	0,700	0,701
	H&W	0,113	0,000	0,064	0,158	0,058	Mono	0,335	0,077	0,495	0,698	
ChChoc	Na	18	25	29	11	10	10	1	10	12	10	13,6
	Ho	0,865	0,943	0,944	0,886	0,750	0,750	0,000	0,613	0,900	0,375	0,703
	He	0,911	0,938	0,952	0,820	0,865	0,805	0,000	0,774	0,866	0,714	0,764
	H&W	0,745	0,774	0,751	0,564	0,008	0,376	Mono	0,156	0,154	0,000	
NZ	Na	0	21	24	14	15	9	6	10	14	11	12,4
	Ho	0,000	0,907	0,829	0,884	0,462	0,535	0,300	0,750	0,875	0,577	0,612
	He	0,000	0,923	0,936	0,792	0,908	0,689	0,638	0,751	0,852	0,795	0,728
	H&W	Mono	0,426	0,071	0,512	0,000	0,006	0,000	0,788	0,777	0,000	
Promedio	Na	15,8	22,1	25,6	11,5	14,0	5,9	6,4	10,8	13,4	12,5	
	Ho	0,760	0,830	0,813	0,792	0,678	0,350	0,357	0,748	0,892	0,495	
	He	0,782	0,930	0,916	0,820	0,871	0,521	0,552	0,758	0,851	0,758	

Tabla 6.
Parámetros de variabilidad genética de *T. murphyi* para las diferentes zonas a lo largo de su distribución en la temporada de primavera-verano.

Zona	Parámetro	Microsatélite										Promedio
		TmurB6	TmurA104	TmurA115	TmurC4	TmurA101	TmurB104	TmurB2	Tt29	Tt62	Tt133	
PeTCH	Na	16	29	25	13	2	9	7	0	12	0	11,3
	Ho	0,926	0,952	0,886	0,762	0,000	0,485	0,605	0,000	0,674	0,000	0,529
	He	0,896	0,949	0,939	0,873	0,500	0,691	0,640	0,000	0,839	0,000	0,633
	H&W	0,508	0,147	0,000	0,000	0,331	0,004	0,365	Mono	0,000	Mono	
ChNo	Na	13	26	26	13	27	9	8	10	14	17	16,3
	Ho	0,238	0,971	0,938	0,743	0,857	0,458	0,565	0,913	0,930	0,789	0,740
	He	0,736	0,938	0,947	0,745	0,945	0,671	0,717	0,760	0,861	0,857	0,818
	H&W	0,000	0,789	0,077	0,754	0,061	0,041	0,001	0,683	0,382	0,257	
ChCo	Na	3	23	26	12	25	8	10	9	14	22	15,2
	Ho	0,000	0,828	0,929	0,607	0,920	0,417	0,439	0,733	0,892	0,815	0,658
	He	0,239	0,938	0,946	0,738	0,930	0,664	0,720	0,776	0,881	0,872	0,770
	H&W	0,000	0,116	0,232	0,007	0,092	0,001	0,000	0,612	0,510	0,470	
ChThco	Na	3	29	30	10	24	10	10	14	13	10	15,3
	Ho	0,000	0,918	0,884	0,707	0,821	0,462	0,627	0,797	0,755	0,404	0,637
	He	0,076	0,946	0,951	0,834	0,907	0,684	0,699	0,740	0,878	0,675	0,739
	H&W	0,000	0,333	0,045	0,063	0,011	0,000	0,219	0,948	0,060	0,000	

Tabla 6. (Continuaci3n)

Parámetros de variabilidad genética de *T. murphyi* para las diferentes zonas a lo largo de su distribuci3n en la temporada de primavera-verano.

Zona	Parámetro	Microsatélite										Promedio
		TmurB6	TmurA104	TmurA115	TmurC4	TmurA101	TmurB104	TmurB2	Tt29	Tt62	Tt133	
ChChco	Na	19	28	23	12	26	13	6	8	12	22	16,9
	Ho	0,341	0,718	0,929	0,875	0,909	0,450	0,500	0,743	0,912	0,857	0,723
	He	0,718	0,933	0,939	0,862	0,932	0,651	0,762	0,744	0,872	0,909	0,832
	H&W	0,000	0,023	0,092	0,405	0,444	0,010	0,002	0,350	0,681	0,001	
NZ	Na	1	29	33	15	12	7	9	11	11	18	14,6
	Ho	0,000	0,917	0,957	0,783	0,212	0,385	0,617	0,717	0,804	0,523	0,591
	He	0,000	0,947	0,951	0,861	0,463	0,528	0,689	0,783	0,862	0,806	0,689
	H&W	Mono	0,460	0,012	0,010	0,000	0,001	0,103	0,331	0,735	0,000	
Promedio	Na	9,2	27,3	27,2	12,5	19,3	9,3	8,3	8,7	12,7	14,8	
	Ho	0,251	0,884	0,920	0,746	0,620	0,443	0,559	0,651	0,828	0,565	
	He	0,444	0,942	0,945	0,819	0,779	0,648	0,704	0,634	0,865	0,687	

4.3.3 Estructuración poblacional espacial para temporada de otoño.

El índice de estructuración genética F_{st} para la temporada de otoño presenta valores bajos y no significativos ($p > 0,05$) para cada par de localidad comparada (**Tabla 7**). Dado que las comparaciones no fueron significativas no fue necesario aplicar el test de Bonferroni para corregir el valor de probabilidad producto de comparaciones múltiples. De esta manera este índice indica un patrón sin diferencias genéticas significativas entre las localidades analizadas. El análisis de AMOVA en donde se puso a prueba diferentes hipótesis (basadas en información no genética), no mostró diferencias significativas para ninguna de las comparaciones. De esta manera los índices F_{st} estimados para cada hipótesis fueron bajos y no significativos (**Tabla 8**).

Tabla 7.
Valor del índice de estructuración F_{st} por cada par de localidades analizadas en la temporada de otoño.

Fst	PePN	PeTCH	PePa	ChNo	ChCo	ChThco	ChChoc	NZ
PePN	0	1,000	1,000	1,000	0,997	1,000	1,000	1,000
PeTCH	-0,086	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
PePa	-0,054	-0,014	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ChNo	-0,129	-0,020	-0,018	0	1,000	1,000	1,000	1,000
ChCo	-0,033	-0,206	-0,147	-0,244	0	1,000	1,000	1,000
ChThco	-0,236	-0,463	-0,337	-0,459	-0,161	0	1,000	1,000
ChChoc	-0,055	-0,058	-0,042	-0,044	-0,122	-0,394	0	1,000
NZ	-0,187	-0,087	-0,069	-0,076	-0,341	-0,705	-0,162	0

Tabla 8.

Análisis de varianza molecular para diferentes hipótesis para muestras de otoño.

Grupos	Agrupación	Fst	Prob.	Fsc	Prob.	Fct	Prob.
Tres grupos	Pe v/s Ch v/s NZ	-0,103	1	-0,103	1	0,000	0,689
Dos grupos	Pe+ChNo v/s Chile	-0,140	1	-0,610	1	-0,074	0,973
Un grupo	Panmixis	-0,103	1	-	-	-	-

4.3.4 Estructuración poblacional espacial para temporada de primavera-verano

Previo a realizar este análisis se excluyeron tres loci, los cuales presentaban bajo porcentaje de amplificación (TmurB6, Tt29 y Tt62), de esta manera minimizamos la probabilidad de obtener resultados erróneos en los análisis. El índice de estructuración genética Fst para la temporada de verano al excluir los loci microsatélites no dan cuenta de diferenciación genética entre las diferentes zonas analizadas (**Tabla 9**). El análisis de AMOVA en donde se puso a prueba diferentes hipótesis (basadas en información no genética), no mostró diferencias significativas en ninguno de los índices que estima el análisis, específicamente el Fct que informa acerca de la diferencias que puede entregar las agrupaciones puestas a prueba (**Tabla 10**).

Tabla 9.

Valor del índice de estructuración Fst por cada par de localidades analizadas para la temporada de primavera-verano, excluyendo loci monomórficos. Valores en negrita muestran diferencias significativas una vez que se aplicó el test de Bonferroni.

	PeTCH	ChNo	ChCo	ChThco	ChChco	Nz
PeTCH	0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,542
ChNo	-0,037	0	0,412	0,221	1,000	0,009
ChCo	-0,046	-0,001	0	0,170	0,997	0,997
ChThco	-0,154	0,002	0,003	0	1,000	0,000
ChChco	-0,124	-0,042	-0,037	-0,040	0	1,000
Nz	0,000	0,010	-0,023	0,022	-0,037	0

Tabla 10.

Análisis de varianza molecular para diferentes hipótesis para muestras de primavera-verano.

Grupos	Agrupación	Fst	Prob.	Fsc	Prob.	Fct	Prob.
Tres	Pe v/s Ch v/s Nz	-0,007	1,000	-0,061	1,000	0,050	0,133
Dos	Pe+ChNo v/s Chile	-0,031	1,000	-0,026	1,000	-0,005	0,604
Un	Panmixis	-0,030	1,000	-	-	-	-

4.3.5 Estructuración poblacional entre ambas temporadas de muestreo

El análisis AMOVA para comparar las temporadas de otoño y de primavera-verano no mostró diferencias significativas entre si (Fst y Rst bajo y no significativo) (**Tabla 11**). Este resultado concuerda con la ausencia de diferencias en el índice Fst para ambas temporadas.

Tabla 11.

Índice F_{st} y R_{st} para el análisis de varianza molecular para diferentes temporadas de otoño y primavera-verano.

Grupos	Agrupación	Fst	Prob.	Rst	Prob.
Un grupo					
	Panmixis	-0,01855	1,000	-0,063	1,000

4.3.6 Discusión

En este estudio se evaluó si *Trachurus murphyi* presenta diferencias genético poblacionales en su distribución geográfica, en un contexto espacial y temporal utilizando loci microsatélites.

4.3.6.1 Variabilidad genética espacial y temporal

Los diez loci analizados fueron polimórficos en su distribución geográfica, no obstante en algunos loci se obtuvo un bajo porcentaje de amplificación positiva y por lo tanto de genotipos, los cuales fueron excluidos de los análisis para evitar artefactos en el resultado. Si comparamos los parámetros de diversidad genética obtenidos con los descritos para peces marinos en la revisión de DeWoody & Avise (2000), encontramos que el número de alelos para las muestras de otoño ($N_a = 14$) y las de primavera-verano ($N_a = 14,9$) son menores que el descrito para peces marinos ($N_a = 20,4$). Asimismo, la heterocigosidad observada para las muestras de otoño ($H_o = 0,654$) y las de primavera-verano ($H_o = 0,632$) también son menores que la descrita para otros organismos marinos ($H_o = 0,790$).

4.3.6.2 Comparaci3n con estudio FIP N° 2007-27

Al igual que el estudio anterior (Serra *et al.*, 2009), los loci analizados fueron altamente polim3rficos. Una comparaci3n entre los valores diversidad gen3tica promedio obtenidos entre este estudio, el proyecto FIP 2007-27 (Serra *et al.*, 2010) y las descritas por Canales-Aguirre *et al.* (2010b) se presenta en la **Tabla 12**. Para el n3mero promedio de alelos se observa que las muestras obtenidas en este proyecto para las diferentes temporadas no difieren cualitativamente entre s3 (13,8 y 14,9, para otoño y primavera-verano respectivamente) y son levemente mayores que las obtenidas en Canales-Aguirre *et al.* (2010b); no obstante estos valores son cualitativamente menores que los loci utilizados en el proyecto FIP 2007-27 (24, 4; Serra *et al.*, 2010). Hay que destacar que el microsat3lite Tt133 presenta mayor diferencia que los dem3s loci. (Ver **Tabla 12**). Para el caso de la Heterocigosidad esperada entre las diferentes temporadas los valores promedio para todos los loci son cualitativamente similares (0,776 y 0,747, para otoño y primavera-verano respectivamente). Por otro lado, tanto la heterocigosidad promedio de los loci utilizados en el proyecto FIP 2007-27 (Serra *et al.*, 2010) como los descritos por Canales-Aguirre *et al.* (2010b), son mayores que los obtenidos en ambas temporadas.

Tabla 12.

Comparaci3n de los par3metros de variabilidad gen3tica promedio entre las diferentes temporadas, proyecto FIP2007-27 (Serra *et al.* 2010) y descripci3n de loci microsat3lites en Canales-Aguirre *et al.* (2010b).

	Par3metro	Microsat3lites									
		TmurB6	TmurA104	TmurA115	TmurC4	TmurA101	TmurB104	TmurB2	Tt29	Tt62	Tt133
Otoño	Na	15,8	22,1	25,6	11,5	14	5,9	6,4	10,8	13,4	12,5
	Ho	0,76	0,83	0,813	0,792	0,678	0,35	0,357	0,748	0,892	0,495
	He	0,782	0,93	0,916	0,82	0,871	0,521	0,552	0,758	0,851	0,758
Primavera-Verano	Na	9,2	27,3	27,2	12,5	19,3	9,3	8,3	8,7	12,7	14,8
	Ho	0,251	0,884	0,92	0,746	0,62	0,443	0,559	0,651	0,828	0,565
	He	0,444	0,942	0,945	0,819	0,779	0,648	0,704	0,634	0,865	0,687
Serra <i>et al.</i> (2009)	Na	-	25,6	30,5	-	26,5	-	-	12,5	15,3	35,7
	Ho	-	0,905	0,896	-	0,845	-	-	0,734	0,866	0,761
	He	-	0,943	0,950	-	0,927	-	-	0,747	0,855	0,861
Canales-Aguirre <i>et al.</i> (2010b)	Na	9	17	22	9	14	7	5	-	-	-
	Ho	0,786	1	0,857	0,867	0,733	0,467	0,429	-	-	-
	He	0,852	0,929	0,946	0,811	0,891	0,724	0,702	-	-	-

4.3.6.3 Estructuraci3n poblacional entre ambas temporadas

Nuestros resultados no muestran diferencias gen3ticas significativas en un contexto espacial ni temporal para *T. murphyi* en toda su distribuci3n en el oc3ano Pacífico sur bajo el concepto de stock genético, corroborando estudios anteriores en la especie.

El concepto de stock genético ha definido como “*una unidad reproductivamente aislada y diferenciada genéticamente de otras unidades*” (Carvalho & Hauser 1994) y entendiéndose como unidad a “un grupo de peces”. Este concepto consiste en la acumulaci3n de diferencias gen3ticas a trav3s del tiempo y aislamiento reproductivo producto de barreras al flujo génico. Poblaciones que han permanecido aisladas reproductivamente a trav3s del tiempo, tienden a acumular nuevas mutaciones que solo compartirán con los individuos que componen su poblaci3n y no con otra. De esta manera, pueden llegar a diferenciarse genéticamente una poblaci3n a lo largo del tiempo producto de esta acumulaci3n de nuevas variantes gen3ticas.

La aplicabilidad de la definici3n del stock genético esta relacionado al concepto que se utilice para administrar un recurso. Adem3s, teniendo en cuenta los diferentes conceptos de stock que han sido acuñados (i.e. ecol3gico, pesquero, genético, etc), los administradores del recurso son los que tomaran las decisiones finales y utilizará el concepto que acomode a la realidad actual del recurso ponderando aristas practicas, políticas y biologicas.

Desde un punto de vista biológico el concepto de stock genético esta relacionado con la visión del manejo pesquero que se tenga, lo que finalmente se traduce en sustentabilidad del recurso y conservación de las variantes genéticas. Mantener las variables genéticas de una población es importante para conservar su potencial evolutivo, capacidad de adaptarse a nuevos ambientes, condiciones ambientales adversas, estresores antropogenicos. Por ejemplo, Conover & Munch (2002) plantean que las artes de pesca selectiva (i.e. capturar solo un tamaño de individuos) causan cambios genéticos en la población. De esta forma, ignorar las consecuencias evolutivas producto de artes de pesca selectiva, contradice el criterio precautorio de conservación de los recursos (Conover & Munch 2002), al nivel de stock genético, y como consecuencia al stock pesquero.

Especies de peces marinos se caracterizan principalmente por tener grandes tamaños poblacionales, huevos y larvas pelágicas, alta fecundidad, y conductas migratorias que tienden a reducir la divergencia genética entre poblaciones (Wirgin & Walkman, 2005), estas características se presentan en *T. murphyi*. Los valores del índice de diferenciación poblacional F_{st} fueron bajos y no significativos concordando con Ward *et al.* (1994), el cual plantea que peces marinos presenta baja diferenciación genética con valores de $F_{st} < 0,01$, comparados con peces de agua dulce y anádromos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos con otros marcadores moleculares (Enzimas: Galleguillos & Torres, 1988, Arancibia *et al.*, 1996; PCR RFLP: Sepúlveda *et al.*, 1996; ADN mitocondrial y Microsatélites heterólogos: Cárdenas *et al.*, 2009; Microsatélites específicos: Serra *et al.*, 2010, Galleguillos *et al.*, 2012. Estos resultados concuerdan con otros estudios de recursos ícticos que se encuentran en la zona económica exclusiva chilena, como la anchoveta (Ferrada *et al.*,

2002), sardina (Galleguillos *et al.*, 1997), y congrio dorado (Canales-Aguirre *et al.*, 2010a). Específicamente el jurel presenta concentraciones de abundancia y agregaciones reproductivas que pueden cambiar estacionalmente a lo largo del océano Pacífico sur oriental, desovando en toda su distribución (Gourbunova *et al.*, 1985). Igualmente, la especie presenta tamaños poblacionales considerablemente grandes (miles de millones de individuos), huevos y lavas pelágicos, movimientos estacionales (tróficos- reproductivos), habitando en diferentes biotopos, alimentándose en aguas costeras y reproduciéndose en aguas fuera de la costa (ver Serra, 1991), y finalmente la ocurrencia del fenómeno El Niño, fenómeno que produce desplazamientos espaciales de los recursos, potencia la posibilidad de mezcla a través de su distribución geográfica.

A partir de los resultados genéticos obtenidos en el presente estudio, se concluye que *Trachurus murphyi* muestra un patrón genético poblacional homogéneo en toda su distribución geográfica en el Océano Pacífico Sur, no observándose estructuración poblacional espacial y temporal en términos exclusivamente genéticos. Es decir, que a pesar de las distancias entre las diferentes localidades muestreadas en este estudio el solo hecho que pocos individuos puedan migrar, reproducirse y dejar descendencia es suficiente para homogenizar el pool genético completo de una población. Esto último complementa los resultados de otras aproximaciones utilizadas para la contrastación de la hipótesis de estructuración poblacional del jurel, debido a las diferentes escalas temporales y espaciales a las cuales operan.

La no diferenciación genético poblacional en individuos de jurel a lo largo del Océano Pacífico sur oriental da cuenta que ni el sexo ni la talla podrían estar jugando un rol importante para estructurar la población. Esto porque al incorporar

en los análisis globales machos y hembras, así como todas las clases de tallas (aunque no estuvieran todas representadas) estamos incorporando esos factores en el análisis. De haber encontrado diferencias sería apropiado segregarlas por sexo y talla. Por lo tanto el efecto de no incluir análisis segregado es nulo para las conclusiones obtenidas de nuestros resultados.

Finalmente, el patrón genético encontrado a escalas espacial y temporal, generan nuevas hipótesis referente a la dinámica genético poblacional de *T. murphyi*. La primera, asociada a la distribución en el Pacífico Sureste, en la cual un modelo de Piedras de Paso (comúnmente asociado a organismos de baja movilidad, pero no exclusivo) se ajusta debido a que incorpora una componente lineal y espacial. La segunda podría, asociada a la distribución longitudinal, específicamente la distribución disjunta de la especie (Nueva Zelanda y Pacífico Sureste), en donde un modelo Continente-Isla podría ajustarse a la dinámica encontrada. Ambas preguntas podrían ser incorporadas en futuros estudios genéticos de la especie con la finalidad de comprender mejor la dinámica genético poblacional de esta. En conclusión, en términos genéticos, nuestros resultados indican que no se detectan diferencias genéticas significativas a escala poblacional en la especie *T. murphyi* distribuida en todo el Océano Pacífico entre Perú y Chile, y en aguas de Nueva Zelanda.

4.4 Parásito fauna como herramienta para la identificación de stocks

4.4.1 Talla de los peces

Desde un total de 9 zonas de pesca ubicadas en Nueva Zelandia (una), Perú (tres) y Chile (cinco), se obtuvo y analizó parasitológicamente un total de 1733 ejemplares de jurel. La talla media, para el total de la muestra, fue de 34.7 cm, con un rango de tallas variando entre 19 a 64 cm Lh y una desviación estándar de 8.89. La **Tabla 13** indica las características de las muestras obtenidas desde cada una de las zonas de pesca consideradas.

Tabla 13.

Característica de las muestras analizadas en cada localidad.
n = Tamaño de la muestra, DS = Desviación estándar.

Código	Zona de Pesca	Tamaño (cm Lh)				DS
		n	Media	Menor	Mayor	
CHO11	Chiloé oceánico	215	39,0	30,0	44,0	1,54
COQ11	Coquimbo	100	29,9	27,0	37,5	1,82
SP11	Sur de Perú (*)	210	29,2	23,3	31,5	0,92
CP11	Centro de Perú (**)	140	28,1	25,0	30,5	1,14
NP11	Norte de Perú	70	28,1	26,0	30,0	0,78
NCH11	Norte de Chile (***)	100	28,2	19,0	32,0	3,09
TCO11	Talcahuano Costa	100	38,2	34,0	46,0	1,70
NZ11	Nueva Zelandia	99	51,6	47,0	64,0	2,05
CHC12	Chiloé Costa	100	50,7	45,0	56,0	2,79
COQ12	Coquimbo	100	31,9	29,0	34,0	1,26
NP12	Norte de Perú	100	32,5	30,0	34,0	0,73
NCH12	Norte de Chile	100	22,3	20,0	24,0	0,69
TCO12	Talcahuano Costa	199	30,8	23,0	56,0	4,44
NZ12	Nueva Zelandia	100	51,4	43,0	56,0	2,09

(*) = Incluye muestras obtenidas en Cañete, Olleros y Tambo de Mora. (**) = Incluye muestras obtenidas en Ancón y Chimbote. (***) = Incluye muestras obtenidas en Iquique y Mejillones. Segundo dígito representa la primera (1) y segunda (2) muestra.

El análisis de varianza indicó diferencias significativas en la talla media de los peces obtenidos desde las zonas de pesca consideradas ($F_{13,1719} = 2075.9$, $p < 0.001$; **Figura 9**).

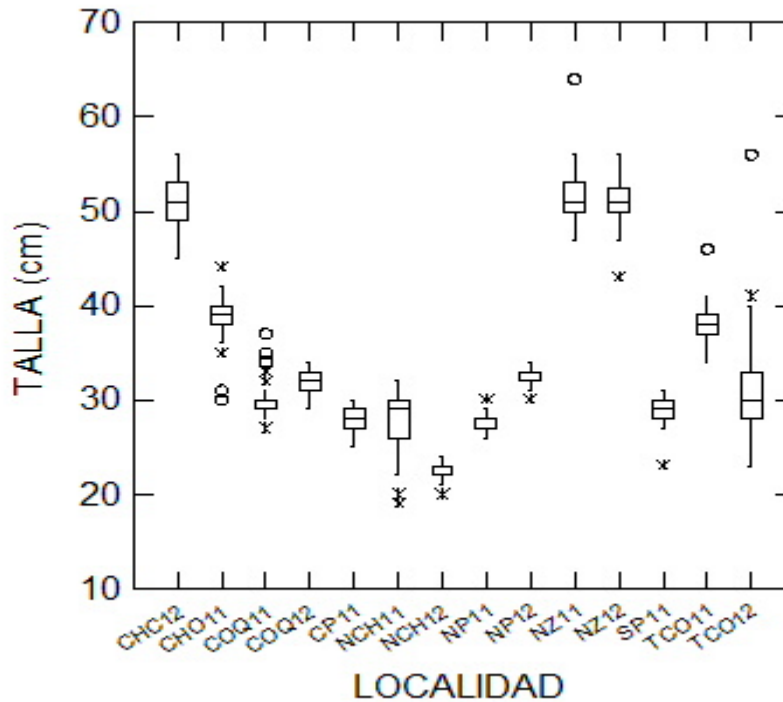


Figura 9. Talla media de los peces para cada zona de pesca considerada. Código para localidades como en Tabla 2. En este gráfico (y siguientes gráficos box plot) la caja representa el rango intercuartil 25 -75%, la línea dentro de la caja representa la mediana, la línea vertical el recorrido correspondiente al 95% de las muestras y el asterisco valores que caen fuera del 95% de la distribución. El círculo representa valores “outlayer”.

Un análisis a posteriori (Test *a posteriori* HSD de Tukey para contrastes múltiples) indicó ausencia de diferencias significativas en la talla media de los peces según:

CHC12 = NZ11 = NZ12 ($p > 0.186$)

CHO11 = TCO11 ($p = 0.123$)

COQ11 = SP11 ($p = 0.362$)

COQ12 = NP12 ($p = 0.683$)

CP11 = NCH11 = NP11 ($p > 0.99$)

NCH12 = SP11 ($p = 0.106$).

4.4.1.1 Talla de peces en ambos periodos

Sólo para cinco zonas de pesca (Norte de Perú, Norte de Chile, Coquimbo, Talcahuano costa y Nueva Zelandia) fue posible realizar contrastaciones temporales (entre períodos de muestreo, **Figuras 10 a 12**). La **Tabla 14** indica los estadísticos asociados a la talla para estas localidades.

Tabla 14.

Resultado de la comparación de la talla media, para las 5 zonas de pesca en que se obtuvieron 2 muestras temporalmente espaciadas. F = Estadístico de Fischer, GL Grados de libertad, p = probabilidad. Muestra 1= período reproductivo, Muestra 2 = período de alimentación.

	Talla media				
	Muestra 1	Muestra 2	F	GL	p
Norte de Perú	28,1	32,5	1455	1,168	< 0,001
Norte de Chile	28,2	22,3	348,5	1,198	< 0,001
Coquimbo	29,9	31,9	82,2	1,198	< 0,001
Talcahuano Costa	38,2	30,8	254,5	1,297	< 0,001
Nueva Zelandia	51,6	51,4	0,762	1,197	0,384

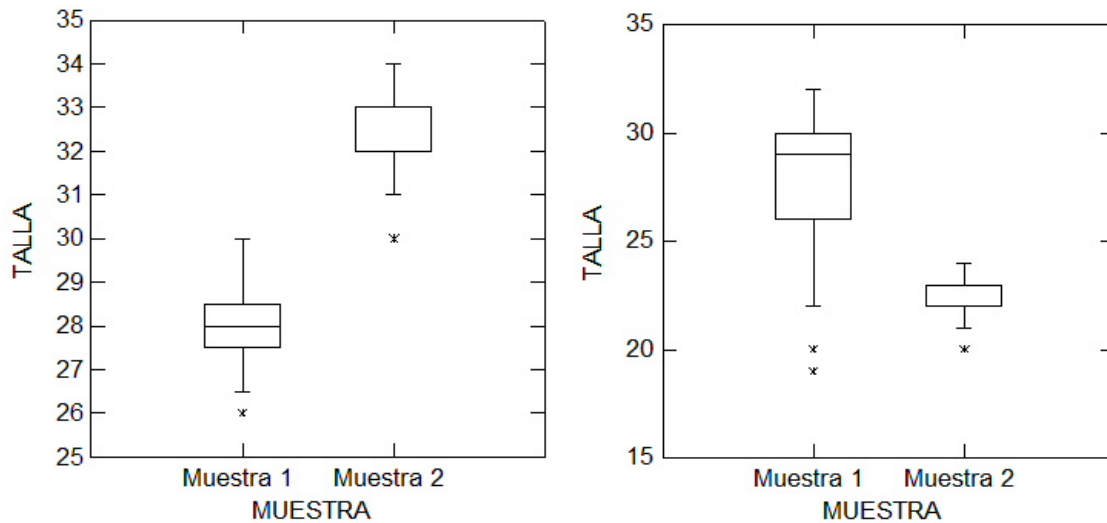


Figura 10. Talla media de peces obtenidos en la zona de pesca del norte de Perú (izquierda) y norte de Chile (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados

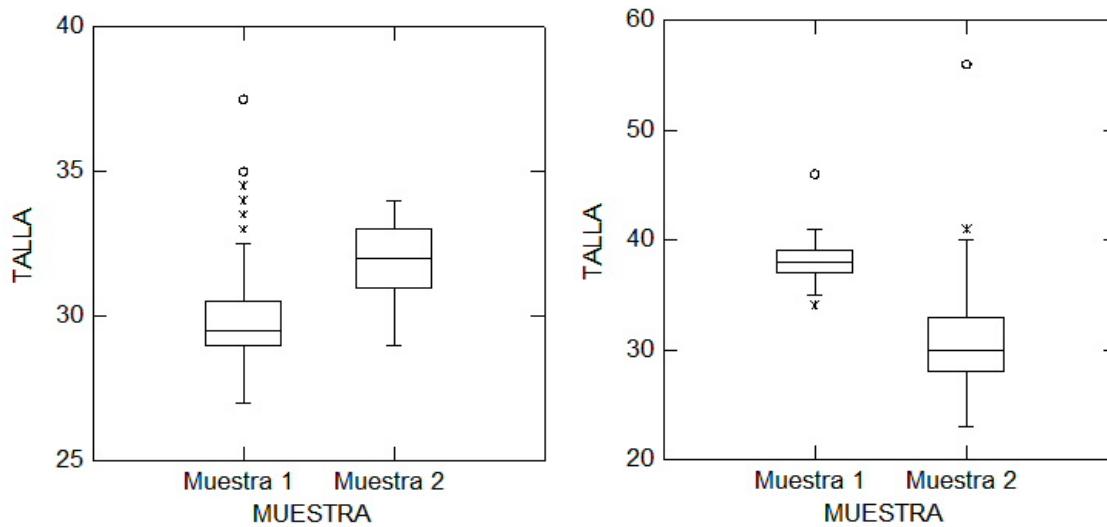


Figura 11. Talla media de peces obtenidos en la zona de pesca de Coquimbo (izquierda) y Talcahuano (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

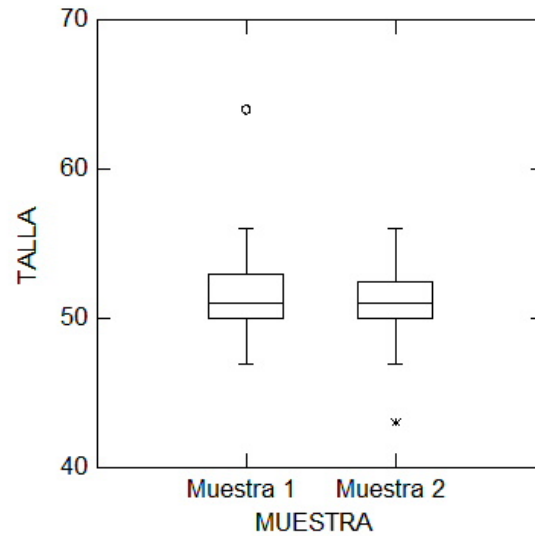


Figura 12. Talla media de peces obtenidos en la zona de pesca de Nueva Zelandia en dos muestreos temporalmente espaciados.

Por otro lado, la muestra correspondiente al período reproductivo, estuvo compuesta por 1034 ejemplares de jurel, con una talla media de 34.0 cm Lh, un rango entre 19.0 cm y 64.0 cm, con una desviación estándar de 7.49. La muestra correspondiente al período reproductivo estuvo compuesta por 699 ejemplares de jurel, con una talla media de 35.78 cm., un rango entre 20.0 cm y 56.0 cm, con una desviación estándar de 10.56. Un análisis de varianza indico que la talla media en ambos períodos difiere significativamente ($F_{1,1731} = 17.13, p < 0.001$) (**Figura 13**).

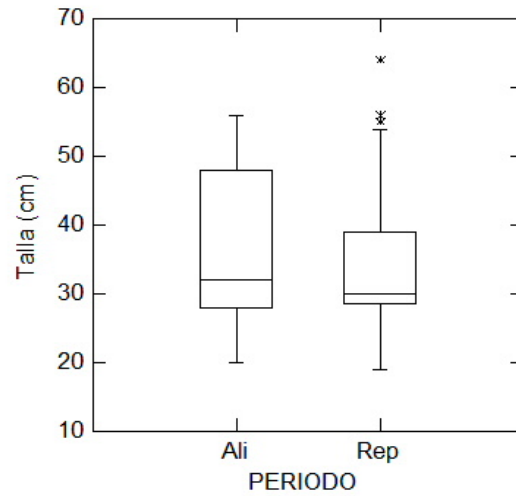


Figura 13. Talla media de los peces en periodo de alimentaci3n (Ali) y reproducci3n (Rep).

4.4.1.2 Talla de peces en periodo reproductivo en los proyectos FIP 2007/27 y FIP 2010/18.

Al integrar la informaci3n de ambos proyectos, considerando aquellas zonas de pesca para las cuales hubo muestras en el per3odo reproductivo, se tiene un total de 1645 peces. Las caracter3sticas de estas muestras se indican en la **Tabla 15**.

Tabla 15.
Caracter3sticas de las muestras obtenidas en dos proyectos FIP, durante el per3odo reproductivo.

	n	Talla (cm)			
		Media	Menor	Mayor	DS
FIP 2007/27	611	36,15	18,5	55	7,94
FIP 2010/18	1034	33,98	19	64	7,49

La talla media de los peces, para ambas muestras obtenidas durante el período reproductivo, difieren significativamente ($F_{1,1643} = 30.67$, $p < 0.001$). Al contrastar la talla media, para cada zona de pesca, (**Tabla 16**) tan sólo la talla media de las muestras obtenidas durante ambos períodos reproductivos en la zona de pesca Chiloé Oceánico no difieren significativamente ($F_{1,313} = 1.54$, $p = 0.216$), para las restantes zonas de pesca, la talla media difiere significativamente ($p < 0.001$ en todos los casos) entre ambos períodos reproductivos (**Figura 14 a Figura 17**).

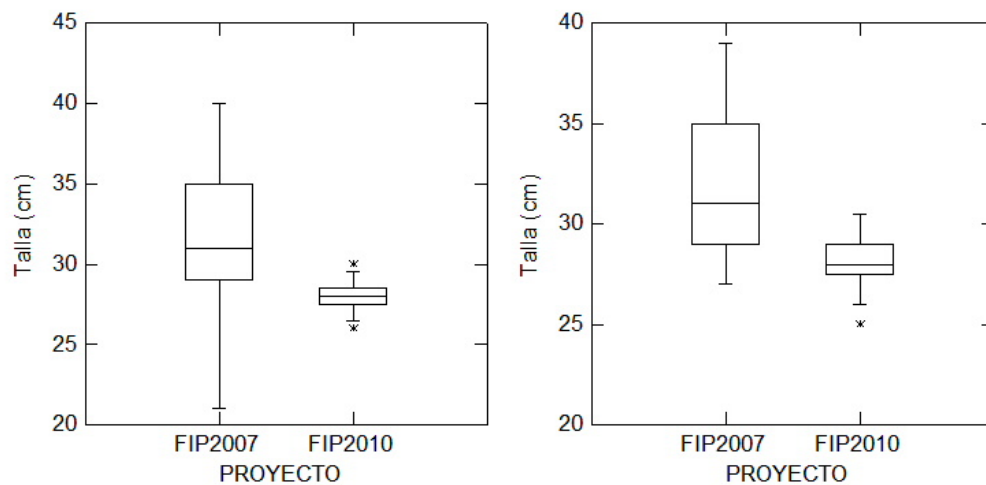


Figura 14. Talla media de peces en la misma zona de pesca, durante el período reproductivo (izquierda Norte de Perú, derecha Centro de Perú).

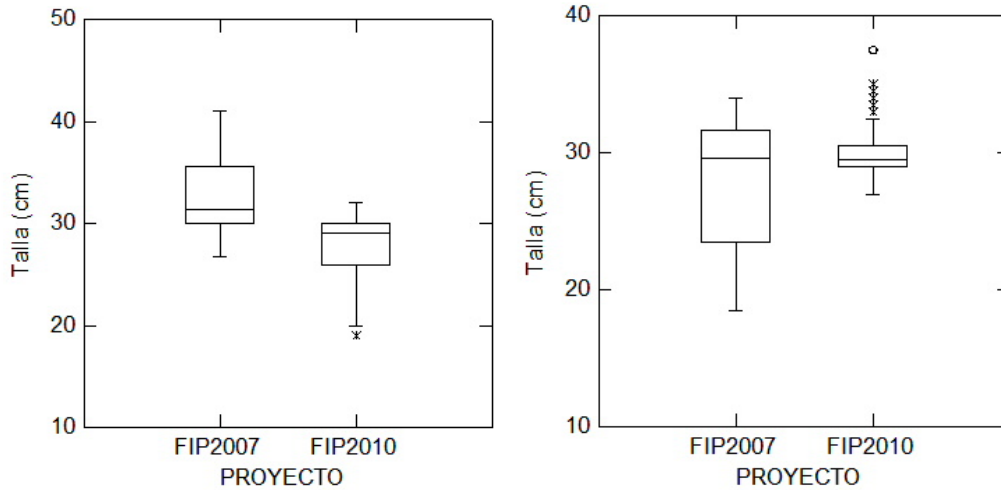


Figura 15. Talla media de peces en la misma zona de pesca, durante el período reproductivo (izquierda Norte de Chile, derecha Coquimbo).

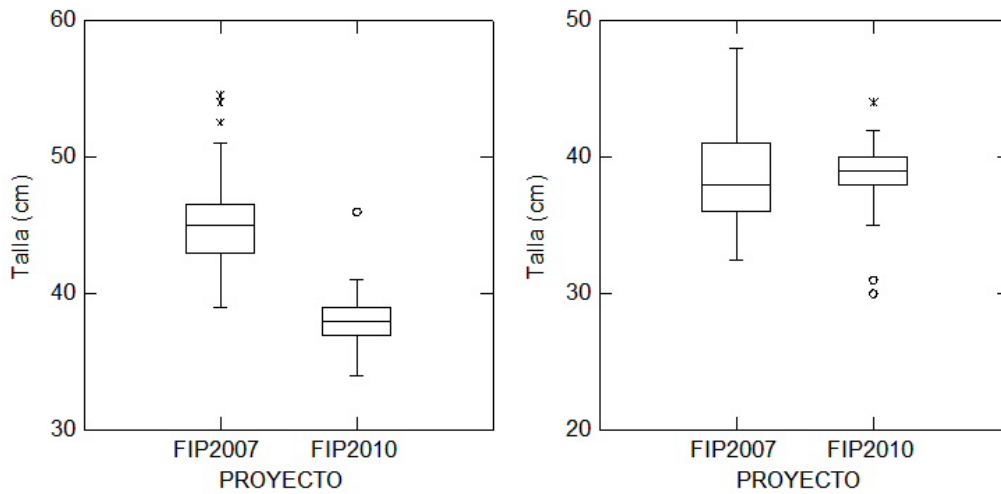


Figura 16. Talla media de peces en la misma zona de pesca, durante el período reproductivo (izquierda Talcahuano costa, derecha Chiloé oceánico).

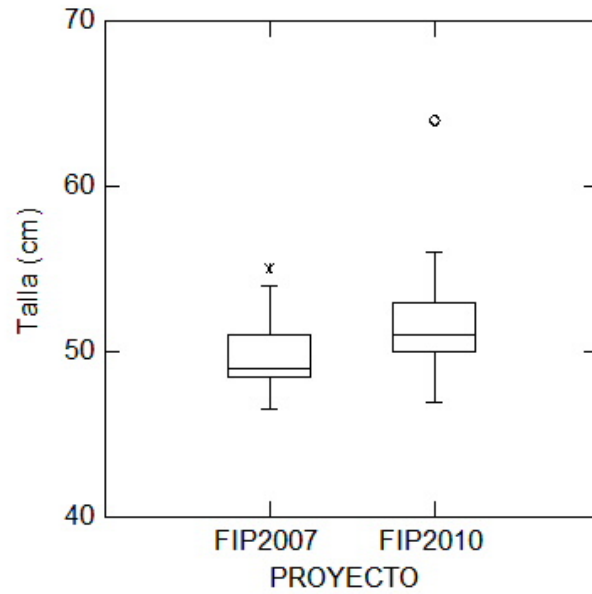


Figura 17. Talla media de peces en la zona de pesca de Nueva Zelandia, durante el per3odo reproductivo.

Tabla 16.

Talla media de peces obtenidos en dos periodos reproductivos en las mismas zonas de pesca. NPE = Norte de Per3, CPE = Centro de Per3, NCH = Norte de Chile, COQ = Coquimbo, TCO = Talcahuano costa, CHO = Chilo3 oce3nico, NZE = Nueva Zelanda, de = desviaci3n est3ndar.

	NPE		CPE	
	2007	2010	2007	2010
Talla media	32,08	28,09	31,83	28,14
Menor	21,00	26,00	27,00	25,00
Mayor	40,00	30,00	39,00	30,50
Ds	4,20	0,78	3,25	1,14
N	50	70	105	140

	NCH		COQ	
	2007	2010	2007	2010
Talla media	32,52	28,16	27,50	29,90
Menor	26,70	19,00	18,50	27,00
Mayor	41,00	32,00	34,00	37,50
Ds	3,38	3,09	4,86	1,82
N	100	100	101	100

	TCO		CHO	
	2007	2010	2007	2010
Talla media	45,17	38,15	38,59	38,96
Menor	39,00	34,00	32,50	30,00
Mayor	54,50	46,00	48,00	44,00
Ds	3,02	1,70	3,73	1,54
N	100	100	100	215

	NZE	
	2007	2010
Talla media	49,71	51,63
Menor	46,50	47,00
Mayor	55,00	64,00
Ds	1,96	2,07
N	55	100

4.4.1.3 Tendencias latitudinales en la talla media de los peces

Las tendencias latitudinales en la talla media de los peces no son congruentes en las tres situaciones bajo análisis, a saber períodos reproductivos FIP 2007/27 y FIP 2010/18 y período de alimentación FIP 2010/18 (**Figuras 18 - 19**). Sólo para el período reproductivo cubierto por este proyecto, parece ser clara una tendencia latitudinal, con un incremento de la talla media de los peces desde el norte de Perú hacia Talcahuano, tendencia que se sugiere pero no es tan evidente para el período reproductivo cubierto por el Proyecto FIP 2007/27.

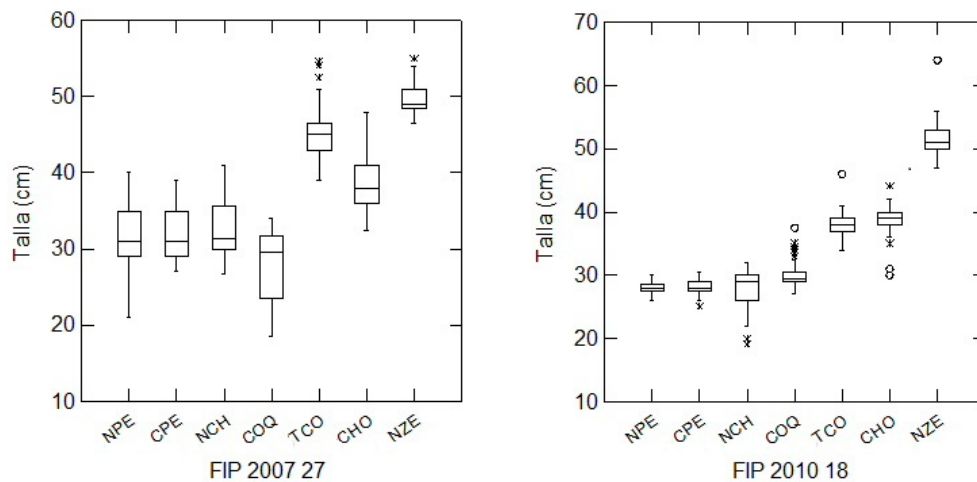


Figura 18. Tendencias latitudinales en la talla media de los peces durante dos periodos reproductivos.

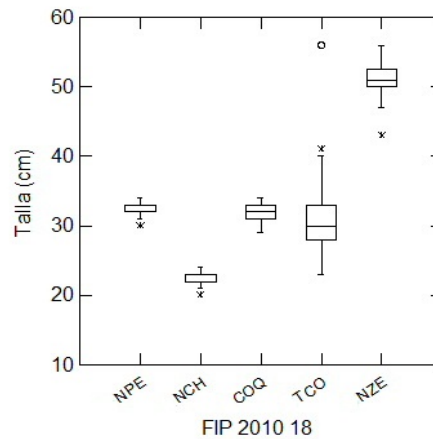


Figura 19. Tendencia latitudinal en la talla media de los peces FIP 2010/18, período de alimentación.

4.4.2 Parásito fauna

Del total de la muestra de peces, se obtuvieron 44.506 parásitos metazoos, de ellos un 1.3% (575) corresponden a ectoparásitos y el 98.7% a endoparásitos. Las formas adultas representan un 37.5% del total de la fauna de endoparásitos. Sin embargo las formas larvales corresponden al 62.4% de los endohelminetos. Particularmente, el 59.6% de la fauna de parásitos está representado por formas larvales de nematodos anisakidos, lo que sugiere fuertemente un nivel trófico intermedio para el jurel, ya que estos nematodos al estado adulto son parásitos de mamíferos marinos. Por otro lado, el 85.5% de la fauna de parásitos se explica tan sólo por dos especies: *Anisakis simplex* y *Rhadinorhynchus trachuri*.

La fauna de parásitos metazoos ahora encontrados corresponden a:

ECTOPARASITOS

Crustacea

Lernanthropinus trachuri. Este parásito es común en peces del género *Trachurus* y ha sido registrado anteriormente como *Lernanthropus trachuri*, debe considerarse este nuevo status taxonómico, de acuerdo a Chad (2009). Ausente sólo en muestras de Nueva Zelandia y Chiloé Costa. Esta especie ha sido registrada en todos los estudios cuantitativos referidos a parásitos de *T. murphyi*

Ceratothoa gaudichaudii. Isópodo común en jureles y otros pelágicos pequeños. Está ausente en las zonas de pesca del norte de Perú (primera muestra) Talcahuano costa (primera muestra) y Nueva Zelandia (ambas muestras). Esta especie ha sido registrada en todos los estudios cuantitativos referidos a parásitos de *T. murphyi*

Nerocila sp. Este isópodo no había sido registrado en anteriores estudios referidos al jurel en las costas de Sud América. Se encontró sólo un ejemplar en la segunda muestra de Nueva Zelandia.

Monogenea

Heteraxinoides sp. Pocos ejemplares y en mal estado fueron obtenidos desde muestras de Talcahuano (segunda muestra).

ENDOPARÁSITOS

Digenea

Copiatestes filiferum. Este digeneo fue registrado anteriormente (Oliva, 1999) en Antofagasta, como *Syncoelium filiferum*, aunque obtuvo un sólo ejemplar y

también por Serra *et al.*, (2010) en Iquique. En esta oportunidad resultó común en las muestras de Nueva Zelanda.

Monascus sp. Digeneo presente sólo en la primera muestra de Nueva Zelanda, aunque en baja prevalencia (6%).

Digenea gen. sp. Este parásito estuvo presente sólo en la segunda muestra de Nueva Zelanda.

Cestoda

Nybelinia surmenicola. Estado de desarrollo larval de un cestodo que madura en elasmobranquios. Fue registrado en la segunda muestra de Nueva Zelanda. Esta especie ha sido registrada en todos los estudios cuantitativos referidos a parásitos de *T. murphyi*.

Hepatoxylon trichiuri. Larvas de este cestodo tetraphyllideo son relativamente comunes en peces marinos (Oliva, 2001). Se obtuvieron en Talcahuano costa (primera muestra). Ha sido registrado previamente en muestras de Nueva Zelanda y Chiloé (oceánico) por Serra *et al.* (2010).

Nematoda

Anisakis simplex. Formas larvales de este Anisakido consideradas como Anisakis tipo I (Berland, 1961) y asociadas posteriormente a *Anisakis simplex*, son comunes en peces marinos a través de todo el mundo y representan un complejo de al menos tres especies que ha sido dilucidado recientemente a través de técnicas moleculares (Mattiucci & Nascetti, 2008). Ausente sólo en todas las muestras del Perú.

Contracaecum sp. Larvas de este nematodo anisakido se obtuvieron sólo en muestras de Nueva Zelandia, aunque previamente habían sido registradas en Chile aunque en baja prevalencia. (George- Nascimento, 2000; Serra *et al.* 2010).

Pseudoterranova decipiens. Larvas de este anisakido se obtuvieron sólo desde la primera muestra de Talcahuano. Previamente había sido registrado en Chile por George-Nascimento (2000) y Serra *et al.* 2010).

Hysterothylacium aduncum. Ejemplares de este nematodo se obtuvieron en todas las localidades, excepto todas las zonas de pesca de Perú.

Acanthocephala

Corynosoma australe. Larva de acantocéfalo común en peces marinos. Se presentó sólo en dos zonas de pesca. (Chiloé costa y segunda muestra de Nueva Zelandia).

Bolbosoma sp. Acantocéfalo que al estado de larva fue detectado sólo en la primera muestra de Talcahuano, con baja prevalencia.

Rhadinorhynchus trachuri. Ausente sólo en Chiloé costa y todas las muestras del Perú. Es un parásito común en peces del género *Trachurus*.

4.4.3 Análisis univariados

4.4.3.1 Prevalencia de infección

Del total de peces analizados, un 55.8% estuvo parasitado por al menos una especie de parásito, con un rango, según zonas de pesca, fluctuando entre un

3.6% y 100%. La **Tabla 17** indica la prevalencia global por zona de pesca, Incluida la información de Serra *et al.* (2010).

Tabla 17.

Prevalencia global de infección, considera el porcentaje de peces infectados con al menos una especie de parásito. (No se considera infección por Quiste de naturaleza desconocida, QND). Códigos igual que en Tabla 13. N/A = No se dispuso de muestras.

Periodo alimentación		Periodo reproductivo			
FIP 2007/27		FIP 2010/18			
Zona de pesca	Prevalencia	Zona de pesca	Prevalencia	Zona de pesca	Prevalencia
CHC	N/A	CHC	N/A	CHC	95,0
CHO	100	CHO	71,2	CHO	N/A
COQ	72,3	COQ	71,0	COQ	67,0
CPE	44,5	CPE	3,6	CPE	N/A
NCH	65,3	NCH	64,0	NCH	61,0
NPE	32	NPE	68,6	NPE	46,0
NZE	98,2	NZE	100,0	NZE	100,0
SPE	N/A	SPE	10,0	SPE	N/A
TCO	100,0	TCO	98,0	TCO	100,0

Al correlacionar la talla media por zona de pesca con la prevalencia global de infección, se observa un buen ajuste entre esta variables ($r = 0.75$, $n = 14$, $p < 0,001$) lo que sugiere que a medida que aumenta la talla de los peces, aumenta la probabilidad de infección con un parásito cualquiera. (**Figura 20**). La prevalencia de infección para cada especie de parásito, por zona de pesca se indica en la **Tabla 18**.

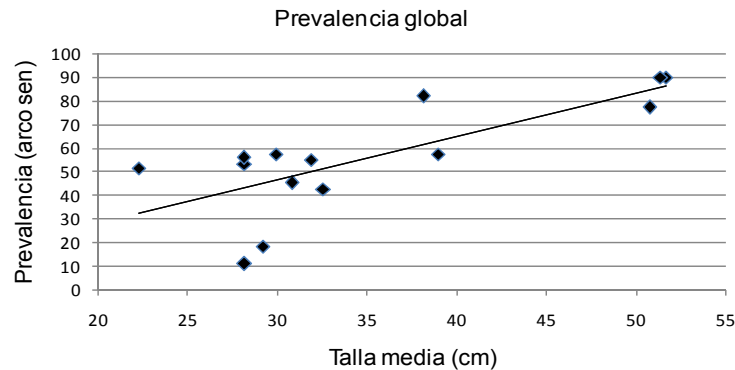


Figura 20. Relaci3n entre talla media por zona de pesca y prevalencia de infecci3n (previa transformaci3n arco seno).

Tabla 18.

Prevalencia de infecci3n de las diferentes especies de par3sitos en las zonas de pesca analizadas, seg3n per3odo (reproductivo, alimentaci3n). C3digo para Zonas de Pesca como en **Tabla 13**. QND = Quiste de naturaleza desconocida.

	Per3odo alimentaci3n								Per3odo reproductivo					
	NPE	CPE	SPE	NCH	COQ	TCO	CHO	NZE	NPE	NCH	COQ	TCO	CHC	NZE
<i>C. gaudichaudii</i>	0,0	0,7	1,9	1,0	2,0	0,0	0,9	0,0	3,0	8,0	6,0	1,0	1,0	0,0
<i>Nerocila</i> sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
<i>L. trachuri</i>	2,9	2,9	8,1	38,0	26,0	34,0	0,5	0,0	39,0	56,0	23,0	48,2	0,0	0,0
<i>Heteraxinoides</i> sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0
<i>C. filiferum</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	72,7	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	60,0
<i>Monascus</i> sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0
Digenea gen. sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>N. surmenicola</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0
<i>H. trichuri</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>A. simplex</i>	0,0	0,0	0,0	20,0	49,0	89,0	10,7	100,0	0,0	5,0	50,0	38,7	80,0	99,0
<i>Contracaecum</i> sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0
<i>H. aduncum</i>	0,0	0,0	0,0	2,0	8,0	12,0	0,5	30,3	0,0	0,0	4,0	1,5	48,0	34,0
<i>P. decipiens</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anisakidae	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	38,7	0,0	0,0
<i>C. australe</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,0	39,0
<i>Bolbosoma</i> sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>R. trachuri</i>	0,0	0,0	0,0	26,0	7,0	87,0	99,1	0,0	4,0	0,0	7,0	97,5	0,0	31,0

En la **Tabla 19** se indican los valores de la prueba de χ^2 para cada uno de las especies de parásito que se encontraron en dos o más zonas de pesca. La prevalencia de infección no difiere significativamente para *C. gaudichaudii* (aunque marginalmente), ni para *C. australe* y *Contracaecum* sp.; estas últimas especies se encontraron sólo en dos zonas de pesca, en tanto *C. gaudichaudii* se registró en 10 zonas de pesca, aunque con baja prevalencia.

Tabla 19.

Resultados de la prueba χ^2 para evaluar significancia en las diferencias en prevalencia de infección para aquellas especies presentes en más de dos Zonas de pesca. χ^2 = Chi cuadrado, gl = Grados de libertad, p = probabilidad.

Especie	X2	gl	p
<i>C. gaudichaudii</i>	14,6	8	0,068
<i>L. trachuri</i>	169	9	< 0,001
<i>C. filiferum</i>	267	3	< 0,001
<i>A. simplex</i>	469	9	< 0,001
<i>Contracaecum</i> sp.	0,037	1	0,847
<i>H. aduncum</i>	251	8	< 0,001
Anisakidae	130	2	< 0,001
<i>C. australe</i>	0,515	1	0,473
<i>R. trachuri</i>	707	7	< 0,001

En tanto en la **Tabla 20** se dan los valores del mismo estadístico al contrastar la prevalencia de infección para cada especie de parásito que estuvo presente en ambas muestras en cada zona de pesca.

De la **Tabla 20** se desprende que hay una estabilidad temporal en la prevalencia de infección sólo para aquellos parásitos provenientes de la zona de pesca de Coquimbo y aquellos de Nueva Zelandia.

Tabla 20.

Resultados de la prueba χ^2 para evaluar significancia en las diferencias en prevalencia de infección, para aquellos parásitos presentes en periodo reproductivo y periodo de alimentación. Se indica valor de p entre paréntesis.

Especie	Zona de Pesca				
	NPE	NCH	COQ	TOC	NZE
<i>C. gaudichaudii</i>		4,19 (0,041)	1,18 (0,279)		
<i>L. trachuri</i>	27,45 (<0,001)	5,8 (0,016)	0,108 (0,742)	4,93 (0,026)	
<i>C. filiferum</i>					3,01 (0,08)
<i>A. simplex</i>		8,96 (0,003)	0 (> 0,999)	66,18 (<0,001)	0 (> 0,999)
<i>Contraecum</i> sp.					0,037 (0,847)
<i>H. aduncum</i>			0,798 (0,372)	13,25 (<0,001)	0,165 (0,684)
<i>R. trachuri</i>			0 (> 0,999)	9,63 (0,002)	

Las tendencias latitudinales en la prevalencia de infección no resultan claras, ya que una misma especie tiene diferente comportamiento, en el caso de *C. gaudichaudii* es evidente una disminución de la prevalencia de infección en las muestras de Chile en el período de alimentación, más no en el período reproductivo. Para *A. simplex* se sugiere una tendencia al aumento de la prevalencia hacia el sur, en ambos períodos. Lo mismo que para *R. trachuri*. Es decir, para ambas especies se evidencia un proceso de acumulación de parásitos hacia el sur en la gradiente latitudinal. Hacia el sur incrementa la proporción de peces parasitados, lo que es congruente con la tendencia en el incremento de la

talla. Siendo esta situación una evidencia de movimientos migratorios. Para *L. trachuri* no hay un patrón discernible (Figuras 21 - 24).

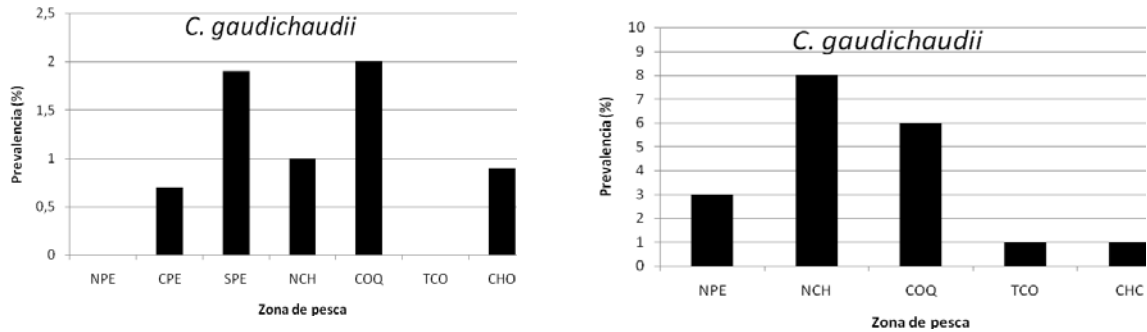


Figura 21. Tendencias latitudinales en la prevalencia de infección de *C. gaudichaudii* durante el periodo reproductivo (izquierda) y de alimentación (derecha).

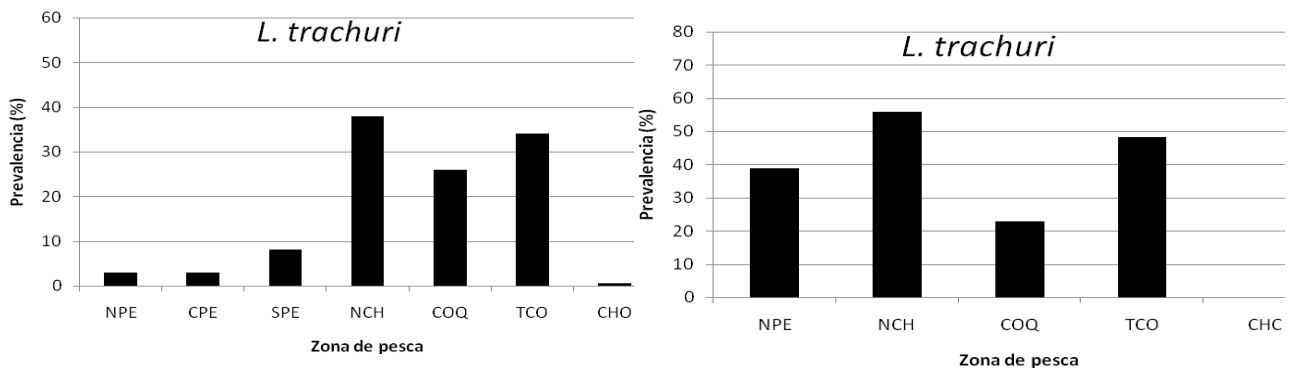


Figura 22. Tendencias latitudinales en la prevalencia de infección de *L. trachuri* durante el periodo reproductivo (izquierda) y de alimentación (derecha).

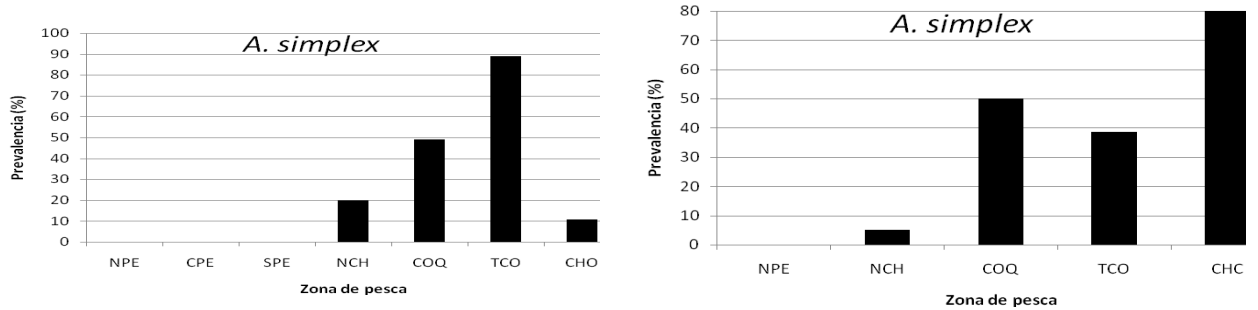


Figura 23. Tendencias latitudinales en la prevalencia de infecci3n de *A. simplex* durante el periodo reproductivo (izquierda) y de alimentaci3n (derecha).

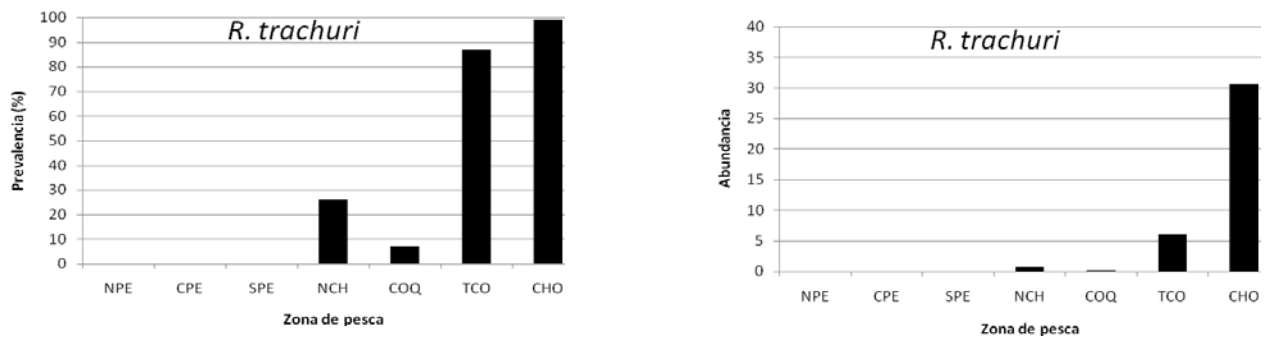


Figura 24. Tendencias latitudinales en la prevalencia de infecci3n de *R. trachuri* durante el periodo reproductivo (izquierda) y de alimentaci3n (derecha).

Al contrastar los valores de prevalencia de infecci3n, entre zonas de pesca durante el periodo reproductivo (**Tabla 21**), no es evidente un patr3n definido para los par3sitos considerados. Excepto para el is3podo *C. gaudichaudii* para el cual la prevalencia de infecci3n no difiere significativamente entre zonas de pesca.

Tabla 21.

Resultados de la prueba de X^2 para evaluar significancia en la diferencia de prevalencia de infecci3n para aquellos par3sitos presentes en una misma zona de pesca, en dos periodos reproductivos. Entre par3ntesis valor de probabilidad, (*) = $p < 0.001$.
na= no aplica.

	NPE	CPE	NCH	COQ	TCO	CHO	NZE
				0 (>	1,35	0,04	
<i>C. gaudichaudii</i>	0,93(0,34)	0 (> 0.999)	0,80 (0,37)	0,999)	(0,08)	(0,84)	na
	3,7		0,054	0,18	4,28		
<i>L. trachuri</i>	(0,053)	0 (> 0.999)	(0,82)	(0,67)	(0,38)	13,5 (*)	na
			5,26				
<i>C. filiferum</i>	na	Na	(0,022)	0,49(0,48)	Na	10,5 (*)	17,9 (*)
		7,36			7,18	0,02	
<i>A. simplex</i>	na	(0,007)	10,82 (*)	20,7 (*)	(0,007)	(0,88)	0,09 (0,77)
<i>Contracaecum</i>			3,24	0,49			7,59
sp.	na	Na	(0,072)	(0,48)	Na	na	(0,006)
<i>P. decipiens</i>	na	Na	Na	na	25,8 (*)	na	na
				6,38	2,32	0	
<i>H. aduncum</i>	na	Na	0,51 (0,48)	(0,01)	(0,13)	(>0.999)	18,82 (*)
			0,014			0,04	
<i>R. trachuri</i>	na	0,85 (0,36)	(0,907)	39,5 (*)	60,5 (*)	(0,84)	1,36 (0,24)

4.4.3.2. Abundancia de infección

La abundancia media global alcanzó a 24.9 parásitos por pez, con un rango de 0 a 1101 parásitos y con una desviación estándar de 16.3. Un análisis de regresión entre talla y abundancia (previa transformación $(\log n+1)$), indica un buen ajuste entre las variables, sugiriendo que la abundancia incrementa con la talla de los peces ($r = 0.68$, $gl = 1731$, $p > 0.05$) (**Figura 25**).

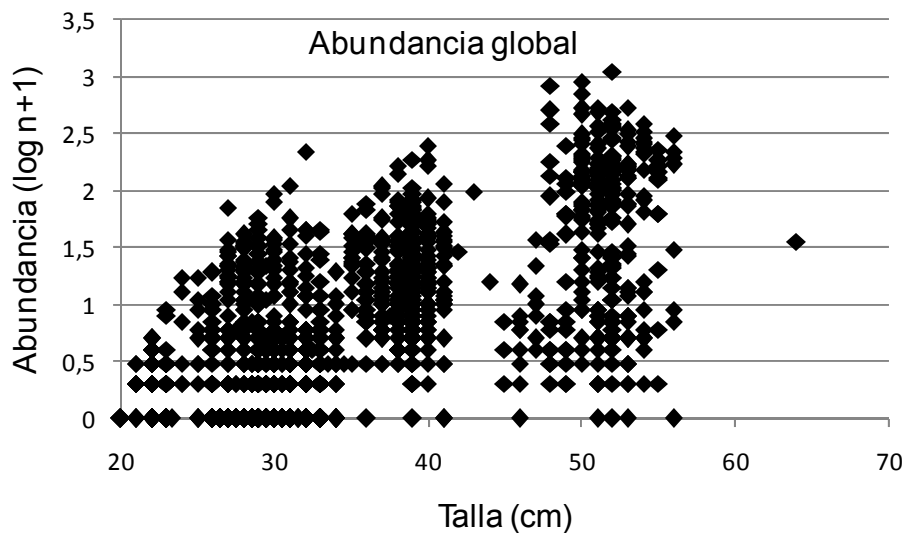


Figura 25. Relación entre talla y abundancia de infección (previa transformación $\log n+1$).

La **Tabla 22** entrega información sobre la abundancia media de infección de cada especie de parásito por zona de pesca.

Tabla 22.

Abundancia media de infección (desviación estándar en paréntesis) de las diferentes especies de parásitos en las zonas de pesca analizadas, durante el período de alimentación y reproductivo. Código para Zonas de Pesca como en **Tabla 13.**

Especie	Zona de Pesca (período alimentación)								Zona de pesca (período reproductivo)					
	NPE	CPE	SPE	NCH	COQ	TCO	CHO	NZE	NPE	NCH	COQ	TCO	CHC	NZE
<i>C. gaudichaudii</i>	0,00	1 (0)	1,3 (0.5)	2 (0)	1 (0)	0,00	1 (0)	0,00	1,33 (0,8)	1,38 (0,4)	1,17 (0,4)	1 (0)	1 (0)	0,00
<i>Nerocila</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 (0)
<i>L. trachuri</i>	1 (0)	1 (0)	1,2 (0,4)	1,7 (0,98)	1,34 (0,6)	1,24 (0,6)	1 (0)	0,00	2,1 (1,6)	1,46 (0,7)	1,2 (0,4)	1,82 (1,6)	0,00	0,00
<i>Heteraxinooides</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,6 (0,8)	0,00	0,00
<i>C. filiferum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,3(0,8)	27,3 (44,7)	0,00	0,00	0,00	1 (0)	0,00	3,9 (4,4)
<i>Monascus</i> sp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14 (15,6)
Digenea gen. sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115 (186,7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nybelinia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61 (1,44)
<i>H. trichuri</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5 (0,7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>A. simplex</i>	0,00	0,00	0,00	1,5 (0,83)	3,38 (3,5)	4 (3,13)	1,26 (0,9)	105 (113)	0,00	1 (0)	2,36 (1,9)	2,23 (2)	2,75 (1,8)	152 (116)
<i>Contracaecum</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73 (1,3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,29 (0,77)
<i>P. decipiens</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 (0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>H. aduncum</i>	0,00	0,00	0,00	1 (0)	1,5 (1,1)	1 (0)	1 (0)	1,67 (1,24)	0,00	0,00	1,25 (0,25)	1 (0)	2,75 (1,8)	2,3 (4,3)
Anisakidae	0,00	0,00	1 (0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 (0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>C. australe</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,4 (3,3)	8,64 (3,32)
<i>Bolbosoma</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 (0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>R. trachuri</i>	0,00	0,00	0,00	2,4 (2,4)	1,71 (1,5)	7 (10,4)	30,9 (35)	0,00	2 (1,15)	0,00	1,14 (0,4)	20,4 (20,8)	0,00	9,1 (9,62)

Los resultados del análisis de varianza, previa transformación log (n+1) de la abundancia, para aquellos parásitos presentes en la misma zona de pesca en ambos períodos, se indican en la **Tabla 23**. En términos generales, la tendencia en la estabilidad temporal de la abundancia media de infección sigue un patrón similar a la prevalencia de infección, siendo las muestras de Coquimbo las que mantienen estabilidad temporal, además de *L. trachuri* para el norte de Chile y sólo los nematodos *Contraeaecum* sp. y *H. aduncum* para Nueva Zelanda. (**Figuras 26 – 33**).

Tabla 23.

Resultados de análisis de varianza para evaluar significancia en las diferencias en abundancia media de infección, para aquellos parásitos presentes en ambas muestras. Se indica valor del estadístico F y su probabilidad asociada, p, entre paréntesis. Grados de libertad: NPE = 1,168; NCH y COQ = 1, 198; TOC = 1,297; NZE = 1,197.

Especie	Zona de Pesca				
	NPE	NCH	COQ	TOC	NZE
<i>C. gaudichaudii</i>		4,5 (p = 0,035)	2,3 (p = 0,131)		
<i>L. trachuri</i>	30,7 (p < 0,001)	3,18 (p = 0,08)	0,46 (p = 0,50)	10,4 (p = 0,001)	
<i>C. filiferum</i>					32,4 (p < 0,001)
<i>A. simplex</i>		11,5 (p < 0,001)	0,69 (p = 0,41)	130 (p < 0,001)	14,2 (p < 0,001)
<i>Contraeaecum</i> sp.					0,013 (p = 0,91)
<i>H. aduncum</i>			1,54 (p = 0,22)	16,1 (p < 0,001)	0,57 (p = 0,425)
<i>R. trachuri</i>			0,18 (p = 0,73)	109 (p < 0,001)	

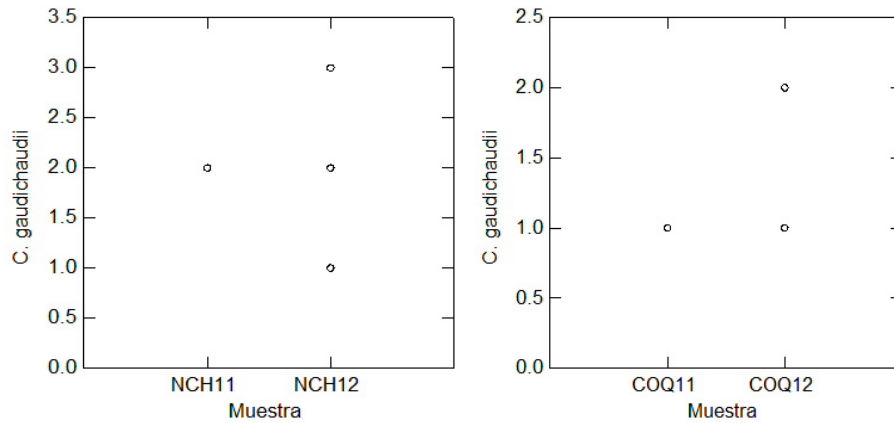


Figura 26. Abundancia media de infección de *C. gaudichaudii* en las zona de pesca Norte de Chile (izquierda) y Coquimbo (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

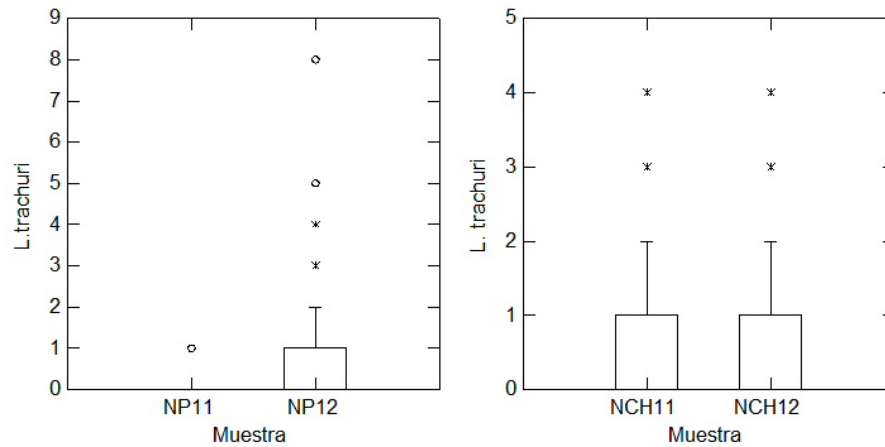


Figura 27. Abundancia media de infección de *L. trachuri* en las zona de pesca Norte de Perú (izquierda) y Norte de Chile (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

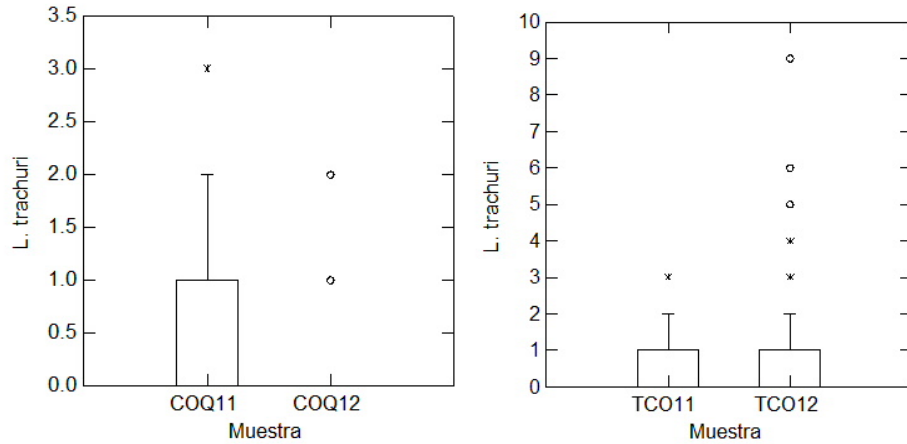


Figura 28. Abundancia media de infección de *L. trachuri* en las zona de pesca Coquimbo (izquierda) y Talcahuano costa (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

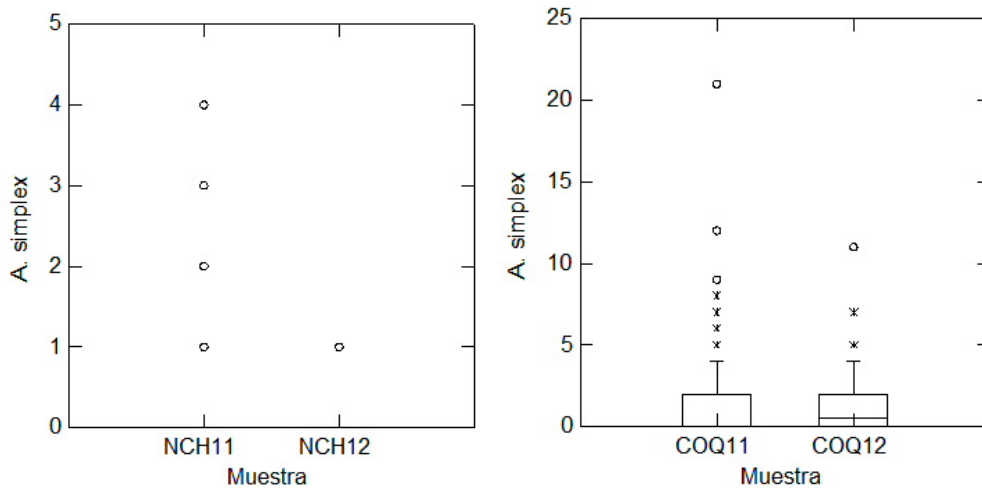


Figura 29. Abundancia media de infección de *A. simplex* en las zonas de pesca Norte de Chile (izquierda) y Coquimbo (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

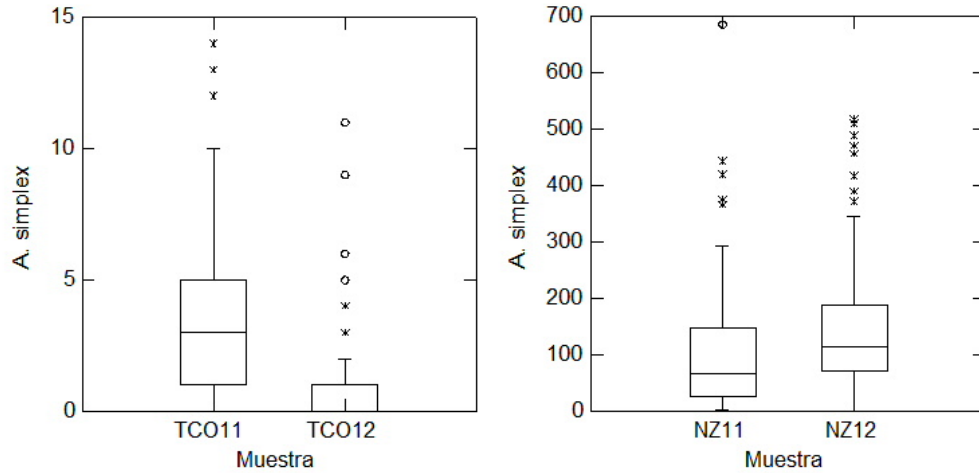


Figura 30. Abundancia media de infección de *A. simplex* en la zona de pesca Talcahuano costa (izquierda) y Nueva Zelandia (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

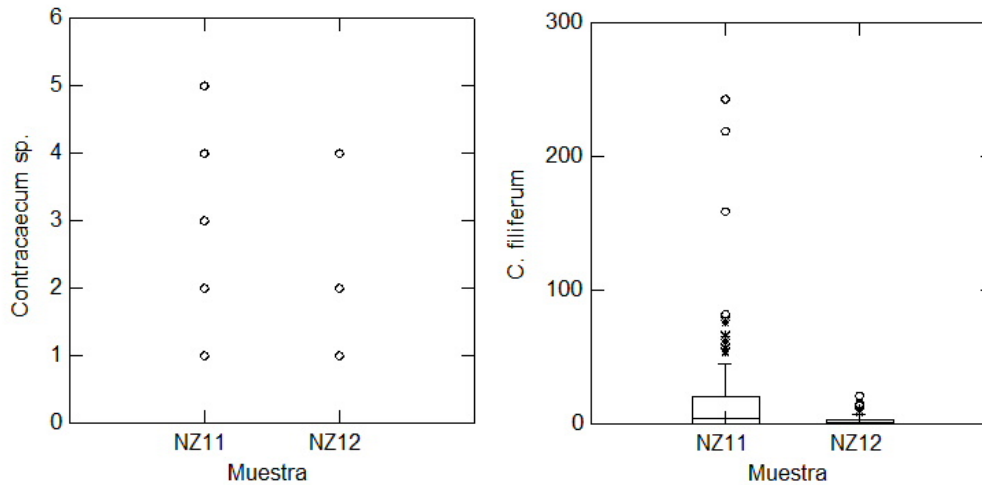


Figura 31. Abundancia media de infección de *Contracaecum sp.* (Izquierda) y *C. filiferum* (derecha) en la zona de pesca de Nueva Zelandia en dos muestreos temporalmente espaciados.

La abundancia media de infección difiere entre zonas de pesca para todas las especies ($p < 0.001$ para todos los casos), excepto *C. australe* ($F_{1,198} = 0.798$, $p = 0.373$) y *Contracaecum* sp. ($F_{1,197} = 0.472$, $p = 0.493$). Las **Tablas 24 - 28** indican la matriz de probabilidad para comparaciones pareadas de la prueba *a posteriori* HSD de Tukey, en tanto las **Figuras 34 - 36** muestran la distribución de la abundancia media para aquellas especies para las cuales este análisis se puede realizar.

Tabla 24.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *L. trachuri*. Código de zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca									
	CHC12	CHO11	COQ11	COQ12	CP11	NCH11	NCH12	NP12	SP11	TCO12
CHC12	1.000									
CHO11	1.000	1.000								
COQ11	1.000	1.000	1.000							
COQ12	0.369	0.151	0.660	1.000						
CP11	1.000	1.000	1.000	0.196	1.000					
NCH11	1.000	1.000	1.000	0.537	1.000	1.000				
NCH12	0.013	0.001	0.050	0.964	0.003	0.029	1.000			
NP12	0.987	0.955	1.000	0.964	0.955	0.998	0.266	1.000		
SP11	1.000	0.999	1.000	0.500	0.999	1.000	0.012	1.000	1.000	
TCO12	1.000	1.000	1.000	0.179	1.000	1.000	0.001	0.966	1.000	1.000

Tabla 25.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *C. filiferum*. Código de Zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca		
	CHO11	NZ11	NZ12
CHO11	1.000		
NZ11	0.000	1.000	
NZ12	0.000	0.000	1.000

Tabla 26.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *A. simplex*.
Código de Zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca									
	CHC12	CHO11	COQ11	COQ12	NCH11	NCH12	NZ11	NZ12	TCO11	TCO12
CHC12	1.000									
CHO11	0.000	1.000								
COQ11	0.011	0.000	1.000							
COQ12	0.000	0.000	0.997	1.000						
NCH11	0.980	0.000	0.991	0.871	1.000					
NCH12	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000				
NZ11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000			
NZ12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000		
TCO11	0.034	0.000	0.000	0.000	0.056	0.000	0.000	0.000	1.000	
TCO12	0.000	0.000	0.136	0.740	0.216	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

Tabla 27.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *H. aduncum*.
Código de Zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca					
	CHC12	COQ11	COQ12	NZ11	NZ12	TCO11
CHC12	1.000					
COQ11	0.000	1.000				
COQ12	0.000	0.991	1.000			
NZ11	0.000	0.010	0.001	1.000		
NZ12	0.000	0.000	0.000	0.951	1.000	
TCO11	0.000	1.000	0.960	0.023	0.001	1.000

Tabla 28.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Abundancia media de *R. trachuri*.
C3digo de Zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca							
	CHO11	COQ11	COQ12	NCH11	NP12	NZ12	TCO11	TCO12
CHO11	1.000							
COQ11	0.000	1.000						
COQ12	0.000	1.000	1.000					
NCH11	0.000	0.583	0.515	1.000				
NP12	0.000	1.000	1.000	0.448	1.000			
NZ12	0.000	0.000	0.000	0.086	0.000	1.000		
TCO11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	
TCO12	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

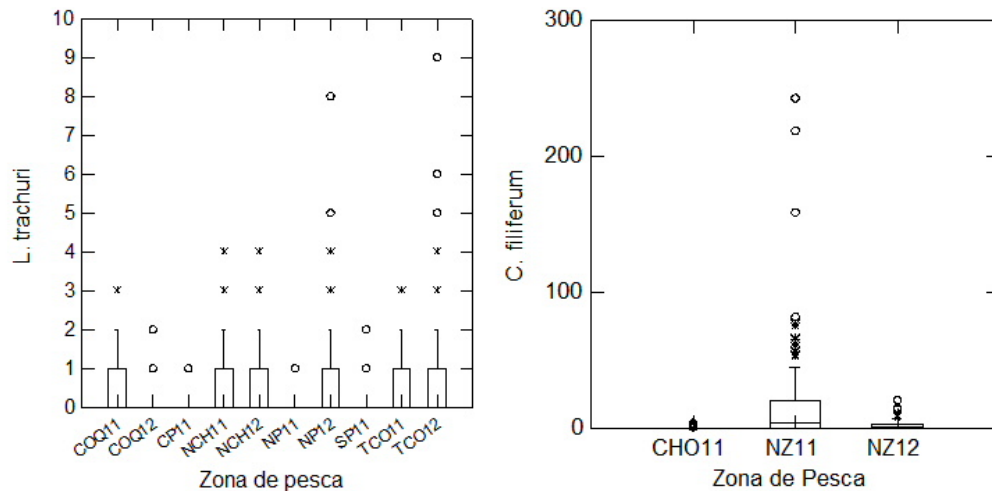


Figura 34. Abundancia media de *L. trachuri* (izquierda) y *C. filiferum* (derecha), para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes.

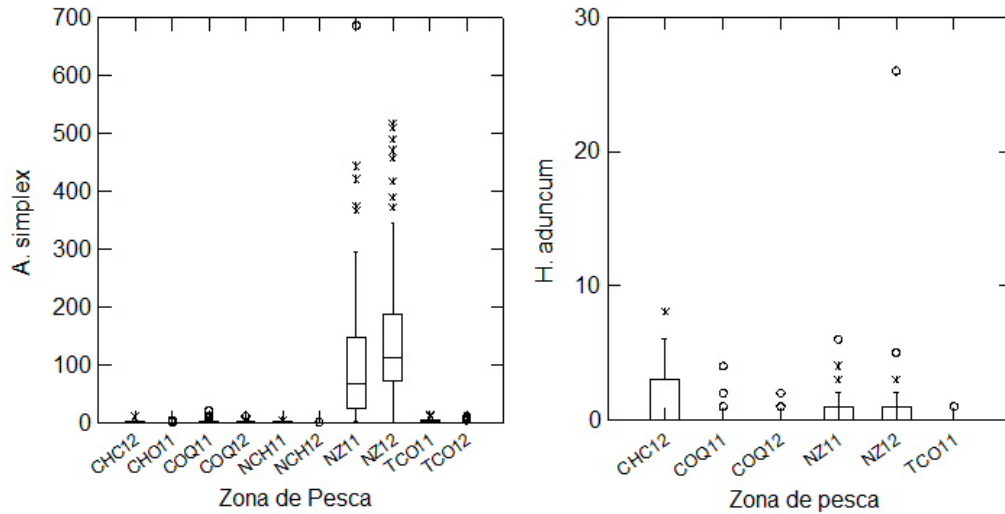


Figura 35. Abundancia media de *A. simplex* (izquierda) y *H. aduncum* (derecha), para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes.

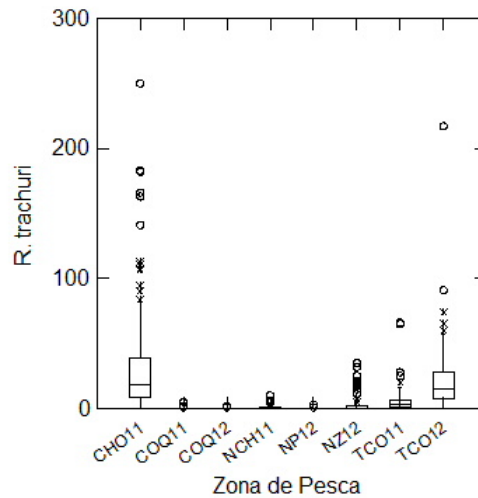


Figura 36. Abundancia media de *R. trachuri* para las zonas de pesca en que esta especie estuvo presente.

Al analizar las tendencias de la abundancia media de infección en un gradiente latitudinal, se sugiere una disminución de este descriptor hacia el sur para *C. gaudichaudii* en ambos periodos, particularmente al considerar muestras a partir

de las costas del norte de Chile. Lo que puede ser evidencia de pérdida de parásitos en el gradiente analizado. El caso apuesto ocurre para *A. simplex*, que aumenta su abundancia media. Es decir, en el gradiente latitudinal, aumenta el número promedio de parásitos de esta especie en el total de la muestra analizada, lo que es una evidencia adicional de acumulación de parásitos, no ya a nivel de población de hospedadores sino a nivel de individuo hospedador. Las restantes especies para las que se puede realizar este análisis no muestran tendencias evidentes (**Figuras 37 - 40**)

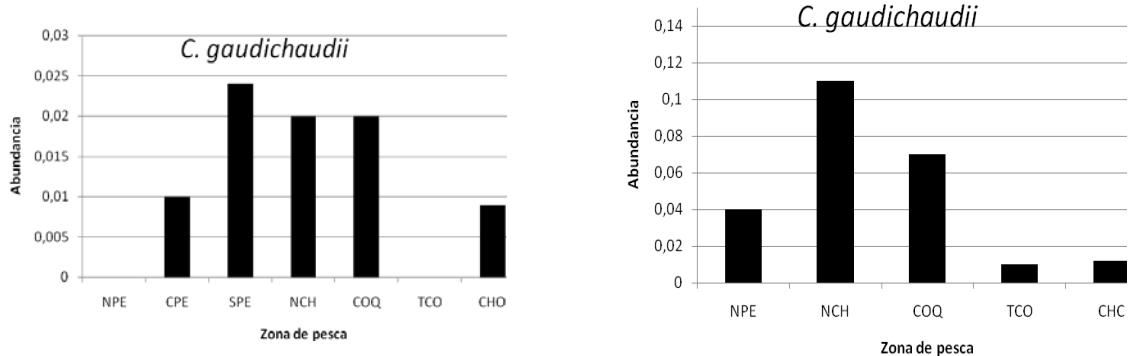


Figura 37. Tendencias latitudinales en la abundancia de infección de *C. gaudichaudii* durante el periodo de alimentación (izquierda) y reproductivo (derecha).

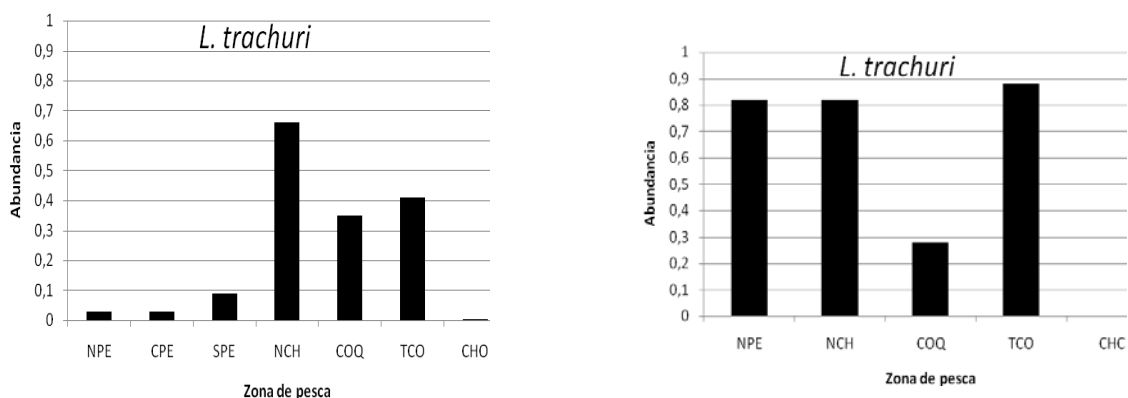


Figura 38. Tendencias latitudinales en la abundancia de infección de *L. trachuri* durante el periodo de alimentación (izquierda) y reproductivo (derecha).

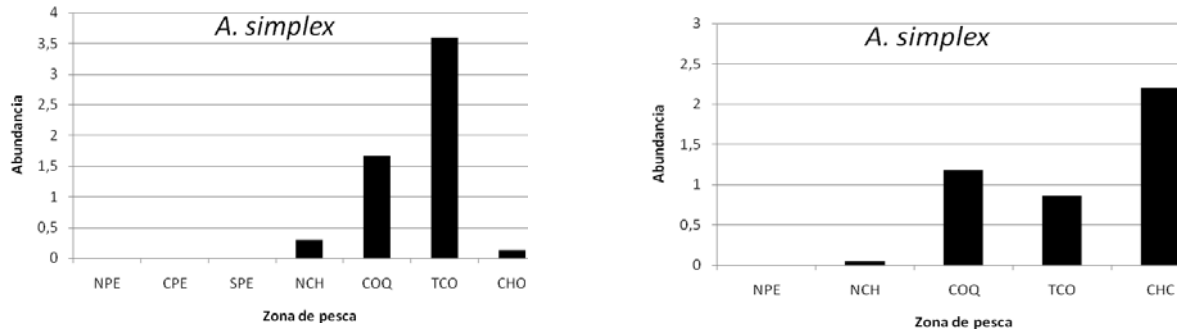


Figura 39. Tendencias latitudinales en la abundancia de infección de *A. simplex* durante el periodo de alimentación (izquierda) y reproductivo (derecha).

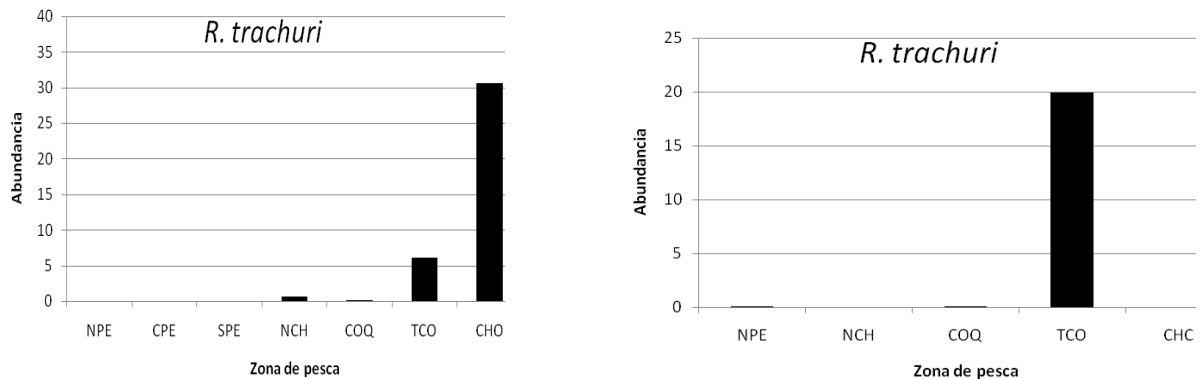


Figura 40. Tendencias latitudinales en la abundancia de infección de *R. trachuri* durante el periodo de alimentación (izquierda) y reproductivo (derecha).

Al contrastar los valores de abundancia media de infección (**Figuras 41 - 46**), para aquellos parásitos presentes en una misma zona de pesca, en dos periodos reproductivos diferentes, no se observan tendencias claras, sólo para *L. trachuri* no hay diferencias significativas a lo largo de las zonas de pesca en Chile. (**Tabla 29**).

Tabla 29.

Resultados de un análisis de varianza para evaluar significancia de las diferencias en abundancia media de infección, para aquellas especies de parásitos presentes en la misma zona de pesca, en dos períodos reproductivos.

Especie	Zona de pesca	F	gl	P
<i>L. trachuri</i>	NPE	6,83	1,118	0,01
	CPE	20,4	1,243	< 0.001
	NCH	0,768	1,119	0,382
	COQ	0,497	1,119	0,482
	TCO	2,78	1,198	0,097
<i>C. filiferum</i>	NZE	19,33	1,152	< 0.001
<i>A. simplex</i>	NCH	13,98	1,199	< 0.001
	COQ	36,76	1,199	< 0.001
	TCO	165,9	1,198	< 0.001
	CHO	0,659	1,313	0,417
	NZE	15,88	1,152	< 0.001
<i>P. decipiens</i>	TCO	26,98	1,198	< 0.001
<i>H. aduncum</i>	TCO	2,954	1,198	0,087
<i>R. trachuri</i>	NCH	0,058	1,199	0,81
	COQ	40,07	1,199	< 0.001
	TCO	104,1	1,198	< 0.001
	CHO	3,455	1,313	0,064

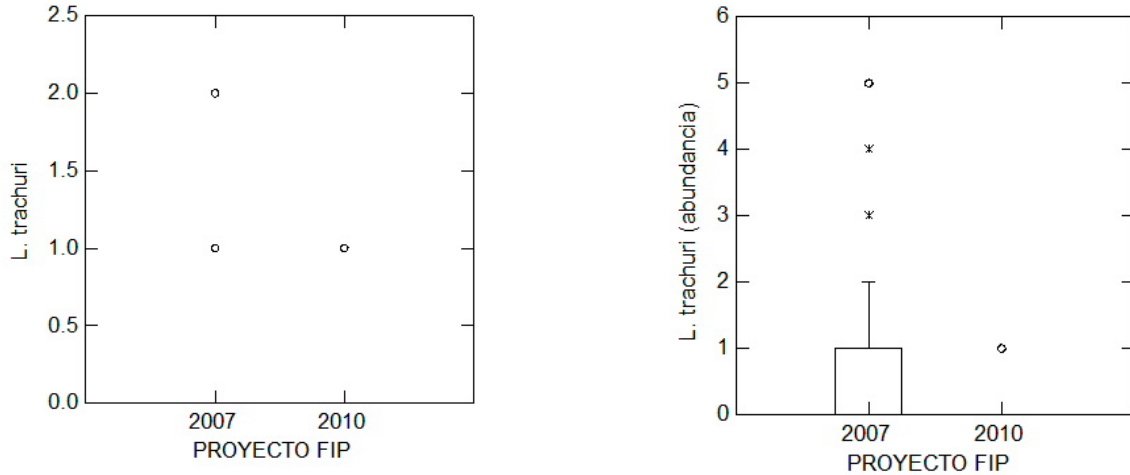


Figura 41. Abundancia media de *L. trachuri* en dos períodos reproductivos en la zona de pesca norte de Perú (izquierda) y centro de Perú (derecha).

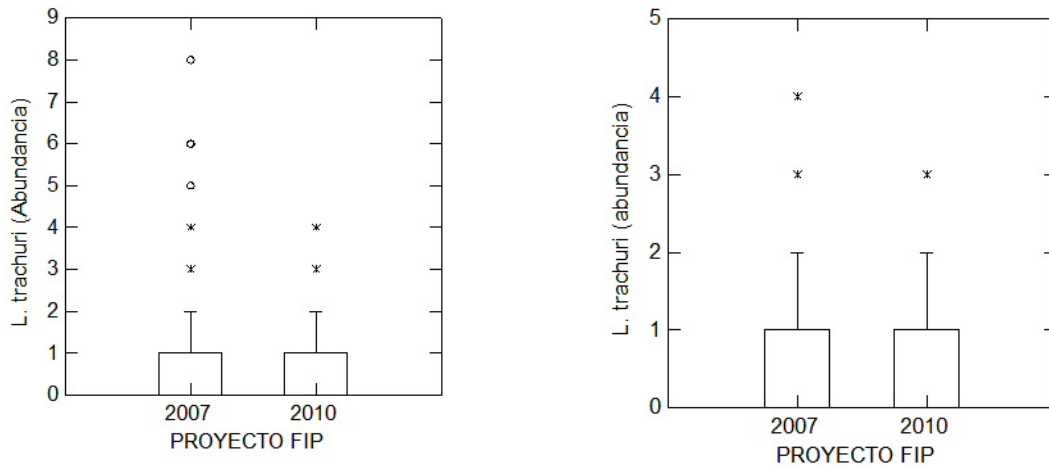


Figura 42. Abundancia media de *L. trachuri* en dos períodos reproductivos en la zona de pesca norte de Chile (izquierda) y Coquimbo (derecha).

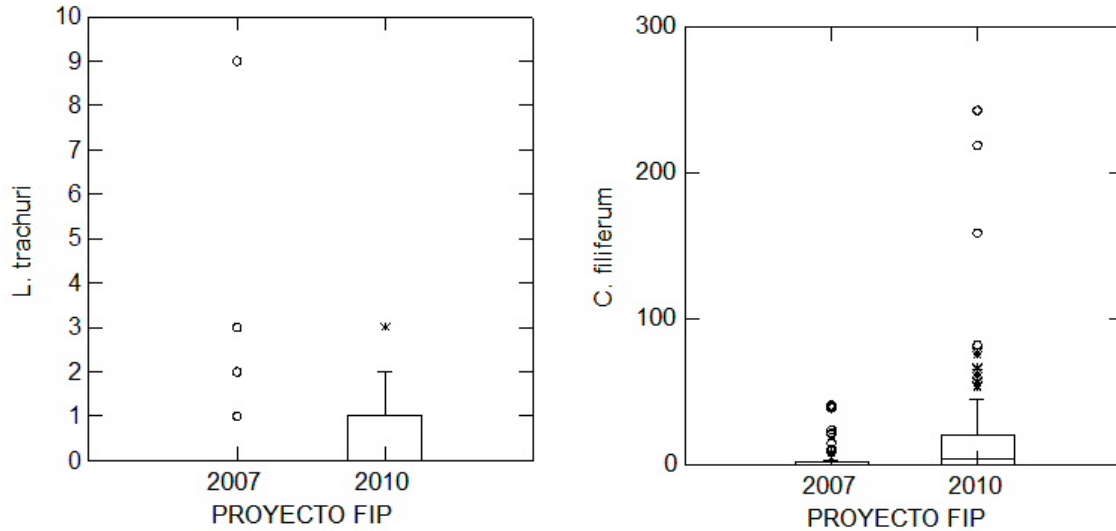


Figura 43. Abundancia media de *L. trachuri* en la zona de pesca Talcahuano Costa (Izquierda) y *C. filiferum* (derecha) en la zona de pesca Nueva Zelanda en dos períodos reproductivos.

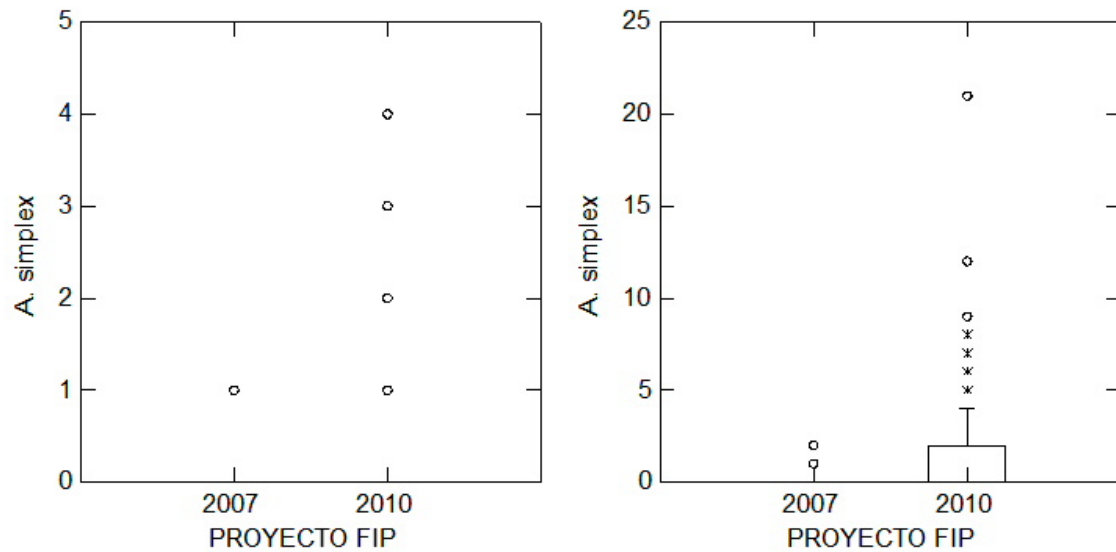


Figura 44. Abundancia media de *A. simplex* en la zona de pesca Norte de Chile (Izquierda) y zona de pesca Coquimbo en dos períodos reproductivos

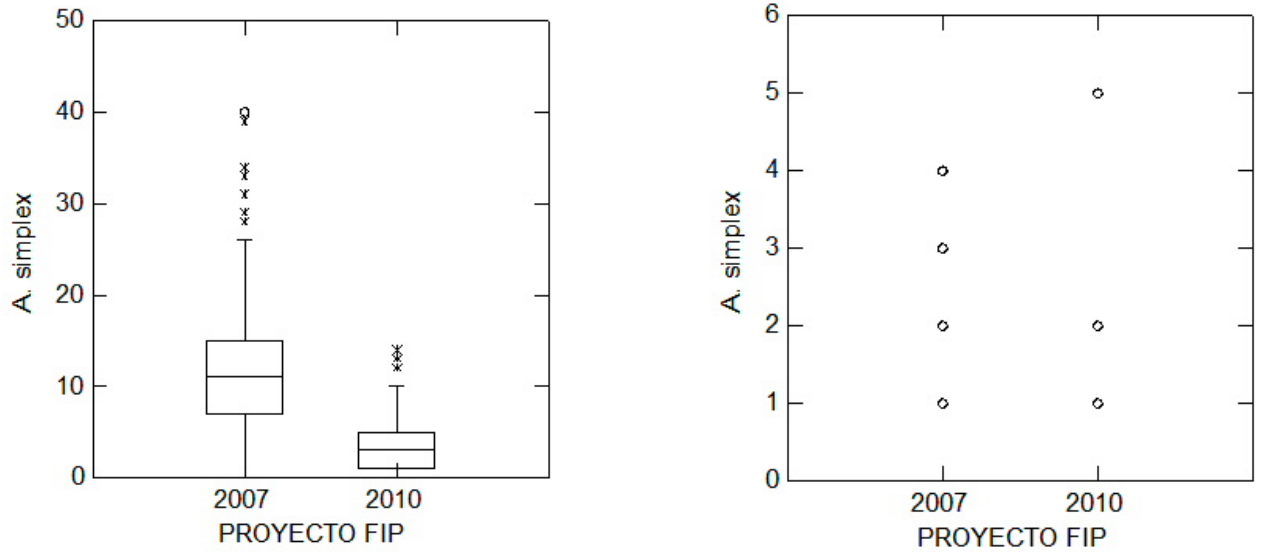


Figura 45. Abundancia media de *A simplex* en la zona de pesca Talcahuano costa (Izquierda) y zona de pesca Chiloé oceánico (derecha) en dos períodos reproductivos

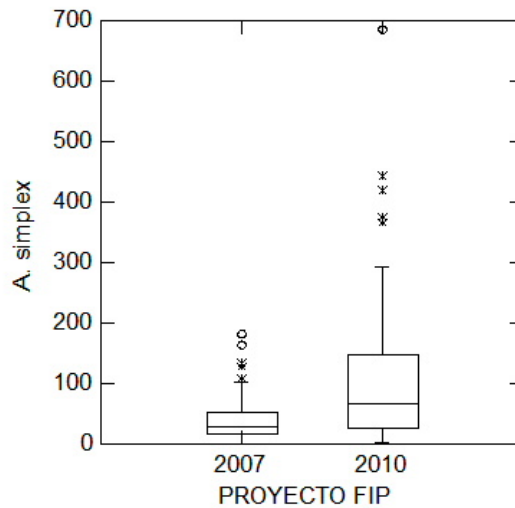


Figura 46. Abundancia media de *A simplex* en la zona de pesca de Nueva Zelanda en dos períodos reproductivos.

4.4.3.3 Intensidad media de infecci3n

La intensidad media global alcanz3 a 38.9 parásitos por pez infectado, con un rango de 0 a 1101 parásitos y con una desviaci3n estándar de 70.9. Un análisis de regresi3n entre talla e intensidad, previa transformaci3n log (n+1), indica ausencia de correlaci3n entre las variables, sugiriendo que la intensidad no incrementa significativamente con la talla de los peces ($r = 0.68$, $gl = 1731$, $p > 0.05$) (**Figura 47**). Valores de intensidad media de infecci3n para cada parásito por zona de pesca se indican en la **Tabla 30**.

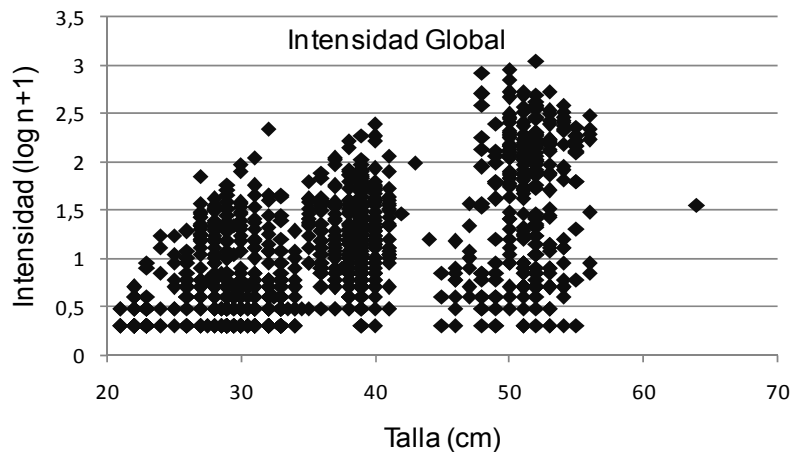


Figura 47. Relaci3n entre talla e Intensidad de infecci3n (previa transformaci3n log n+1).

Los resultados del análisis de varianza, previa transformaci3n log (n+1) de la intensidad media, para aquellos parásitos presentes en la misma zona de pesca, en ambas muestras, se indican en la **Tabla 31**. En términos generales, la tendencia en la estabilidad temporal de la intensidad media de infecci3n sigue un patr3n algo diferente a las tendencia en prevalencia y abundancia media, siendo las muestras de Norte de Chile, Coquimbo y Norte de Perú las que mantienen estabilidad temporal y sólo los nemátodos *Contracaecum* sp. y *H. aduncum* para Nueva Zelandia. (**Figuras 48 - 54**).

Tabla 30.
Intensidad media de infecci3n (desviaci3n est3ndar en par3ntesis) de las diferentes especies de par3sitos en las zonas de pesca analizadas. C3digo para zonas de pesca como en **Tabla 13**.

Especie	Zona de Pesca (perodo de alimentaci3n)								Zona de pesca (perodo de reproductivo)					
	NPE	CPE	SPE	NCH	COQ	TCO	CHO11	NZ11	NPE	NCH	COQ	TCO	CHC	NZE
<i>C. gaudichaudii</i>	0,00	1 (0)	1,3 (0,5)	2 (0)	1 (0)	0,00	1 (0)	0,00	1,3 (0,8)	1,4 (0,4)	1,8 (0,4)	1 (0)	1 (0)	0,00
<i>Nerocila</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 (0)
<i>L. trachuri</i>	1 (0)	1 (0)	1,2 (0,4)	1,7 (0,98)	1,34 (0,6)	1,24 (0,6)	1 (0)	0,00	2,1 (1,6)	1,5 (0,7)	1,2 (0,4)	1,8 (1,6)	0,00	0,00
<i>Heteraxinoides</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,6 (0,8)	0,00	0,00
<i>C. filiferum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,3(0,8)	27,3 (44,7)	0,00	0,00	0,00	1 (0)	0,00	3,9 (4,4)
<i>Monascus</i> sp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14 (15,6)
Digenea gen. sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115 (186,7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nybelinia</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61 (1,44)
<i>H. trichuri</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5 (0,7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>A. simplex</i>	0,00	0,00	0,00	1,5 (0,83)	3,38 (3,5)	4 (3,13)	1,26 (0,9)	105 (113)	0,00	1 (0)	2,4 (1,9)	2,2 (2)	2,7 (1,8)	152 (116)
<i>Contraecum</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73 (1,3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,29 (0,77)
<i>P. decipiens</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 (0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>H. aduncum</i>	0,00	0,00	0,00	1 (0)	1,5 (1,1)	1 (0)	1 (0)	1,67 (1,24)	0,00	0,00	1,3 (0,25)	1 (0)	2,7 (1,8)	2,3 (4,3)
Anisakidae	0,00	0,00	1 (0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 (0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>C. australe</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,4 (3,3)	8,64 (3,32)
<i>Bolbosoma</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1 (0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>R. trachuri</i>	0,00	0,00	0,00	2,4 (2,4)	1,71 (1,5)	7 (10,4)	30,9 (35)	0,00	2 (1,15)	0,00	1,14 (0,4)	20,4 (20,8)	0,00	9,1 (9,62)

Tabla 31.

Resultados de an3lisis de varianza para evaluar significancia en las diferencias en intensidad media de infecci3n, para aquellos par3sitos presentes en ambas muestras de una misma zona de pesca. Se indica valor del estadístico F, en par3ntesis grados de libertad y probabilidad asociada. (*) = $P < 0.001$.

Especie	Zona de Pesca				
	NPE	NCH	COQ	TOC	NZE
<i>C. gaudichaudii</i>			0,30 (1,6; 0,604)		
<i>L. trachuri</i>	1,29 (1,39; 0,262)	2,09 (1,92; 0,15)	0,54 (1,47; 0,47)	7,21 (1,128; 0,008)	
<i>C. filiferum</i>					39,2 (1,130; *)
<i>A. simplex</i>		2,05 (1,23; 0,17)	3,54 (1,97; 0,06)	23,6 (1,164; *)	18,3 (1,196; *)
<i>Contraeaecum</i> sp.					1,4 (1,30; 0,25)
<i>H. aduncum</i>					0,3 (1,62; 0,59)
<i>R. trachuri</i>			0,87 (1,12;0,37)	96 (1,279; *)	

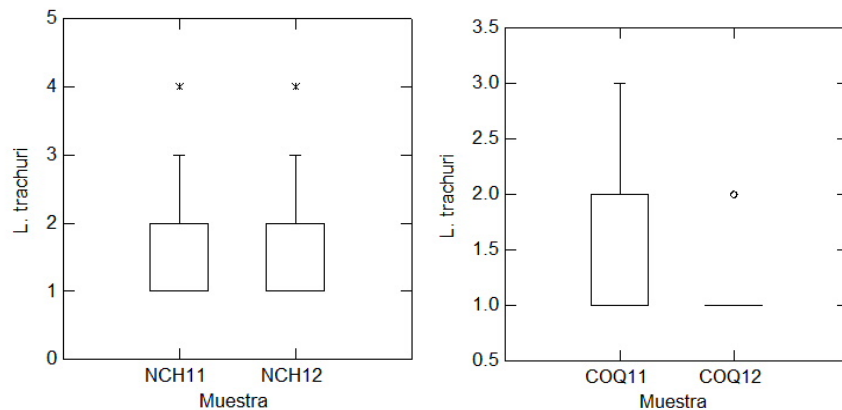


Figura 48. Intensidad media de infecci3n de *L. trachuri* en las zona de pesca de Norte de Chile (izquierda) y Coquimbo (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

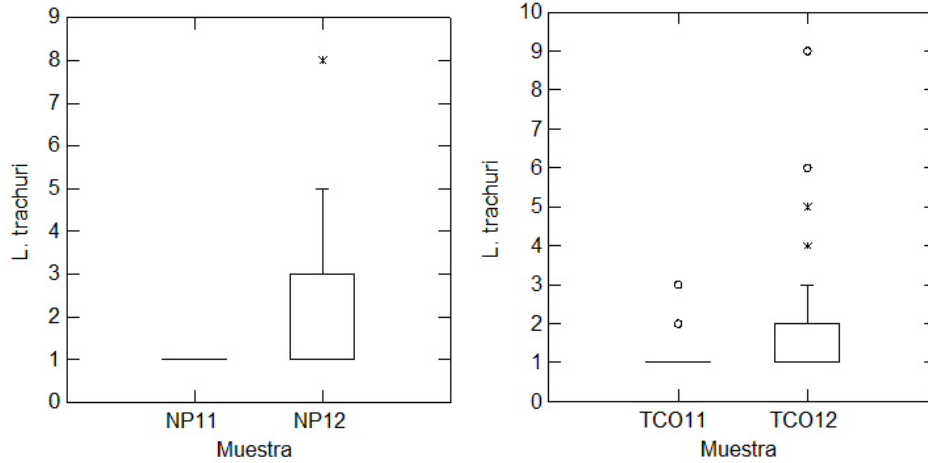


Figura 49. Intensidad media de infección de *L. trachuri* en las zona de pesca de Norte de Perú (izquierda) y Talcahuano costa (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

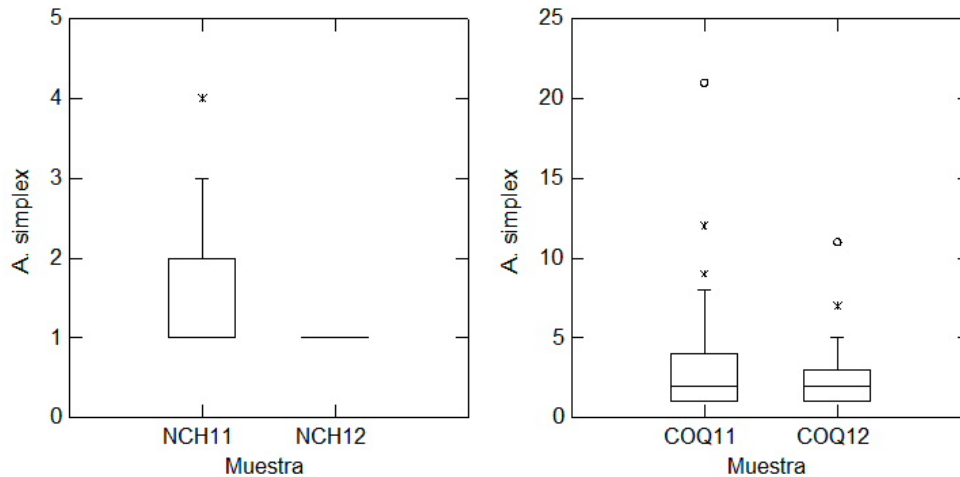


Figura 50. Intensidad media de infección de *A. simplex* en las zonas de pesca de Norte de Chile (izquierda) y Coquimbo (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

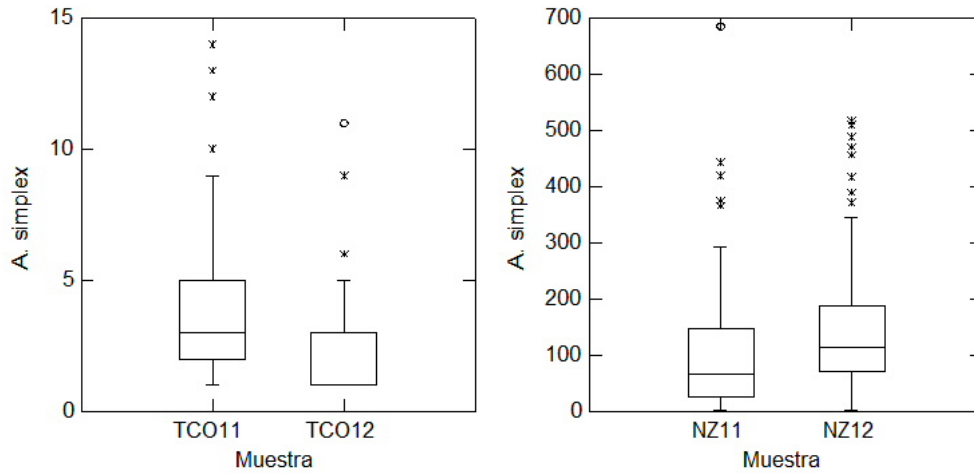


Figura 51. Intensidad media de infección de *A. simplex* en las zonas de pesca de Talcahuano costa (izquierda) y Nueva Zelandia (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

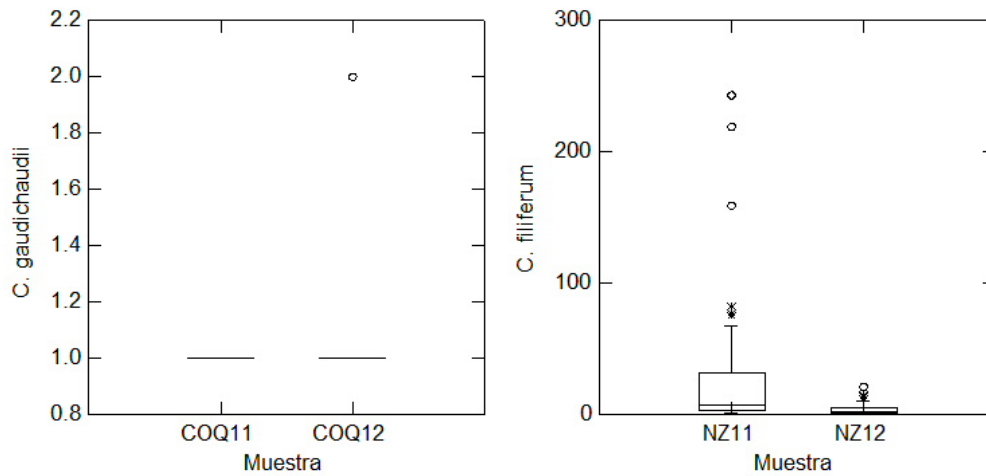


Figura 52. Intensidad media de infección de *C. gaudichaudii* en la zona de pesca de Coquimbo (izquierda) y de *C. filiferum* en la zona de pesca de Nueva Zelandia (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

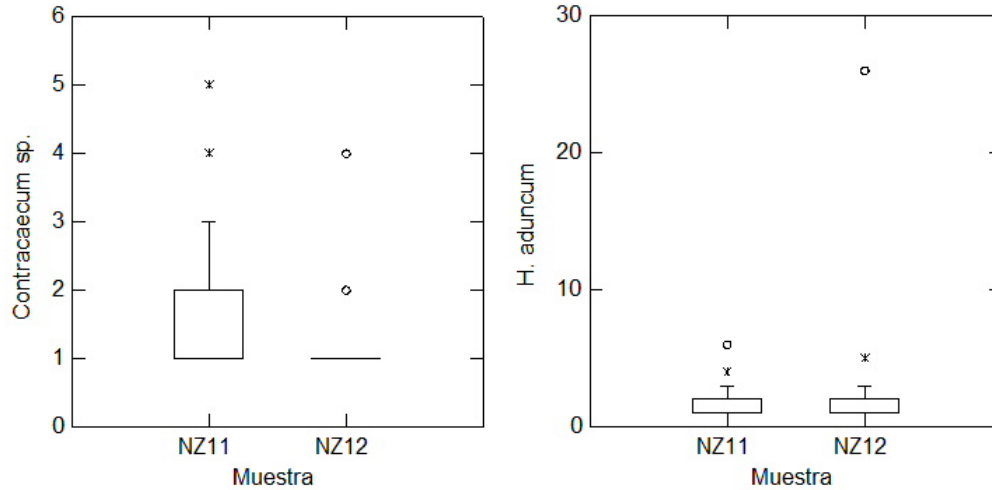


Figura 53. Intensidad media de infección de *Contracaecum sp.* (izquierda) y *H. aduncum* (derecha) en la zona de pesca de Nueva Zelanda en dos muestreos temporalmente espaciados.

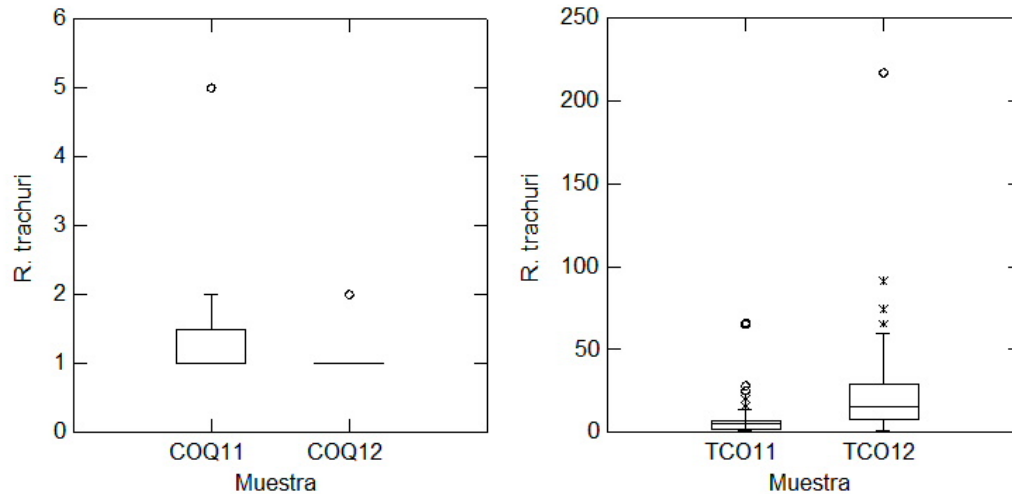


Figura 54. Intensidad media de infección de *R. trachuri* en las zonas de pesca de Coquimbo (izquierda) y Talcahuano costa (derecha) en dos muestreos temporalmente espaciados.

Diferencias en la intensidad media de infecci3n, para una misma especie de parásitos presentes en dos o más zonas de pesca, no son significativas sólo para *C. gaudichaudii* ($F_{7,20} = 0.576$, $p = 0,767$) y *Contracaecum* sp. ($F_{1,30} = 1.4$, $p = 0.246$). Las **Tablas 32 - 36** indican la matriz de probabilidad para comparaciones pareadas de la prueba *a posteriori* HSD de Tukey, en tanto las **Figuras 55 - 57** muestran la distribución de la intensidad media de infecci3n para aquellas especies para las cuales este análisis se puede realizar.

Tabla 32.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infecci3n de *L. trachuri*. C3digo de zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca									
	COQ11	COQ12	CP11	NCH11	NCH12	NP11	NP12	SP11	TCO11	TCO12
COQ11	1.000									
COQ12	1.000	1.000								
CP11	0.999	1.000	1.000							
NCH11	0.827	0.517	0.844	1.000						
NCH12	1.000	0.983	0.986	0.945	1.000					
NP11	1.000	1.000	1.000	0.977	0.999	1.000				
NP12	0.168	0.053	0.511	0.976	0.201	0.877	1.000			
SP11	1.000	1.000	1.000	0.528	0.973	1.000	0.073	1.000		
TCO11	1.000	1.000	1.000	0.349	0.960	1.000	0.016	1.000	1.000	
TCO12	0.607	0.269	0.796	1.000	0.736	0.970	0.954	0.319	0.105	1.000

Tabla 33.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infecci3n de *C. filiferum*. C3digo de zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca		
	CHO11	NZ11	NZ12
CHO11	1.000		
NZ11	0.000	1.000	
NZ12	0.060	0.000	1.000

Tabla 34.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infección de *A. simplex*. Código de zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca									
	CHC12	CHO11	COQ11	COQ12	NCH11	NCH12	NZ11	NZ12	TCO11	TCO12
CHC12	1.000									
CHO11	0.199	1.000								
COQ11	1.000	0.108	1.000							
COQ12	0.996	0.714	0.946	1.000						
NCH11	0.640	1.000	0.437	0.969	1.000					
NCH12	0.844	1.000	0.732	0.967	1.000	1.000				
NZ11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000			
NZ12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000		
TCO11	0.559	0.002	0.974	0.168	0.039	0.387	0.000	0.000	1.000	
TCO12	0.888	0.842	0.671	1.000	0.994	0.986	0.000	0.000	0.012	1.000

Tabla 35.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infección de *H. aduncum*. Código de zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca									
	CHC12	CHO11	COQ11	COQ12	NCH11	NZ11	NZ12	TCO11	TCO12	
CHC12	1.000									
CHO11	0.949	1.000								
COQ11	0.384	1.000	1.000							
COQ12	0.592	1.000	1.000	1.000						
NCH11	0.729	1.000	1.000	1.000	1.000					
NZ11	0.040	1.000	1.000	1.000	0.999	1.000				
NZ12	0.167	0.999	0.999	0.997	0.993	1.000	1.000			
TCO11	0.004	1.000	0.995	1.000	1.000	0.863	0.582	1.000		
TCO12	0.476	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996	0.977	1.000	1.000	

Tabla 36.

Matriz de probabilidad para comparaciones pareadas. Intensidad media de infecci3n de *R. trachuri*. C3digo de zonas de pesca como en **Tabla 13**.

	Zona de pesca							
	CHO11	COQ11	COQ12	NCH11	NP12	NZ12	TCO11	TCO12
CHO11	1.000							
COQ11	0.000	1.000						
COQ12	0.000	1.000	1.000					
NCH11	0.000	1.000	0.994	1.000				
NP12	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
NZ12	0.000	0.123	0.038	0.006	0.590	1.000		
TCO11	0.000	0.297	0.109	0.019	0.824	0.958	1.000	
TCO12	0.089	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	1.000

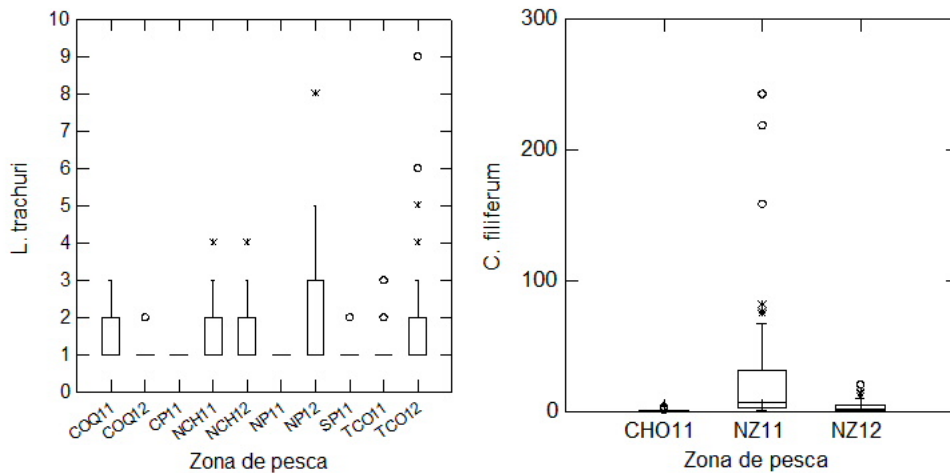


Figura 55. Intensidad media de infecci3n de *L. trachuri* (izquierda) y *C. filiferum* (derecha) para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes. C3digo para zonas de pesca como en **Tabla 13**.

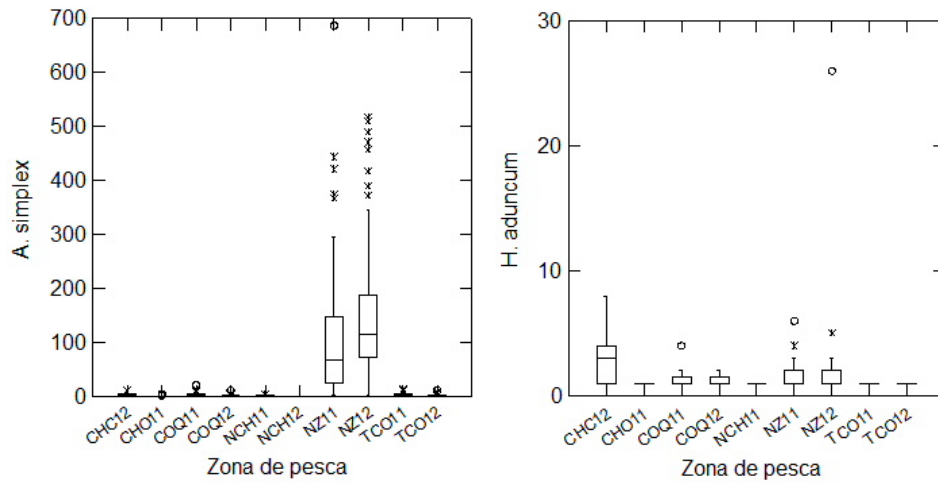


Figura 56. Intensidad media de infección de *A. simplex* (izquierda) y *H. aduncum* (derecha) para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes. Código para zonas de pesca como en **Tabla 13**.

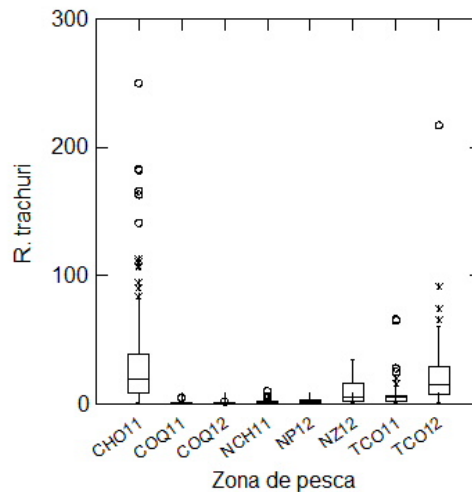


Figura 57. Intensidad media de infección de *R. trachuri* para las zonas de pesca en que estas especies estuvieron presentes. Código para zonas de pesca como en **Tabla 13**.

Al analizar las tendencias de la intensidad media de infección en un gradiente latitudinal, se sugiere una disminución de este descriptor hacia el sur para *C. gaudichaudii* durante el periodo de alimentación. El caso apuesto ocurre para *A. simplex*, que aumenta su intensidad media de infección. Para *L. trachuri* se da una

situación particular, ya que la intensidad media en el periodo reproductivo aumenta desde el norte del Perú hasta el norte de Chile, disminuyendo entonces hacia el sur. En cambio durante el período de alimentación hay una tendencia a disminuir la intensidad media de infección desde el norte del Perú hasta Coquimbo, incrementando entonces en Talcahuano costa. Tanto para *A. simplex* como *R. trachuri* se evidencia un incremento en la intensidad media hacia el sur, lo que es un indicador de acumulación de parásitos ya que incrementan su número medio, considerando ahora sólo los peces parasitados, reforzando entonces las evidencias aportadas por la prevalencia y abundancia media de infección. (Figuras 58- 61).

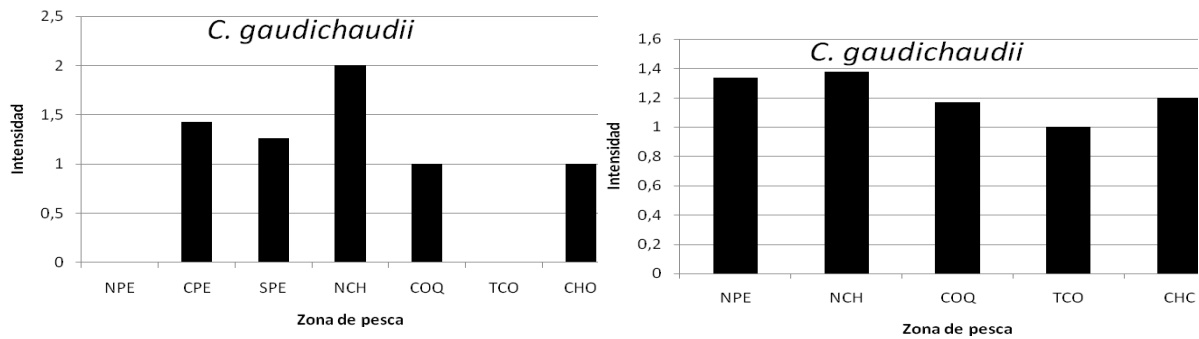


Figura 58. Tendencias latitudinales en la intensidad de infección de *C. gaudichaudii* durante el periodo reproductivo (izquierda) y de alimentación (derecha).

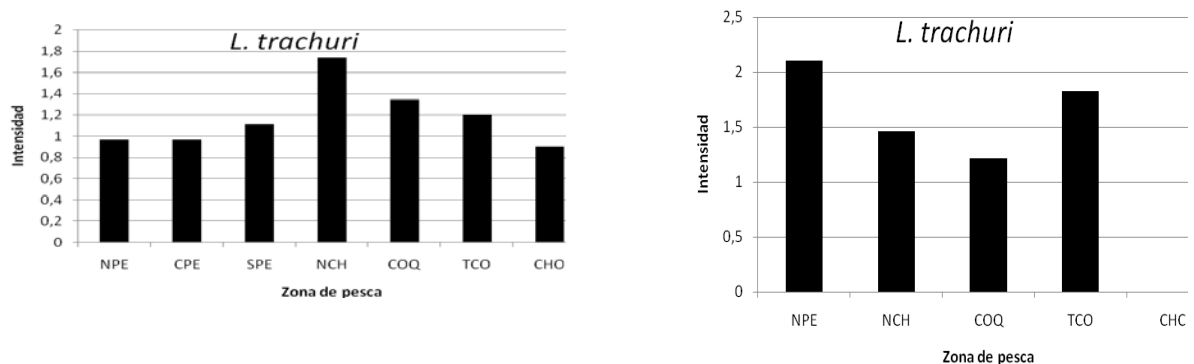


Figura 59. Tendencias latitudinales en la intensidad de infección de *L. trachuri* durante el periodo reproductivo (izquierda) y de alimentación (derecha).

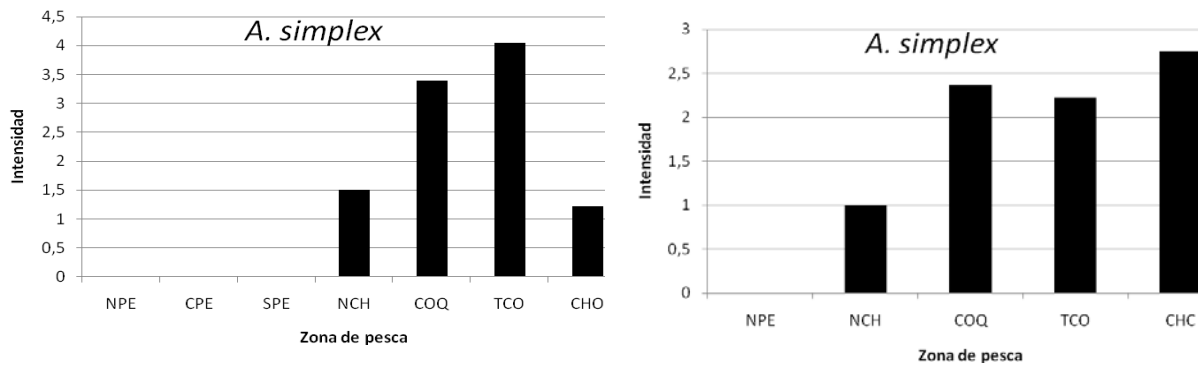


Figura 60. Tendencias latitudinales en la intensidad de infecci3n de *A. simplex* durante el periodo reproductivo (izquierda) y de alimentaci3n (derecha).

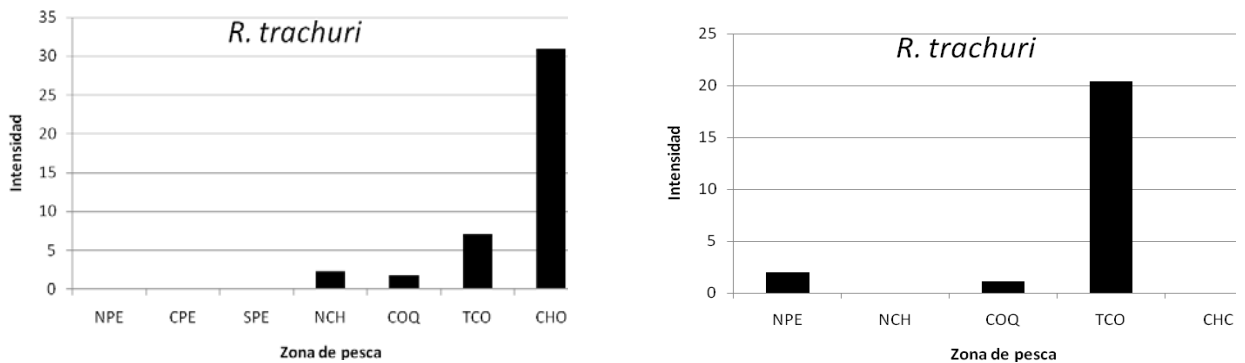


Figura 61. Tendencias latitudinales en la intensidad de infecci3n de *R. trachuri* durante el periodo reproductivo (izquierda) y de alimentaci3n (derecha).

Al contrastar los valores de intensidad media de infecci3n (**Figuras 62 - 68**), para aquellos parásitos presentes en una misma zona de pesca, en dos periodos reproductivos diferentes, no se observan tendencias claras, sólo para *L. trachuri* no hay diferencias significativas a lo largo de las zonas de pesca en Chile. (**Tabla 37**).

Tabla 37.

Resultados de un análisis de varianza para evaluar significancia de las diferencias en intensidad media de infección, para aquellas especies de parásitos presentes en la misma zona de pesca, en dos períodos reproductivos.

Especie	Zona de pesca	F	gl	p
<i>L. trachuri</i>	NPE	3,89	1,7	0,09
	CPE	1,89	1,38	0,18
	NCH	1,77	1,47	0,23
	COQ	0,21	1,54	0,65
	TCO	1,17	1,52	0,28
<i>C. filiferum</i>	NZE	2,01	1,9	0,16
<i>A. simplex</i>	NCH	1,64	1,22	0,21
	COQ	14,3	1,65	<0,001
	TCO	169	1,186	<0,001
	CHO	1,94	1,33	0,17
	NZE	13,93	1,151	<0,001
<i>P. decipiens</i>	TCO	1,41	1,32	0,24
<i>R. trachuri</i>	NCH	0,93	1,52	0,34
	COQ	2,94	1,53	0,092
	TCO	15,7	1,117	<0,001
	CHO	2,79	1,311	0,096

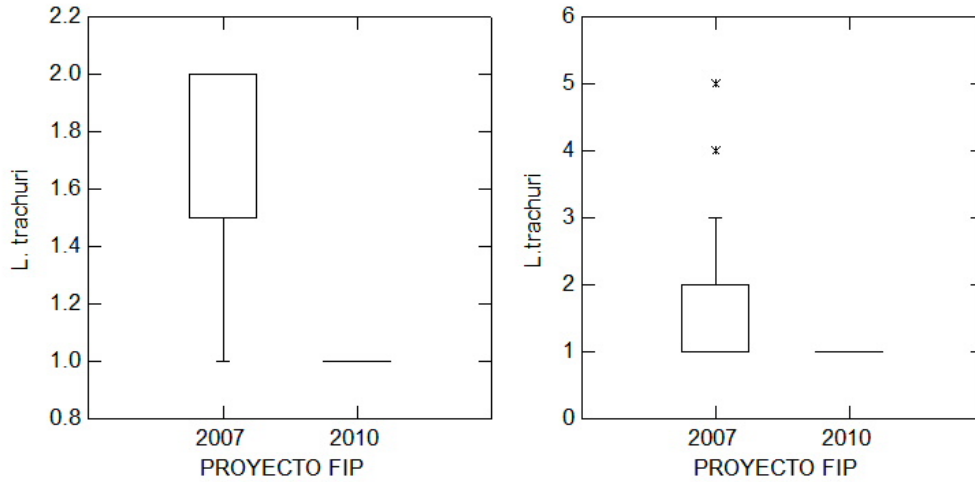


Figura 62. Intensidad media de *L. trachuri* en la zona de pesca norte de Perú (izquierda) y centro de Perú (derecha) en dos períodos reproductivos

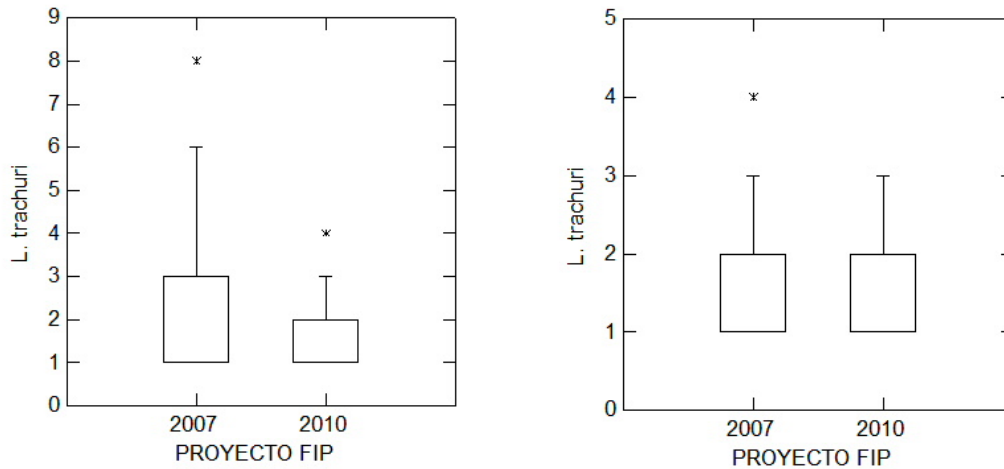


Figura 63. Intensidad media de *L. trachuri* en la zona de pesca del norte de Chile (izquierda) y Coquimbo (derecha) en dos períodos reproductivos.

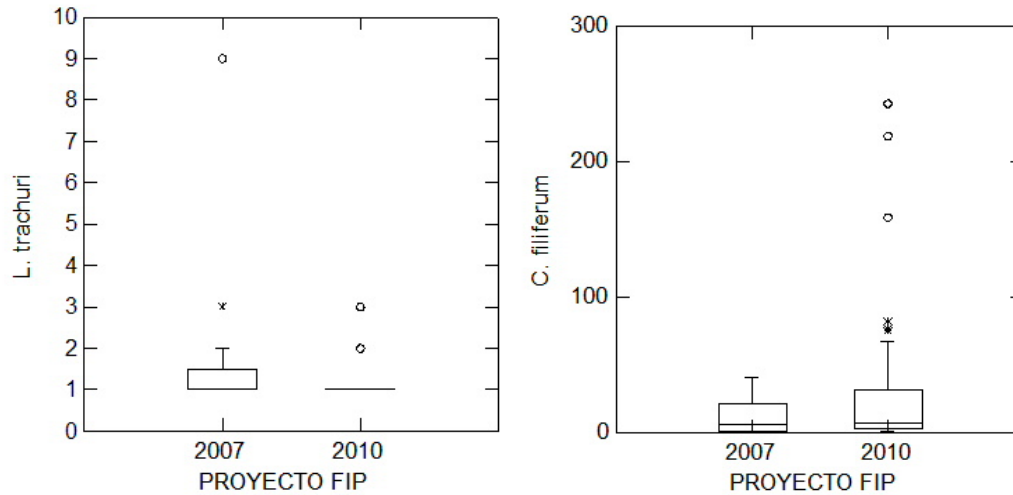


Figura 64. Intensidad media de *L. trachuri* en la zona de pesca Talcahuano costa (izquierda) y *C. filiferum* en la zona de pesca Nueva Zelandia (derecha) en dos períodos reproductivos.

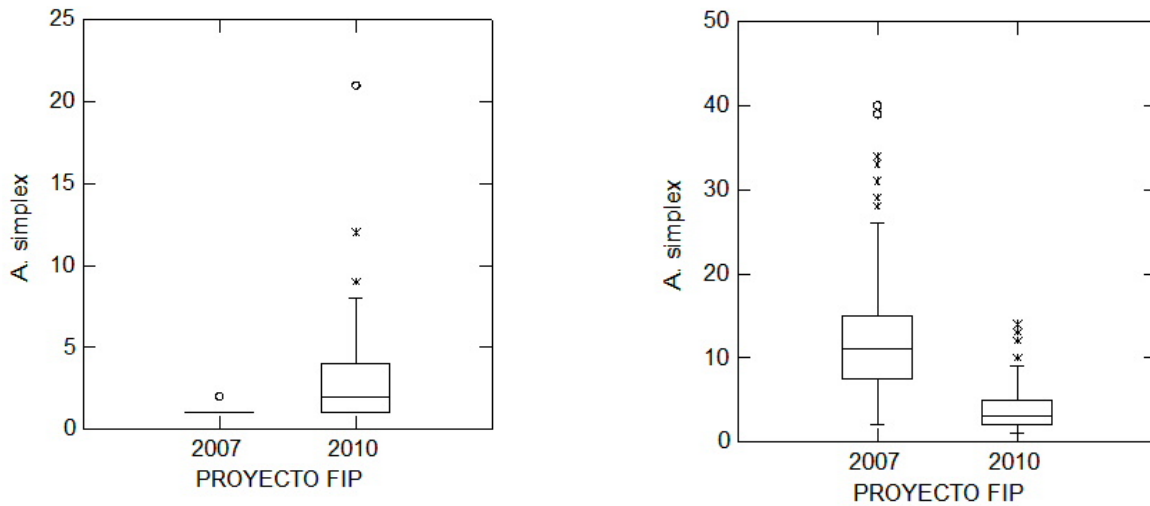


Figura 65. Intensidad media de *A. simplex* en la zona de pesca de Coquimbo (izquierda) y Talcahuano costa (derecha) en dos períodos reproductivos.

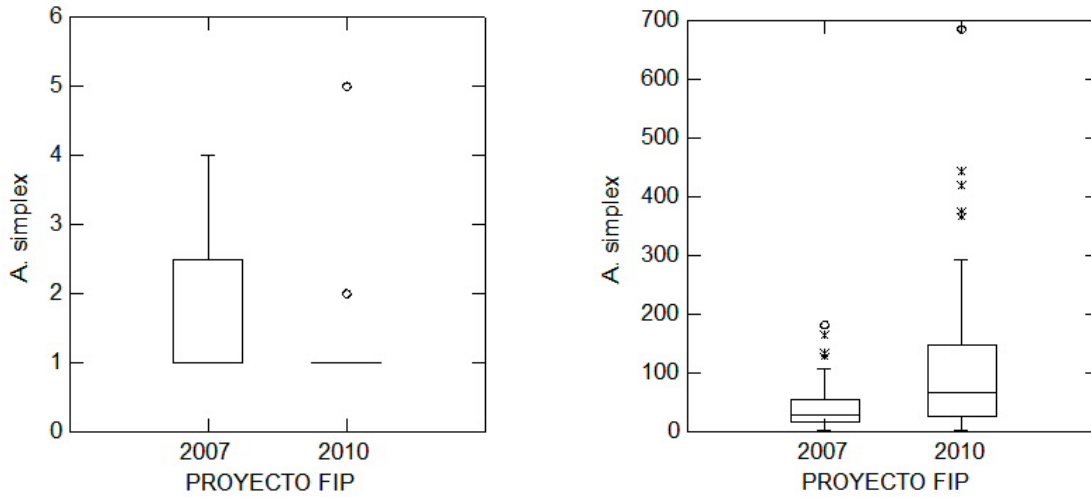


Figura 66. Abundancia media de *A. simplex* en la zona de pesca de Chiloé oceánico (izquierda) y Nueva Zelanda (derecha) en dos períodos reproductivos.

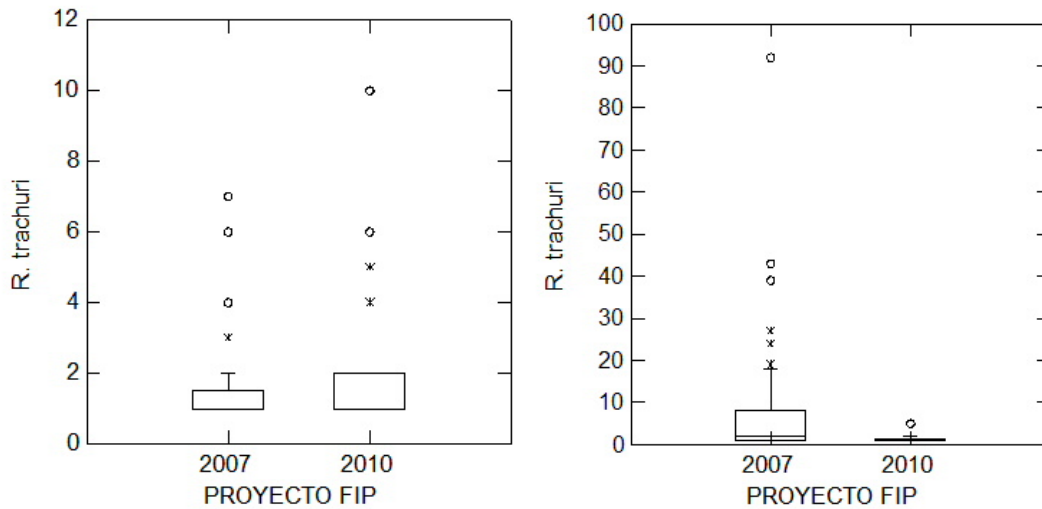


Figura 67. Intensidad media de *R. trachuri* en la zona de pesca norte de Chile (izquierda) y Coquimbo (derecha) en dos períodos reproductivos.

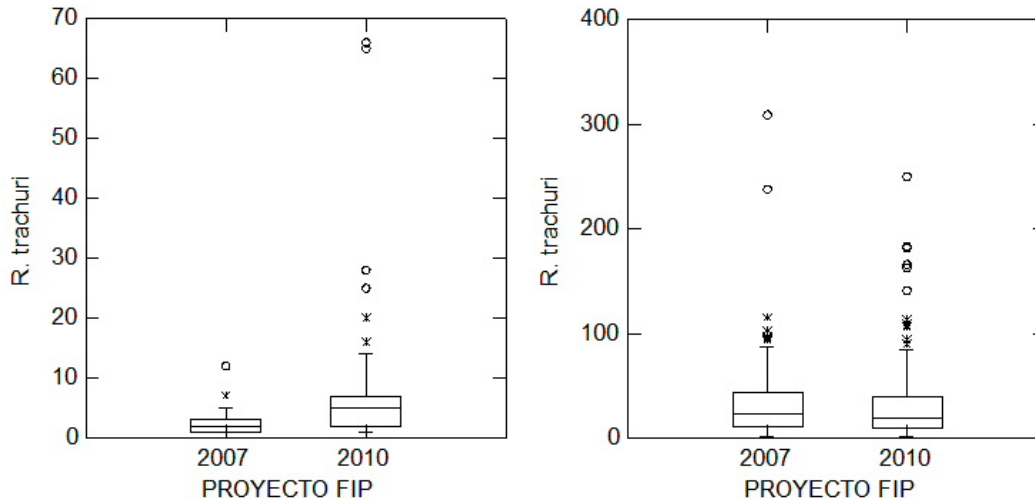


Figura 68. Intensidad media de *R. trachuri* en la zona de pesca Talcahuano costa (izquierda) y Chiloé oceánico (derecha) en dos períodos reproductivos.

4.4.4 Análisis multivariado

4.4.4.1 Análisis de correspondencia

Ya que la intensidad media de infección presentó mayor estabilidad temporal que la abundancia, este análisis exploratorio se desarrolló en base a dos situaciones:

1. Intensidad media de infección así como prevalencia.
2. Intensidad media de infección así como prevalencia, integrando como una sola muestra, aquellas zonas de pesca que presentaron estabilidad temporal en la intensidad media de infección. Para mayor claridad de los gráfico de salida, tanto los códigos de zonas de pesca como de parásitos fueron modificados según se indica en la **Tabla 38**. Estos nuevos códigos también aplican a análisis discriminante.

Tabla 38.
Códigos aplicados en análisis de correspondencia

Zona de pesca		Especie	
CHC12	CC2	<i>C. gaudichaudii</i>	CG
CHO11	CH1	<i>L. trachuri</i>	LT
COQ11	CO1	<i>C. filiferum</i>	CF
COQ11	CO2	<i>Monascus</i> sp.	MO
CP11	CP1	Digenea gen. sp.	DI
NCH11	NC1	<i>N. surmenicola</i>	NS
NCH12	NC2	<i>A. simplex</i>	AS
NP11	NP1	<i>Contraecum</i> sp.	CO
NP12	NP2	<i>H. aduncum</i>	HA
NZ11	N11	Anisakidae	DE
NZ12	N12	<i>C. australe</i>	CA
SP11	S11	<i>R. trachuri</i>	RT
TCO11	T1		
TCO12	T2		

El análisis de correspondencia para prevalencia de infección (**Figura 69**) separa, en la primera dimensión las zonas de pesca de Nueva Zelandia (ambas muestras) y Chiloé costa, con una fuerte asociación a los parásitos prevalentes en esas zonas y el resto de las zonas de pesca están bien segregadas, en la primera dimensión. La mayor contribución al primer factor la aportan *L. trachuri* y *C. filiferum*. Para el segundo factor los aportes más importantes corresponden a *R. trachuri* y *L. trachuri*. La proporción de la varianza explicada por los dos primeros factores es de 65.33.

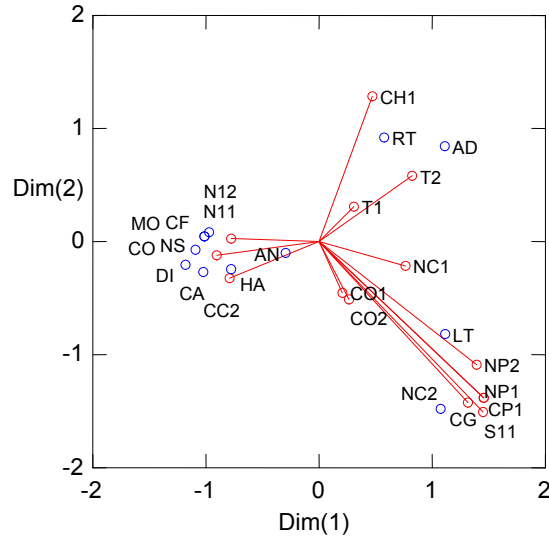


Figura 69. Representación en un espacio bidimensional del resultado del análisis de correspondencia para prevalencia de infección. Círculos rojos = Zona de pesca, círculos azules = especies.

Por otro lado, este análisis sobre intensidad media de infección (**Figura 70**), separa claramente en la primera dimensión, sólo las zonas de pesca de Nueva Zelanda. Los mayores aportes al primer factor son *R. trachuri*, *L. trachuri* y Digenea gen. sp. y para el segundo factor *R. trachuri*, *L. trachuri* y Anisakidae. La proporción de la varianza explicada por los dos primeros factores es de 62.42.

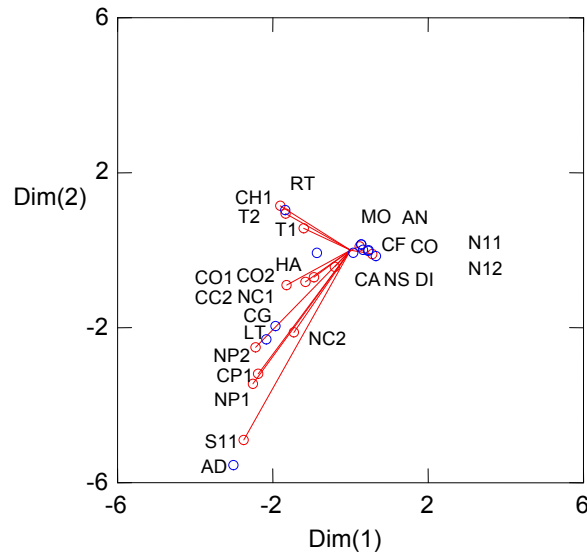


Figura 70. Representación en un espacio bidimensional del resultado del análisis de correspondencia para intensidad media de infección. Círculos rojos = Zona de pesca, círculos azules = especies.

En las **Figuras 71 y 72** se representa, en un espacio bidimensional, los resultados del análisis de correspondencia para prevalencia e intensidad media de infección, pero integrando como una sola muestra, aquellas zonas de pesca que mostraron estabilidad temporal.

El análisis de correspondencia para prevalencia de infección, integrando las zonas de pesca con estabilidad temporal (**Figura 71**) separa, en la primera dimensión las zonas de pesca de Nueva Zelanda (ambas muestras) y Chiloé costa, con una fuerte asociación a los parásitos prevalentes en esas zonas y el resto de las zonas de pesca están bien segregadas, en la primera dimensión, de este grupo. La mayor contribución al primer factor la aportan *R. trachuri*, *L. trachuri* y *C. filiferum*. Para el segundo factor los aportes más importantes corresponden a *L. trachuri* y

R. trachuri. La proporci3n de la varianza explicada por los dos primeros factores es de 64.36.

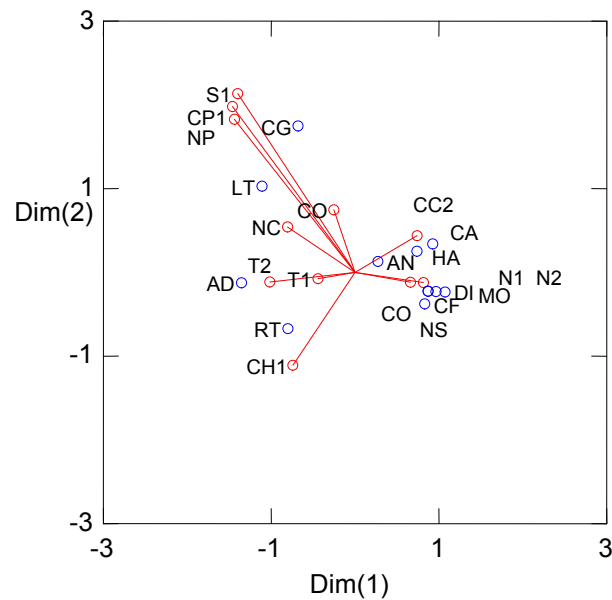


Figura 71. Representaci3n en un espacio bidimensional del resultado del an3lisis de correspondencia para prevalencia de infecci3n. C3rculos rojos = Zona de pesca, c3rculos azules = especies. Las zonas de pesca NP11 y NP12 integradas en NP, las zonas de pesca COQ11 y COQ12 integradas en CO y las zonas de pesca NCH11 y NCH12 integradas en NC.

Por otro lado, este an3lisis sobre intensidad media de infecci3n (**Figura 72**), separa claramente en la primera dimensi3n, s3lo las zonas de pesca de Nueva Zelanda. Los mayores aportes al primer factor son *R. trachuri*, *L. trachuri* y Digenea gen. sp. y para el segundo factor Anisakidae, *R. trachuri*, y *L. trachuri*. La proporci3n de la varianza explicada por los dos primeros factores es de 65.48.

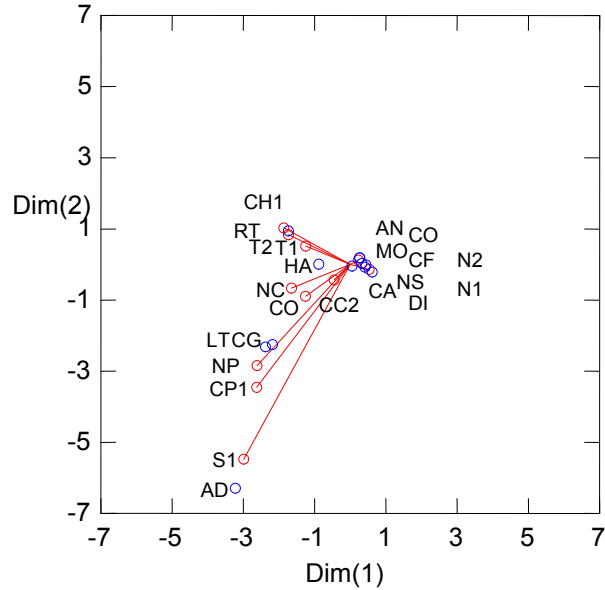


Figura 72. Representación en un espacio bidimensional del resultado del análisis de correspondencia para intensidad media de infección. Círculos rojos = Zona de pesca, círculos azules = especies. Las zonas de pesca NP11 y NP12 integradas en NP, las zonas de pesca COQ11 y COQ12 integradas en CO y las zonas de pesca NCH11 y NCH12 integradas en NC.

4.4.4.2 Análisis de discriminación.

Este análisis se realizó sobre la intensidad media de infección, considerando dos situaciones:

- a) **Intensidad media de infección de aquellos parásitos con prevalencia igual o superior al 5% en al menos una muestra.** La **Tabla 39** indica la matriz de asignación correcta para esta situación.

Tabla 39.

Matriz de asignaci3n correcta de las diferentes zonas de pesca en funci3n de la intensidad media de infecci3n. C3digos de zonas de pesca como en Tabla 13. % AC= Porcentaje de asignaci3n correcta.

	CC2	CH1	CO1	CO2	CP1	N11	N12	NC1	NC2	NP1	NP2	S11	T1	T2	%AC
NP1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	68	0	0	0	0	97
CP1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	135	0	0	0	0	0
S11	0	0	0	0	0	0	0	0	21	189	0	0	0	0	0
NC1	1	4	12	0	0	0	0	8	27	45	0	0	1	2	8
CO1	7	1	36	0	0	0	0	3	14	32	0	0	7	0	36
T1	4	6	12	0	0	0	0	6	0	2	0	0	58	12	58
CH1	0	193	1	0	0	0	0	9	0	5	0	0	6	1	90
N11	2	0	3	0	0	69	21	0	0	0	0	0	4	0	70
NP2	0	0	0	0	0	0	0	3	41	56	0	0	0	0	0
NC2	0	0	4	0	0	0	0	1	59	36	0	0	0	0	59
CO2	3	0	39	2	0	0	0	7	13	34	0	0	2	0	2
T2	0	79	0	0	0	0	0	11	6	2	0	0	16	85	43
CC2	65	0	23	4	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	65
N12	0	2	0	0	0	21	75	0	0	0	0	0	2	0	75
Total	82	285	130	6	0	90	96	48	189	611	0	0	96	100	41

Los estadísticos de este análisis resultan significativos (Wilks' lambda = 0.0097 gl = 10, 13,1719 Aprox. F= 82.8157 gl = 130, 13696 prob < 0.0001), es decir hay zonas de pesca muy bien caracterizadas por la estructura de sus comunidades de parásitos, con altos valores para CH1 y NP1 (mayores al 90% de asignaci3n correcta), pero al mismo tiempo, otras zonas de pesca no pueden ser caracterizadas, específicamente zonas de pesca del Perú, para las cuales la asignaci3n correcta es del 0%, con excepci3n de la zona norte de Perú para el período reproductivo, con una excelente asignaci3n (97%). En términos globales, la asignaci3n correcta total es del 41%, valor indudablemente bajo y poco

informativo. Los dos primeros factores explican el 90.2% de la varianza (59.2% y 31.0%, respectivamente). Los valores de “F” para remover, así como tolerancia (**Tabla 40**), indican que, al igual que en análisis de correspondencia, pocas especies explican la discriminación, específicamente *R. trachuri* y *A. simplex*. En menor medida *L. trachuri* y *C. filiferum*.

Tabla 40.

Valores de F-para-remover y tolerancia del análisis de discriminación múltiple, sobre intensidad media de infección.

Variable	F-to-remove	Tolerance
CG	2.84	0.999557
LT	35.75	0.999328
RT	487.13	0.991692
HA	24.30	0.983766
AS	373.59	0.974942
CA	25.99	0.969846
DI	6.72	0.934540
CF	36.99	0.893668
CO	6.81	0.962252

- b) Intensidad media de infección de aquellos parásitos con prevalencia igual o superior al 5% en al menos una muestra, pero integrando como una muestra aquellas zonas de pesca que demostraron estabilidad temporal en la carga parasitaria.**

La matriz de asignación correcta de zonas de pesca se entrega en la **Tabla 41**.

Tabla 41.

Matriz de asignación correcta de las diferentes zonas de pesca en función de la intensidad media de infección. Códigos de zonas de pesca como en **Tabla 13**. % AC= Porcentaje de asignación correcta. Las zonas de pesca NP11 y NP12 integradas en NP, las zonas de pesca COQ11 y COQ12 integradas en CO y las zonas de pesca NCH11 y NCH12 integradas en NC.

	CC2	CH1	CO	CP1	N11	N12	NC	NP	S11	T1	T2	%AC
NP	0	2	1	0	0	0	22	19	3	0	0	40
CP1	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0
S11	0	0	0	4	0	0	14	3	0	0	0	0
NC	1	4	25	0	0	0	53	33	9	1	2	41
CO	10	1	82	0	0	0	23	11	8	3	0	59
T1	4	7	12	0	0	0	6	2	0	56	11	57
CH1	0	197	8	0	0	0	0	0	1	6	1	92
N11	2	0	7	0	67	23	0	0	0	0	0	68
N12	0	2	0	0	20	76	0	0	0	2	0	76
T2	0	82	6	0	0	0	8	5	0	18	80	40
CC2	71	0	23	0	0	0	0	0	1	0	0	75
Total	88	295	164	4	87	99	130	73	23	86	94	61

Los estadísticos de este análisis resultan significativos (Wilks' lambda = 0.0128 $gl = 10, 10, 1132$ Aprox. $F = 67.56$ $gl = 100, 8052$ $prob < 0.0001$), es decir hay zonas de pesca muy bien caracterizadas por la estructura de sus comunidades de parásitos, con altos valores para CH1 (mayores al 90% de asignación correcta), pero al mismo tiempo, otras zonas de pesca no pueden ser caracterizadas, específicamente zonas de pesca del centro y sur del Perú, con valores de asignación correcta de 0%. En el caso de la zona de pesca del norte del Perú, la asignación correcta disminuye desde el 97% al 40% al considerar especies con prevalencia superior al 5%. En términos globales, la asignación correcta total es del 61%, valor mayor al obtenido al no integrar las zonas de pesca con estabilidad temporal en la intensidad media de infección, pero aun bajo y poco informativo.

Los dos primeros factores explican el 88.2% de la varianza (65.2% y 23.0%, respectivamente). Los valores de “F” para remover, así como tolerancia (**Tabla 42**), indican que, al igual que en análisis de correspondencia, pocas especies explican la discriminaci3n, específicamente *A. simplex* y *R. trachuri* y en menor medida *L. trachuri* y *C. filiferum*.

Tabla 42.

Valores de F-para-remover y tolerancia del análisis de discriminaci3n múltiple, sobre intensidad media de infecci3n.

Variable	F-to-remove	Tolerance
CG	4.23	0.980720
LT	43.86	0.975706
RT	246.68	0.988362
HA	17.96	0.985802
AS	268.63	0.966585
CA	22.85	0.971365
DI	5.84	0.933703
CF	31.59	0.893404
CO	5.65	0.961612
MO	4.73	0.959848

4.4.5 Discusi3n

Las diferencias observadas en la talla media de los peces para las distintas localidades muestreadas, tanto para la informaci3n disponible analizada (informes Proyectos previos), así como para aquella generada en este proyecto no debe considerarse como un factor que afecte contrastes, comparaciones o conclusiones en el marco de los objetivos de este proyecto. Para esta especie, los procesos

migratorios han sido ampliamente discutidos (Serra, 1991, Serra et al. 2010) y las relaciones entre incremento de la talla y el concomitante aumento en el parámetros de infecci3n, en particular para parásitos que acumulan con la edad (talla) también han sido documentados para esta especie (Oliva 1999). Cuando estos cambios, tanto en talla como tasas de infecci3n aparecen relacionados con gradientes latitudinales, entonces estos elementos deben considerarse como una informaci3n que, sinérgicamente, confirma procesos de migraci3n. Por otro lado, una potencial ausencia de diferencias significativas tanto en talla como parámetros de infecci3n, a lo largo de su área de distribuci3n, serían un indicador que esta especie no presenta patrones migratorios, lo que es contrario a lo indicado por la literatura en relaci3n al comportamiento migratorio de este pez.

4.4.5.1 Análisis univariado

Una característica de la fauna de parásitos metazoos del jurel, es su pobreza en términos cualitativos, en este estudio se detectaron tan sólo 18 especies, valor prácticamente igual al encontrado por Serra *et al.* (2010) y algo mayor al encontrado por George-Nascimento (2000), pero casi el doble de lo observado por Oliva (1994) e inferior a lo observado por Oliva (1999), valores que en todo caso son mayores a las 6 especies registrado por Costa *et al.* (2012) en *T. picturatus* de Islas Madeira pero definitivamente menores al contrastarlo con las 40 especies de metazoos registrados por Mackenzie *et al.* (2008) y las 45 registradas por Gaevskaya & Kovaleva (1980), ambos para *Trachurus trachurus*.

Para Nueva Zelandia, la informaci3n sobre parásitos de peces del género *Trachurus* es escasa, Hewitt y Hine (1972) indican que *T. declivis* es parasitado por sólo tres parásitos metazoos, todos formas larvales de nematodos y *T. novaezealandiae* es hospedero para 11 especies de metazoos. Taylor (1999) no registra la presencia de

parásitos metazoos en *T. murphyi* en Nueva Zelandia y destaca que de 500 especímenes estudiados, ninguno albergaba crustáceos (no refiere a otros parásitos metazoos).

La ausencia de crustáceos, particularmente isópodos en *T. murphyi* en Nueva Zelandia (Avdeyev, 1992; Taylor, 1999) se ha explicado en base a la duraci3n de su ciclo de vida (no indicado, pero estimado en no más de 13 meses) que no le permitiría soportar una migraci3n transoceánica, explicaci3n también postulada para *L. trachuri*. Adicionalmente se postula que Cimothoideos son isópodos propios de aguas cálidas (Avdeyev, 1992) aunque en una vía opuesta y sorprendentemente basándose en este último autor, Taylor (1999) los define como criofílicos, asumiendo una situaci3n similar para *L. trachuri*. En consecuencia y siguiendo a Avdeyev (1992) su ausencia en Nueva Zelandia sería producto de su origen asociado a aguas cálidas. Nuestros datos muestran que *C. gaudichaudii* se encuentra en toda el área de distribuci3n de *T. murphyi* en las costas de Chile y Perú, descartándose entonces la hipótesis de origen cálido y siendo más plausible hipótesis asociadas a la duraci3n del ciclo de vida de ambos crustáceos. En este escenario, la ausencia de ambas especies en Nueva Zelandia no tiene valor como para considerarlas como buenos indicadores biológicos en la identificaci3n de unidades poblacionales.

Con relaci3n a Digenea, llama también la atenci3n la pobre riqueza cualitativa de estos parásitos al compararlos con distintos estudios cuantitativos sobre el género *Trachurus*, sólo 3 especies fueron registradas, destacando *C. filiferum* muy abundante en Nueva Zelandia y escasamente representada en muestras de Sud América. Las dos restantes especies fueron encontradas sólo en Nueva Zelandia.

C. filiferum se puede considerar un parásito común en jureles de la zona en estudio, *Monascus* sp. y Digenea gen sp. estuvieron presentes sólo en la zona de pesca Nueva Zelandia. La pobreza en la fauna de Digenea ha sido considerada como una característica de los peces de esta zona y asociada a la presencia de una Capa de Mínimo de Oxígeno (Oliva *et al.*, 2007). De las restantes especies, particularmente nematodos anisakidos en estado larval, son muy comunes en peces marinos y *R. trachuri* es un acantocéfalo común en diferentes especies de *Trachurus*.

La discusión focalizará en aquellas especies que demuestran valor en los análisis multivariados, excepto para *C. gaudichaudii* que estuvo presente en todas las zonas de pesca, excepto Nueva Zelandia. Los análisis univariados (prevalencia de infección) demuestran que este descriptor no difieren significativamente para *C. gaudichaudii* entre las zonas de pesca en que estuvo presente (ver **Tabla 18**). En las costas de Chile y Perú *C. gaudichaudii* estuvo ausente sólo en la zona de pesca Perú norte en el período reproductivo. *L. trachuri* estuvo presente en todas las zonas de pesca, excepto Nueva Zelandia y Chiloé costa (periodo de alimentación), *A. simplex* estuvo ausente en todas las muestras de Perú y *R. trachuri* no se detectó en las zonas de pesca del centro y sur del Perú. Las tendencias latitudinales en la prevalencia de infección para estas últimas tres especies, resultan tendencias claras a la disminución de la prevalencia de infección de *C. gaudichaudii* (periodo de alimentación) desde el norte de Chile hacia el sur, lo que estaría en concordancia con los postulados de Avdeyev (1992). Para *L. trachuri* no hay un patrón claramente discernible, pero se insinúa un incremento desde el norte del Perú hacia el norte de Chile en el período reproductivo y tanto para *A. simplex* como *R. trachuri* se evidencia un incremento hacia el sur. Cambios en la prevalencia de infección en gradientes latitudinales

sugieren procesos migratorios, donde se van adquiriendo o perdiendo parásitos según sus atributos biológicos (Oliva 1999, Oliva y Ball3n 2001, Serra *et al.* 2010).

En este sentido, resulta de particular importancia *A. simplex*, que corresponde a larvas enquistadas y que en consecuencia no pueden escapar activamente del hospedador y se acumulan en el tiempo. Especies de *Anisakis* han sido considerados, por lo tanto, como buenos indicadores biológicos. Recientemente Mattiuci *et al.*, (2008) sugieren movimientos migratorios de *Trachurus trachurus* usando nematodos del Género *Anisakis* como marcas biológicas.

Similar situaci3n es evidente para la abundancia media de infecci3n para *C. gaudichaudii* con una tendencia a la disminuci3n de la abundancia hacia el sur en una vía opuesta a lo observado para *A. simplex* y *R. trachuri*, especies que aumentan su abundancia. Para *L. trachuri* se observa una tendencia al incremento desde el norte del Perú hasta el norte de Chile y luego una disminuci3n hacia el sur de Chile, al menos en el período reproductivo.

Con relaci3n a la intensidad media, en términos generales esta no difiere significativamente entre zonas de pesca al menos para los parásitos presentes, en las zonas de pesca de Coquimbo al norte (**Tabla 30**). Las tendencias latitudinales siguen la misma tendencia que la abundancia media.

Rhadinorhynchus trachuri presenta una situaci3n particular, es uno de los parásitos con mayor prevalencia, abundancia e intensidad media de infecci3n, pero sólo en las localidades más australes (Talcahuano costa y Chiloé oceánico), similar situaci3n ocurre con *A. simplex*, con altos valores en Talcahuano costa y Chiloé costa, además de Nueva Zelanda. En todo caso debe considerarse que en estas localidades están los peces de mayor tamaño, lo que puede explicar una

acumulaci3n con la edad, de estos par3sitos. De todos modos, estas localidades muestran caracter3sticas 3nicas en su fauna de par3sitos metazoos, ya que para Talcahuano costa el 95.9% de sus par3sitos corresponden a estas dos especies y el 85.9 es explicado s3lo por *R. trachuri*, situaci3n similar a lo observado para la zona de Chilo3 por Serra *et al.* (2010). En esta oportunidad, se repite lo observado por Serra *et al.* (2010) para Chilo3 oce3nico, donde el 99% de los par3sitos corresponden a *R. trachuri*. Los altos valores de prevalencia e intensidad media de infecci3n tipifican a esta zona como un ambiente particular. Espec3ficamente, estos altos valores de prevalencia e intensidad media de infecci3n sugieren que el jurel, en esta 3rea, se alimenta de preferencia sobre una poblaci3n de crust3ceos que alberga el estado larval del acantoc3falo *R. trachuri*. Adicionalmente esta situaci3n sugiere que los jureles son residentes en esta 3rea, estando sometidos a procesos de infecci3n continuos, tanto a nivel poblacional (reflejado en una alta prevalencia) como a nivel de individuo, reflejado en una alta intensidad media (30.9). Al respecto, los comentarios de Serra *et al.* (2010) mantienen vigencia, en cuanto a que de acuerdo con Vinogradov *et al.* (1990) en aguas oce3nicas (158° - 126° W) y cercanas a los 40° S se encuentra el borde austral de las aguas subtropicales superficiales y que la divisi3n frontal en los 40° 42° S act3a entre los 80° - 88° W. En esta zona y m3s hacia el sur (43° 50° S) hay densas agregaciones de cop3podos calano3ideos, quetognatos *Saggita* y euf3usidos, que conforman el denominado stock para la alimentaci3n del jurel, con concentraciones de cop3podos mesoplanct3nicos de 14,9 T * km⁻² y euf3usidos de 2,66 T*Km⁻² El hospedador intermediario de *R. trachuri* en las costas del Pacifico de Norteam3rica (Oregon-California) puede ser un amphipodo o cop3podo (Baldwin *et al.* 2008). Pese a que no se conoce el hospedador intermediario para *R. trachuri* en el hemisferio sur, se puede hipotetizar que representantes de estos grupos podr3an actuar tambi3n como hospedador intermediario. Bajo este criterio, una ingesta

sostenida de estos organismos explicaría los altos valores en los parámetros de infección de este parásito.

4.4.5.2 Análisis multivariado

El análisis multivariado ha adquirido relevancia en el análisis de parásitos como herramientas para la discriminación de stock y análisis de movimientos migratorios. Mackenzie & Abaunza (2005) actualizan técnicas y metodologías que están siendo ampliamente utilizadas. Una búsqueda en ISI WEB, utilizando como criterio “fish parasites” & “stock” y restringiendo la búsqueda a partir del año 2000, arroja más de 45 estudios, lo que demuestra la utilidad de esta herramienta.

El análisis de correspondencia sobre prevalencia así como intensidad media de infección es claro al asociar localidades con parásitos específicos. Así por ejemplo, ambas muestras de Nueva Zelandia tienen una fuerte correspondencia con *C. filiferum* y un conjunto de especies que incluyen *Monascus sp.* y Digenea gen. sp. *Anisakis sp.* se corresponde bien con muestras provenientes de Chiloé costa y también Nueva Zelandia. La correspondencia entre *R. trachuri* y Chiloé oceánico y Talcahuano es también evidente. Muestras provenientes de Perú y norte de Chile se asocian con *C. gaudichaudii*. Si se compara el análisis de correspondencia, para la totalidad de las muestras con el generado al integrar como muestras únicas aquellas localidades en que la prevalencia muestra estabilidad temporal, aparecen diferencias mínimas y referidas a rotación de los ejes. El análisis de correspondencia sobre intensidad de infección arroja similares conclusiones.

En concordancia con el análisis de correspondencia, las características cuantitativas de la fauna parasitaria tienen éxito al discriminar, con un elevado

nivel de asignación correcta, sólo los peces provenientes de norte de Perú (97%) y Chiloé oceánico (90%) y con valores del 70% y 75% para Nueva Zelandia período reproductivo y de alimentación, respectivamente. Sugiriendo que estas zonas de pesca están bien tipificadas cuando se considera la totalidad de sus parásitos. Hay cambios fuertes al considerar aquellos parásitos con prevalencia superior al 5%. En este caso la asignación correcta total aumenta desde el 41% al 61%, valor en todo caso bajo, aunque significativo según lo demuestran los estadísticos asociados; la asignación correcta para el norte del Perú cae del 97% al 40%. Básicamente porque se retira del análisis a *C. gaudichaudii* que si bien tiene un bajo valor de F-to-remove, tiene la mayor tolerancia. Por otro lado, las zonas de pesca de Nueva Zelandia no muestran grandes diferencias, ya que la intensidad media de las especies de Digenea es alta y tienen entonces un valor relativo más importante, no siendo entonces afectando por la remoción de especies con baja prevalencia. Tanto Chiloé costa como Coquimbo incrementan en más del 10% la asignación correcta.

La aplicación de otras técnicas multivariadas, tales como Random Forest no fueron capaces de generar mejores niveles de decisión que el análisis de discriminación múltiple, resultado obtenido en el proyecto anterior (Serra et al., 2010) y además es redundante con respecto a la aplicación multivariada hecha. En consecuencia se procedió además a realizar un análisis no paramétrico (PERMANOVA) utilizando el utilitario Primer. Si bien este modelo no busca discriminación, permite identificar similitud entre localidades, utilizando la transformación raíz cuadrada de abundancia según la rutina S17 similitud de Bray-Curtis, con 9999 permutaciones. Los resultados se indican en Anexo 1. Estos resultados deben tomarse con precaución, ya que la similitud puede estar dada tanto por la presencia como por la ausencia de parásitos, más que por su presencia en términos cuantitativos. Lo que resulta evidente al contrastar aquellas

localidades con mayor nivel de similitud (Perú) en que la escasa presencia de parásitos fue clara, tal como se observa en las Tablas **18**, **22** y **30**

Por otro lado, la imposibilidad de obtener muestras para todas las localidades analizadas, en ambos períodos (alimentación y reproducción) podría considerarse como un factor que dificulte contrastes. La no obtención de muestras en todas las localidades, para ambos períodos es consecuencia de las dificultades logísticas asociadas a un muestreo intensivo, en numerosas localidades, de un recurso cuya disponibilidad es cada vez mas escasa. En todo caso, estas comparaciones fueron posibles para 5 de las localidades consideradas, para el conjunto de parásitos obtenidos (ver **Tabla 31**). Tan sólo 4 de las 14 comparaciones posibles de realizar, sugieren diferencias significativas en parámetros de infección. Dos de ellas corresponden a parásitos en muestras de NZE y una (*C. filiferum*) a un parásito que fue encontrado con altos valores de prevalencia y abundancia media sólo en esta localidad. (ver **Tablas 18 y 22**). *C. filiferum* fue encontrado sólo en NZE y en un periodo (reproducción) en CHO y en TCO sólo en alimentación, en ambos casos con baja abundancia. Las otras diferencias corresponden a *A. simplex* y *R. trachuri* en TOC. En el caso de *A. simplex*, hay notorias diferencias en ambos períodos para la prevalencia de infección y menores (aunque significativas) para la abundancia media. Para *R. trachuri*, si bien las diferencias son también significativas, los valores de los parámetros de infección son altos, por ejemplo valores de prevalencia de 87.0% y 97.5%, para el periodo de alimentación y reproducción, respectivamente. La ausencia de diferencias significativas en los otros casos son indicadores de estabilidad temporal (peridos analizados) en los parámetros de infección, lo que sugiere que la falta de información para uno de los dos períodos en alguna de las localidades analziadas, no debería afectar los resultados y conclusiones.

En conclusión, los más importantes resultados corresponden a:

- 1.- Se destaca la ausencia de parásitos con una importancia alta en la discriminación tales como *Anisakis simplex* y *Rhadinorhynchus trachuri*, una baja prevalencia para *Lernanthropinus trachuri* (salvo norte del Perú en período de alimentación) y ausencia además del nemátodo *H. aduncum* presente en todas las zonas de pesca, excepto las de Perú.

- 2.- No hay parásitos propios de peces obtenidos del Perú y que estén presentes en Chile. Sin embargo, Oliva (1999) y Serra *et al.* (2010) indican que para la zona norte del Perú, específicamente Paita e Isla Lobos de Afuera, respectivamente, se detectó la presencia del monogeneo *Cemocotyle cf trachuri* y el cestodo larval *Eutetrarhynchus sp.*, especies propias del peces del norte del Perú, al menos alrededor de los 6° N y que no han sido registradas en Chile ni tampoco al sur de Trujillo-Callao .Es importante indicar que, una comparación de tallas medias de peces analizados por Oliva (1999) (34.0 cm), Serra *et al.* (2010) (32.1 cm) y los datos del proyecto actual para el norte del Perú (30.7), indican diferencias significativas ($F_{2, 623} = 21.9, P < 0.001$). Un análisis *a posteriori* (Tukey test) indica que peces analizados en este estudio tienen una talla media significativamente menor que la de los peces analizados por Oliva (1999) y Serra *et al.* (2010). Esta diferencia en tallas medias explicaría la ausencia de los parásitos indicados más arriba.

- 3.- Resulta evidente cambios en las tendencias latitudinales para prevalencia abundancia e intensidad de infección para *C. gaudichaudii*, *A. simplex*, *R. trachuri*, *H. aduncum* y en menor medida *L. trachuri*.

- 4.- Peces de Chiloé oceánico presentan una extraordinaria abundancia de *R. trachuri*.
- 5.- Peces de Nueva Zelandia presentan una fauna propia de parásitos, destacándose la colonización por parásitos generalistas y pérdida de parásitos propios de las costas de Chile y Perú, específicamente *Lernanthropinus trachuri*.

En consecuencia y de acuerdo a los resultados indicados:

- a) Los antecedentes aportados en el punto 1 y 2 son evidencia de la existencia de dos unidades de stock en jureles de las costas de Chile y Perú. Destacándose la ausencia de importantes parásitos en las localidades del centro norte del Perú. Por otro lado, no hay parásitos propios de peces del Perú y que no se encuentran en Chile, lo que descarta procesos de migración desde Perú (al menos localidades más al norte) hacia Chile. La presencia de parásitos tales como el monogeneo *Cemocoyle cf trachuri* y el cestodo larval *Euterarhynchus sp.* en el norte del Perú (app. 6° N) y su ausencia en muestras más al sur tanto en Perú como Chile, así como la ausencia de *A. simplex*, *L. trachuri* y *H. aduncum* en el estudio actual en Perú refuerza la hipótesis de un stock en Perú. Adicionalmente, los jureles del norte del Perú son de mayor tamaño que los del norte de Chile, perdiéndose un potencial gradiente latitudinal esperado si peces del norte del Perú fuesen parte del stock que se encuentra en Chile.

Por otro lado, los antecedentes aportados por Oliva (1999) y Serra *et al* (2010) así como los ahora obtenidos, sugieren que el límite de estos stocks es variable y no fijo. La presencia de algunos parásitos mencionados en el

- punto 1, particularmente *A. simplex*, en la zona centro-sur del Perú (Serra *et al.* 2010) y su ausencia en ella en el estudio actual sugiere que el límite de estos stock estaría asociados a la zona comprendida entre el norte de Chile y Parácas (centro sur de Perú).
- b) Los antecedentes resumidos en el punto 3 sugieren procesos de migración, marcados por la ganancia/pérdida de parásitos, desde el norte de Chile hacia el sur. Esta conclusión se basa en el incremento de las tasas de infección de importantes marcadores, tales como *Anisakis simplex*. La ausencia de estos parásitos en peces del centro y sur del Perú no descarta que este parásito pueda ser adquirido por estos peces en una hipótesis de migración desde el centro-sur del Perú hacia Chile.
- c) Los antecedentes resumidos en los puntos 4 y 5 sugieren la existencia de un stock ecológico (pero no pesqueros) diferenciado para Chiloé oceánico, caracterizado por un ambiente extraordinariamente productivo, particularmente componentes del zooplancton que pueden corresponder a hospedadores intermediarios del acantocéfalo *R. trachuri*. Los jureles de Nueva Zelandia corresponderían a jureles que emigraron y estarían colonizando la nueva región según evidencias disponibles de desove allí (2^a muestra), caracterizado por la colonización de nuevos parásitos, propios de este nuevo ambiente, así como pérdida de parásitos propios de la costa del Pacífico de Sud América.

4.5 Morfometría de otolitos

El análisis de varianza (ANOVA) mostr3 la existencia de diferencias significativas de las tallas entre las distintas localidades de muestreo $F_{(8, 644)} = 1449,6$ $P = 0,000$ y $F_{(4, 393)} = 89789,8$ $P = 0,000$, para el periodo 1 y 2, respectivamente. Esta situaci3n es producto de las características de la estructura de tallas en las diferentes localidades, que obedecen a diferencias hist3ricas, como por ejemplo una alta proporci3n de ejemplares adultos j3venes en el norte de Chile (Arica a Antofagasta), o la presencia de ejemplares de gran tama1o en las costas de Nueva Zelanda (**Figura 73**)

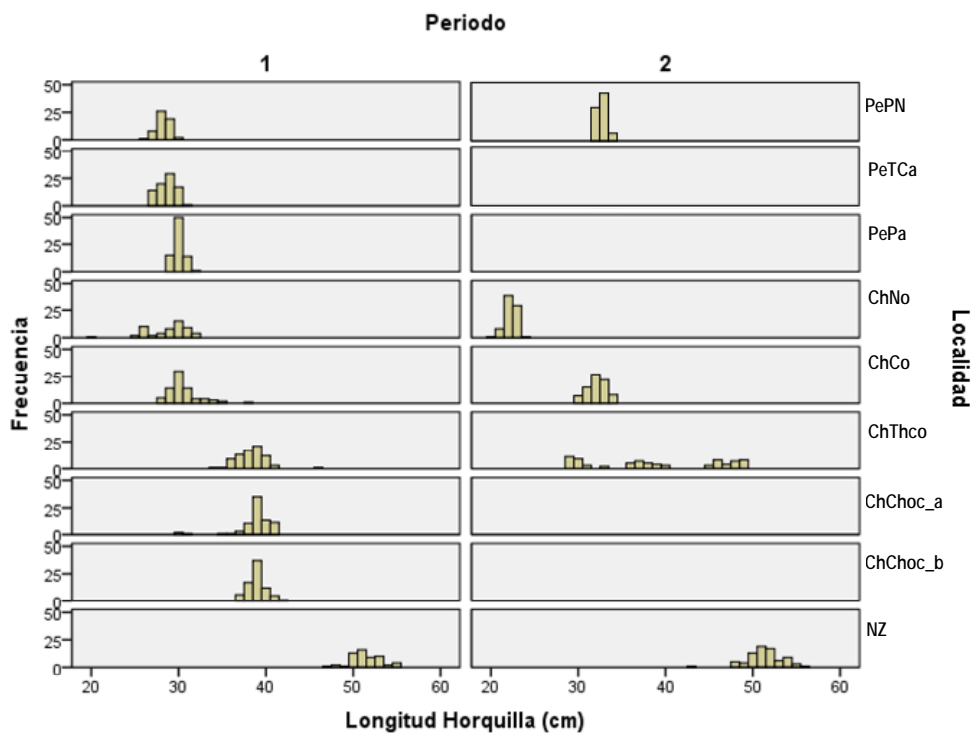


Figura 73. Distribuci3n de frecuencia de longitud de las muestras de jurel recolectadas en cada localidad y perío do. Perío do 1 corresponde a oto1o (abril-junio) y periodo 2 primavera-verano (noviembre y enero). Las localidades corresponden, en forma descendente en la gr3fica, a zonas de muestreo desde el norte de Per3 al sur de Chile y Nueva Zelanda. La ubicaci3n de cada localidad se presenta en la metodología y **Tabla 2**.

4.5.1 Análisis de medidas morfométricas entre hitos

La variabilidad ontogenética entre zonas fue corregida a través de la estandarización que independizó las medidas morfométricas del efecto tamaño del pez. En la **Figura 74 y 75** se presentan las relaciones entre las distintas medidas morfométricas (entre “landmarks” o puntos del otolito), donde se incluye la longitud del otolito. En esta figura se muestran las medidas ponderadas en que se ha eliminado el efecto talla, lo cual permitió que el tamaño del pez y/o otolito no impactará en el análisis.

El test de Mahalanobis indicó, para ambos periodos, muestra la no existencia de normalidad para las doce medidas morfométricas entre puntos del otolito ($P < 0,000$) y la ausencia de homogeneidad de varianza $P = 0,037$, por lo cual se procedió con análisis de varianza no-paramétrico.

El análisis varianza, a través del test de Kruskal Wallis, para las medidas lineales entre puntos del otolito, mostró en ambos periodos de muestreo, diferencias significativas entre localidades, oscilando el P value entre $4,14 \times 10^{-14}$ y 0,033. En este caso para determinar si estas diferencias permiten la separación de grupos discretos se aplicó el análisis de componentes principales.

Los métodos de contraste aplicados antes del análisis factorial (análisis de componentes principales), para analizar la pertinencia de este tipo de análisis, presentaron resultados suficientes, a saber: La medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) fue de 0,68 y 0,67, para el periodo 1 y 2, respectivamente, indicando que los datos son suficientes para un análisis factorial y el Test de Bartlett's tuvo, para ambos periodos un $P < 0,000$, lo cual muestra una alta correlación entre las variables. El análisis de componentes

principales (ACP) muestra que las dos primeras componentes explican el 62 y 68% de la varianza, el tercer componente aporta el 13 y 14% adicional, lo que permiti3 explicar el 76 y 82%, para el periodo 1 y 2, respectivamente (**Tabla 43**).

Tabla 43.

Resultado del an3lisis de componentes principales (ACP) de las variables morfom3tricas correspondientes a las distancias entre puntos del otolito o "landmarks". Se presenta el porcentaje de la varianza explicado por los tres primeros componentes para el an3lisis de cada periodo de muestreo.

Periodo	Componentes	Varianza Total	Varianza (%)	Varianza Acumulada (%)
1	1	5,25	43,72	43,72
	2	2,23	18,59	62,30
	3	1,62	13,54	75,84
2	1	5,98	49,83	49,83
	2	2,13	17,75	67,58
	3	1,71	14,24	81,82

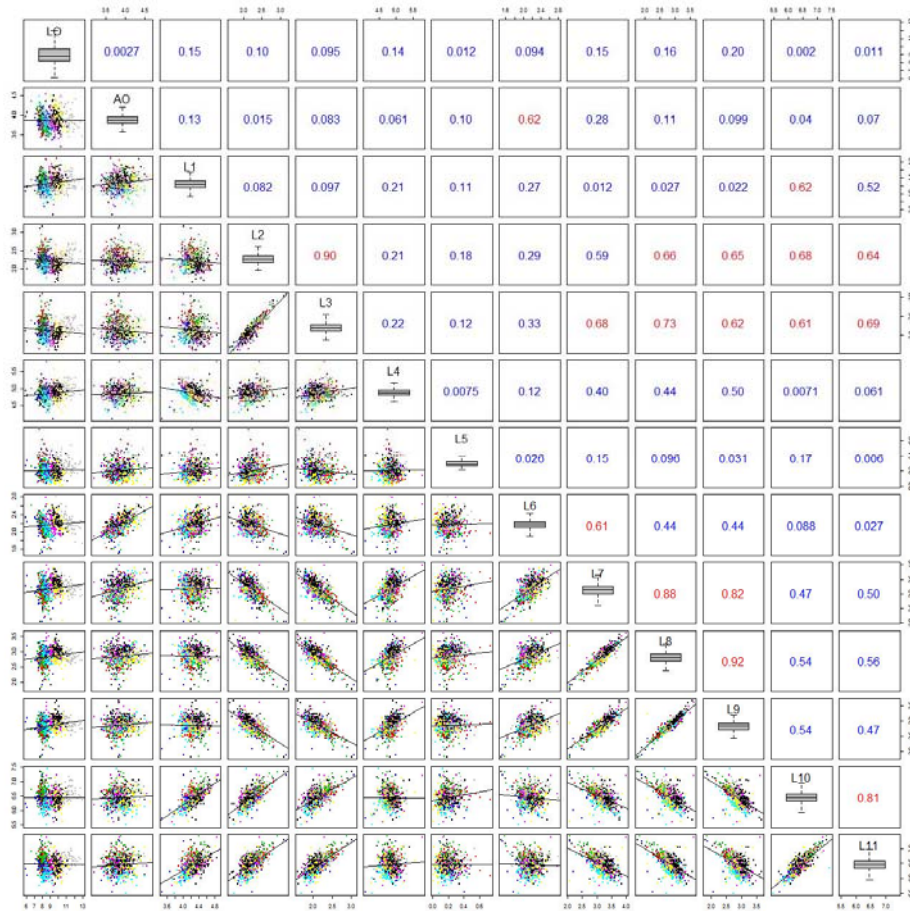


Figura 74. Relaciones entre las distintas variables morfométricas, medidas entre distintos “landmarks” o puntos del otolito de jurel, correspondiente al periodo 1. Se incluye además la longitud del otolito (LO) y el ancho del otolito (AO). Hacia la izquierda se presentan la dispersión de puntos y la línea que corresponde al ajuste lineal entre las variables, hacia la derecha los coeficientes de determinación de los ajustes. El significado de cada variable se presenta en la metodología y **Figura 3**.

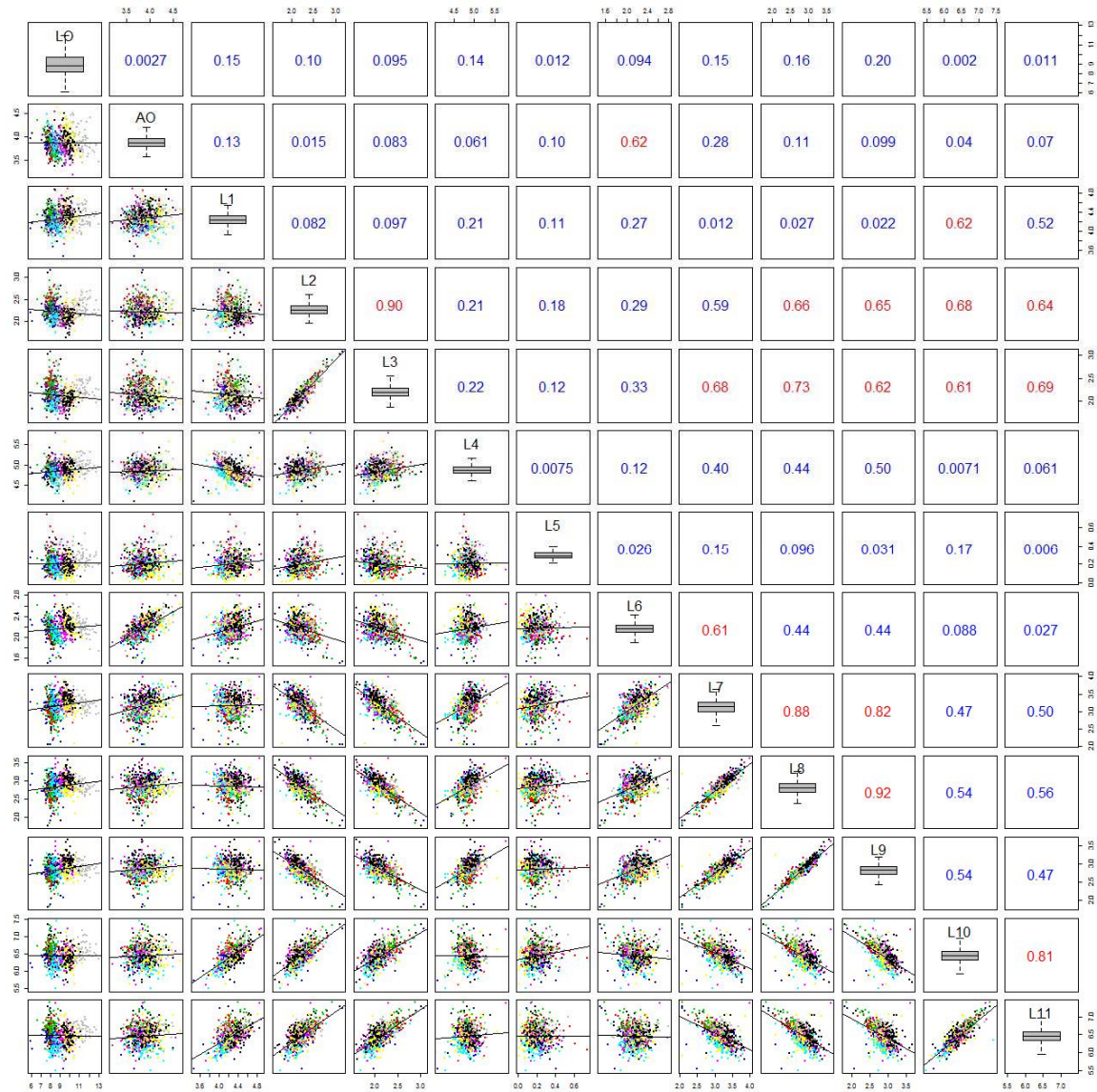


Figura 75. Relaciones entre las distintas variables morfométricas, medidas entre distintos “landmarks” o puntos del otolito de jurel, correspondiente al periodo 2. Se incluye además la longitud del otolito (LO) y el ancho del otolito (AO). Hacia la izquierda se presentan la dispersión de puntos y la línea que corresponde al ajuste lineal entre las variables, hacia la derecha los coeficientes de determinación de los ajustes. El significado de cada variable se presenta en la metodología y **Figura 3**.

La agrupaci3n de variables por componente fue descrita considerando los valores propios mayores a 400 en la matriz de componentes. De esta forma, en el ACP del primer per3odo, la primera componente est1 compuesta principalmente por las variables L2, L3, L7, L8, L9, L10, L11 y en menor importancia L6. La segunda componente est1 compuesta por las medidas L1, L6, AO, L10 y L11. La tercera componente agrupa las medidas L4 y L1. La componente 1 agrupa a las medidas que est1n m1s cercanas al contorno del otolito. La componente 2 es m1s confusa, ya que est1 conformada por las dos variables de ancho del otolito (AO y L6) y otras medidas de largo como n1cleo-cauda. La componente 3 est1 representada principalmente por la distancia n1cleo-rostro.

En el ACP del segundo periodo, la primera componente est1 compuesta por las variables, L2, L3, L7, L8, L9, L10 y L11, por lo cual al igual que para el primer periodo agrupa a las medidas que est1n m1s cercanas al contorno del otolito. La componente 2 est1 representada principalmente por las variables L1 y L4, que representan el largo del otolito. Finalmente la componente 3 est1 representada por las variables AO y L6 que describen el ancho del otolito, tambi3n presenta un valor importante la variable que describe la distancia desde el antirrostro a la comisura rostro-antirrostro del otolito. En la agrupaci3n de variables que describen cada componente solo la componente 1 estuvo representada por las mismas variables en ambos periodos.

El an1lisis gr1fico de la distribuci3n de las localidades de muestreo de acuerdo a los valores propios de las componentes del ACP, para el primer periodo, muestra una sobreposici3n de puntos de todas las localidades. Aunque la ubicaci3n de los centroides de las elipses (centro de gravedad de la nube de puntos) correspondientes a la primera y segunda componente permite observar la

segregaci3n o sobreposici3n de algunos centroides respecto de otros, como por ejemplo, los centroides de localidades de Per3 que se observan distante de Nueva Zelanda o de las localidades de Chile, los valores propios de cada localidad y las elipses que corresponden al IC 95% en torno al centro de la distribuci3n, no permiten separar las localidades en grupos independientes, al menos a partir de la morfometr3a del otolito caracterizada por las distancias lineales entre puntos relevantes de la estructura o "landmarkrs" (**Figura 76 y 77**). El an3lisis realizado para el segundo periodo, que consider3 cinco localidades, muestra una distribuci3n espacial de los valores propios de cada localidad, similar a lo estimado para el periodo 1, con una alta sobreposici3n, no permitiendo tampoco en este caso, poder diferenciar las localidades en grupos independientes (**Figura 78 y 79**).

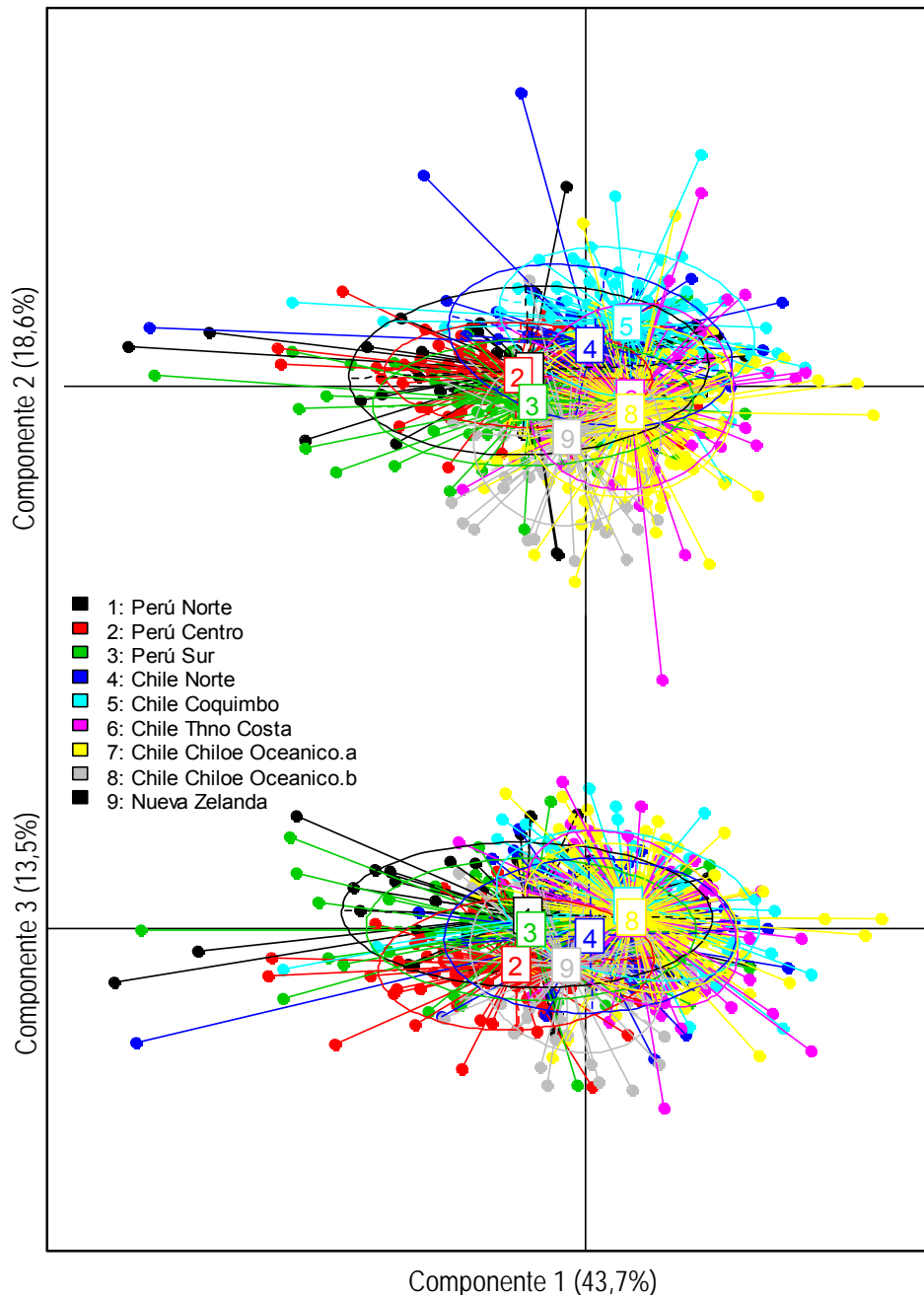


Figura 76. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales (ACP) para el primer periodo de muestreo, correspondiente a otoño del 2011. A) Relación entre la primera y la segunda componente, B) relación entre la primera y tercera componente.

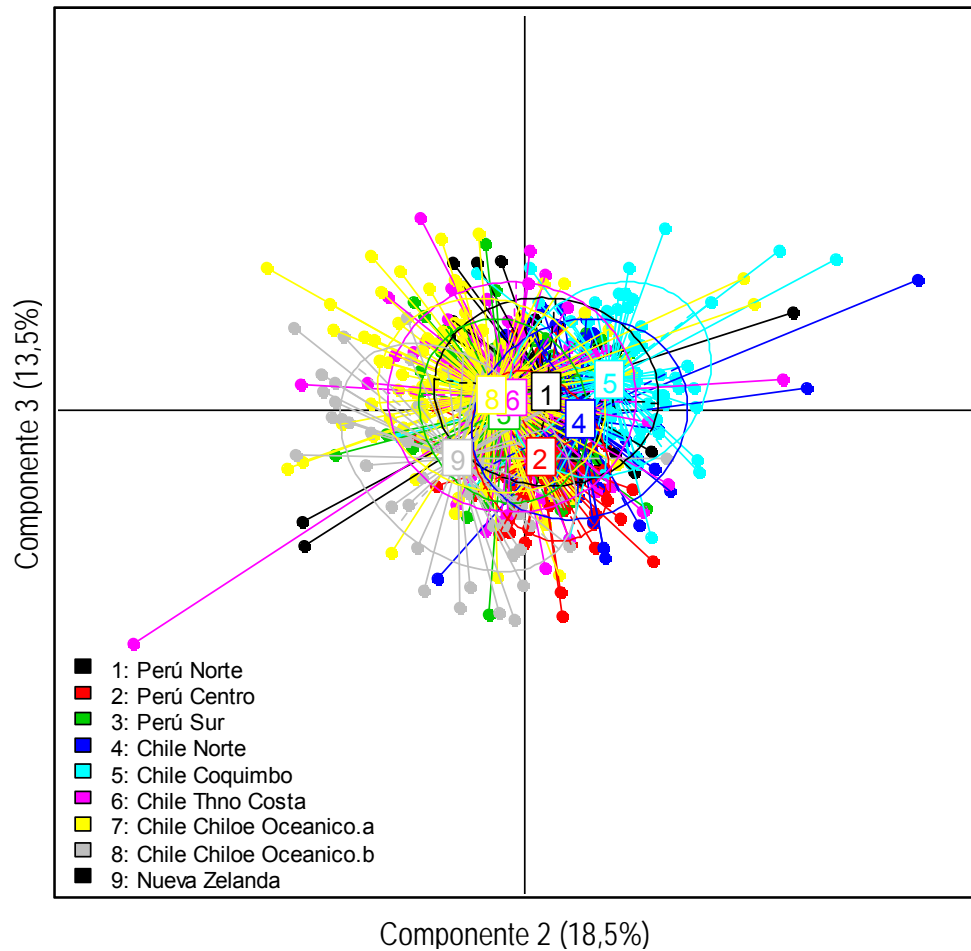


Figura 77. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales para el primer periodo de muestreo, correspondiente a otoño del 2011. Se muestra la relación entre la segunda y tercera componente.

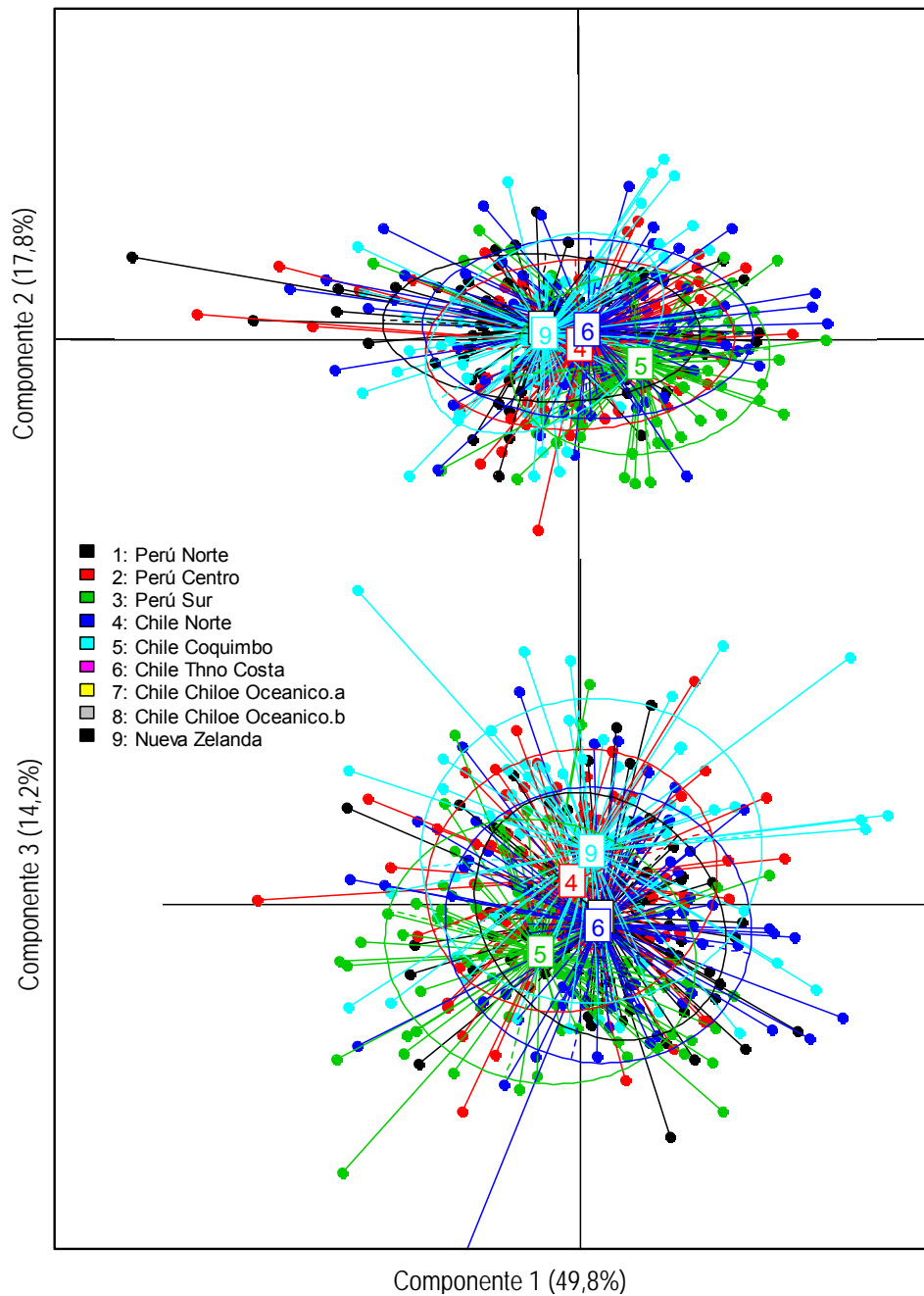


Figura 78. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales (ACP) para el segundo periodo de muestreo, correspondiente a primavera-verano del 2011-2012. A) Relación entre la primera y la segunda componente, B) relación entre la primera y tercera componente.

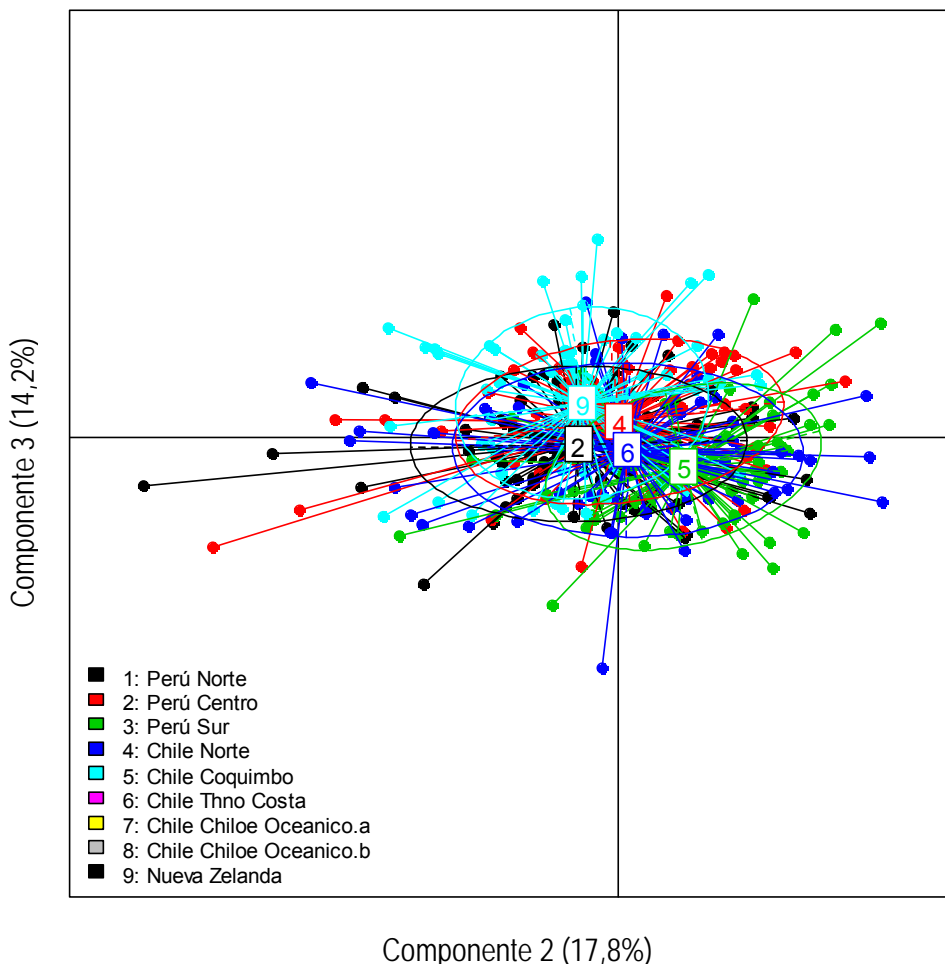


Figura 79. Elipse correspondiente al centro medio de los ejemplares por localidad derivados del análisis de componentes principales para el segundo periodo de muestreo, correspondiente a primavera-verano del 2011-2012. Se muestra la relación entre la segunda y tercera componente.

4.5.2 Análisis morfométrico de contornos

Una inspección inicial de los contornos promedios por localidad deja ver en primer lugar un adecuado proceso de normalización (tamaño, orientación y punto de partida) y en segundo lugar una adecuada reconstrucción de los contornos promedios. La reconstrucción del contorno del otolito por localidad muestra un

rostro m1s prolongado y una zona caudal c3ncava para las localidades Nz, ChCHoc_a, ChChoc_b y ChThco, mientras que los contornos de las restantes localidades (PePN, PeTCH, PePa, ChNo, ChCo), muestran una forma aguda del cauda y un rostro de menor longitud (**Figura 80**).

Si bien, los resultados del MANOVA indican diferencias significativas ($F=0,28$; $P<0,05$) entre localidades, sugiriendo que cada localidad posee su propia forma promedio, al incluir en el an1lisis de varianza una segunda variable categorica que describa el tama1o del pez (catLH: LH para rangos de tama1o cada 10 cm), la explicaci3n de la varianza es influida por catLH ($F=0,11$, $P<0,05$), esto no obstante un adecuado proceso de estandarizaci3n. Lo anterior es posible explicarlo por un desbalance en el muestreo, que es evidente desde los histogramas de distribuci3n de longitud por localidad (**ver figura 73**), donde un efecto de correlaci3n entre localidad y tama1o del pez explicaría la significancia estadística de la categoría de longitud y localidad.

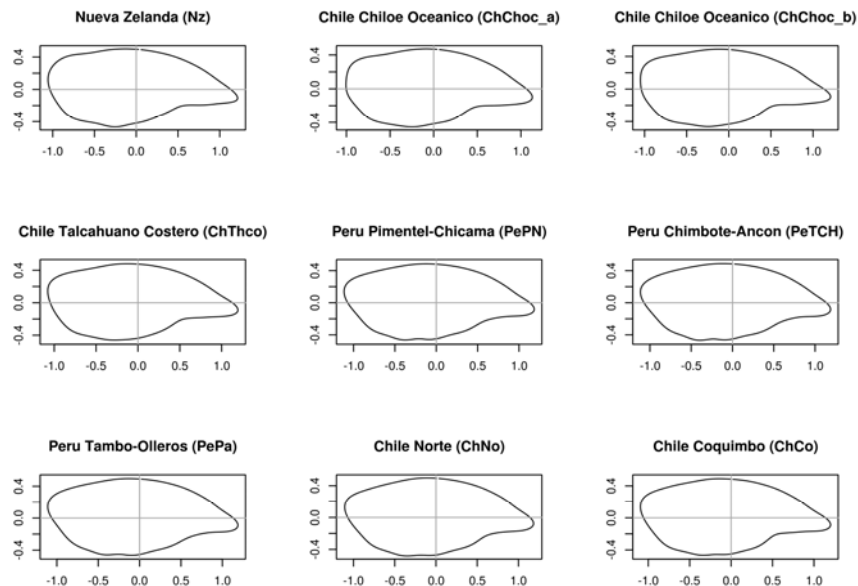


Figura 80. Contornos promedios normalizados del otolito de jurel por localidad.

No obstante el MANOVA indica diferencias significativas entre localidades, que posiblemente obedecen a los tamaños muestreados en cada una de estas, se agruparon las localidades para contrastar los contornos promedios entre macrozonas sur-oeste (Nz, ChChoc_a, ChChoc_b y ChThco) y macrozona norte (PePN, PeTCH, PePa, ChNo, ChCo). La selecci3n de las localidades por macrozona est3 basada en las longitudes de los individuos muestreados, con ejemplares de tamaños pequeños para el norte y tamaños medianos a grandes para el sur-oeste, como tambi3n, en base a la correlaci3n entre localidad y longitud del pez.

La **Figura 81** muestra los contornos promedios para ambas zonas, donde es posible observar diferencias significativas entre estas ($F=0,18$; $P<0,05$) y cuyas formas repiten el patr3n identificado en la inspecci3n de contornos por localidad (**ver figura 80**), es decir, otolitos con cauda aguzado para individuos de la macrozona norte y rostros de mayor tamaño para otolitos de la macrozona sur-oeste.

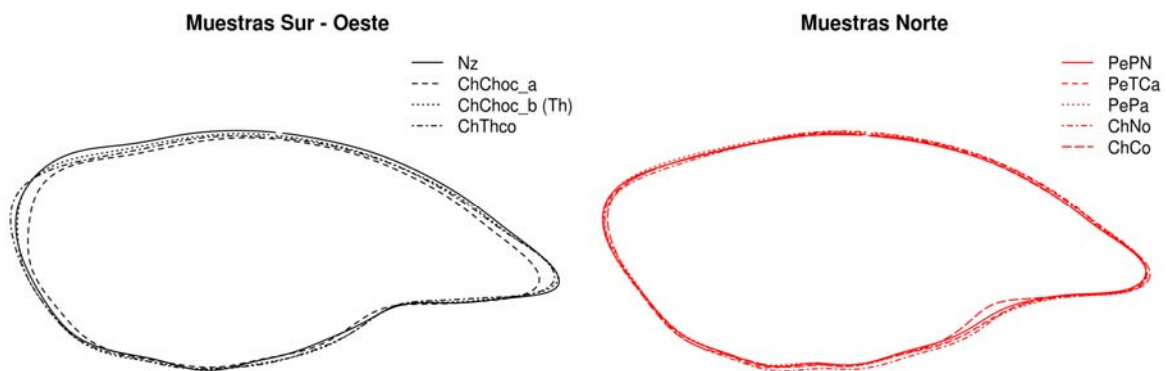


Figura 81. Contornos de otolitos de jurel promedios normalizados para las macrozonas Sur-Oeste y Norte.

Las formas promedio esta vez construidas por macrozona/localidad (**Figura 82**), dejan ver que las diferencias son m3nimas entre localidad, pero importantes entre zonas, sugiriendo dos grupos validos de clasificaci3n de contorno. El primer grupo incorpora localidades del norte con individuos peque1os, y un segundo grupo para individuos de tama1os medianos y grandes para la macrozona sur-oeste, esta 3ltima agrupando localidades con muestreos oce3nicos.

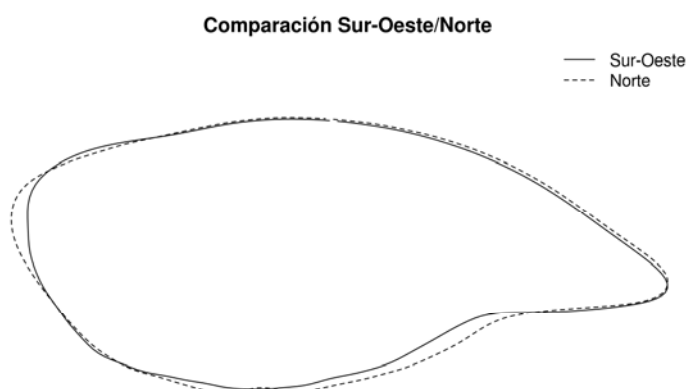


Figura 82. Contornos de otolitos de jurel promedio normalizados para las localidades agrupadas en las macrozonas Sur-Oeste y Norte.

Debido a que el muestreo esta desbalanceado, con una alta correlaci3n entre localidades y longitudes del pez, es inadecuado inferir que las diferencias en los contornos son explicados por las localidades, pues, el efecto ontog3netico del crecimiento puede inducir una tasa de crecimiento asim3trica (variaci3n intraespec3fica) en la forma del otolito, que de suceder, explicar3a las diferencias entre los contornos de la macrozona norte (peces peque1os) y la macrozona sur-oeste (peces medianos a grandes) bajo el supuesto de distribuci3n homog3nea entre localidades.

Para explorar la variabilidad intraespec3fica en la forma del otolito, se utilizaron dos subconjuntos de DF. El primero corresponde a los individuos peque1os de la

macrozona norte (PePN, PeTCH, PePa, ChNo, ChCo) durante el periodo 1, evitando el sesgo de sobreposici3n en la distribuci3n de tallas del muestreo, mientras que el segundo subconjunto son los individuos de la localidad ChThco de la 3poca de reproducci3n (periodo 2), categorizados como juveniles/medianos para longitudes $LH < 40$ cm y mediano/grandes Longitudes $LH \geq 40$ cm (cat40LH). La selecci3n de la localidad ChThco fue debido a que en esta se obtuvo el mayor rango de tama1os del muestreo (**Figura 73**).

Las formas promedios para el primer subconjunto de DF (**Figura 83**) no muestran diferencias significativas ($F=2,11$, $P>0,05$) entre localidades, indicando que los contornos de los otolitos para individuos menores a 40 cm LH (**ver Figura 73**) son similares entre las localidades que forman parte de la zona norte de muestreo. Sin embargo, los contornos promedios de los otolitos en la localidad ChThco durante el segundo periodo para la categor3a mayores a 40 cm LH muestran diferencias significativas (**Figura 84**), indicando que el contorno promedio entre individuos puede ser atribuido a un efecto alom3trico en el crecimiento.

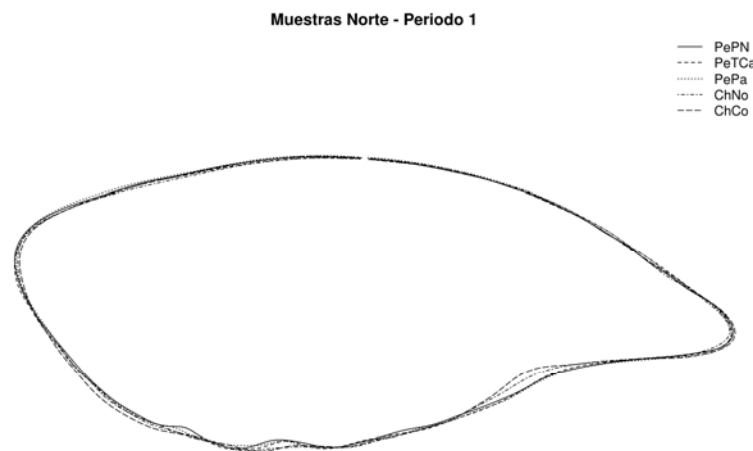


Figura 83. Contornos promedios normalizados de otolitos de jurel para las localidades de la macro zona Norte durante el periodo 1 (oto1o).

Muestras ChThco - Período 2

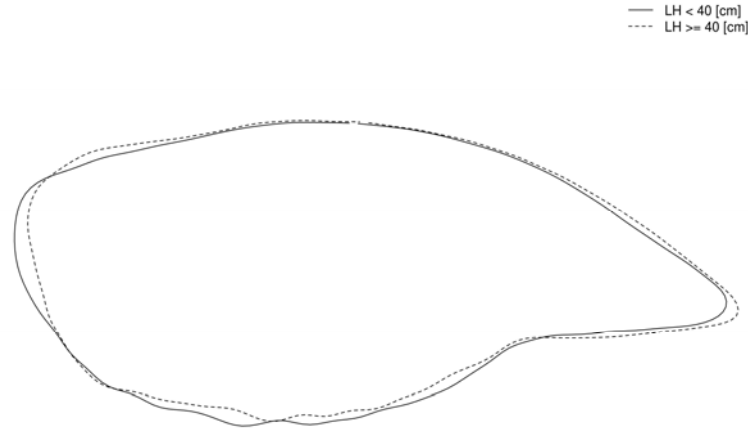


Figura 84. Contornos promedios normalizados de otolitos de jurel para la localidad ChThco (Talcahuano costa) durante el segundo período (época reproductiva) categorizado en torno a una longitud de horquilla de 40 cm.

Como es posible notar, el contorno promedio para individuos mayores a 40 cm en la localidad de ChThco (**Figura 84**), es similar a los contornos de las localidades que conforman la macrozona norte (**Figura 82**), que cabe mencionar incorporan las muestras de individuos con mayor longitud de horquilla. No obstante, lo anterior es corroborado en los siguientes análisis discriminantes.

El análisis discriminante de los DF para el primer y segundo periodo de muestreo, produjo 8 funciones, donde la primera y segunda función explican en conjunto el 78% y 82% de la varianza, para el primer y segundo período de muestreo, respectivamente. Los altos valores de la correlación canónica, próximos a 1, indican que la dispersión observada es debida a las diferencias existentes entre localidades (**Tabla 44**). A su vez la prueba de Lambda de Wilks, para ambos periodos, indica una alta significancia estadística en los dos ejes discriminantes ($P < 0,05$), con lo cual la capacidad explicativa de las funciones es adecuada (**Tabla 45**).

Tabla 44

Funciones discriminantes de los DF correspondientes a nueve localidades de muestreo del Pacífico sur, durante otoño del 2011 (primer periodo) y primavera-verano 2011-2012 (segundo periodo). Se destacan en gris las dos primeras funciones.

	Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1 ^{er} Periodo	1	3,77	63,34	63,34	0,89
	2	0,86	14,43	77,77	0,68
	3	0,65	11,00	88,78	0,63
	4	0,24	3,97	92,75	0,44
	5	0,18	3,04	95,79	0,39
	6	0,10	1,67	97,46	0,30
	7	0,09	1,53	98,98	0,29
	8	0,06	1,02	100,00	0,24
2 ^o Periodo	1	3,53	56,95	56,95	0,88
	2	1,54	24,84	81,79	0,78
	3	0,80	12,86	94,65	0,67
	4	0,33	5,35	100,00	0,50

Tabla 45

Resultado de los test de Chi cuadrado y Lambda de Wilks que contrastan las Funciones de discriminaci3n can3nicas de los coeficientes descriptores de elíptica de Fourier del otolito de jurel, correspondientes a nueve localidades muestreo del Pacífico sur, durante otoño del 2011 (primer periodo) y primavera-verano 2011-2012 (segundo periodo). Se destacan las dos primeras funciones.

	Contraste de las funciones	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	P value
1 ^{er} Periodo	1 a la 8	0,04	1950,48	416	0,00
	2 a la 8	0,18	1028,35	357	0,00
	3 a la 8	0,33	662,46	300	0,00
	4 a la 8	0,54	365,19	245	0,00
	5 a la 8	0,67	239,99	192	0,01
	6 a la 8	0,79	141,82	141	0,46
	7 a la 8	0,86	85,96	92	0,66
	8	0,94	34,62	45	0,87
2 ^o Periodo	1 a la 4	0,04	1159,01	208	0,00
	2 a la 4	0,16	630,91	153	0,00
	3 a la 4	0,42	305,07	100	0,00
	4	0,75	100,19	49	0,00

En consistencia con la significancia estadística de la localidad, la dos primeras funciones discriminantes muestran una separaci3n de las localidades de Perú y norte de Chile (Arica a Coquimbo) con Nueva Zelanda. En tanto que Talcahuano y Chiloé Oceánico presentan cierto nivel de mezcla con Nueva Zelanda. Las localidades de Perú muestran una alta sobreposici3n entre si y de estas con el Norte de Chile. Talcahuano presenta un nivel de mezcla con todas las localidades a excepci3n de Perú norte (PePN). Chiloé oceánico (muestra a y b) se sobrepone

con Nueva Zelanda, Talcahuano y Coquimbo, no presentando mezcla con Chile norte (ChNo) y las localidades de Per3 que a excepci3n de un leve porcentaje de mezcla (1,3%) de Per3 sur (PePa) con Chilo3 oce3nico a (ChChoc_a) que corresponde a solo un ejemplar de esta 3ltima localidad clasificado en PePa (**Figura 85**)

La correcta clasificaci3n de los ejemplares dentro de su grupo original vari3 entre el 46 y 78%, clasific3ndose correctamente el 65% de casos. Este porcentaje de clasificaci3n es m3ximo para las muestras de Nueva Zelanda, que constituye un grupo relativamente aislado (**Tabla 46**).

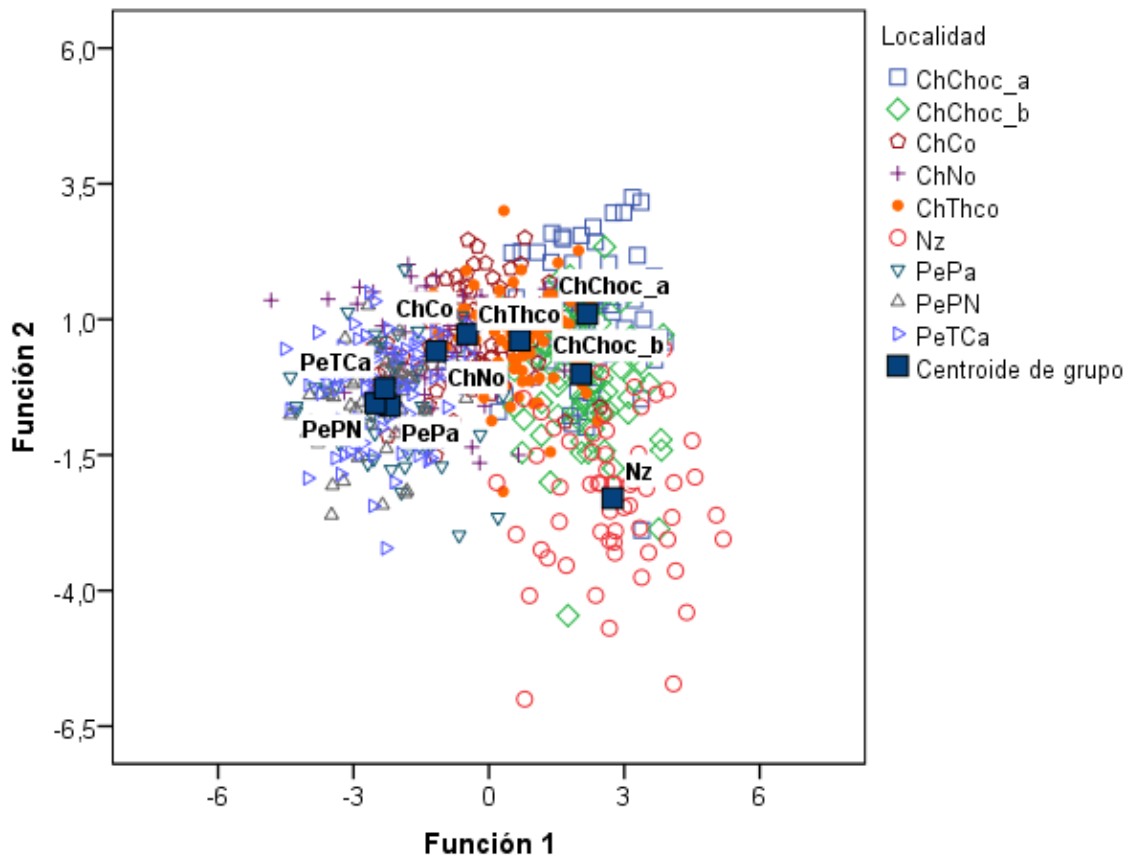


Figura 85. Primera y segunda funci3n discriminante can3nica de los DF de jurel correspondiente al primer periodo de muestreo.

Durante el segundo periodo (primavera-verano) se muestrearon cinco localidades de las nueve cubiertas en el primer periodo (otoño). El ploteo de la valores para las dos primeras funciones discriminantes muestra una separaci3n total entre Chile norte (ChNo) y Nueva Zelanda (Nz), donde estas dos localidades tienen el m3s alto porcentaje de clasificaci3n con 93,5 y 93,4%, respectivamente. Talcahuano presenta el menor porcentaje de clasificaci3n, con un 67,9%, presentando un nivel de mezcla con todas las localidades de este periodo, donde en total el 82,6% de los casos agrupados originalmente fueron clasificados correctamente (**Tabla 47**). En t3rminos gr3ficos para el segundo periodo se pueden advertir tres grupos discretos, formados por las localidades de Chile norte (ChNo) y Nz muy segregadas, junto a un 3rea intermedia en que se encuentran, con un mayor nivel de sobreposici3n, Per3 norte, Chile Coquimbo y Chile Talcahuano (**Figura 86**).

Tabla 46.

Matriz de clasificación de los otolitos de jurel para nueve localidades muestreadas durante el otoño del 2011 (primer periodo), resultado del análisis discriminante aplicado sobre coeficiente del análisis de elíptica de Fourier.

		Grupo de pertenencia pronosticado									Total
		PeP N	PeT Ca	PeP a	ChN o	ChC o	ChTh co	ChCh oc_a	Chch oc_b	Nz	
Clasificación en número	PePN	31	13	8	3						55
	PeTCa	10	47	8	6	5	1	1	1		79
	PePa	12	12	25	3	1	1	1			55
	ChNo		5	3	30	14	5			1	58
	ChCo	1	5	2	4	54	11		2		79
	ChThco		1	1	2	8	60	7		1	80
	ChChoc_a				1		2	60	14	3	80
	Chchoc_b					1	4	13	54	6	78
	Nz						2	3	8	45	58
Clasificación en porcentaje	PePN	56,4	23,6	14,5	5,5						100
	PeTCa	12,7	59,5	10,1	7,6	6,3	1,3	1,3	1,3		100
	PePa	21,8	21,8	45,5	5,5	1,8	1,8	1,8	0,0		100
	ChNo		8,6	5,2	51,7	24,1	8,6			1,7	100
	ChCo	1,3	6,3	2,5	5,1	68,4	13,9		2,5	0,0	100
	ChThco		1,3	1,3	2,5	10,0	75,0	8,8		1,3	100
	ChChoc_a				1,3		2,5	75,0	17,5	3,8	100
	Chchoc_b					1,3	5,1	16,7	69,2	7,7	100
	Nz						3,4	5,2	13,8	77,6	100

Respecto de la posible variación intraespecífica en los DF explorados en los contornos promedios de la **Figura 84**, el análisis discriminante del segundo periodo considerando la separación de la localidad de Talcahuano costa en dos grupos ontogenéticos distintos, a saber: juveniles (ChThco-J) y adultos (ChThco-A), mostró evidencia de que la sobreposición o mezcla de peces está asociada al carácter ontogenético de la muestra. En efecto, los peces de ChThno-J (Tallas 29-36 cm LH) se sobreponen con las localidades de PePN (Tallas 31-34 cm), ChCo (Tallas 31-34 cm), en tanto que los peces de ChThno-A (Tallas 45-49 cm LH) presentan mezcla con Nueva Zelanda (Tallas 48-55 cm) (**Figura 87**)

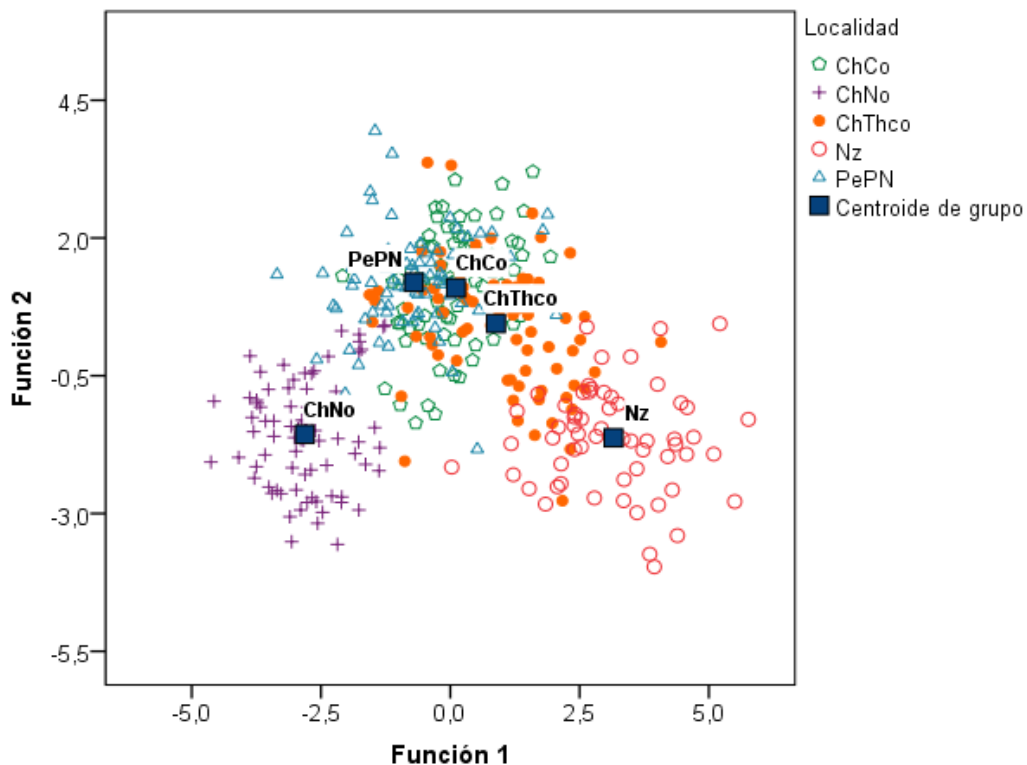


Figura 86. Ploteo de los valores de la primera y segunda función discriminante canónica de la forma de los otolitos de jurel correspondientes al segundo periodo de muestreo.

Tabla 47.

Matriz de clasificación de los otolitos de jurel para cinco localidades muestreadas durante la primavera del 2011 y verano del 2012 (segundo periodo), resultado del análisis discriminante aplicado sobre coeficiente del análisis de elíptica de Fourier.

		Grupo de pertenencia pronosticado					Total
		PePN	ChNo	ChCo	ChThco	Nz	
Clasificación en número	PePN	67	2	6	3	2	80
	ChNo	3	72	2			77
	ChCo	5	4	62	9		80
	ChThco	6	2	11	55	7	81
	Nz		1		3	57	61
Clasificación en porcentaje	PePN	83,8	2,5	7,5	3,8	2,5	100
	ChNo	3,9	93,5	2,6			100
	ChCo	6,3	5,0	77,5	11,3		100
	ChThco	7,4	2,5	13,6	67,9	8,6	100
	Nz		1,6		4,9	93,4	100

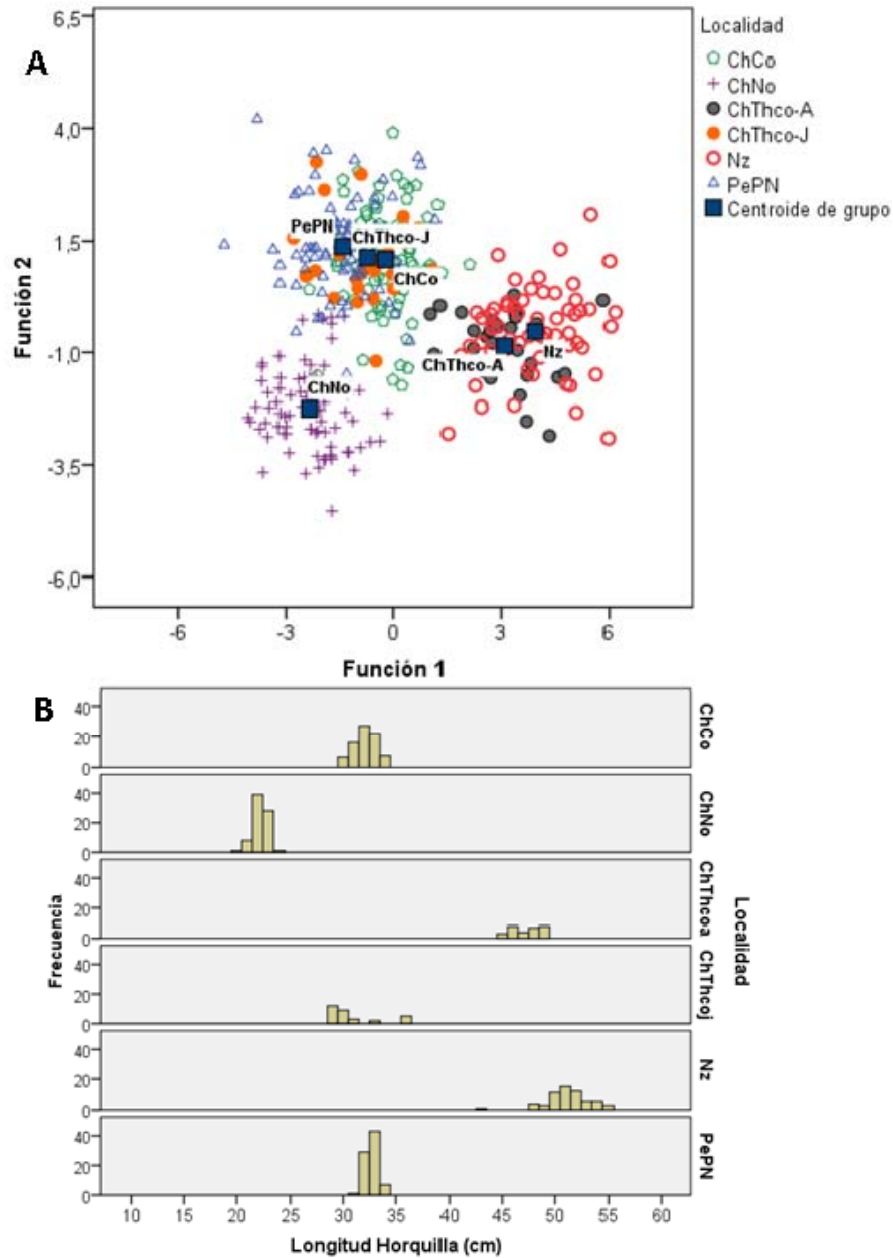


Figura 87. Ploteo de los valores de la primera y segunda función discriminante canónica de la forma de los otolitos de jurel correspondientes al segundo periodo de muestreo, en que se dividió la muestra de Talcahuano en otolitos de peces juveniles (ChThco-J) y adultos (ChThco-A) (A). El histograma indica la distribución de longitudes de la muestra para cada localidad (B).

4.5.3 Discusi3n del an3lisis de morfometr3a de otolitos

El an3lisis de morfometr3a de otolitos como metodolog3a para diferenciar poblaciones de peces explotados se basa en que el crecimiento y desarrollo de los otolitos est3n influenciados tanto por factores gen3ticos como ambientales (Cardinale *et al.*, 2004). Sin embargo, en el an3lisis morfom3trico de otolitos existe una serie de incertezas que deben ser eliminadas o minimizadas en este tipo de estudios que permita una base s3lida para afirmar que las diferencias en la forma del otolito entre subpoblaciones son reales y no debidas a la calidad del muestreo. Los efectos que pueden originar confusi3n e incerteza en el an3lisis son el sexo, la edad y la clase anual entre otros. (Cardinale *et al.*, 2004)

En este estudio uno de los problemas inevitables fue el disponer de peces cuyos tama3os fueron distintos entre las localidades analizadas, as3 lo confirma el ANOVA de comparaci3n entre longitudes ($P=0,000$). Esto est3 determinado por la composici3n hist3rica de ejemplares j3venes de menor tama3o en las localidades de Per3, Norte de Chile y de ejemplares de gran tama3o en Nueva Zelanda. Sin embargo, los peces analizados, a excepci3n de la zona norte de Chile durante el segundo periodo, han superado la Talla media de madurez sexual, de 23 cm LH (Leal y D3az, 2012), hito relevante en la ontogenia que deber3a dar una mayor estabilidad en la forma del otolito, aunque sabemos que en jurel el crecimiento continua siendo alto despu3s de este evento (Cerna y Bocic, 2011).

Se usaron dos t3cnicas de an3lisis morfom3trico, el tradicional an3lisis de medidas lineales entre puntos del otolito (“landmarks”) y el an3lisis de forma de el3ptica de Fourier. Para ambas metodolog3as se aplicaron procedimientos que permitieron aislar el efecto del tama3o del pez y/o otolito, de tal modo que se dispone de muestras comparables entre localidades.

El resultado de las pruebas de Kruskal Wallis para cada una de las doce mediciones lineales entre puntos del otolito, mostró que existen diferencias significativas entre distintas localidades. Sin embargo, el análisis de componentes principales (ACP) muestra que las elipses que relacionan las tres primeras componentes de ACP presentan una sobreposición en la mayoría de los puntos, valores propios (distancias euclidianas) entre localidades. Sólo es posible observar una segregación mínima de los centros medios (Centroides) para la nube de puntos de cada localidad, que no es suficiente para separar las localidades en grupos independientes.

El resultado del análisis de medidas lineales entre puntos del otolito es similar al obtenido en el Proyecto FIP 2007-27 (Serra *et al.*, 2010), donde se observó una separación de Perú del resto de las localidades, aunque no confirmada debido al bajo número de muestras para esa zona. En el presente estudio, con un mayor tamaño de muestra, se puede indicar la no existencia de diferencias respecto del resto de las localidades del Pacífico sur-este.

Aunque este tipo de metodología puede ser limitada, dado que en la morfometría clásica es difícil establecer homología entre distancias lineales, debido a que estas no se definen como puntos homólogos y eventualmente formas distintas de otolitos podrían presentar similares distancias lineales entre puntos (Van Der Molen *et al.*, 2007), además, de que el crecimiento del otolito de jurel es alométrico lo que se manifiesta principalmente después de los 45 cm LH, en que la aposición de carbonato de calcio es mayor hacia la cara interna, este análisis entrega antecedentes que permiten complementar el resultado de la morfometría geométrica de contorno del otolito, que es definida como la técnica que recoge de mejor manera la variabilidad del otolito, al ser una característica que se ve más

influenciada por factores ambientales como la historia de la alimentaci3n (Gagliano & McCormick, 2004) (Hüsy, 2008) y la temperatura (Cardinale *et al.*, 2004).

El resultado del análisis discriminante de los DF muestra un mayor porcentaje de individuos clasificados correctamente en el segundo periodo de muestreo (83%) que el primer periodo (65%). Este mayor porcentaje de clasificaci3n posiblemente es consecuencia del aumento del porcentaje en las localidades de Nueva Zelanda (Nz), Chile norte (ChNo), Coquimbo (ChCo) y Perú norte (PePN). Este resultado global es coherente con el hecho de que el primer periodo de muestreo fue realizado en otoño, época de alimentaci3n, donde podría haber una mayor sobreposici3n (mezcla) de peces de distinto origen, a diferencia del segundo periodo de muestreo, realizado en primavera-verano, época de reproducci3n que concentra los peces en su zona de desove (zona de origen).

En el primer periodo las únicas localidades que presentan un porcentaje de clasificaci3n alto son Nueva Zelanda, Talcahuano costa y Chiloé Oceánico-a con valores entre 75 a 77%. Presentando todas las localidades un importante nivel de mezcla, esperable para este periodo de muestreo, por la condiciones señaladas en el párrafo anterior. Aunque esta mezcla no es homogénea, ya que, por ejemplo, las tres localidades de Perú (PePN, PeTCa, PePa) presentan una sobreposici3n principalmente con las localidades del norte de Chile y a su vez las localidades desde Talcahuano al sur-oeste (ChThco, ChChoc y Nz) presentan un marginal nivel de mezcla con localidades al norte de Coquimbo; los porcentajes de clasificaci3n a posteriori de los otolitos de cada una de las localidades son bajos como para considerar estas como localidades independientes.

En el segundo período, dos localidades, Nueva Zelanda y Chile norte (ChNo), presentaron sobre el 90% de clasificaci3n, las cuales podrían ser definidas como

dos grupos independientes. Las otras localidades presentan un mayor nivel de mezcla y menor clasificación de los otolitos a su zona de origen. Este resultado que podría ser más admisible dado que la muestra proviene del periodo reproductivo, primavera-verano, cuando los peces debieran estar en su lugar de origen, agregados por el proceso reproductivo. Sin embargo, la clasificación de los DF explicada por localidades no es suficiente para discriminar subpoblaciones, pues, existe un importante nivel de correlación entre las localidades y los tamaños de los peces que es difícil sortear debido al desbalance en el muestreo. Lo anterior también fue corroborado por las formas promedios de los contornos por localidad, que sugieren un efecto alométrico en la clasificación.

Análisis morfométricos a través de DF han permitido identificar unidades poblacionales en varias especies (Turan, 2006). Sin embargo, es transversal que las muestras utilizadas en estos estudios presentan un rango de tallas comparable para cada una de las zonas o localidades analizadas. En el presente estudio, las variaciones en el tamaño de los peces presentaron diferencias entre localidades que alcanzaron hasta los 30 cm, a saber: peces juveniles (< 25 cm LH), adultos tempranos (35 a 40 cm LH) y adultos con tallas sobre los 50 cm LH.

Sin embargo, el análisis discriminante y la construcción de las formas promedio para un subconjunto de DF que soslaya la restricción del desbalance en el muestreo, sugiere que la separación por localidad es escasamente importante en comparación con el efecto alométrico en el crecimiento. Apoyando lo anterior, Hüsey (2008) mostro que a medida los peces aumentan en tamaño los otolitos son más irregulares en su contorno debido al aumento del número de lóbulos formados. El alto consumo de alimento aumenta la formación de lóbulos que originan otolitos más grandes y relativamente más amplios. Entonces a pesar que el desarrollo del tamaño el otolito y la forma general de este es un proceso

ontogenético, los detalles finos de su forma pueden ser modulados por factores ambientales, particularmente la disponibilidad de alimento. Así el tamaño del otolito y la presencia de lóbulos está exclusivamente vinculada al tamaño del pez (crecimiento), indicando un desarrollo determinado ontogenéticamente, en tanto que la forma del otolito está más cercanamente asociado con el desarrollo de los lóbulos, que está determinado principalmente por factores ambientales.

De esta manera en el estudio de la forma del otolito (transformada de Fourier) el contar con muestras de similares tallas (edades) es crítico para este tipo de análisis.

Entonces es dudoso que, durante el segundo periodo de muestreo, las localidades que presentan mayor poder de reclasificación correspondan a Chile norte (93,5%) y Nueva Zelandia (93,4%), sean justamente aquellas que presentan mayor diferencia en la distribución de tallas de las muestras (**Figura 73**). Es altamente probable que la separación de estos dos grupos se deba a diferencias en la forma del otolito que son atribuibles, a que los peces pertenecen a diferentes periodos ontogenéticos y no a diferencias espaciales de la población.

Esta situación no permite hacer comparaciones de la forma de los otolitos entre todas las localidades, sin embargo se pueden comparar simultáneamente aquellas localidades que presenten similares distribuciones de tamaños de los peces. De esta forma para el segundo período de muestreo son comparables PePN y ChCo y una fracción juvenil de las muestras de Talcahuano (ChThcoj), existiendo entre estas un nivel de mezcla que no permite diferenciar grupos espacialmente independientes. Por otra parte la comparación entre Nueva Zelanda (Nz) y la fracción adulta de las muestras de Talcahuano (ChThcoa), presenta una mezcla entre estas dos localidades que sugiere un nivel de conectividad que no permitiría tratar a estas localidades como grupos independientes. La muestra del norte de Chile (ChNo) no es comparable con el resto de las localidades, aunque se puede inferir que al existir

mezcla entre la zona norte del Perú (PePN) y Coquimbo en Chile (Chco), ChNo también tenga un nivel de sobreposición o mezcla importante con las anteriores localidades que son adyacentes a ella por el norte y sur (**Figura 87**).

4.5.4 Conclusiones del análisis de morfometría de otolitos

1. Ambos análisis morfométricos (lineal y contorno) no son categóricos en la discriminación de patrones por localidades, debido a que el poder estadístico de discriminación puede ser atribuido a otras variables.
2. El análisis de medidas de distancias entre puntos (Landmark) como el de contornos del otolito no permiten discriminar las localidades de muestreo como grupos independiente.
3. Las diferencias encontradas en los análisis de contornos del otolito son explicadas por los tamaños de los peces y las localidades de muestreo. Sin embargo, determinar cuál de estas categorías posee mayor poder de discriminación o clasificación es confuso debido a un importante nivel de correlación en ambas variables categóricas.
4. Diferencias en las longitudes de los peces de las muestras y cobertura del diseño de muestreo ocasionan un desbalance que origina correlaciones entre localidades y tamaño de peces.
5. Finalmente el análisis de tamaño de una localidad en particular (Talcahuano costa del 2do periodo), que presenta una amplia distribución de tamaños, nos permite sugerir que las diferencias entre localidades son atribuibles a que estas representan distintos grupos ontogenéticos codificados por la estructura de tallas.

4.6 Química del otolito

4.6.1 Estación de alimentación – datos del borde

Al examinar la química a lo largo del borde del otolito para heterogeneidad ambiental entre las áreas muestreadas durante la estación de alimentación, se encontraron diferencias significativas en el jurel (MANOVA Pillai's Trace; $F = 4.60$; d.f. = 27; $p < 0.0001$). Diferencias significativas en el contraste entre el sur de Chile y el centro-norte de Perú (MANOVA Pillai's Trace; $F = 11.9$; d.f. = 3; $p < 0.0001$), lo que indica fuerte estructuración del ambiente. Diferencias significativas entre el norte de Chile y el centro-norte de Perú (Pillai's Trace; $F = 4.61$; d.f. = 3; $p = 0.0036$) que indican heterogeneidad del ambiente a lo largo del sistema de margen oriental del Pacífico sur, desde Coquimbo hacia el norte. Más aún, diferencias significativas entre el sur y norte de Chile (Pillai's Trace; $F = 3.9$; d.f. = 3; $p = 0.0093$) indica que la química del otolito registra exposiciones ambientales diferentes a lo largo de una trayectoria crítica para testar movimientos entre regiones asociadas con diferentes grupos poblacionales subyacentes según nuestra hipótesis.

Al examinar los datos univariados los bordes del otolito muestran una significativa heterogeneidad ambiental en Sr.Ca^{-1} y Ba.Ca^{-1} pero no en Mg.Ca^{-1} (**Tabla 48. Figura 88**). El Sr.Ca^{-1} diferencia Nueva Zelandia de todas las otras áreas muestreadas y diferencia Chiloé oceánico 2 de todas las de Perú. El Ba.Ca^{-1} diferencia Chiloé oceánico 2 y Nueva Zelandia de Pimentel y Coquimbo. Las relaciones multivariadas usando análisis discriminante canónico se muestra en la **Figura 92**.

Tabla 48.

Química del borde en el período de alimentación. Los resultados del ANOVA y SNK muestran diferencias de a) Mg·Ca⁻¹ b) Sr·Ca⁻¹ c) Ba·Ca⁻¹ entre las áreas muestreadas de la costa oeste de Sudamérica y Nueva Zelandia. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas con el test SNK.

a) Mg·Ca⁻¹

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	34	0.04893	0.00144	2.3	0.0001
Sample	9	0.00832	0.00092	1.5	0.155
Length	1	0.00091	0.00091	1.5	0.228
Error	301	0.18828	0.00063		
Total	345	0.24843			

COQ TAC CO1 NZ CO2 MEJ OLL CHI PIM TAM

b) Sr·Ca⁻¹

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	34	1064	31	0.65	0.937
Sample	9	860	95	1.98	0.041
Length	1	2	2	0.04	0.851
Error	301	14516	48		
Total	345	20327			

NZ CO2 CO1 COQ TAC MEJ OLL PIM CHI TAM

c) Ba·Ca⁻¹

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	34	0.3530	0.0104	1.01	0.462
Sample	9	0.1931	0.0215	2.08	0.031
Length	1	0.0683	0.0683	6.63	0.010
Error	301	3.1034	0.0103		
Total	345	3.8979			

CO2 NZ CO1 OLL TAC MEJ TAM CHI PIM COQ

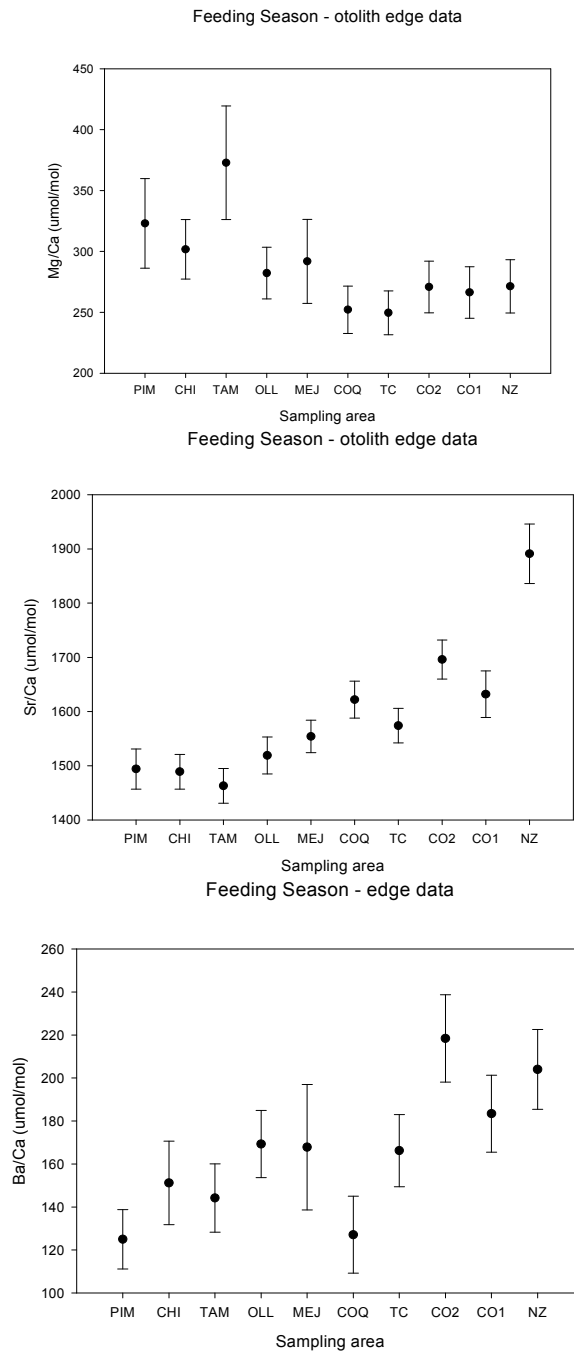


Figura 88. Concentración media de los elementos trazas a lo largo del borde del otolito durante la estación de alimentación. a) $Mg \cdot Ca^{-1}$ b) $Sr \cdot Ca^{-1}$ c) $Ba \cdot Ca^{-1}$

4.6.2 Estación de alimentación – datos del núcleo

Al examinar la química del núcleo del otolito para heterogeneidad en la historia de vida temprana entre áreas muestreadas durante la estación de alimentación, se encontraron nuevamente diferencias significativas en el jurel (MANOVA Pillai's Trace; $F = 2.74$; d.f. = 27; $p < 0.0001$). No obstante, estas fueron casi enteramente debido a diferencias entre el sur de Chile y centro-norte de Perú (MANOVA Pillai's Trace; $F = 8.14$; d.f. = 3; $p < 0.0001$). Las diferencias no fueron significativas entre el norte y sur de Chile (MANOVA Pillai's Trace; $F = 2.30$; d.f. = 3; $p = 0.0771$) o entre el centro-norte de Perú y norte de Chile (MANOVA Pillai's Trace; $F = 2.01$; d.f. = 3; $p = 0.1126$).

Al examinar los datos univariados del núcleo del otolito, y al igual que del borde, mostraron heterogeneidad espacial significativa en $\text{Sr}\cdot\text{Ca}^{-1}$ y $\text{Ba}\cdot\text{Ca}^{-1}$ pero no en $\text{Mg}\cdot\text{Ca}^{-1}$ (**Tabla 49; Figura 89**). El $\text{Sr}\cdot\text{Ca}^{-1}$ diferencia Chiloé oceánico 1 y 2 de Coquimbo y de las tres áreas muestreadas en Perú. El $\text{Ba}\cdot\text{Ca}^{-1}$ diferencia Chiloé oceánico 2 de Talcahuano costa y de las cuatro áreas muestreadas en Perú y también Tambo de Nueva Zelandia. No obstante que hubo efecto significativo del portaobjeto para $\text{Mg}\cdot\text{Ca}^{-1}$ y el $\text{Ba}\cdot\text{Ca}^{-1}$ no hubo evidencia de alguna tendencia con el tamaño del jurel, cuando cada muestra fue examinada de manera separada, excepto por una relación débil en Pimentel ($p = 0.04$; $R^2 = 0.12$ para ambos $\text{Sr}\cdot\text{Ca}^{-1}$ y $\text{Ba}\cdot\text{Ca}^{-1}$). Las relaciones multivariadas usando análisis discriminante canónico se muestra en la **Figura 93**.

Al realizar una mayor exploración de los datos con análisis de conglomerados (**Tabla 50**) todas las cuatro mediciones indican dos clusters. No obstante que es probable que incorporen mucho error debido a la sobreposición en la distribución de los grupos subyacentes, sin embargo los clusters muestran una tendencia en las proporciones de un grupo sobre otro desde el sur de Chile hasta el norte de

Perú, sugiriendo una mezcla importante y que es consistente con los resultados de Ashford *et al.* (2011). Sin embargo, la tendencia creciente en el cluster 2 oculta algunas variaciones importantes entre áreas: las proporciones del cluster 2 se revierte de 28.6% frente a Chiloé oceánico a 67.6% frente a Talcahuano costa y si no alrededor del 50% frente a Chile. En contraste frente a Perú la proporción del cluster 2 fue consistentemente alto, variando de un 57% frente a Olleros a entre 65-68% en el norte de Perú.

Tabla 49.

Química del núcleo en la estación de desove: Los resultados del ANOVA y SNK muestran diferencias de a) Mg·Ca⁻¹ b) Sr·Ca⁻¹ c) Ba·Ca⁻¹ entre las áreas muestreadas de la costa oeste de Sudamérica y Nueva Zelanda. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas con el test SNK.

a) Mg·Ca⁻¹

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	34	0.00765	0.00022	3.6	<0.0001
Sample	9	0.00103	0.00011	1.8	0.062
Error	301	0.01878	0.00006		
Total	344	0.02744			

NZ TAC CO2 COQ CHI OLL CO1 PIM MEJ TAM

b) Sr·Ca⁻¹

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	34	5.11×10 ⁻¹⁵	1.50×10 ⁻¹⁶	1.13	0.371
Sample	9	5.22×10 ⁻¹⁵	5.81×10 ⁻¹⁶	4.38	<0.0001
Error	301	3.99×10 ⁻¹⁴	1.33×10 ⁻¹⁶		
Total	344	5.02×10 ⁻¹⁴			

PIM CHI TAM COQ TAC MEJ OLL NZ CO2 CO1

c) Ba·Ca⁻¹

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	34	0.4920	0.0145	1.92	0.002
Sample	9	0.2708	0.0301	3.98	<0.0001
Error	301	2.2744	0.0076		
Total	345	3.0354			

TAM PIM TAC CHI OLL COQ CO1 MEJ NZ CO2

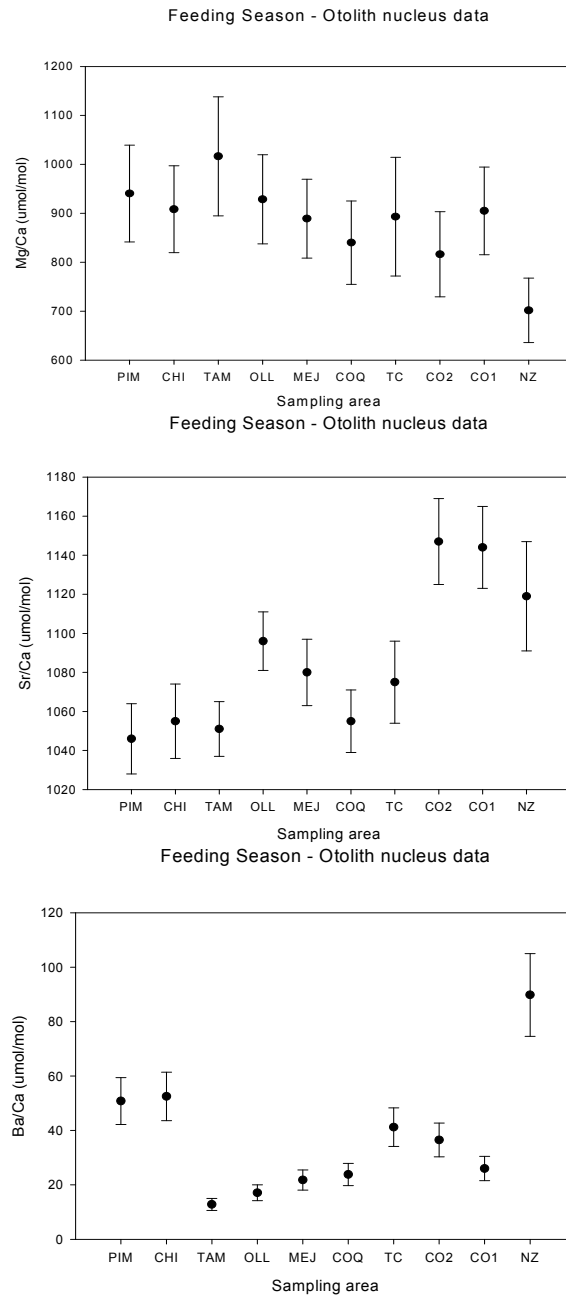


Figura 89. Concentración media de los elementos trazas a lo largo del borde del otolito durante la estación de alimentación. a) $Mg \cdot Ca^{-1}$ b) $Sr \cdot Ca^{-1}$ c) $Ba \cdot Ca^{-1}$.

Tabla 50.

Química del núcleo en la estación de alimentación: la asignación a dos clusters se basa en la similitud de la historia de vida temprana registrada en el núcleo. El Análisis de clusters se basa en el enfoque de varianza mínima de Ward. Donde pp muestra la proporción del cluster 2 en la localidad.

	C1	C2	pp
PIM	11	24	68,6
CHI	12	23	65,7
TAM	11	24	68,6
OLL	15	20	57,1
MEJ	17	17	50,0
COQ	16	18	52,9
TC	11	23	67,6
CO2	25	10	28,6
CO1	17	16	48,5
NZ	22	13	37,1

4.6.3 Estación de reproducción – datos del borde

Al examinar la química a lo largo del borde del otolito para heterogeneidad ambiental entre las áreas muestreadas durante la estación de desove, no fue posible cumplir con los supuestos multivariados. Sin embargo, el análisis univariado muestra diferencias espaciales significativas en $Ba \cdot Ca^{-1}$ pero no en $Mg \cdot Ca^{-1}$ y $Sr \cdot Ca^{-1}$ (**Tabla 51; Figura 90**). No obstante $Ba \cdot Ca^{-1}$ diferencia sólo Bajo Chauchil (Chiloé costa) de Carranza, Con-Con y Tocopilla; Chicama y Coquimbo no fueron diferenciados de ninguna otra zona muestreada.

Más aún, el MDS (escalamiento multi-dimensional) indica una fuerte distribución bimodal en Bajo Chauchil (**Figura 94**), lo que explica el problema de satisfacer los supuestos, con una moda consistente de peces expuestos a condiciones no vista en otro lugar. Sin embargo, las distribuciones en todas las muestras corresponden

con aquellas vistas en los tratamientos de control de Caldera y Talcahuano costa tomados en el 2008; la única diferencia fue con Bajo Chauchil y esto fue debido a la moda anómala correspondiente con condiciones no vistas en otro lugar.

Tabla 51.

Química del borde en la estación de desove: Los resultados del ANOVA y SNK muestran diferencias de a) $Mg \cdot Ca^{-1}$ b) $Sr \cdot Ca^{-1}$ c) $Ba \cdot Ca^{-1}$ entre las áreas muestreadas de la costa oeste de Sudamérica y Nueva Zelandia. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas con el test SNK.

*Tratamiento de control.

a) $Mg \cdot Ca^{-1}$

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	45	0.05185	0.00115	2.40	<0.0001
Sample	7	0.00310	0.00044	0.92	0.4889
Length	1	0.00202	0.00202	4.21	0.0409
Error	308	0.14796	0.00048		
Total	361				

CAL* COQ CHI TOC TAC* CAR BCH COC

b) $Sr \cdot Ca^{-1}$

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	45	6.66×10^{-6}	1.48×10^{-7}	0.83	0.770
Sample	7	1.89×10^{-6}	2.70×10^{-7}	1.52	0.161
Length	1	4.85×10^{-7}	4.85×10^{-7}	2.73	0.100
Error	308	5.48×10^{-5}	1.80×10^{-7}		
Total	361	6.68×10^{-5}			

TOC CHI COC CAL* CAR TAC* COQ BCH

c) $Ba \cdot Ca^{-1}$

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	45	0.6979	0.0155		0.36 1.000
Sample	7	1.5626	0.2232		5.15 <0.0001
Length	1	0.0262	0.0262		0.60 0.4375
Error	308	13.3620	0.0434		
Total	361	16.0457			

COC CAR TAC* CAL* TOC CHI COQ BCH

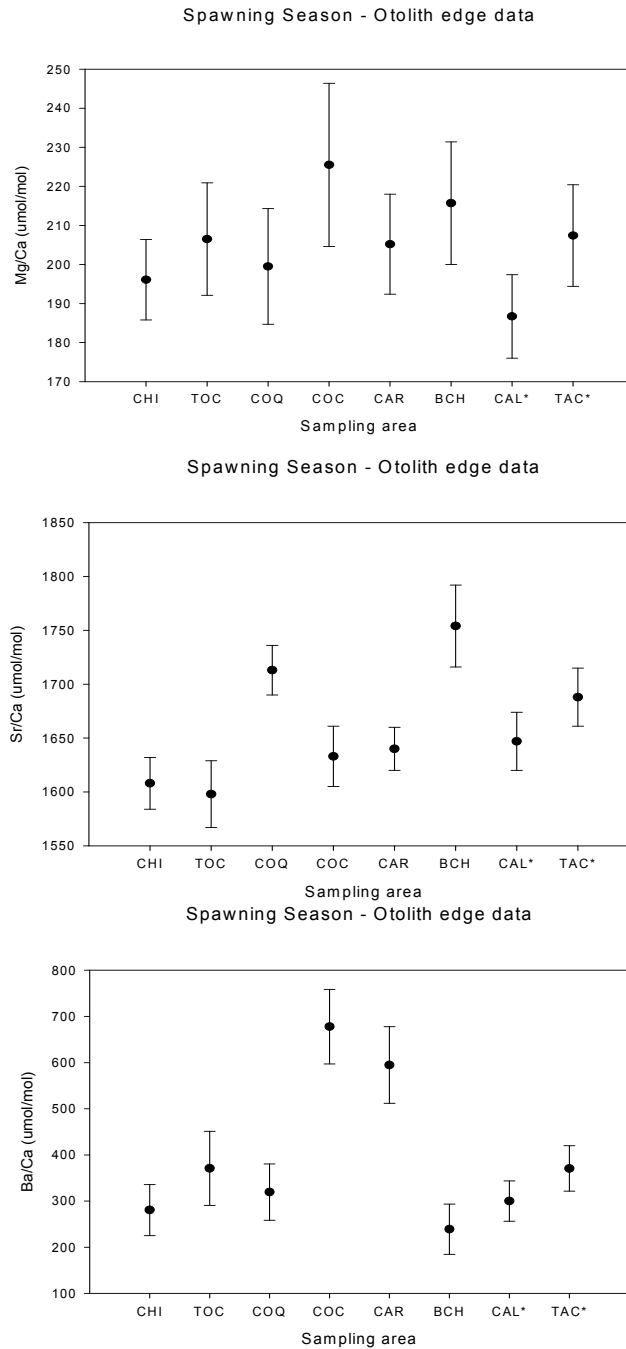


Figura 90. Concentración media de los elementos trazas a lo largo del borde del otolito durante la estación de desove a) $Mg \cdot Ca^{-1}$ b) $Sr \cdot Ca^{-1}$ c) $Ba \cdot Ca^{-1}$

4.6.4 Estación de reproducción – datos del núcleo

Al examinar la química del núcleo del otolito para heterogeneidad en la historia de vida temprana entre áreas muestreadas durante la estación de reproducción, nuevamente se encontraron diferencias espaciales significativas (MANOVA Pillai's Trace; $F = 2.21$; d.f. = 21; $p = 0.0014$). No obstante, no hubo diferencias entre el sur de Chile y norte del Perú (MANOVA Pillai's Trace; $F = 0.48$; d.f. = 3; $p = 0.699$); y las diferencias no fueron significativas entre el norte y sur de Chile (MANOVA Pillai's Trace; $F = 1.98$; d.f. = 3; $p = 0.1162$) o entre el norte de Perú y norte de Chile (MANOVA Pillai's Trace; $F = 2.19$; d.f. = 3; $p = 0.0889$).

Al analizar los datos univariados, el núcleo del otolito muestra heterogeneidad espacial significativa en $Mg \cdot Ca^{-1}$ pero no en $Sr \cdot Ca^{-1}$ y $Ba \cdot Ca^{-1}$ (**Tabla 52; Figura 91**). El $Mg \cdot Ca^{-1}$ diferencia Coquimbo de Con-Con, pero aún más fuertemente de Chicama y Tocopilla. El $Sr \cdot Ca^{-1}$ y $Ba \cdot Ca^{-1}$ muestran algún grado de diferenciación con el tratamiento de control: $Sr \cdot Ca^{-1}$ diferencia Con-Con mientras que $Ba \cdot Ca^{-1}$ diferencia Chicama de la muestra de Talcahuano tomada en el 2008. No obstante, todas las otras comparaciones no fueron significativas, incluyendo cualquiera con el tratamiento de control de Caldera; así sólo la diferencia entre Con-Con y la muestra de control de Talcahuano costa fue inesperada y puede ser explicada por la diferencia en latitud entre las dos muestras. Como en la estación de alimentación, aunque hubo efecto significativo del portaobjeto para $Mg \cdot Ca^{-1}$ hubo poca evidencia de alguna tendencia con el tamaño del jurel cuando cada muestra fue examinada de manera separada.

Las relaciones multivariadas utilizando análisis discriminante se muestran en la **Figura 95**. Las cuatro mediciones de calidad sugieren dos clusters en una mayor exploración de los datos con el análisis de conglomerados (**Tabla 53**). En

contraste con la estaci3n de alimentaci3n, hubo poca evidencia de alguna tendencia norte-sur para sugerir una mezcla importante, lo que es consistente con los resultados de Ashford *et al.* (2011). Las proporciones del cluster 2 varían de 70% frente a Chicama hasta 37% en Bajo Chauchil, con preponderancia de peces de Carranza al norte. Sin embargo y como en la estaci3n de alimentaci3n, es probable que el cluster incorpore un error considerable y sin evidencia de alguna tendencia para indicar una estructuraci3n espacial no aleatoria, las proporciones pueden reflejar un poco m1s que ruido aleatorio y no deben ser tomados con confianza.

Tabla 52.

Química del núcleo en la estaci3n de desove: Los resultados del ANOVA y SNK muestran diferencias de a) Mg·Ca⁻¹ b) Sr·Ca⁻¹ c) Ba·Ca⁻¹ entre las áreas muestreadas de la costa oeste de Sudamérica. Las líneas sobre las zonas muestreadas conectan aquellas que no muestran diferencias significativas con el test SNK. *Tratamiento de control.

a) Mg·Ca⁻¹

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	46	0.02589	0.00056	2.35	<0.0001
Sample	7	0.00374	0.00053	2.23	0.0318
Error	318	0.07624	0.00024		
Total	371	0.10587			

TOC CHI COC CAL* TAC* BCH CAR COQ

b) Sr·Ca⁻¹

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	46	2.07×10 ⁻⁷	4.50×10 ⁻⁹	0.90	0.664
Sample	7	1.03×10 ⁻⁷	1.47×10 ⁻⁸	2.93	0.005
Error	318	1.60×10 ⁻⁶	5.02×10 ⁻⁹		
Total	371	1.90×10 ⁻⁶			

COC CHI CAR COQ CAL* TOC BCH TAC*

c) Ba·Ca⁻¹

	df	SS	MS	F	p
Block (slide)	46	0.1435	0.0031	0.90	0.655
Sample	7	0.0529	0.0075	2.18	0.035
Error	301	1.0998	0.0035		
Total	345	1.2962			

CHI CAR TOC COC CAL* COQ BCH TAC*

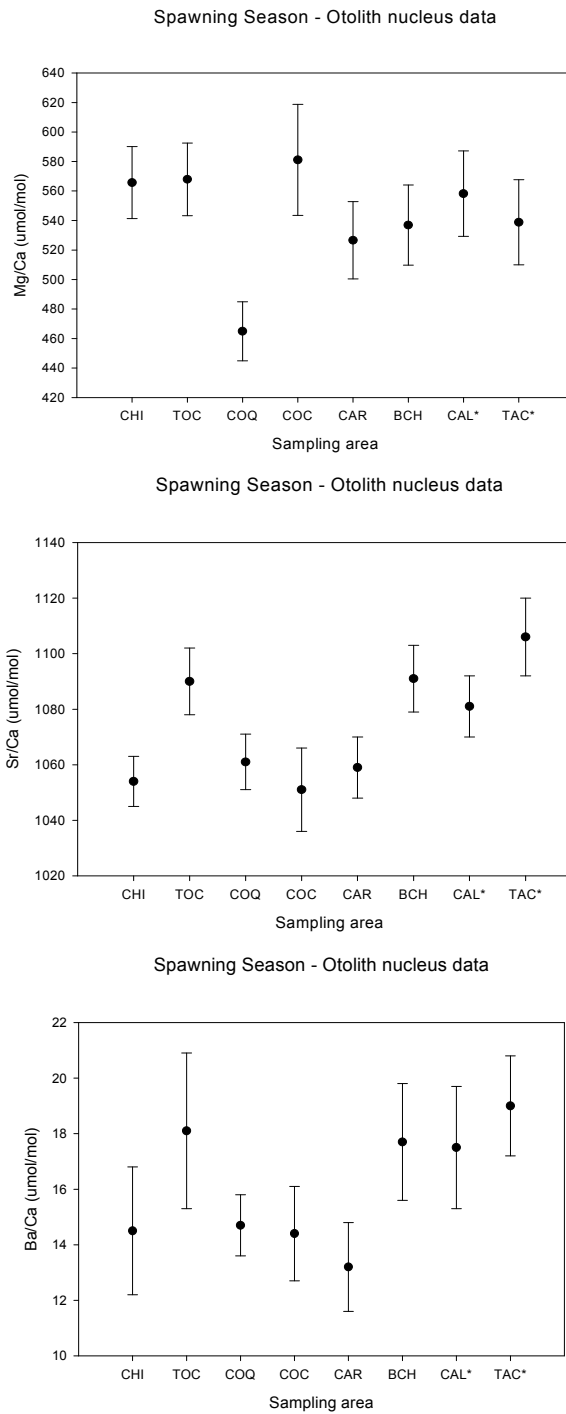


Figura 91. Concentración media de los elementos trazas en el núcleo del otolito durante la estación de desove a) $\text{Mg}\cdot\text{Ca}^{-1}$ b) $\text{Sr}\cdot\text{Ca}^{-1}$ c) $\text{Ba}\cdot\text{Ca}^{-1}$

Tabla 53.

Química del núcleo en la estación de desove: la asignación a dos clusters se basa en la similitud de la historia de vida temprana registrada en el núcleo. El Análisis de clusters se basa en el enfoque de varianza mínima de Ward. Donde pp muestra la proporción de C2 en la localidad.

	C1	C2	pp
CHI	14	33	70.2
TOC	21	25	54.3
COQ	22	25	53.2
COC	17	28	62.2
CAR	18	29	61.7
BCH	29	17	37.0

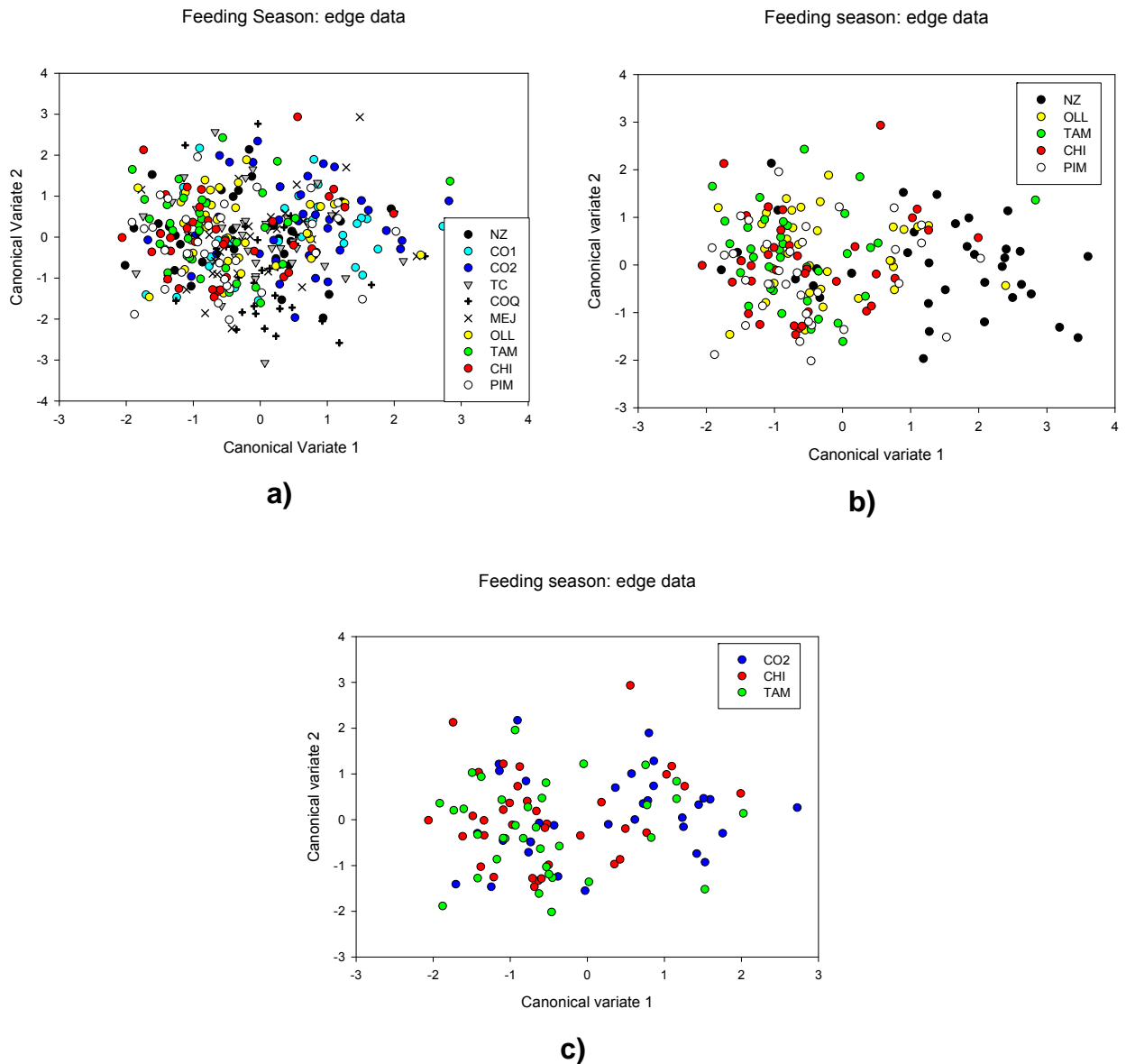


Figura 92. Química del borde del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes áreas muestreadas durante la estación de alimentación, utilizando análisis discriminante canónico: a) todas las zonas muestreadas, b) Nueva Zelandia vs Perú y c) Chiloé 2 vs Perú y d) Chiloé 2 vs Coquimbo.

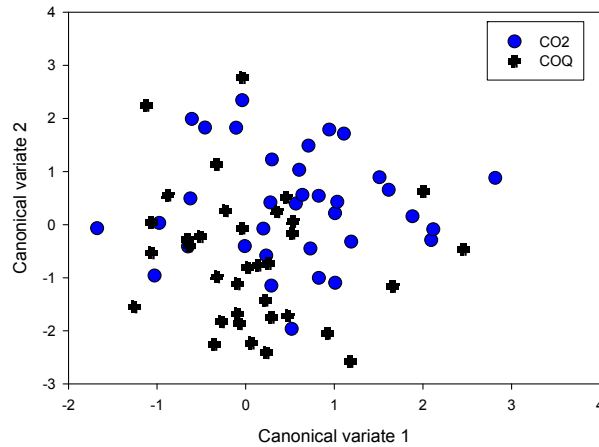


Figura 92. (Continuación). Química del borde del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes áreas muestreadas durante la estación de alimentación, utilizando análisis discriminante canónico: a) todas las zonas muestreadas, b) Nueva Zelanda vs Perú y c) Chiloé 2 vs Perú y d) Chiloé 2 vs Coquimbo.

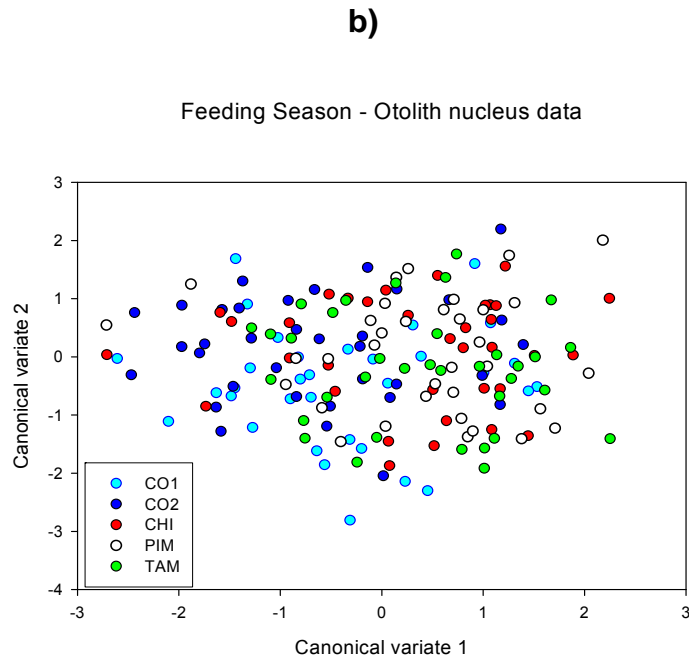
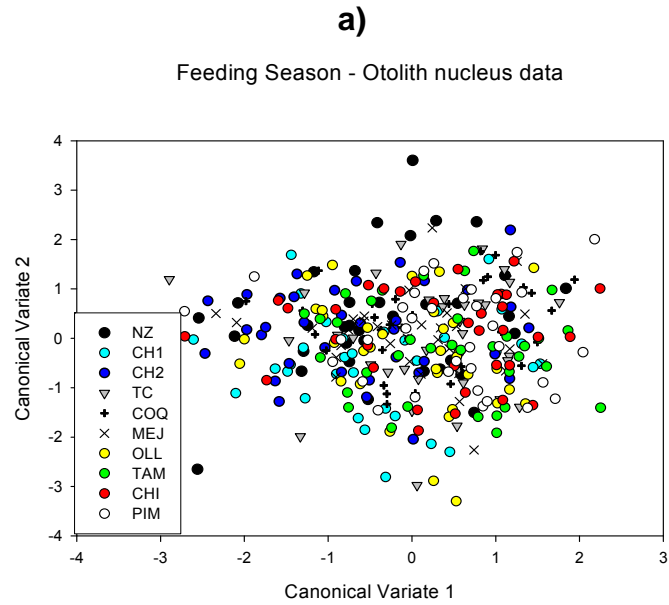


Figura 93. Química del núcleo del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes áreas muestreadas durante la estación de alimentación, utilizando análisis discriminante canónico: a) todas las zonas muestreadas, b) Chiloe oceánico vs centro-norte de Perú.

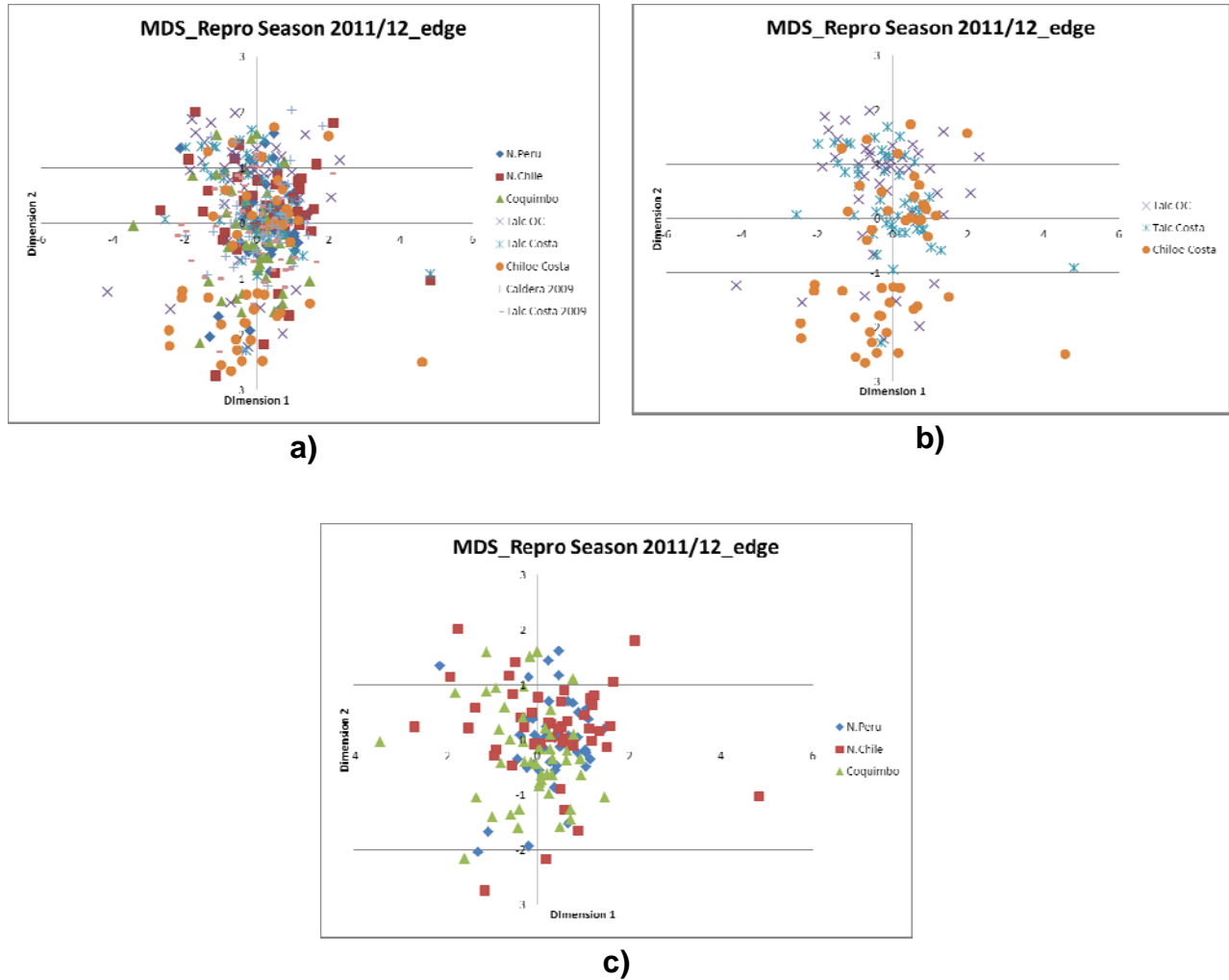


Figura 94. Química del borde del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes áreas muestreadas durante la estación de desove usando MDS; a) todos los peces b) sur de Chile c) norte de Chile d) norte de Chile y tratamiento de control.

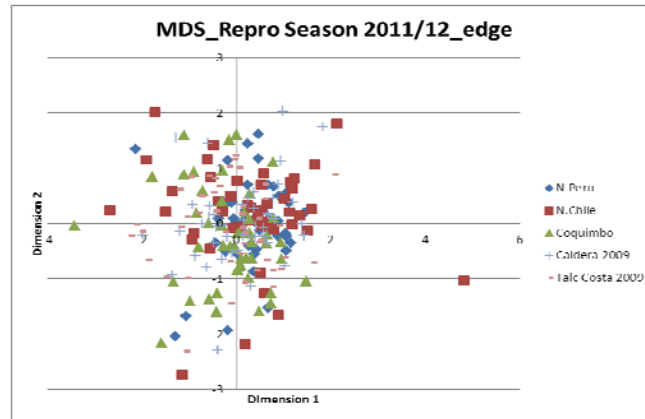


Figura 94. (Continuaci3n). Qu3mica del borde del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes 3reas muestreadas durante la estaci3n de desove usando MDS; a) todos los peces b) sur de Chile c) norte de Chile d) norte de Chile y tratamiento de control.

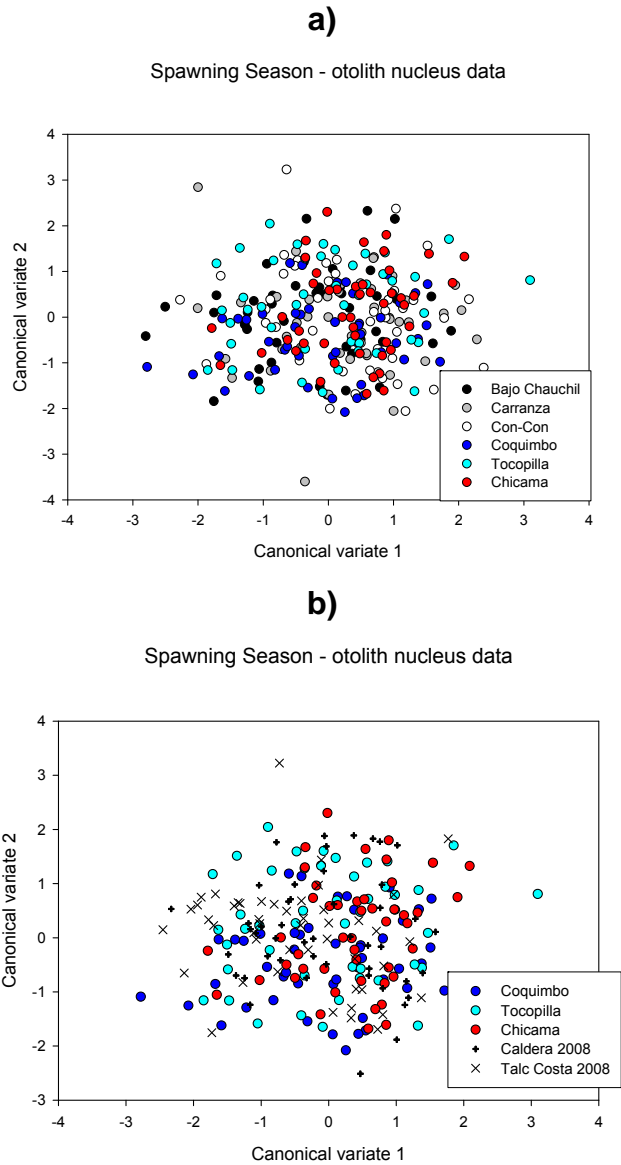


Figura 95. Química del núcleo del otolito: relaciones entre jureles individuales de las diferentes áreas muestreadas durante la estación de desove usando análisis discriminante canónico; a) todos los peces b) norte vs tratamiento de control.

4.6.5 Discusi3n de los resultados de la qu3mica de los otolitos

4.6.5.1 Testando las hip3tesis

La qu3mica del n3cleo del jurel adulto muestra considerable diferencia entre las medias de las 3reas muestreadas tanto en la estaci3n de alimentaci3n como de desove. No obstante, las distribuciones subyacentes se apartan severamente de la normalidad. Aunque despu3s de las transformaciones los datos del n3cleo cumplieron todos los supuestos estad3sticos y la qu3mica a lo largo del borde del otolito demostraron de manera conclusiva heterogeneidad ambiental, no se encontr3 diferencias que indiquen heterogeneidad poblacional regional entre el sur de Chile, norte de Chile y norte del Per3 durante la estaci3n de desove, cuando es m3s probable que grupos subyacentes est3n m3s segregados. Por otra parte, durante el per3odo de alimentaci3n hubo fuerte evidencia de estructuraci3n regional entre el sur de Chile y centro-norte del Per3; no obstante, los peces muestreados en el codo de Arica (Coquimbo a Olleros en el sur del Per3) no se diferenciaron tanto del sur de Chile como del centro-norte del Per3. Dentro de cada regi3n hubo poca heterogeneidad durante la estaci3n de desove: en el norte de Chile los peces muestreados en Coquimbo se diferencian de los peces de Tocopilla, sin embargo, no hubo diferencias entre las tres zonas muestreadas del sur de Chile y s3lo se cont3 con una zona muestreada para el norte del Per3. En la estaci3n de alimentaci3n no hubo diferenciaci3n entre las 3reas muestreadas dentro del centro-norte de Per3, o dentro del codo de Arica (Coquimbo a Olleros). Sin embargo, en el sur de Chile Talcahuano costa se separa de Chilo3 oce3nico 2.

La relativa falta de diferenciaci3n regional en la qu3mica del n3cleo no puede ser explicada por condiciones ambientales similares en la escala regional, las cuales podr3an haber impedido a la t3cnica de identificar or3genes segregados espacialmente del jurel. La evidencia de la qu3mica del borde demuestra una

diferenciaci3n espacial fuerte entre las tres regiones durante el per3odo de alimentaci3n; y el $Sr \cdot Ca^{-1}$ separa Nueva Zelandia de todas las otras muestras. Si bien no se lograron satisfacer los supuestos multivariados, no obstante se encontraron diferencias significativas en la qu3mica del borde durante el per3odo de desove entre zonas individuales muestreadas para $Sr \cdot Ca^{-1}$ y $Ba \cdot Ca^{-1}$. Como resultado es improbable que la falta de diferencias espaciales regionales en la qu3mica del n3cleo fuera por falta de potencia estad3stica.

La diferenciaci3n constante en la qu3mica del n3cleo proporciona evidencia adicional de estructuraci3n espacial del jurel, refutando nuevamente la hip3tesis de una poblaci3n 3nica que se mezcla aleatoriamente. En poblaciones contenidas geogr3ficamente por barreras como frentes oce3nicos o aguas profundas (e.g. Kingsford, 1993; Loeb *et al.*, 1993), la din3mica es definida por natalidad y muertes de peces que se reproducen entre ellos aislados dentro de dominios discretos, que pueden ser manejados de manera independiente, y su ciclo de vida es cerrado por retenci3n local y auto-reclutamiento (e.g. Almany *et al.*, 2007). La falta de diferenciaci3n correspondiente a l3mites poblacionales, a pesar de las fuertes diferencias en la qu3mica del borde, fue inconsistente con la hip3tesis de poblaciones discretas frente a Per3 y Chile. M3s a3n, la qu3mica del n3cleo de peces de Nueva Zelandia no muestra diferencias con la mayor3a de los peces de Chile y Per3 a pesar de las diferencias ambientales regionales registradas en la qu3mica del borde, sugiriendo nuevamente un origen sudamericano.

4.6.5.2 Comparaciones entre a3os

Sin embargo, la qu3mica del n3cleo no habr3a mostrado heterogeneidad espacial si no hubieren al menos dos grupos subyacentes, con diferentes exposiciones ambientales durante su vida temprana. Empero, en vez de poblaciones discretas

la dispersión y transporte pueden conectar zonas geográficas distantes, dando coherencia a ciclos de vida en los cuales etapas de la vida toman ventaja de diferentes habitats (e.g. Harden Jones, 1968; Cushing, 1981). La inmigración a estos habitats desde fuentes externas puede subsidiarizar poblaciones en las cuales bajo auto-reclutamiento en relación con la mortalidad llevarían de otro modo a la extinción (Pulliam, 1988). Puesto que dispersión ocurre a menudo durante la vida temprana, antes que los movimientos activos estén bien desarrollados, la circulación de gran escala puede influenciar fuertemente la dirección y extensión de las conexiones entre habitats y poblaciones y por tanto la composición espacial de los grupos de peces explotados por las pesquerías, que son capturados en nuestro muestreo dependiente de la pesquería.

Sin embargo, nuestros datos no sustentan de modo fuerte la hipótesis de agregaciones de jurel espacialmente y temporalmente estables, con heterogeneidad generada por mezcla entre grupos subyacentes centrados en el sur de Chile, codo de Arica (Coquimbo a Olleros) y centro-norte del Perú. Comparado con nuestros resultados del estudio anterior, no hubo evidencia de un grupo de peces del norte de Perú fuertemente diferenciado y poca evidencia del patrón de heterogeneidad espacial entre y dentro de regiones que reflejen movimientos y mezclas predichas bajo esta hipótesis. Tampoco los resultados del análisis de conglomerados para la estación de desove indican la tendencia norte-sur esperada. El análisis correspondiente para la estación de alimentación si sugiere evidencia de una tendencia entre dos grupos restantes centrados en el sur y en el norte, pero la proporción de Talcahuano costa fue anómala y el grupo del norte estaba centrado en el centro-norte de Perú en vez del norte de Chile (codo de Arica).

Diferencias en el muestreo entre estaciones y entre años pueden ayudar a explicar algunos de estos resultados. Así, las muestras del centro-norte del Perú

provinieron de zonas m1s al sur y costeras que Isla Lobos de Afuera muestreada en el 2008. Similarmente, no se tuvo una muestra del norte de Coquimbo no obstante que esta gener3 fuertes diferencias en el estudio anterior. M1s a1n, las muestras oce1nicas fueron obtenidas m1s cerca de la costa que previamente, y no fue posible realizar contrastes con zonas oce1nicas durante el per1odo de desove como en el estudio anterior. Adem1s, se removieron efectos estacionales potencialmente confundidores, los cuales pudieran haber ayudado a explicar algunas de las diferencias encontradas en el 2008 entre peces en zonas oce1nicas al norte y sur del Frente Subtropical, que reflejan cambios fisiol3gicos entre los per1odos de desove y alimentaci3n.

Adicionalmente, fuertes reducciones de la abundancia, especialmente en zonas oce1nicas del sur, pueden haber contribuido a cambios en los movimientos y tasas de mezcla. Las distribuciones de las muestras que est1n cambiando con diferentes fases en ciclos ambientales regionales (*e.g.* Palma *et al.*, 2006) pueden haber tenido tambi3n un efecto de confundir; no obstante los tratamientos de control muestran poca evidencia de cambios de gran-escala en las distribuciones subyacentes en la qu1mica del n1cleo entre a1os y estaciones o en el espacio multi-dimensional que ocupan.

4.6.5.3 Estructuraci3n poblacional en un ambiente irregular (patchy)

Una explicaci3n m1s probable, no obstante, descansa en la naturaleza irregular o no homog3nea del sistema ambiental al cual el jurel est1 expuesto. As1 el $Mg \cdot Ca^{-1}$, el cual refleja cambios en fisiolog1a puede ser asociado con diferencias espaciales en la actividad entre 1reas de gran productividad que se encuentran en el oc3ano Pac1fico del sur este. Diferencias entre estas 1reas, asociadas con zonas de surgencia, pueden estar reflejadas en $Sr \cdot Ca^{-1}$ que es un indicador en estudios anteriores de diferencias en crecimiento conducidos por la temperatura (Ashford *et al.*, 2005;

Ashford *et al.*, 2007). Por otra parte, el $Ba \cdot Ca^{-1}$, asociado previamente con barita transportada a profundidad es probable que registre exposición al agua surgida.

Como resultado, la exposición regional en la química del otolito puede reflejar similitudes en la distribución y propiedades del agua surgida, como también de campos regionales de viento. Sin embargo, es probable que variaciones en una escala espacial menor dentro y entre zonas de surgencia sean importantes, especialmente a lo largo de la interfase entre la rama oceánica de la Corriente del Perú y la Contracorriente Perú-Chile y entre zonas costeras y oceánicas del norte de Chile y Perú ((e.g. Grechina *et al.*, 1998, Palma *et al.*, 1998). Adicionalmente, los eventos de surgencia de los cuales los peces toman ventaja a menudo pueden ocurrir en una escala temporal fina que es registrada en la química del otolito. Esta complejidad es consistente con evidencias de estructuras sorprendentes dentro de núcleos individuales que se observa cuando se obtienen los elementos trazas (**Figura 96**), lo que sugiere que la química del otolito puede a menudo capturar eventos efímeros en un ambiente local variable.

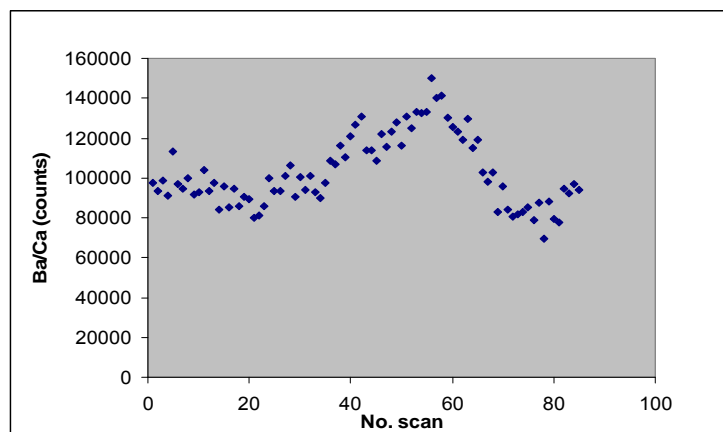


Figura 96. Química del núcleo: ejemplo de una secuencia de 85 escaneos tomados en un raster rectangular; muestrar los conteos dentro del núcleo para Ba.

En vez de ser cualitativamente diferentes, los escenarios poblacionales pueden ser vistos como un “continuum” entre poblaciones discretas en un extremo, a trav3s de poblaciones conectadas cuya abundancia es no obstante largamente conducida por natalidad y muertes, o agregaciones mezcladas espacialmente estables, caracter3stica de poblaciones fuente-sumidero a poblaciones en parches o manchas en las cuales el movimiento entre ellas sobrepasa cualquier segregaci3n en espacio o tiempo. El punto en el “continuum” es largamente gobernado por la fidelidad con su lugar de nacimiento y las trayectorias de vida que caracterizan poblaciones individuales. Las fuertes evidencias en el jurel de un ciclo de vida frente al sur de Chile, caracterizado por migraciones anuales de alimentaci3n y reproductivas sugieren estructuraci3n por el giro del Pac3fico sur. Las evidencias de grandes distribuciones de huevos y larvas asociadas con frentes producidos por la surgencia sugieren tambi3n una estructuraci3n asociada con un sistema de contra-corrientes a lo largo del l3mite oeste. Resta realizar un mayor trabajo para entender mejor las relaciones entre estos eventos y el registro dejado en la qu3mica del otolito del jurel, pero la variabilidad entre las zonas muestreadas que se encontr3 en la qu3mica del n3cleo y la ausencia de consistencia temporal o amplias diferencias regionales asociadas, implican baja fidelidad y estructuraci3n que ocurre en escalas espaciales y temporales m3s finas. En vez del alto grado de organizaci3n espacial caracter3stico de poblaciones que son discretas o unidas por advecci3n y movimientos, es m3s aplicable para el jurel chileno un escenario de manchas, estructurado por exposiciones a zonas frontales asociadas con surgencia, entre las cuales la heterogeneidad y subsecuentes tasas de mezcla son conducidas por movimientos por alimentaci3n (forrajeros) y mortalidad.

4.7 Marco oceanográfico

4.7.1 Validación de la información utilizada

En una primera etapa del presente informe, se compararon los campos de salinidad y temperatura CARS utilizados en este estudio con la climatología del WOA, la que a su vez fue validada con datos *in situ* de boyas Argos e información proveniente de las transectas WOCE disponibles para la región de estudio. Un ejemplo del ejercicio de validación se presenta en la **Figura 97** para una estación oceanográfica situada en los 100°W y 29°30'S, donde los perfiles de salinidad con información de CARS y de WOA-WOCE mostraron un coeficiente de correlación de 99%.

De igual forma en la latitud 49°30'S, la **Figura 98** muestra la comparación de un perfil de temperatura proveniente de ambas bases de datos. En este caso, el coeficiente de correlación entre perfiles CARS y WOA fue también de un 99%. Los resultados generales sugieren correlaciones cercanas a 100 % entre ambas bases de datos en la gran mayoría de las estaciones oceanográficas analizadas, observándose solo coeficientes comparativamente menores (aunque siempre superior al 90%), en regiones frontales cercanas a la costa.

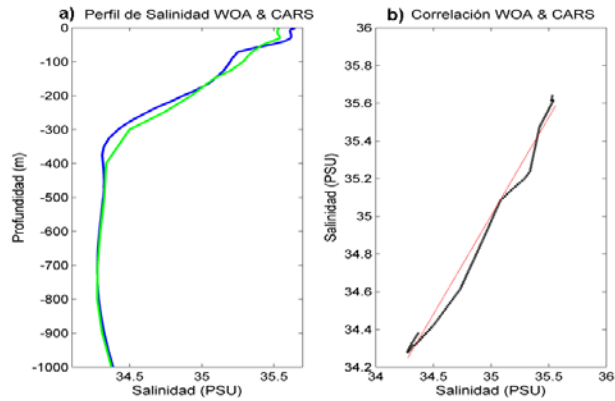


Figura 97. a) Perfiles de salinidad con información proveniente de CARS (línea azul) y de WOA (línea verde) en una estación oceanográfica situada a 100°W y 29°30'S. b) Correlación lineal entre estas climatologías ($r=0,9934$; $P=1,0444X - 1,5525$).

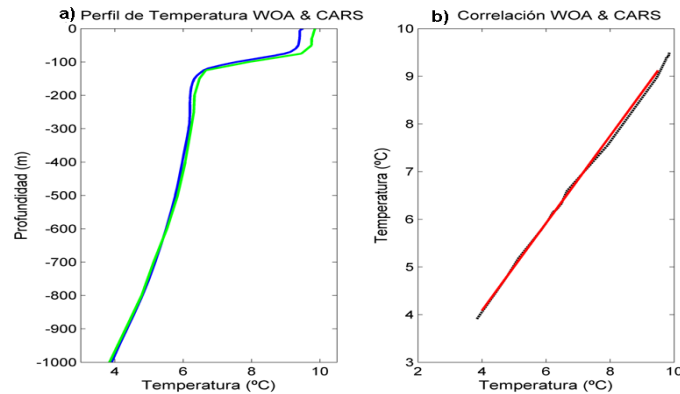


Figura 98. a) Perfiles de temperatura con información proveniente de CARS (línea azul) y de WOA (línea verde) en una estación oceanográfica situada a 100°W y 49°30'S. b) Correlación lineal entre estas climatologías ($r=0,9996$; $P=0,9153X - 0,4248$).

La validación de esta climatología CARS, que tiene una resolución temporal diaria, permite utilizar esta base de información con mucha confianza para el análisis en términos de promedios de los cambios latitudinales y en el tiempo tanto en la salinidad y temperatura tanto superficial como en el estrato de 100 metros de profundidad.

4.7.2 Discontinuidades oceanogr3ficas (Objetivo a)

4.7.2.1 Distribuci3n de temperatura y salinidad

Con los campos hidrogr3ficos de temperatura y salinidad validados con la climatolog3a WOA se calcularon los campos horizontales de temperatura (**Figura 99**) y salinidad (**Figura 100**) en superficie y a 100 m de profundidad. En el estrato superficial, la temperatura muestra una distribuci3n t3pica de disminuci3n meridional, con temperaturas mayores a 22°C en la regi3n norte y menores a 14°C en el sector m3s austral, en forma de bandas zonales. Esta distribuci3n cambia al aproximarse a los 85°W, donde isotermas de menor temperatura (20°C) se proyectan a lo largo de la costa y hacia el noroeste separando las aguas calidas oce3nicas de las cercanas al continente. En el estrato de 100 metros de profundidad, queda en evidencia la influencia de aguas de menor temperatura (<14°C) desde el sur de los 33°S y a lo largo de la costa sudamericana encerrando el n3cleo de agua c3lida (>20°C) del Pac3fico central.

La salinidad superficial presenta una distribuci3n similar a la reseñada para la temperatura, con una variaci3n meridional que muestra el descenso de norte (>35,2) a sur (34,2) en bandas zonales, las que se deforman por la proyecci3n de las isohalinas de menor salinidad (<34,6) hacia el norte a partir de los 85°W (**Figura 100**). Esta distribuci3n se acent3a en los 100 metros de profundidad, donde salinidades menores a 34,6 alcanzan la regi3n norte de Chile. Otro aspecto relevante de señalar es el n3cleo de agua salobre (<34,2) que se proyecta desde la zona de canales y fiordos de Chile hacia el oeste y hacia el norte, comprimiendo las isohalinas hacia el norte entre la superficie y los 100 metros de profundidad.

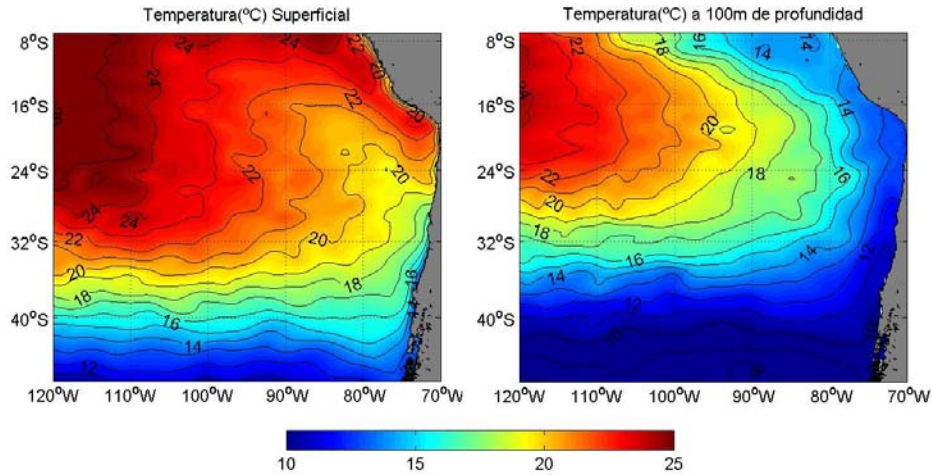


Figura 99. Promedio climatol3gico de la temperatura (°C) superficial y en el estrato de 100 metros de profundidad derivada de CARS.

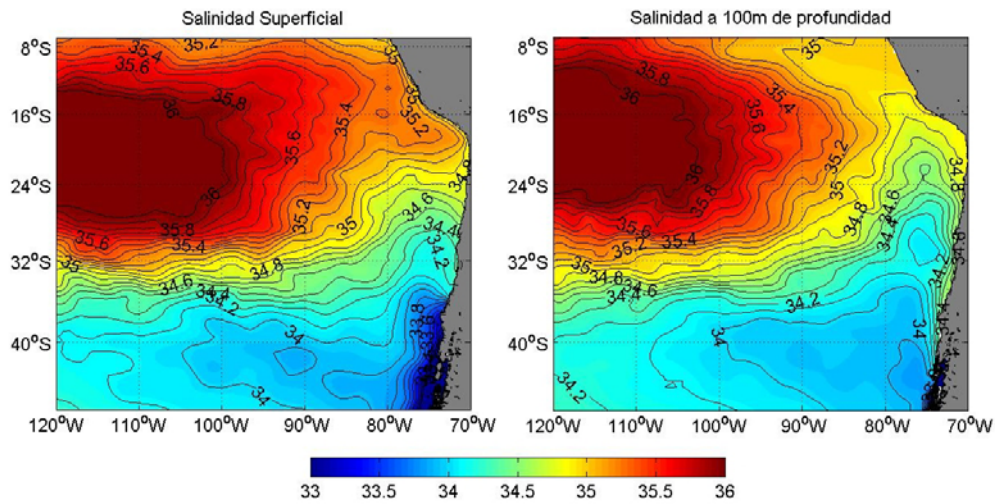


Figura 100. Promedio climatol3gico de la salinidad superficial y en el estrato de 100 metros de profundidad derivada de CARS.

La distribuci3n espacial promedio descrita en las **Figuras 99 y 100** varía estacionalmente, tal como queda en evidencia a lo largo de una banda latitudinal promedio de temperatura (**Figura 101**) y de salinidad (**Figura 102**). Las bandas meridionales fueron calculadas en base al promedio para cada día en una franja entre 50 y 200 Km desde la costa que, si bien no se establece en el rango de distribuci3n actual del jurel (más oceánico especialmente entre 2008 y 2011), representa de buena forma la regi3n histórica de pesca de jurel para el período 1990-2003.

La temperatura superficial del mar (**Figura 101a**) mostr3 un claro descenso meridional que se acentúa en los periodos cálidos de primavera y verano (24° a 16°C entre los 10° y 41°S); mientras que durante el invierno (época fría) se registraron temperaturas entre 18° y 12°C asociadas a las mismas latitudes. Esta estacionalidad superficial no es evidente al analizar el estrato de 100 metros de profundidad (**Figura 101b**), ya que durante todo el ańo predominan valores en torno de los 14° C en el sector norte (10°S) y 10°C en el sector más austral (41°S). El descenso meridional de la temperatura ocurre entre ambas capas, pero es mucho menos intenso en profundidad. Sobre los 100 metros, el descenso de la temperatura (**Figura 101a**) permite identificar dos zonas distintas: entre los 5° y 20°S con un descenso relativamente suave de la temperatura interrumpido por un quiebre en los 15°S frente a Perú y la zona situada al sur de los 20°S, con un descenso más abrupto de la temperatura sin quiebres o interrupciones evidentes. Los procesos asociados a estos quiebres o discontinuidades solamente ocurren en los estratos superficiales ya que no se evidencian estas estructuras en el estrato de los 100 metros de profundidad.

De forma similar a la temperatura, la salinidad mostr3 un gradiente meridional que fluctu3 desde valores de 35,2 en la regi3n norte (10°S) a los 33,6 en el sector sur (40°S) (**Figura 102a**), mientras que a los 100 metros de profundidad el descenso de salinidad ocurre entre valores de 35 a 34 entre las mismas latitudes. Una se1al anual m1s d3bil que la rese1ada para la temperatura aparece solamente asociada a n3cleos de salinidad, pero en fase opuesta, en las latitudes de 17°S y 37°30'S. En los meses de Abril y Octubre aparecen m1ximos de salinidad (> 35,2) en los 17°S y m3nimos relativos de 33,6 en los 37°30'S. El descenso de salinidad superficial hacia el sur permite identificar de manera inversa las dos zonas definidas por la temperatura. En este caso, el quiebre frente a Per3 se manifiesta con un m1ximo relativo de salinidad (>35,2). Por otra parte, es importante destacar que entre la superficie y los 100 metros de profundidad se observa un conspicuo descenso salino (<33) en latitudes cercanas a la salida de agua salobre observada en los campos promedios (**Figura 100**) que proviene de la zona de los canales y fiordos patag3nicos.

Las diferencias meridionales superficiales y subsuperficiales (estrato de 100 metros de profundidad) de la temperatura y salinidad, abarcan claramente el rango de distribuci3n de los productos de desove (huevos y larvas de jurel) en aguas abiertas frente a Chile central, que se ha establecido principalmente en los primeros 25-50 metros de profundidad (Sep3lveda et al., 2007); no obstante, la distribuci3n de ejemplares adultos en el 1rea de pesca (50-150 metros) parece estar m1s asociado a las leves variaciones de ambas variables hacia los 100 metros de profundidad.

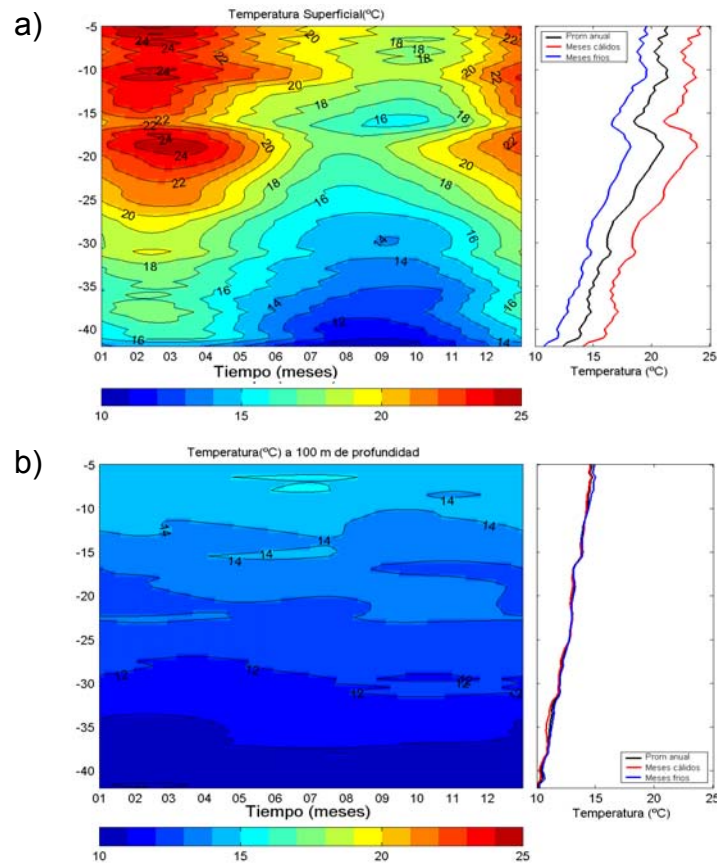


Figura 101. Evolución temporal de (a) la temperatura (°C) superficial del mar y (b) la temperatura a 100 metros de profundidad derivada desde CARS. El panel izquierdo presenta los diagramas latitud versus tiempo. El panel derecho presenta la evolución meridional del promedio temporal, incluyendo el promedio total (negro), el promedio de meses cálidos (rojo) y meses fríos (azul).

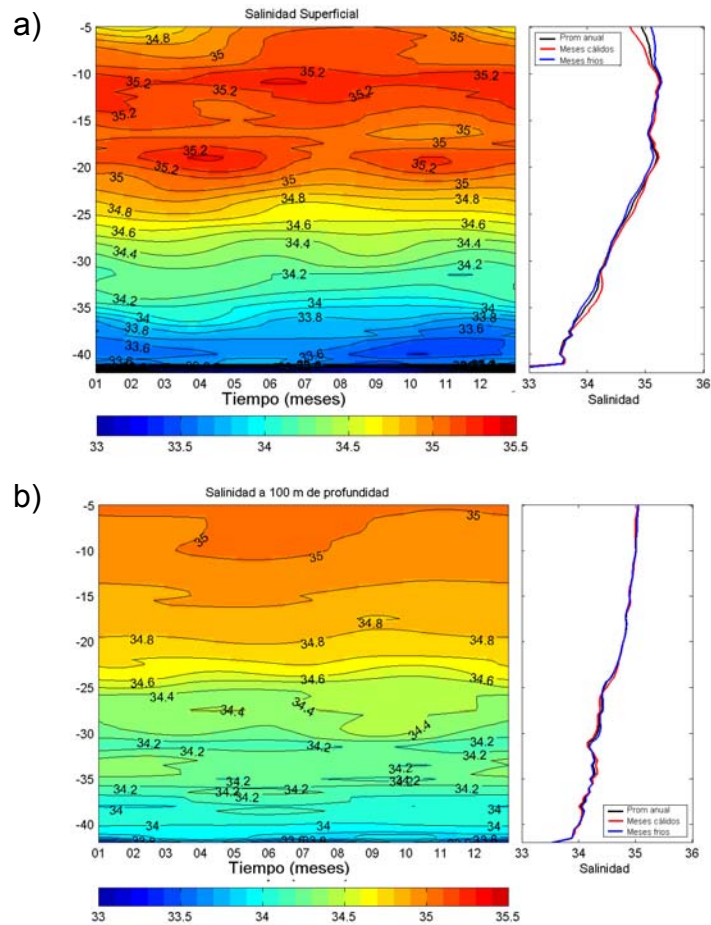


Figura 102. Evolución temporal de (a) la salinidad superficial del mar y (b) la salinidad a 100 metros de profundidad derivada desde CARS. El panel izquierdo presenta los diagramas latitud versus tiempo. El panel derecho presenta la evolución meridional del promedio temporal, incluyendo el promedio total (negro), el promedio de meses cálidos (rojo) y meses fríos (azul).

4.7.2.2 Gradientes de temperatura y salinidad

Los gradientes de temperatura zonales fueron derivados de datos SODA y representan las diferencias de temperatura entre el oc3ano y la zona costera de la capa superficial del oc3ano frente a Per3 y Chile central. Estos gradientes entregan informaci3n de los cambios temporales anuales, interanuales y de m3s baja frecuencia que afectan las dos zonas m3s importantes de surgencia del Pac3fico sur.

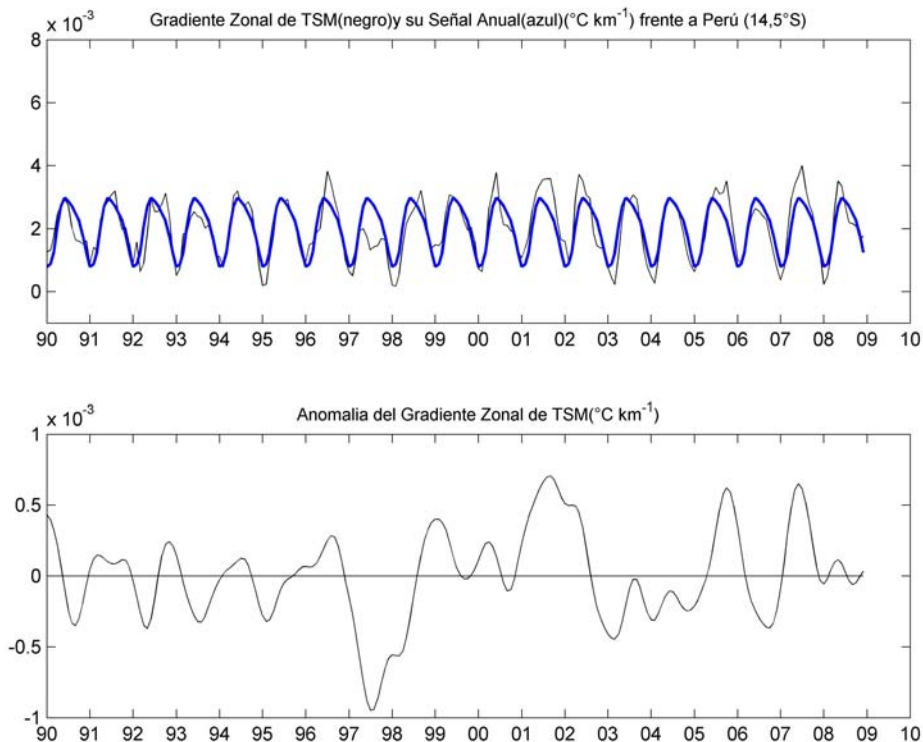


Figura 103. a) El panel superior muestra en l3nea continua la evoluci3n temporal del gradiente t3rmico zonal ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$) y en l3nea segmentada la se3al anual del gradiente zonal frente a la costa central de Per3 derivado de datos SODA (oc3ano-costa). El panel inferior (b) muestra la anomalia temporal del gradiente t3rmico (Gradiente-Se3al anual del gradiente).

Frente a la costa central de Per3 (~14,5°S), los gradientes costa-oc3ano abarcaron un rango entre 0 y $6,5 * 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ (**Figura 103a**), aunque predominaron como m3ximo promedio un valor de $5 * 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$. Los gradientes muestran una clara se1al anual con mayores valores durante los periodos de invierno cuando el anticicl3n est3 estacionalmente desplazado al norte (Bakun & Nelson, 1991). Estos valores evidencian un mayor contraste t3rmico dado por la estaci3n de surgencia, mientras que decaen en primavera y verano.

Las anomal3as de los gradientes t3rmicos (**Figura 103b**) muestran claramente los periodo El Ni1o que afectaron a la zona (~ - $1 * 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$). Se observan valores negativos porque la zona costera present3 mayores TSM que la zona oce3nica evidenciando los El Ni1o intensos 91/92, 97/98 y d3biles 03/04 y 06/07. Adem3s, muestra un intenso enfriamiento durante el periodo 2001-2002 (~ $1.5 * 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$) y un enfriamiento d3bil durante el 2007 debido a eventos ecuatoriales La Ni1a. Las anomal3as tambi3n sugieren que la d3cada de los 90's en la costa de Per3 fue relativamente normal, a excepci3n de los eventos EL Ni1o, mientras que la d3cada del 2000 prevalece un periodo m3s fr3o.

En la zona central de Chile tambi3n se registr3 una se1al anual en los gradientes zonales (**Figura 104a**) pero que, a diferencia de Per3, alcanza los m3ximos contrastes t3rmicos durante el periodo de primavera-verano coincidiendo con el desplazamiento estacional hacia el sur del anticicl3n (Bakun & Nelson, 1991) y con valores menores a los de bajas latitudes ($4 * 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$). Las anomal3as (**Figura 104b**) muestran con mayor intensidad los eventos El Ni1o, especialmente el 97/98 y aparecen periodos fr3os durante el a1o 1996, 1999, 2001-2002, 2007 y en forma leve el 2008. Al igual que en Per3, los resultados sugieren una d3cada con predominio de un enfriamiento costero.

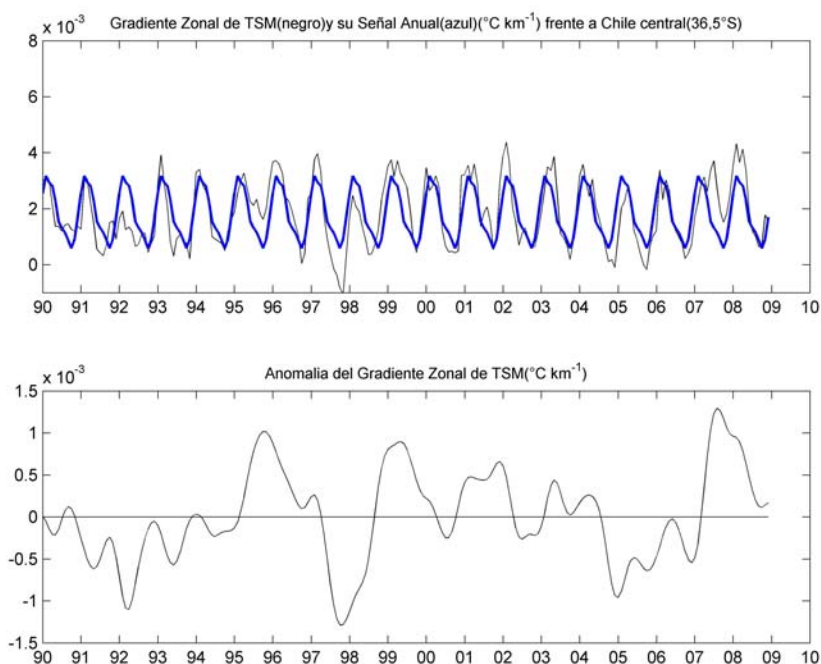


Figura 104. a) El panel superior muestra en línea continua la evolución temporal del gradiente térmico zonal ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$) y en línea segmentada la señal anual del gradiente zonal frente a la costa central de Chile derivado de datos SODA (océano-costa). El panel inferior (b) muestra la anomalía temporal del gradiente térmico (Gradiente-Señal anual del gradiente).

Si se considera el gradiente meridional como la diferencia de temperatura y salinidad entre ambas zonas (**Figura 105**) se puede observar que aparece una señal anual en la TSM que no alcanza los ($4 * 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$), lo cual es explicada por la distancia entre ambos centros de surgencia (**Figura 105a**). Aún así, siempre se observan valores positivos dados por el decaimiento latitudinal de la TSM. Este gradiente se intensifica durante el verano evidenciando un mayor contraste térmico entre ambas zonas. Una situación similar se observó en la salinidad (**Figura 105b**) la que mostró una señal anual más irregular con máximos durante

la época de primavera ($> 7 \cdot 10^{-4}$ psu km⁻¹). La señal de los gradientes de salinidad mostraron diferencias mayores en los periodos 1990-1996 y 2001-2009, mientras que no llegan a $6 \cdot 10^{-4}$ psu km⁻¹ entre 1997 y 2001.

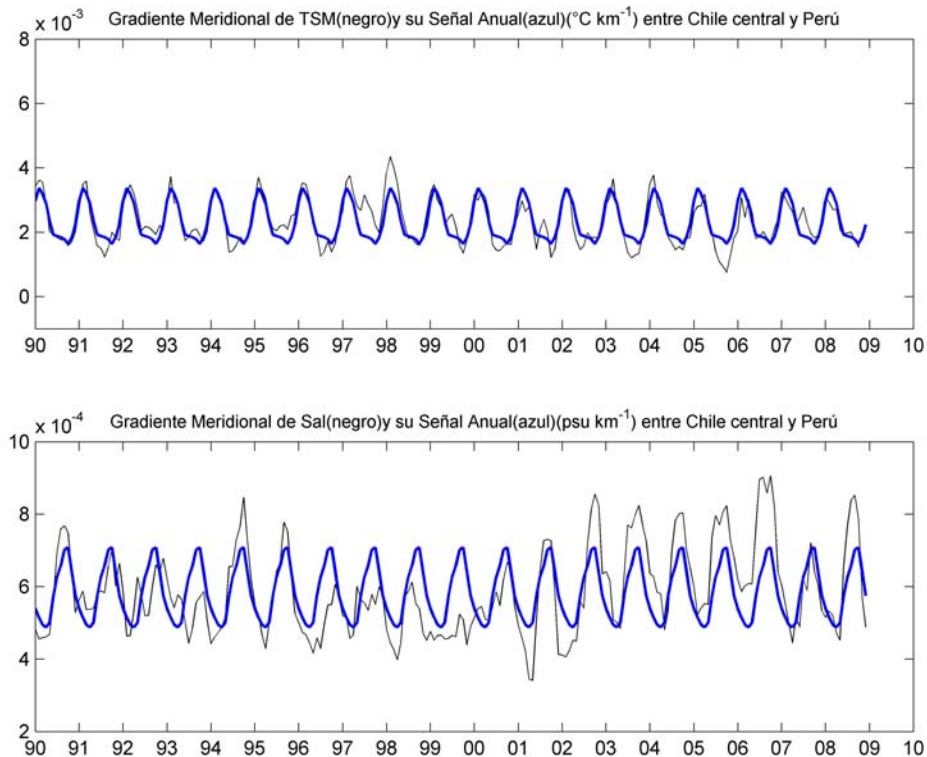


Figura 105. a) El panel superior muestra en línea continua la evolución temporal el gradiente térmico meridional (°C km⁻¹) y en línea segmentada la señal anual del gradiente térmico meridional entre la costa de Perú central y Chile central derivado de datos SODA (océano-costa). El panel inferior (b) muestra en línea continua la evolución temporal el gradiente salino meridional (psu km⁻¹) y en línea segmentada la señal anual del gradiente salino meridional entre la costa de Perú central y Chile central derivado de datos SODA (océano-costa).

Las anomalías mostraron que el gradiente meridional de TSM se hicieron más intensas durante el periodo El Niño 1997-1998 ($0.7 \cdot 10^{-3}$ °C km⁻¹) (**Figura 106a**),

es decir, se gener3 un mayor contraste t3rmico entre ambas zonas. Este contraste disminuye e incluso tiende a valores negativos durante la d3cada del 2000 llegando a un m3nimo ($- 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C km}^{-1}$) durante el 2005 (**Figura 106a**). En fase opuesta al gradiente de TSM, la anomal3as del gradiente meridional de salinidad tiende a valores negativos entre 1993 y 2002 (**Figura 106b**), mientras que cuando el gradiente de TSM disminuye (2002-2006) el de salinidad permanece positivo evidenciando una disminuci3n de salinidad en la zona centro sur durante ese periodo.

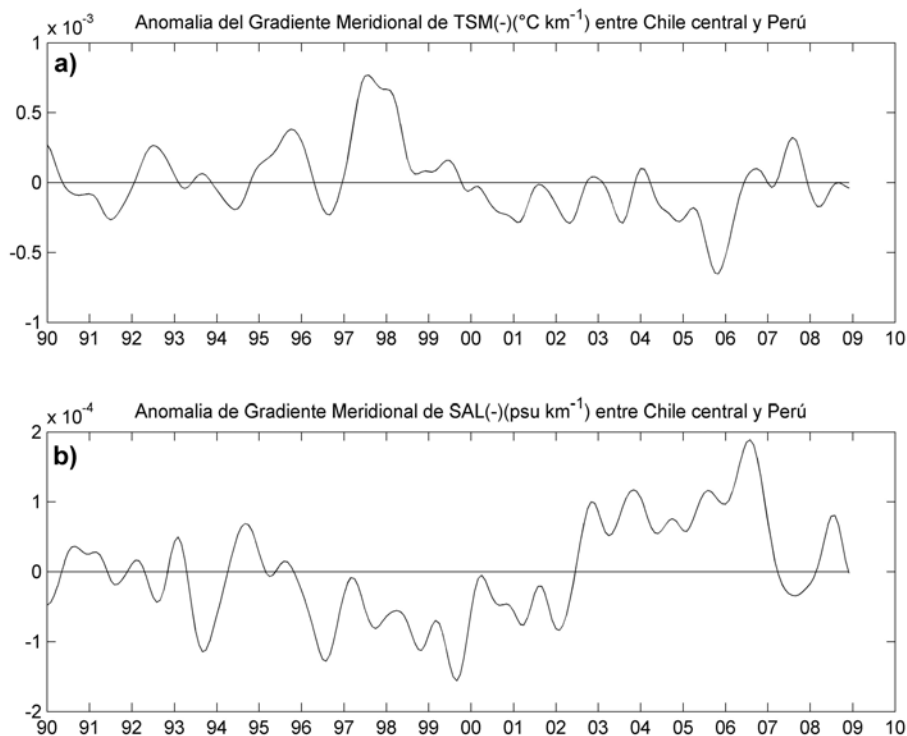


Figura 106. a) El panel superior muestra la evoluci3n hist3rica de la anomal3a de gradiente t3rmico meridional ($^\circ\text{C km}^{-1}$) y el panel inferior (b) la evoluci3n hist3rica de la anomal3a del gradiente salino meridional entre la costa de Per3 central y Chile central derivado de datos SODA (norte-sur).

4.7.2.3 Circulaci3n geostr3fica (Objetivo b)

En el an3lisis de la circulaci3n geostr3fica dominante del Pac3fico suroriental, diversos autores han definido en base a datos *in situ* (Stramma *et al.*, 1995, Tomczak & Godfrey, 2001; Chaigneau & Pizarro 2005) a la “Corriente del Pac3fico Sur” (CPS) como la corriente subtropical responsable del transporte hacia el Este en latitudes medias. Los resultados preliminares permiten identificar esta corriente al Este de los 130°W utilizando la isohalina superficial de 34,8 (Stramma *et al.*, 1995) y la isoterma de 14°C a 150 metros de profundidad (Chaigneau & Pizarro, 2005), apareciendo asociada al frente subtropical (FST) (**Figura 107**). Esta asociaci3n solamente ocurre entre los 130°W y 90°W, ya que al Este de 90°W esta corriente se bifurca hacia el norte y sur (**Figura 107**). Esta 3rea, entre los 95° y 82°W, donde la corriente se bifurca parece estar relacionada espacialmente con el 3rea de desove del jurel que ha sido descrita por varios autores principalmente entre los 82° y los 95°W y entre los 32° y 39°S (Gretchina, 1988; Arcos *et al.*, 2001, Cubillos *et al.*, 2008; Nuñez *et al.*, 2008).

Los resultados preliminares muestran que durante Noviembre y Diciembre, 3poca de desove de la especie, el FST aparece m3s al norte respecto de marzo y julio (**Figura 107**). Debido a este desplazamiento estacional la intensidad de la corriente en el sector de la bifurcaci3n parece ser menor en la 3poca de desove respecto de las otras 3pocas del a3o. La **Figura 108e** muestra como en verano la intensidad de la corriente en la zona de bifurcaci3n presenta valores promedio del orden de 3 cm s⁻¹ al norte de los 40°S, mientras que al sur de esta latitud se intensifica (> 5 cm s⁻¹) respecto de los meses de invierno (>4 cm s⁻¹) Estos resultados muestran que el 3rea principal de desove se presenta como un sector velocidades geostr3ficas de intensidad moderadas con velocidades menores a 3 cm/s, lo que tambi3n es v3lido para la regi3n a lo largo de la costa

limitada entre 15°S y 30°S y entre la costa y 80°W. Resultados presentados anteriormente indican que esta zona también muestra una disminución de la intensidad de los vientos debido a la bifurcación generada por la presencia del continente (Serra *et al.*, 2010).

Como se puede apreciar en la **Figura 107**, la CPS es difícil de identificar, pero se puede analizar su distribución espacial cuando se visualizan los perfiles de velocidad geostrófica zonal en conjunto con la posición del FST (**Figura 108**).

En los 100°W la corriente mostró influencia hasta los 300 m de profundidad con dos picos (7 y 4 cm s⁻¹) centrados en 35° y 37°S, respectivamente (**Figura 108a**). La intensidad de la corriente en esta longitud se intensificó en invierno llegando a los 10 cm s⁻¹ alcanzando a más de 400 m de profundidad (**Figura 108b**). En los 90°W la corriente amplía su rango de influencia latitudinal abarcando en verano desde los 36° y 42°S (**Figura 108c**), pero con menores intensidades (~ 4 cm s⁻¹). En esta longitud la CPS presentó máximos que en periodo de invierno se definen de mejor manera y logrando que la CPS abarque desde 30°S a 42°S y hasta 300 m de profundidad (**Figura 108d**).

En 85°W (**Figura 108e y f**) la CPS abarca desde 30°S a 45°S, donde el núcleo de mayor intensidad (5 cm s⁻¹) se observó en 42°S. En esta zona la corriente es más difusa y ancha porque tal como se observó en el campo horizontal de velocidades empieza a bifurcarse en presencia del continente Americano (**Figura 107**). En esta longitud la corriente aparece bien asociada al FST en verano, pero en invierno el frente aparece ubicado al norte de los 35°S. No obstante la bifurcación la influencia de la CPS sobrepasó los 200 m de profundidad.

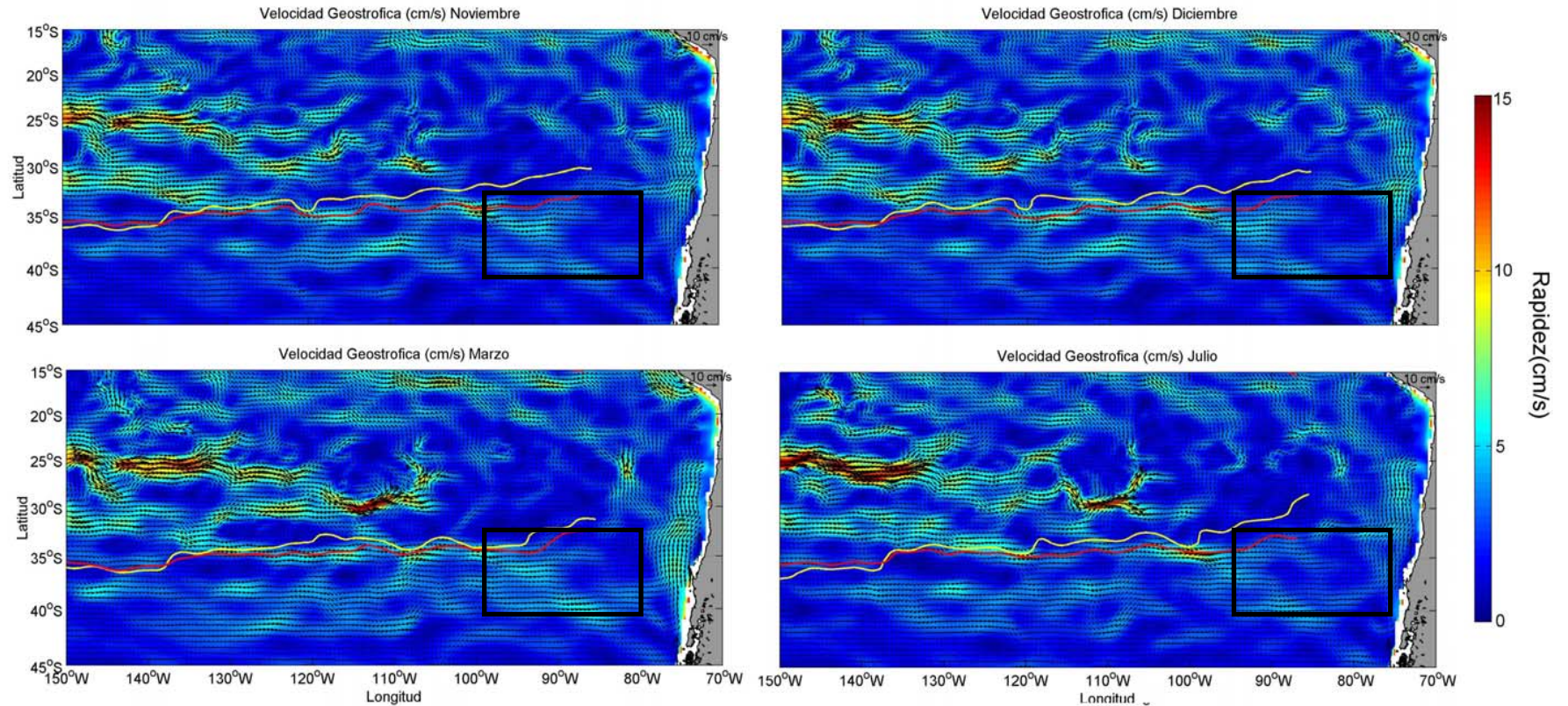


Figura 107. Corrientes geostróficas superficiales referida a 1000 m de profundidad durante los meses de noviembre, diciembre, marzo y julio. La línea blanca marca la isohalina superficial de 34,8 (Stramma *et al.* 1995) y la línea roja la isoterma de 14°C a 150 m de profundidad (Chaigneau & Pizarro 2005) las que definen la posición del FST y la CPS. El rectángulo negro marca el área principal de desove (Sepúlveda *et al.*, 2006, Cubillos *et al.*, 2008).

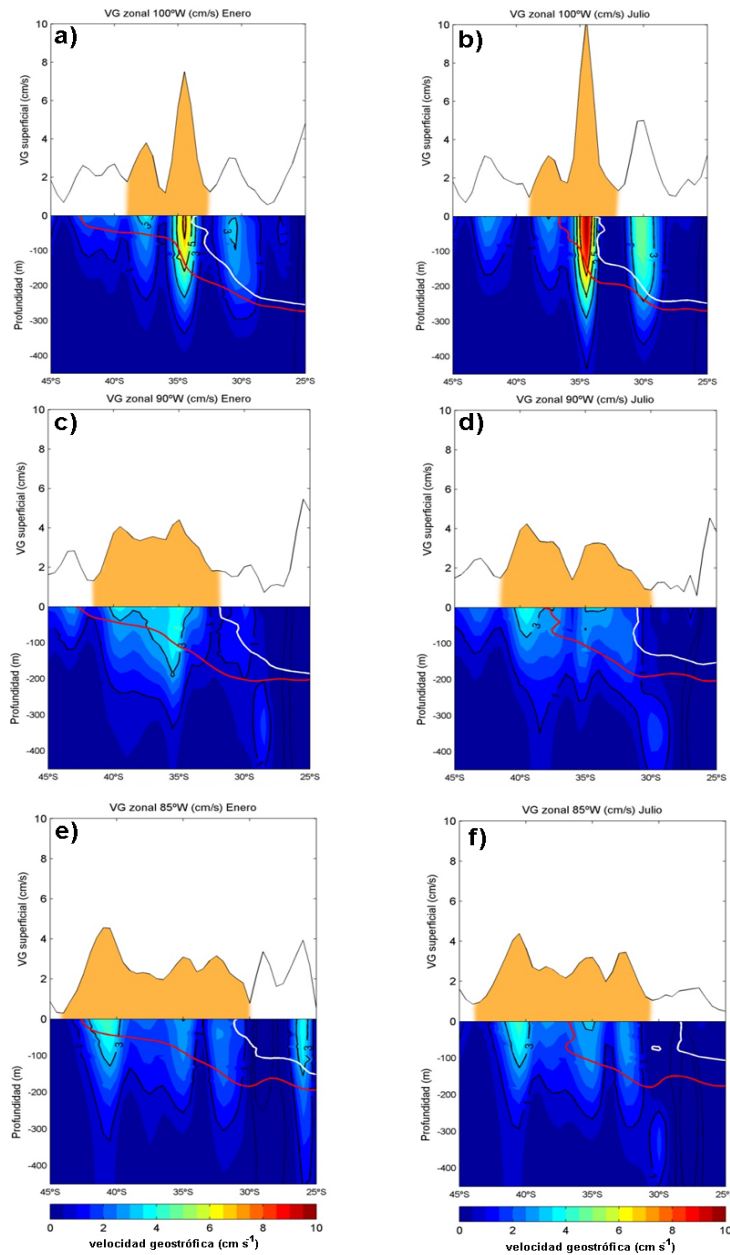


Figura 108. Corrientes geostr3ficas zonales referidas a 1000 m de profundidad en los meses de enero y julio (representativos de las estaciones) a las longitudes de 100°W(a,b), 90°W(c,d) y 85° W(e,f). La zona anaranjada muestra la corriente del Pacifico Sur con su magnitud (cm s^{-1}). La l3nea blanca marca la isohalina de 34,8 (Stramma *et al.* 1995) y la l3nea roja la isoterma de 14°C a 150 m de profundidad (Chaigneau & Pizarro 2005) las que definen la posici3n del Frente Subtropical (FST).

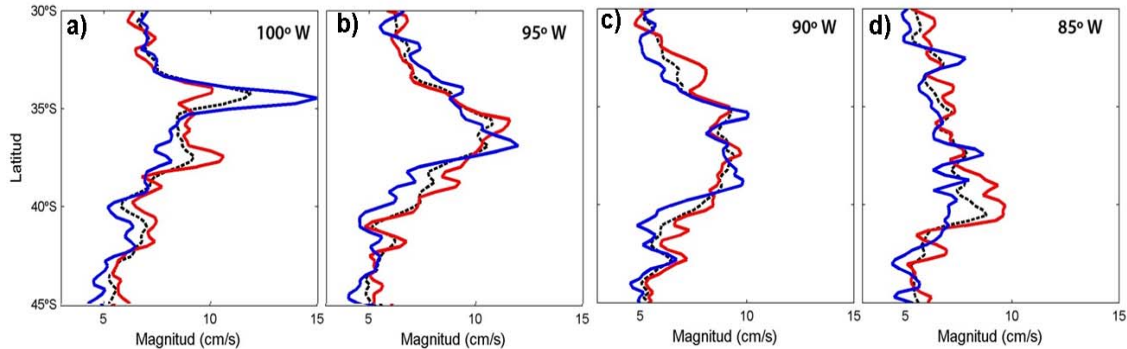


Figura 109. Corrientes geostóficas zonales promedio temporal estacional (cm s^{-1}) en las longitudes 100°W (a), 95°W (b), 90°W (c) y 85°W (d). La línea negra es el promedio, la línea azul el promedio de la estación de invierno y la línea roja el promedio de la estación de verano.

De los resultados mencionados es evidente la diferencia observada entre invierno y verano en la posición e intensidad de la CPS (**Figura 109**). En los 100°W la corriente promedio temporal estacional a esa longitud es más intensa en invierno cuyo núcleo se ubicó en los 35°S , mientras que en verano disminuye en intensidad abarcando un área mayor (34° - 40°S) (**Figura 109a**). En 95°W los máximos de verano e invierno están separado app. 2° latitudinales (**Figura 109b**). En 90°W la distribución espacial es similar pero en promedio las velocidades hacia el continente son mayores en invierno (**Figura 109c**). En los 85°W es evidente que el flujo promedio aumenta al sur de los 40°S (**Figura 109d**), mientras que al norte de los 40° permanecen menores a 7 cm s^{-1} . Los resultados sugieren que en primavera las corrientes zonales hacia el continente asociadas a la CPS son moderados especialmente cerca del continente Americano.

Debido a que es una corriente oceánica de gran extensión se analizó la influencia de la zona ecuatorial sobre las CPS. Para esto se realizó un análisis de

componentes principales de los campos temporales y espaciales de la CPS. Los resultados entregaron que el modo 1 de la componente U de la velocidad explicó un 20% de la variabilidad total observada, el modo 1 de V explicó el 10% y el modo 1 de la magnitud un 40%. Los bajos valores pueden deberse a que en el PSO existen otras corrientes importantes y una gran actividad de mesoescala. A pesar de lo anterior las correlaciones cruzadas entre el índice Ecuatorial Multivariate ENSO Index, MEI (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>) y las componentes arrojaron que el valor más alto y significativo (95%) es entre el MEI y la componente zonal de la CPS con un valor de -0.57 y un desfase de 4 meses. Lo anterior sugiere que cuando ocurre un evento cálido en la zona ecuatorial la componente zonal tiende a disminuir su intensidad y en un evento de enfriamiento ecuatorial aumenta el flujo hacia el este.

Distribución espacial y temporal de EKE

Asociado a un porcentaje importante de las corrientes promedio se encuentran estructuras de mesoescala, especialmente relacionadas con meandros y remolinos de mesoescala (Hormazábal *et al.*, 2004). La **Figura 110** muestra el promedio temporal de la energía turbulenta (EKE=Eddy Kynetic Energy) que da cuenta de la energía disponible para la formación de remolinos de mesoescala (Stevens *et al.*, 1992; Hormazábal *et al.*, 2004). Los resultados muestran una distribución similar a la reportada por Hormazábal *et al.*, (2004) evidenciando una franja paralela a la costa sudamericana, con altos valores de EKE ($>50 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$), la que está asociada a la zona de transición costera y la zona de influencia de la corriente de chorro por Fuenzalida (2008). Contrariamente, se observan bajos valores de EKE tanto en el sector costero del norte de Chile como en el sector oceánico ($82^\circ\text{-}95^\circ\text{W}$) frente a Chile central donde se verifica la región de desove del jurel, respectivamente. Zonas de altos valores de EKE ($>50 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) también

se observan frente a la costa de Perú (16°S y 10°S). Estos resultados coinciden con los reportados en el proyecto “Estudio de migración de jurel en Chile (Fase I), 2007” (Serra *et al.*, 2010). Cabe mencionar que al Oeste de los 80°W la EKE disminuye rápidamente ($<30 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) similar a lo que pasa cerca de la costa de Chile ($<20 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$), además se puede observar como aparece una banda zonal al norte de los 40°S asociado probablemente a la CPS.

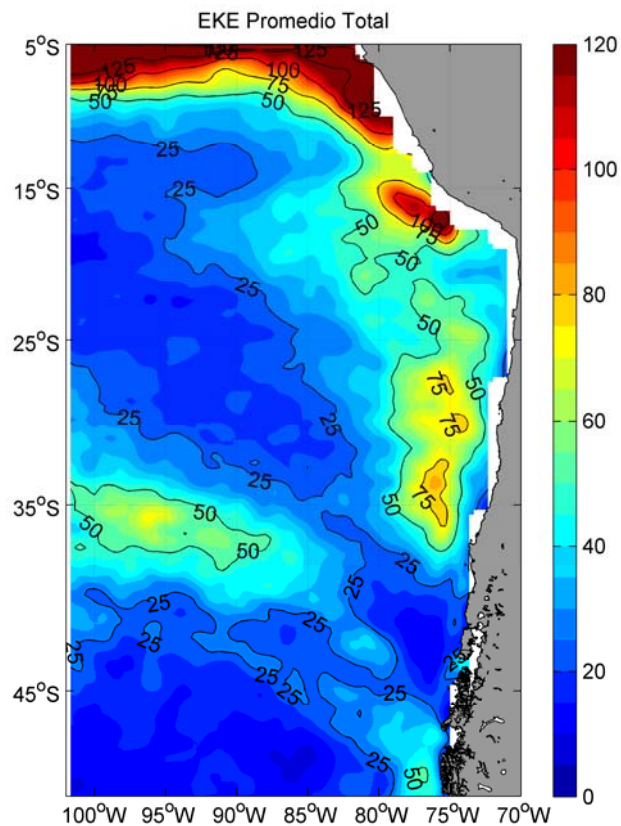


Figura 110. Promedio temporal de la Energía turbulenta de remolinos (EKE en $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$) derivada de las velocidades geostróficas satelitales del programa AVISO.

De manera similar a la metodología utilizada en el proyecto “Estudio de migración de jurel en Chile (Fase I), 2007” se estimó la EKE estacional (**Figura 111**), pero actualizado hasta los primeros meses de 2012 (Serra *et al.*, 2010). Al analizar en detalle los resultados estacionales, la distribución estacional de EKE es similar al promedio total (**Figura 110**). En las distribución estacional aparece la franja zonal ($> 25 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) asociada a la CPS, la franja a lo largo de la costa ($> 25 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$), la zona frente a Perú asociadas a la corrientes costeras ($> 50 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$), oceánicas de Perú ($>25\text{-}50 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) y la franja ecuatorial ($>50 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$). Los resultados muestran variaciones estacionales en la intensidad del EKE y en general un aumento espacial y de intensidad durante los meses de invierno, en el mismo periodo en que se intensifica la CPS. Estos cambios estacionales son evidentes frente a la zona de Perú y frente a Chile central (36°S).

Dentro de esta variabilidad estacional, es de especial interés analizar la distribución espacial del EKE durante primavera (**Figura 111d**), la estación de transición cuando comienza el periodo de desove. En este periodo se debilita el EKE frente a Chile central ($<50 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) y especialmente en el sector oceánico ($<25 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) frente a Lima y el sector costero ($< 75 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) frente a la región de ICA, Perú. Estos valores moderados de EKE podrían estar asociados a una mejor sobrevivencia de huevos y larvas (Bakun, 2006). Cabe señalar que a lo largo de la costa de Chile también ocurre una disminución del EKE ($< 50 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) especialmente en el sector costero al norte de los 36°S .

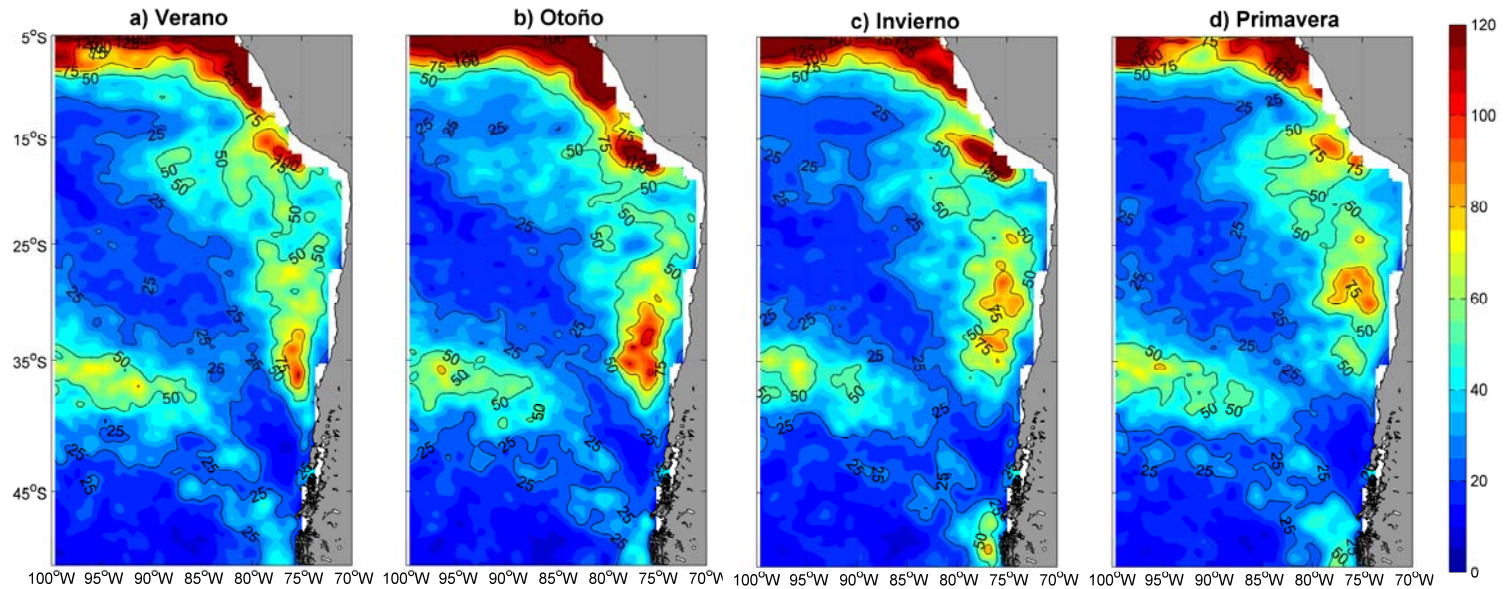


Figura 111. Energía cinética (EKE en $m^2 s^{-2}$) del Pacífico Sur-oriental durante el periodo 1992-2012. Los paneles incluyen los promedios estacionales de a) verano (diciembre-febrero), b) otoño (marzo-mayo), c) invierno (junio-agosto) y d) primavera (septiembre-noviembre).

4.7.2.4 Discusi3n de los aspectos oceanogr3ficos

El Jurel chileno (*Trachurus murphyi* Nichols), es una especie pel3gica transzonal que habita en el Oce3no Pacífico Sur. Su distribuci3n se extiende desde el Ecuador hasta el sur de Chile (52°S) y desde las aguas costeras de Chile central a Nueva Zelanda y Tasmania (Bailey 1989; Elizarov *et al.* 1993; Grechina, 1998).

La literatura establece que esta especie desarrolla una migraci3n zonal hacia la costa durante el perío3o de fines del verano a invierno, asociada con una mayor disponibilidad de oferta alimentaria al interior de la Zona de Transici3n Costera (Serra, 1991; Cornejo, 1991; Quiñones *et al.*, 1997) y hacia el sur en la zona oce3nica frente a Chiloé; en tanto se describe una migraci3n a fines del invierno hacia aguas abiertas frente a Chile central con fines reproductivos (Serra, 1991; Grechina *et al.*, 1998; Arcos *et al.* 2001; Cubillos *et al.*, 2008). En esta regi3n, el desove se verifica principalmente entre los meses de noviembre y diciembre extendiéndose entre los 82° hasta m3s all3 de los 94°W (Grechina *et al.*, 1998; Núñez *et al.*, 2004; Sepúlveda *et al.*, 2007; Núñez *et al.*, 2008). Se ha asociado al h3bitat oce3nico de desove de jurel frente a Chile central con el l3mite austral del Frente Subtropical, donde convergen aguas frías de origen subant3rtico y aguas m3s c3ldas y salinas de origen subtropical (Chaigneau and Pizarro, 2005; Letelier *et al.*, 2010). Esta regi3n tiene una variabilidad interanual y estacional importante (Letelier *et al.*, 2009), no obstante se ha relacionado el desove de jurel con la posici3n de la isoterma de 16°C en esta regi3n (Elizarov *et al.*, 1993; Sepúlveda *et al.*, 2003).

Se ha sugerido la advecci3n de los productos del desove de jurel hacia la regi3n del norte de Chile y sur del Per3 (Grechina *et al.*, 1998), zona que se ha establecido como una zona de crianza para la especie (Arcos *et al.* 2001). No obstante, s3lo recientemente se ha podido entregar evidencias de conectividad directa entre estas dos 3reas a trav3s de modelos biofísicos, que incorporan los

estados tempranos de desarrollo de la especie y la hidrodinámica del Pacífico Suroriental (Parada *et al.*, 2010, Vásquez *et al.* enviado), lo que es consistente con estudios de gradientes zonales en la edad de larvas de jurel frente a Chile central (Sepúlveda *et al.*, 2007). Es importante decir que el desove de jurel también se registra en esta zona pero en una franja costera (Serra 1983; M. Braun com.pers.) lo que es consistente con investigaciones de microquímica de otolitos de la especie (Serra *et al.*, 2010; Ashford *et al.*, 2010) cuyos resultados apoyan la conectividad entre ambas zonas.

Los resultados muestran la disminución latitudinal típica de temperatura y salinidad, asociada al decremento de la radiación solar y al incremento en el aporte de aguas salobres desde la zona de fiordos y canales, así como también de la zona subantártica (Strub *et al.*, 1998). A lo largo de la costa, se encuentran e interactúan los flujos hacia el polo caracterizado por aguas tropicales (AST, Agua Subtropical) y de origen ecuatorial (AESS, Agua Ecuatorial Subsuperficial), con el flujo hacia el ecuador de aguas de origen antártico (ASA, Agua Subantártica) y el Agua Subantártica Modificada (ASM) (Neshyba *et al.*, 1989; Silva *et al.*, 1997; Sievers *et al.* 2002). Esta interacción genera un gradiente meridional de temperatura y salinidad entre la zona central de Perú y la zona central de Chile del orden de 10^{-3} °C km⁻¹ y 10^{-4} psu km⁻¹, respectivamente, los cuales se intensifican, con sus respectivas zonas adyacentes, frente a Ica (15°S) y Concepción (36°S) debido a la presencia de macrocentros de surgencia ubicados en estas regiones (Huyer *et al.*, 1987; Sobarzo & Djurfeldt, 2004; Escribano & Schneider, 2007).

Los resultados (**Figuras 99 y 100**) sugieren la tendencia de las aguas frías y salobres a moverse hacia el norte cercanas a la costa, mientras que las aguas cálidas y salinas fluyen hacia el sur por fuera de la plataforma continental. Esta interacción parece tener una variabilidad estacional evidenciada por los

gradientes meridionales (**Figura 105**), con máximos en invierno y mínimos en primavera-verano. Lo anterior indica que, durante la primavera y verano las diferencias entre el sistema de surgencia de Perú y de Chile disminuyen, debido a que la surgencia en ambos está asociada al afloramiento de AESS (Brandhorst, 1971; Brink *et al.*, 1983; Huyer *et al.*, 1987), pero a diferencia de Perú, en Chile central se ha observado surgencia solamente entre primavera y verano (Letelier *et al.*, 2009). Por otro lado, entre otoño e invierno, cuando el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se desplaza hacia el norte, al mismo tiempo que se intensifica la CPS, la surgencia en Perú se intensifica y disminuye en Chile central, fortaleciendo las diferencias entre ambos sistemas de surgencia (se intensifica el gradiente meridional), lo que favorece el transporte en dirección del ecuador de aguas salobres (**Figuras 101 y 102**).

Asociado a los mismos centros de surgencia, se desarrollan gradientes zonales vinculados con zonas frontales que separan a las aguas de surgencia de las aguas oceánicas (Letelier *et al.*, 2009). Estos frentes están siempre presentes y tienen una señal anual clara aunque desfasada temporalmente entre las zonas de Chile central y Perú, lo que indica la presencia más intensa de máximos en primavera-verano en Chile central, y entre otoño-invierno en Perú, lo que se explica por el desplazamiento estacional del APS (Bakun & Nelson, 1991). Estos frentes o gradientes muestran como la diferencia de TSM entre el océano y la costa, se intensifican asociados al afloramiento costero de aguas más frías producto de la surgencia costera en ambos sistemas (Nixon & Thomas, 2001).

El hecho que los resultados muestren una señal anual en los gradientes zonales y meridionales indica una regularidad estacional en los procesos oceánicos (ciclo anual de la TSM, la surgencia, la clorofila, el viento, los frentes, aportes de agua dulce entre otros) permitiendo la adaptación de los ciclos de vida de algunos organismos como el jurel a estos patrones (Bakun, 1996 y 2006). Por otro lado, la

variabilidad interanual, mostrada como la anomalía temporal de los gradientes (**Figuras 103b, 104b y 106**), evidencia la presencia de perturbaciones de más baja frecuencia, que afectan la regularidad, intensidad y sentido de estos procesos (Montecinos *et al.*, 2003; Pizarro & Montecinos, 2004; Montecinos & Gómez, 2010). Correlaciones revelan como eventos El Niño pueden afectar estos procesos en Perú y Chile central, con máximos negativos (se calienta la costa más que el océano) durante los años cálidos 91/92, 97/98 y 2006 (aunque no responde a El Niño débil 2003/04), destacando asimismo el calentamiento costero de Chile central para el año 2005, el cual no está asociado a ninguna señal ecuatorial. Durante estos procesos la fuente del agua de surgencia (AESS) puede ser reemplazada por ASA o incluso AST (Hormazábal *et al.*, 2001), limitando el efecto ecológico de la surgencia a lo largo de la costa de Chile y Perú.

En fase opuesta, ambos sistemas de surgencia (Perú central y Chile central) responden a los eventos La Niña con un enfriamiento generalizado, especialmente concentrado en la costa lo que incrementa los gradientes costa-océano tal como se puede apreciar durante los periodos fríos 2001/02 y 2007/08 (**Figuras 103b y 104b**). Estos periodos de enfriamiento reducen la intensidad de los frentes zonales favoreciendo la dispersión o reduciendo la capacidad de retención por el frente que se ubica dentro y fuera de la plataforma continental. Cabe señalar que durante La Niña 1996 solamente la zona central de Chile respondió al enfriamiento ecuatorial. Estos resultados muestran que los eventos ecuatoriales en general afectan a las zonas costeras de ambos sistemas de surgencia (Chile central y Perú central), aunque existen evidencias que durante La Niña 1996 solamente modificó las TSM en la zona de surgencia de Chile sugiriendo que existe un mecanismo que conecta la zona central de la zona ecuatorial complementaria a la guiada meridionalmente atrapado a la costa (Hormazábal *et al.*, 2002) y teleconexiones entre la zona ecuatorial y latitudes medias que no dependen de la guía costera (Carleton, 2003). Otra conclusión

relevante es que aunque un índice ecuatorial indique un evento cálido, es necesario realizar análisis locales especialmente asociados al área de desove de Chile central y Perú.

Asimismo, estos eventos interanuales afectan también el gradiente meridional entre ambas zonas de surgencia, y por lo tanto están evidenciado un efecto en el transporte meridional. De esta manera, eventos El Niño 1992/93 y 1997/98 producen un calentamiento mayor en Perú (**Figura 106a**), aunque solamente este último evento produce un mayor aporte de agua salobre al sistema (**Figura 106b**) afectando desde 1996 hasta el 2002, mientras que a partir de 2002 aumenta el aporte de aguas ecuatoriales. Estos resultados evidencian que entre el sistemas de surgencia de Perú central y Chile central existe una sincronía estacional, guiada por el ciclo anual del PSO, pero la que esta asociada a una perturbación de más baja frecuencia (5 o más años), en que en fase aumenta la TSM en el sistema de surgencia de Perú asociada a un mayor aporte de agua dulce desde los Fiordos y canales (1996-2002). En fase opuesta cuando la TSM disminuye en el sistema de surgencia de Perú central (2002-2007), se registra un menor aporte de aguas dulce y mayor de agua de origen ecuatorial y subtropical.

Además de las zonas frontales, se analizaron los mecanismos de transporte en la región de estudio, evidenciando que la CPS se establece como el flujo principal del llamado “Sistema de Corrientes de Deriva del Oeste” (SCDO). Los resultados mostraron que esta corriente superficial (0-300 m de profundidad) aparece asociada al FST a lo largo de todo el Pacífico Sur (Stramma *et al.*, 1995; Chaigneau & Pizarro, 2005), debilitándose y expandiéndose a medida que se acerca al continente. En los 100°W, la CPS se presenta intensa en los 35°S, lo que es particularmente válido para el periodo invernal, probablemente debido a la inyección de energía que introduce el APS al giro subtropical al desplazarse hacia el norte en esta estación. Por su parte, en los 90°W la corriente disminuye su intensidad y

expande su cobertura (33°S a 41°S), mientras que en los 85°W abarca prácticamente 15° de latitud. Es justamente entre los 100°W y 85°W durante la primavera que la CPS atraviesa la zona de desove del jurel favoreciendo el transporte promedio hacia el Este, hacia la zona del continente con velocidades entre 3 y 5 cm s⁻¹. Estudios realizados sobre huevos y larvas de jurel en la región de desove de Chile central a través de modelos aditivos generalizados, muestran una mayor densidad de productos del desove centrados justamente en los 35-36°S (Núñez *et al.*, 2008). Este flujo zonal mostró diferencias estacionales que son más evidentes en los 85°W, ya que se intensifica el flujo al sur de los 40°S que pasa a ser parte de la corriente del Cabo de Hornos (**Figura 109**).

El flujo que se bifurca al norte aparece con menor intensidad durante todas las estaciones, explicando los bajos valores de EKE de una banda diagonal que conecta la zona de canales con el centro del giro subtropical (**Figura 110**). Esta banda se mantiene durante todas las estaciones del año, pero en primavera es cuando aparecen magnitudes similares de EKE en la zona oceánica (14,5°S-85°W) frente al principal centro de surgencia de Perú central, cuando la Corriente Oceánica del Perú (COP) se debilita.

En general los resultados estacionales muestran que se mantienen las tres zonas separadas espacialmente con altos valores de EKE, diferenciando la zona fuera de Perú, zona central de Chile y la banda a lo largo de la costa. A pesar de lo anterior la señal anual en los flujos, el EKE, las masas de agua y los gradientes muestran un sistema relacionado estacionalmente y modulado interanualmente por procesos de mayor escala y de baja frecuencia.

Las comparaciones con informaciones recientes están limitadas por la base de datos utilizada (SODA) la que solo permite abarcar en la columna de agua hasta mediados de 2009. A pesar de lo anterior el desarrollo en términos de la climatología (CARS) y la altimetría satelital entrega los primeros resultados generales.

En los últimos años se han desarrollado esfuerzos por entender la variabilidad del ambiente y su influencia en la distribución y abundancia del jurel. EL proyecto “Estudio de migración de jurel en Chile, Fase 1, año 2007” (Serra *et al.*, 2010) abarcó todo el margen continental de la costa del Pacífico Sur Oriental. Los resultados mostrados en Serra *et al.* (2010) a la luz de los resultados del presente proyecto fueron tomados (primavera de 2007 a otoño de 2008) durante un periodo de enfriamiento en el PSO. Este enfriamiento costero fue más intenso y temporalmente más extenso frente a Chile central que frente a la zona de surgencia de Perú (**Figura 103 y 104**). Extender la serie solamente fue posible hasta principios de 2009, debido a la restricción de la base de datos SODA. En general, se puede afirmar que los resultados mostrados en el FIP 2007-27 (Serra *et al.*, 2010) fueron analizados dentro de un contexto frío del océano tal como lo muestran los índices ecuatoriales. Al mismo tiempo evidencian un entre mediados de 2009 y mediados de 2010 un periodo calido, que vuelve a pasar a frío desde la primavera de 2011 hasta mediados de 2012 (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/Tropics/figt5.gif>).

Conclusiones Generales del marco oceanográfico

Distribuciones de temperatura y salinidad como también gradientes zonales y meridionales indican la presencia de discontinuidades oceánicas entre la costa y la zona oceánica frente a Perú central (Callao-Paracas) y Chile central (Golfo de

Arauco- bahía Coliumo), como también muestra que el sur de Perú y norte de Chile es una zona de transición entre estas dos grandes zonas de surgencia.

Típicamente los gradientes oceanográficos costa-océano frente a Perú central muestran la formación de un intenso frente de surgencia que abarca más allá de la plataforma continental que favorece la retención en la banda costera de las aguas de surgencia.

Durante eventos cálidos El Niño se produce una inversión en los gradientes costa –océano debido a un calentamiento costero debilitando e inhibiendo la retención sobre la plataforma continental

Durante eventos ecuatoriales fríos, La Niña, se produce un enfriamiento generalizado que debilita los frentes costeros y atenúa la retención sobre la plataforma continental.

Los centros de surgencia de Perú y Chile están sincronizados anualmente asociados a una señal estacional, con máximas diferencias térmicas entre primavera y verano, y máximas diferencias en salinidad en periodo invernal.

Las anomalías de los gradientes meridionales muestran dos ciclos de app. 5 años que cambian de fase el 2002 entre los sistemas de Surgencia de Perú central y Chile central, definidos especialmente por anomalías de los gradientes de salinidad.

La corriente del Pacífico Sur Oriental que avanza a lo ancho del Pacífico sur es la principal corriente que define el sistema de Corrientes de Deriva del Oeste que abarca el área de desove del jurel. A pesar de lo anterior este sistema es difuso y

de intensidad moderada lo que dificulta identificarlas en información satelital de altimetría.

La corriente del Pacífico Sur mostró una estacionalidad conducida por el movimiento anual del Anticiclón del Pacífico Sur que genera el desplazamiento hacia el norte del núcleo de la corriente acompañada por un aumento de su intensidad durante el periodo otoño-invierno y un desplazamiento hacia el sur con una disminución en intensidad durante el período primavera-verano.

La corriente del Pacífico Sur es claramente identificable entre superficie y 300 m de profundidad en transectas meridionales y asociada al Frente Subtropical abarcando el área de desove del Jurel.

La presencia del Continente genera una bifurcación que reduce la intensidad de las corrientes que provienen del oeste, pero al mismo tiempo amplía la influencia espacial de las corrientes zonales.

El debilitamiento de las corrientes en la bifurcación explica los valores moderados a bajos observados en la EKE de una banda diagonal que conecta la zona de canales con el centro del giro subtropical. Una situación similar ocurre frente a la zona de Perú central con los cambios de intensidad de la corriente oceánica de Perú.

Correlaciones entre un índice ecuatorial y parte de la variabilidad observada en la componente zonal de la corriente del Pacífico Sur mostraron que cuando ocurre un evento cálido en la zona ecuatorial la componente zonal tiende a disminuir su intensidad y en presencia de un evento de enfriamiento ecuatorial aumenta el flujo hacia el este.

5. ANÁLISIS INTEGRADO

El objetivo principal de este estudio es identificar la estructura poblacional del jurel en el océano Pacífico sur aplicándose un enfoque multi- metodológico, que es la aproximación moderna a la solución del problema (Begg y Waldman, 1999, Waldman, 1999). Una ventaja de este enfoque es que algunas de las técnicas pueden detectar estructura de stock, mientras que otras no, puesto que solo la heterogeneidad puede ser demostrada pero no así la homogeneidad (Waldman, 1999, 2005). Otra ventaja es que se obtiene mayor confianza cuando el contraste de técnicas provee resultados congruentes. Entrega una comprensión más profunda y robusta de la estructura de stock en contraste con aplicaciones basadas en una sola técnica.

Una característica importante del jurel es que desarrolla su ciclo de vida en la zona nerítica y en la oceánica, lo que llevó a que sea definido como un pez nerítico-oceánico (Parin, 1987). Asimismo, su intensa dinámica espacial da fundamento para que sea definido como una especie de alta movilidad, siguiendo el concepto de Meltzer (2005), comportamiento que es relevante para la interpretación de los resultados.

El jurel desova en la zona oceánica frente a la zona centro sur de Chile y a lo largo de la zona de transición costera y oceánica desde aproximadamente Coquimbo hacia el norte de Chile. También desova frente a la costa peruana (Csirke *et al.*, 2013). Se alimenta en la zona costera y oceánica lo que determina migraciones estacionales, asociadas principalmente con el período reproductivo, que marcan a su vez la estacionalidad de las pesquerías costeras tanto de Chile como de Perú (Serra, 1991). Asimismo, frente a la zona centro sur de Chile presenta migraciones en dirección sur al término del verano, hacia la zona oceánica frente a Chiloé entre 40 y 44°S, donde existe una zona de alimentación importante (Vinogradov *et al.*,

1990). El jurel t3picamente presenta concentraciones de biomasa a fines del verano y durante el oto1o en esta zona seg3n se infiere del comportamiento espacio-temporal de la flota sovi3tica (Parrish, 1989), de la flota internacional que actualmente opera frente a Chile centro sur y de la flota de cerco de la pesquer3a pel3gica en la regi3n centro-sur del pa3s.

Durante el proyecto FIP 2007-27 se analiz3 las climatolog3as de los principales par3metros indicadores de la variabilidad espacial y temporal de las condiciones y forzantes del Pacifico Sur Oriental. Campos superficiales de temperatura, salinidad, clorofila, vientos y corrientes mostraron estructuras como el anticicl3n del Pacifico y el giro subtropical, las 3reas de surgencia costera a lo largo del continente y la distribuci3n espacial diferenciada de la actividad de los remolinos de mesoescala. En particular el giro del Pacifico sur surge como un mecanismo para estructurar la distribuci3n del jurel en esta regi3n. Estas estructuras, procesos y distribuciones espaciales mostraron cambios estacionales de posici3n y/o intensidad asociados principalmente al movimiento estacional del anticicl3n del Pacifico (Bakun y Nelson, 1991). En este primer estudio se comenz3 a describir tres grandes zonas de inter3s: una banda frente a Chile central asociada al 3rea de desove del jurel y al 3rea de surgencia de la VIII regi3n; una banda frente a Per3 central vinculada a la zona de surgencia costera de Per3 y la corriente oce3nica de Per3; y por ultimo una banda a lo largo de la costa sudamericana asociada al sistema de corrientes de Humboldt y las zonas de surgencia a lo largo de Chile y sur de Per3 (Strub *et al.*, 1998).

Los resultados del presente proyecto (FIP 2010-18) sugieren una conexi3n entre estas zonas por medio de los flujos zonales ubicados en la zona de Deriva de los Vientos del Oeste y su principal corriente zonal, la Corriente del Pacifico Sur (CPS) (Stramma *et al.*, 1995). Esta corriente, asociada espacialmente al Frente Subtropical (FST), disminuye su intensidad promedio ($< 10 \text{ cm s}^{-1}$) y se ensancha

desde el 3rea de desove del jurel hacia la zona de bifurcaci3n frente al continente Americano, llegando a abarcar entre los 32° S a los 42°S. La parte de este flujo que se desvía hacia el norte, sigue paralelo a la costa sudamericana para comenzar a desviarse hacia el oeste a la altura de los 30°S y separarse en los 24°S formando la rama costera y oce3nica de la corriente de Per3 (Fuenzalida *et al.*, 2008; Strub *et al.*, 1998). La estacionalidad observada en esta corriente zonal frente a Chile central (36.5°S) muestran valores moderados en primavera y facilitarían el movimientos de huevos y larvas de jurel desde las 3reas oce3nicas a zonas costeras y hacia el norte. El flujo zonal de la CPS se ve afectado por los eventos interanuales ecuatoriales, así durante eventos cálidos la intensidad de la CPS tiende a disminuir mientras que durante eventos fríos la componente oeste-este de la CPS aumenta su intensidad.

Los resultados también muestran como los remolinos de mesoescala se mueven en sentido opuesto (este a oeste)(Correa-Ramírez *et al.*, 2007) al de la CPS, pero este movimiento favorece el desarrollo de intensos meandros que refuerzan el transporte hacia la costa (Hormazábal *et al.*, 2004).

En las grandes zonas de surgencia de Chile central (36.5°S) y Per3 central (14.5°S) el ascenso de aguas subsuperficiales en la costa dan origen a intensos gradientes zonales en las propiedades oceanográficas asociados a la formaci3n de un frente de surgencia. Estos procesos hacen que las aguas oce3nicas, más cálidas, con menos oxígeno y nutrientes sean significativamente diferentes a las que se encuentran bajo la influencia de la surgencia costera más frías y ricas en nutrientes (Hormazábal *et al.*, 2001; Huyer *et al.*, 1987; Letelier *et al.*, 2009). Estos gradientes aunque son permanentes se intensifican en primavera y verano en Chile central y a mediados de año en Per3 debido a los cambios estacionales de la surgencia producida por el movimiento estacional del Anticicl3n del Pacífico Sur.

La exploraci3n cuantitativa de las diferencias entre los dos grandes centros de surgencia mostr3 una coherencia que permite inferir que durante los eventos El Ni3o disminuye el aporte de agua salobre desde el sur mientras que durante La Ni3a aumenta. En una escala temporal mayor el transporte de agua salobre entre el centro sur de Chile y Per3 fue mayor en la d3cada de los 90 hasta el 2002, cuando se produce un punto de quiebre y la advecci3n hacia el norte de agua subant3rtica y de fiordos disminuye.

La extensa distribuci3n del jurel, su peculiar biolog3a, din3mica espacial y la ausencia de barreras f3sicas como se deduce del marco oceanogr3fico y la conectividad descrita entre las tres grandes zonas, han incidido en que la identificaci3n de las unidades de stock sea un proceso complejo. Serra *et al.*, (2010) encuentran evidencias que sugieren la existencia de dos sub-poblaciones o stocks en el Pac3fico sur oriental: una localizada en el centro norte de Per3; y la segunda entre el centro-sur del Per3 y sur de Chile, dentro y fuera de la ZEE, resultado que concuerda con estudios anteriores basados en historia de vida y par3sitos (Serra, 1991; Oliva, 1999). Los resultados muestran tambi3n mezcla entre ambas regiones y en especial entre el segmento de Coquimbo al norte, hasta el centro-sur de Per3. Tambi3n entre esta zona (Coquimbo al norte) y la zona principal de desove en la zona oce3nica frente al centro sur de Chile seg3n la qu3mica del n3cleo de los otolitos. Tambi3n se diferencia Nueva Zelanda por la fauna parasitaria, no obstante que se encontr3 que eran jureles nacidos en este lado del oce3no Pac3fico seg3n la qu3mica del n3cleo de los otolitos, pero que emigraron hacia esa regi3n y por tanto no contribuyen a la producci3n biol3gica del jurel del Pac3fico sur oriental. La muestra de jureles obtenida all3 durante el per3odo de primavera conten3a en sutotalidad ejemplares sexualmente maduros lo que demuestra que desova all3.

Los resultados encontrados en el estudio actual fueron:

- La genética no detecta diferencias significativas en toda la distribución del jurel en el océano Pacífico sur, siendo este resultado similar al obtenido con el proyecto anterior (Serra *et al.*, 2010), así como otros estudios basados en análisis genéticos (Gonzalez *et al.*, 1996, Sepúlveda *et al.*, 1996, Cárdenas *et al.*, 2009, Galleguillos *et al.*, 2012).
- La parásito fauna evidencia la existencia de dos stocks de jurel, uno frente al Perú y el segundo a Chile. También distingue a un grupo en la zona oceánica frente a Chiloé, al que identifica como stock ecológico. Esta categoría sin embargo no es relevante para el manejo pesquero puesto que es un segmento de la subpoblación que se integra al resto en la zona de desove. Es decir, no constituye un stock auto-sustentado. También distingue al jurel distribuido en Nueva Zelanda, que constituye un grupo que emigró de la región del Pacífico sur oriental y que por tanto no aporta a la producción biológica del jurel de este lado del Pacífico. Este resultado es igual al obtenido con el proyecto anterior (Serra *et al.*, 2010).
- La parásito fauna también evidencia acumulación de parásitos desde el norte de Chile hacia el sur, lo que se asocia con migración del jurel en ese sentido a medida que van alcanzando tamaños mayores, es decir un movimiento migratorio asociado al ciclo de vida del jurel.
- Con la morfometría de los otolitos no es posible detectar diferencias entre localidades de muestreo. En esta aproximación metodológica las diferencias detectadas pueden o no ser atribuibles a variaciones morfométricas de los otolitos entre localidades de muestreo. Esta dificultad se debe a que el tamaño de los

peces tiene un efecto significativo en las diferencias entre localidades, las que probablemente son el reflejo del crecimiento alométrico de los otolitos en jureles de mayor tama1o, el que no fue posible independizar del análisis.

- La química fijada en el otolito muestra heterogeneidad espacial, lo que permite descartar la hipótesis de un stock único que se mezcla aleatoriamente con peces de Perú, Chile y Nueva Zelandia. A pesar de esta considerable heterogeneidad espacial en la química fijada en el borde y núcleo del otolito de los jureles muestreados a lo largo de la costa de Perú, Chile y Nueva Zelandia, se encontró poca evidencia en la química del núcleo del otolito de límites poblacionales que separen o identifiquen sub-poblaciones autosustentadas en estas regiones. Pero los datos provenientes de la estación de alimentación muestran fuerte evidencia de estructuración regional entre el centro sur de Chile y el centro norte del Perú. Los datos de la química del otolito son consistentes con intensa mezcla espacial de al menos dos grupos que estuvieron expuestos a diferentes ambientes durante los primeros meses (4-5 meses) de vida. Sin embargo, esta vez no hubo evidencia del tercer grupo centrado en el norte del Perú, que fue encontrado en el estudio anterior (Serra *et al.*, 2010). Tampoco se encontraron evidencias de estabilidad regional en las diferencias detectadas, que fueran consistentes con un escenario (hipótesis) de “fuente y sumidero” (source-sink hypothesis). Asimismo, y dentro de las restricciones impuestas por un muestreo logísticamente posible, no se encontraron evidencias de estabilidad temporal en las diferencias detectadas entre áreas de muestreo. En cambio, los datos reflejan un sistema físico con intensa estructuración de meso-escala, mostrando evidencias de considerables variaciones dentro y entre regiones. Sin embargo el MANOVA para la química del núcleo de los otolitos provenientes de las muestras del período de alimentación (oto1o) detectan diferencias significativas entre las muestras del centro sur de Chile y del centro norte del Perú. Es decir, en los extremos de la distribución. Este resultado se refleja también en el análisis de

conglomerados. Cuando se exploraron los datos con el an3lisis de conglomerados, los resultados sugieren la existencia de dos grupos subyacentes, con proporciones que cambian de sur a norte durante el per3odo de alimentaci3n, pero con menor proporci3n en Per3 de jureles con centro en el centro sur de Chile.

En este estudio el concepto utilizado de unidad de stock (o subpoblaci3n) es el de una unidad autosustentada, que tiene su propia 3rea de desove y eventualmente de alimentaci3n y de crianza. Presenta un circuito migratorio propio entre la zona de desove y la de alimentaci3n y las tasas de emigraci3n e inmigraci3n no son importantes de manera que los procesos de natalidad, mortalidad y crecimiento son los que esencialmente determinan su din3mica poblacional y producci3n biol3gica. Es decir es una unidad donde los procesos demogr3ficos explican la abundancia y coincide con el concepto de unidad demogr3fica de la ecolog3a de poblaciones. Esta definici3n es similar a la de Ihssen *et al.* (1981), que es una de las m3s aceptadas, que define un stock como un grupo de individuos intra-espec3fico cuyo apareamiento es aleatorio y que tienen integridad espacio-temporal. Es decir es una unidad coherente de individuos que presenta discretizaci3n total o parcial en el espacio (Waldman, 2005).

Como ya se indic3, el enfoque utilizado para investigar la estructura poblacional del jurel est3 basado en una aproximaci3n metodol3gica m3ltiple, a saber: gen3tico (ADNms), par3sitos como marcas biol3gicas, morfometr3a y qu3mica de los otolitos. Para una adecuada interpretaci3n de los resultados se incluyeron tambi3n aspectos oceanogr3ficos. Es necesario decir adem3s, que para el an3lisis integrado de los resultados obtenidos con las diferentes t3cnicas la escala de tiempo en la cual opera cada una debe ser tomada en cuenta (Begg y Waldman, 1999). Por ejemplo la gen3tica opera en la escala evolutiva y requiere de un grado de aislamiento que se mide en cientos a miles de a3os. Tasas de mezcla (flujo gen3tico) incluso del 1 % por generaci3n podr3a resultar en homogeneidad

genética (Ward, 2000) y no permitirían identificar la estructura poblacional aún cuando dicha estructura exista en la naturaleza. Conceptos similares emiten White *et al.*, (2011) y Taylor y Dizon (1999). Este es un aspecto crucial a entender en el uso de marcadores moleculares. Hauser y Ward (1998) discuten este punto, que generalmente produce controversia sobre el tema. El asunto es que las unidades de stock o subpoblaciones autosustentadas, que son las unidades de manejo de interés, pueden tener un suficiente intercambio con otras unidades y las técnicas moleculares solo pueden identificar unidades relativamente aisladas, con un muy restringido flujo genético entre ellas. Cuando ello no sucede permanecen genéticamente homogéneas no siendo generalmente posible diferenciarlas con métodos moleculares.

La morfometría del otolito es una expresión fenotípica asociada tanto a factores genéticos como ambientales, donde este último opera en los primeros estados de la ontogenia del individuo. Los otros métodos como fauna parasitaria y química del otolito se basan en marcas naturales asociadas con el habitat ocupado (o visitado) por los individuos y operan en una escala temporal más corta. La parasitofauna opera en una escala temporal entre 3 y 6 meses y lo mismo la química del otolito. Ambas en realidad operan en una escala temporal prácticamente instantánea pero 3-6 meses sería el tiempo mínimo para distinguir cambios significativos en la parasitofauna. En el caso de la química del borde del otolito depende de la resolución del láser y de la edad de los peces. En los peces jóvenes, debido al mayor incremento entre anillos, la resolución temporal en el borde del otolito puede ser de 2 meses y de hasta 6 meses en los de mayor edad (7 años y más); el tiempo contenido en el núcleo se estima en 4-6 meses. Consecuentemente, la integración de los resultados obtenidos con los diferentes métodos se hace sobre la base del contraste de estos resultados y su análisis crítico considerando las escalas temporales en que operan los marcadores asociados. La mayor extensión del período en que se obtuvo la primera muestra se estima que no afecta los

resultados y su interpretación por cuanto durante este período de otoño-invierno, que coincide con el período de alimentación del jurel, en teoría se encuentra más disperso y consecuentemente la probabilidad de mezcla es mayor.

De los resultados se puede concluir que:

- La genética no detecta diferencia entre las diferentes localidades evaluadas.
- La parásito fauna distingue una sub-población o stock para el Perú y otra para Chile. Ello por la ausencia de parásitos en Perú como *Anisakis simplex* y *H. aduncum* además de la baja prevalencia de *L. trachuri* lo que desde el punto de vista de los parásitos permite diferenciar los jureles distribuidos frente a Chile y Perú. Serra *et al.* (2010) informan la ausencia de *A. simplex* desde Parácas al norte y junto con Oliva (1999) informan del registro del monogeneo *Cemocotyle cf trachuri* y el cestodo larval *Eutetrarhynchus sp.* solo para el norte del Perú, lo que contribuye a la diferenciación.
- Los resultados de la química de otolitos refutan la hipótesis de una sola población que se mezcla aleatoriamente y sugieren la existencia de dos grupos subyacentes con intensos niveles de mezcla entre las diferentes localidades pero un flujo desde el sur de Chile hacia Perú.
- El jurel en Nueva Zelanda es diferenciado por los parásitos pero la química del otolito los identifica como originados frente a Chile. Este resultado es igual al obtenido en el estudio anterior (Serra *et al.*, 2010).
- La no diferenciación de la estructura poblacional por la genética se explica por las tasas de mezcla descritas para el Pacífico sur oriental y la colonización reciente en Nueva Zelanda. La ausencia de barreras físicas y la alta movilidad del jurel favorece la conectividad.

Respecto del jurel en Nueva Zelandia y frente a Chile, la química del núcleo de los otolitos indica que tienen un origen común frente a este último. Este resultado reafirma el proceso de emigración desde la subpoblación frente a Chile descrito por Serra *et al.*, (2010). Los parásitos diferencian la agregación de jureles en Nueva Zelandia de los de Sudamérica, lo que se explicaría por un tiempo de residencia allí lo suficientemente largo para adquirir la fauna parasitaria local. De hecho, la muestra de allí correspondiente al período reproductivo contenía el 100% de los ejemplares sexualmente maduros y en desove, lo que da sustento al proceso de colonización del jurel en esa región. Por otra parte, este resultado refuta la hipótesis de un stock puramente oceánico ubicado en el centro del Océano Pacífico Sur que se ha planteado en el Comité Científico de la OROP-PS. (SC-01-23-rev1-Jack-Mackerel-species-profile. SC/SPRFMO).

Los resultados de la parásito fauna y química de otolitos para el Pacífico sur oriental presentan diferencias las que ameritan explicación. De acuerdo con los marcadores naturales de parásitos, los jureles de Chiloé oceánico corresponderían a un stock ecológico. Este resultado no es discordante con el de la química del núcleo de los otolitos que no los diferencia de Talcahuano, pero si los diferencia la química del borde del otolito. Para explicar la diferencia en la fauna parasitaria se ha planteado la hipótesis (Serra *et al.*, 2010) que existiría una fracción del stock desovante compuesta por ejemplares de mayor tamaño que se movilizarían esencialmente por la zona oceánica hacia la zona de alimentación localizada hacia el sur de 40° S, hipótesis que se sustenta por la condición del jurel de pez nerítico-oceánico del jurel, la migración estacional del jurel desde y hacia la zona de desove, la extensión del desove en magnitud importante hasta aproximadamente 100° O y la diferencia en la química del borde el otolito. Esto al considerar que los jureles muestreados en Chiloé oceánico fueron en general ejemplares de tamaño mayor que los observados en las zonas de pesca al norte de 40°S. La migración

del jurel desde esta zona hacia la zona de desove oceánica frente a Talcahuano es también sugerida por los desplazamientos estacionales de las flotas pesquera nacional e internacional, las que inician la temporada de pesca allí en otoño y avanza hacia el norte, hacia la zona principal de desove, durante el período otoño-invierno.

Asimismo ameritan explicación la ausencia de determinados parásitos en los jureles frente a Perú cuando la química de otolitos sugiere existencia de flujo hacia esta región. La ausencia de parásitos en Perú como *Anisakis simplex* y *H. aduncum* además de la baja prevalencia de *L. trachuri* permite, desde el punto de vista de los parásitos, diferenciar los jureles distribuidos frente a Chile y Perú. Por su parte la química del otolito, si bien permite identificar la existencia de al menos dos grupos subyacentes no obstante la mezcla, sugiere también un flujo desde Chile hacia el Perú. Este resultado es similar al descrito en el proyecto FIP 2007-27 (Serra *et al.*, 2010). Este resultado de la química de otolitos implica que necesariamente se debería haber encontrado en las muestras de Perú la presencia de *A. simplex* y *H. aduncum* además de una mayor prevalencia de *L. trachuri*. Una posible explicación para su ausencia es que los jureles que arribaron a las localidades en Perú lo hayan hecho antes de ser infestados y esto sería posible solo en los primeros años de vida, en la etapa juvenil temprana. En esta etapa una fracción importante de juveniles se mueve principalmente en zonas más oceánicas, con la ayuda de la circulación y conectividad descrita en el marco oceanográfico, lo que minimiza la probabilidad de ser infestado. Por ejemplo, el huésped definitivo de *A. simplex* son mamíferos marinos (lobos), los que habitan la zona más costera y por tanto infectan esta zona con huevos del parásito. Estos huevos son ingeridos por crustáceos planctónicos los que a su vez lo son por el jurel. El ambiente donde se desarrolla esta interacción está dominado por procesos de mesoescala y regionales. Los remolinos de mesoescala (50 a 400 km de diámetro) y especialmente las corrientes de meandro entre los remolinos

constituyen el hábitat en que con frecuencia se encuentran los jureles entre 0 y 2 años. Si bien por un lado los remolinos advectan una gran cantidad de agua lentamente hacia el oeste, los meandros entre remolinos forman intensas corrientes hacia el este.

A escala regional la corriente del Pacífico Sur fluye hacia el este contribuyendo en gran medida al transporte hacia el norte del sistema de corrientes de Humboldt. La acción combinada de la circulación regional (Corriente del Pacífico Sur, el sistema de corrientes de Humboldt, la Corriente Costera y la Corriente Oceánica de Perú) con las corrientes de meandro favorecen el transporte hacia el este y el norte, es decir, hacia la zona costera y oceánica frente a Chile y Perú. Por tanto el jurel dispondría de dos rutas de conectividad posibles favorecidas por el transporte; una por una zona más oceánica, libre de parásitos, y la otra por la zona costera antes de ser infestados.

El flujo hacia el norte del jurel se vería favorecido por su fuerte movilidad espacial en busca de las zonas de mayor concentración de alimento derivada de la estructuración oceanográfica (frentes producidos por filamentos y eddies). Cabe recordar que el jurel está adaptado para esta región nerítico-oceánica y su alta movilidad debido a la búsqueda de alimento es un rasgo distintivo de esta adaptación. Este rasgo promueve su dispersión frente a la falta de barreras físicas en la región. Se especula que esta característica, que se mantiene en la etapa adulta, favorece una estrategia de búsqueda de comida (optimum foraging), debilitando su “fidelidad” con las áreas de origen (nacimiento), lo que es sugerido por los niveles de mezcla evidenciados por la química de otolitos y la homogeneidad genética.

En conclusión, los resultados de este estudio muestran una estructura poblacional compleja para el Pacífico sur, descartándose la hipótesis de una población única;

y sugieren la existencia de dos subpoblaciones o stocks autosustentables parcialmente discretos en el Pacífico Sur Oriental y un proceso de colonización en la región de Nueva Zelandia.

Los stocks del Pacífico Sur Oriental se sobreponen en la región centro sur del Perú según lo evidencian los resultados de Oliva (1999), Serra *et al.*, (2010) y del estudio actual, en una proporción suficiente para resultar en homogeneidad genética. Los resultados actuales y anteriores no muestran un límite preciso sino que una zona de sobreposición. Ello principalmente por los resultados de los parásitos; Oliva (1999) y Serra *et al.*, (2010) describen ausencia de *Anisakis* desde Parácas al norte y el estudio actual desde el norte de Chile al norte de Perú, junto con *H. adunculum* y *R. trachuri*, además del registro del monogéneo *Cemocotyle cf. trachuri* y el cestodo larval *Eutetrarhynchus sp.*, que contribuyen a la diferenciación puesto que se han registrado solo para el norte del Perú. Asimismo, los resultados actuales de la química de otolitos segregan también el centro norte de Perú, reforzando la idea de la zona de sobreposición.

Con respecto a patrones migratorios se identifican evidencias de patrones en el ciclo vital primero por la tendencia de los individuos de mayor tamaño de concentrarse hacia el sur de Chile, hacia el sur de Corral. Cabe decir que para el Perú se describe una distribución diferenciada similar pero opuesta, donde los de mayor tamaño se distribuyen hacia el norte, según lo informado por IMARPE en reuniones del Grupo de Trabajo Científico de la OROP-PS y recientemente por Csirke *et al.*, 2013. Los resultados también ratifican la emigración de jureles desde la región frente a Chile hacia Nueva Zelandia, lo que puede calificarse de un proceso de colonización.

Con respecto a patrones migratorios estacionales la principal evidencia es la migración desde la zona principal de desove en la zona oceánica frente a la zona

centro-sur de Chile (Talcahuano), hacia la zona oceánica frente a Chiloé y su regreso a ella. La caída de la pesquería en la zona costera próximo al período reproductivo, sucede porque el recurso se moviliza hacia las zonas de desove donde se dispersa, ya sea en la zona oceánica frente a la zona centro sur o en la de transición de Coquimbo al norte, lo que sugiere también migraciones estacionales. Los resultados para la zona peruana no permiten determinar la existencia de patrones migratorios en ella pero los antecedentes disponibles si permiten decir sobre la existencia de biomasa permanente allí y de una estructura etaria completa. Cabe decir que Serra (1991) indica que la estacionalidad de la pesquería en esta zona es similar y sincronizada con la de Chile, lo que sugiere un similar patrón migratorio. Además, la ausencia en Perú de *A. simplex*, *H. aduncum* y la baja prevalencia de *L. trachuri* refuta también la existencia de migraciones estacionales entre ambos países.

6. INVESTIGACI3N FUTURA

Frente a la solicitud de identificar aspectos pendientes de investigaci3n para el objetivo de identificar unidades de stock del jurel se propone que ello se restrinja solo a la regi3n del Pacífico Sur Oriental y la toma de muestras al período de reproducci3n; esto último debido a la falta de cobertura de muestras frente al Perú y en la zona de desove oceánica frente a la zona centro sur de Chile. La no inclusi3n de Nueva Zelandia se justifica porque los resultados de ambos proyectos (FIP N° 2007-27 y FIP N° 2010-18) son claros para determinar la situaci3n del jurel en esa regi3n.

Otro aspecto que resulta necesario es la obtenci3n de muestras de juveniles menores de 18 cm LH, siendo óptimo la obtenci3n de jureles de alrededor de 1 a 12 a 14 cm LH); jureles de estos tamaños se suponen más cercanos a sus lugares de origen contribuyendo a precisar sobre la estructura poblacional del jurel. Esta muestra es complementaria a la anterior durante el período de desove y amerita un diseño propio debido a la dificultad práctica de obtener los especímenes.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldana, M. Oyarzún J. & M. George_Nascimento. 1995. Isópodos parásitos como indicadores poblacionales del jurel *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols, 1920) (Pisces: Carangidae) frente a las costas de Chile. *Biología Pesquera (Chile)* 24:23-32
- Almany, G.R., Berumen, M.L., Thorrold, S.R., Planes, S., and Jones, G.P. 2007. Local replenishment of coral reef fish populations in a marine reserve. *Science* 316, 742-744.
- Anonymous 2008. Report of the Chilean Jack Mackerel Workshop. South Pacific Regional Fisheries Management Organization.
- Arancibia, H., A. Hernández, L. Vilugrón, L. Cubillos, S. Núñez, R. Alarcón, L. Miranda & G. Vásquez. 1996. Informe Final. Sección 1: Morfometría y Merística. En Proyecto FIP 1994-19 Unidades de stock en el recurso jurel de la I a la XI Regiones.
- Arancibia, H., Cubillos, L., Alay, F., González, F., Gavilán, J., Hernández, A., Alarcón, R., Núñez, S., Miranda, L., George-Nascimento, M. 1996. Unidades de stock en el recurso jurel de la I a XI Regiones. Informe Final Proyecto FIP 1994-19: 165 pp.
- Arancibia, H., L. Cubillos, A. Grechina, D. Arcos & L. Vilugrón 1995. The fishery of horse mackerel (*Trachurus symmetricus murphyi*) in the South Pacific Ocean, with notes on the fishery off central southern Chile. *Scientia Marina* 59(3/4), 589-596.
- Arcos, D., Cubillos, L., Nuñez, S., 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997-1998 effects off Chile. *Progress in Oceanography* 49, 597-617.

- Ashford J.R., Arkhipkin A., and Jones, C.M. 2007. Otolith chemistry reflects frontal systems in the Antarctic Circumpolar Current.' Mar. Ecol. Prog. Ser. 351: 249-260.
- Ashford J.R., Jones C.M., Hofmann E.E., Everson I, Duhamel G., Moreno C. and Williams R. 2005. Can otolith elemental signatures record the capture site of a marine fish, *Dissostichus eleginoides*, in the Southern Ocean? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 62(12): 2832-2840.
- Ashford J.R., Jones C.M., Hofmann E.E., Everson I, Duhamel G., Moreno C. and Williams R. 2008. Otolith chemistry indicates population structuring by the Antarctic Circumpolar Current. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65: 135-146.
- Ashford, J., Serra, R., Saavedra, J.C. and Letelier, J. 2011. Otolith chemistry indicates large-scale connectivity in Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*), a highly mobile species in the Southern Pacific Ocean. Fisheries Research, 107: 291–299.
- Ashford, J.R., and Jones, C.M. 2007. Oxygen and carbon stable isotopes in otoliths record spatial isolation of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*). Geochim. et Cosmochim. Acta 71: 87-94.
- Ashford, J.R., Arkhipkin, A.I., and Jones, C.M. 2006. Can the chemistry of otolith nuclei determine population structure of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*)? J. Fish Biol. 69: 708-721.
- Ashford, J.R., Dinniman, M., Brooks, C., Andrews, A.H., Hofmann, E., Cailliet, C., Jones, C. and Ramanna, N. 2012a. Does large-scale ocean circulation structure life history connectivity in Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*)? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 69: 1903-1919.

- Ashford, J.R., Fach, B.A., Arkhipkin, A.I., and Jones, C.M. 2012b. Testing early life connectivity supplying a marine fishery around the Falkland Islands. *Fisheries Research* 121-122: 144-152.
- Ashford, J.R., La Mesa, M., Fach, B.A., Jones, C., and Everson, I. 2010. Testing early life connectivity using otolith chemistry and particle-tracking simulations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 67: 1303-1315.
- Avdeyev, V.V. 1992. On the possible use of parasitic isopods as bioindicators of migratory routes of horse mackerels in the Pacific ocean. *Zoologicheskii Zhurnal* 71: 56.-65 (en ruso) Traducido por Scripta technica Inc. 1993.
- Bailey, K., 1989. Description and surface distribution of juvenile Peruvian jack mackerel, *Trachurus murphyi*, Nichols from the Subtropical Convergence Zone of Central South Pacific. *Fishery Bulletin, U.S.* 87,273-278.
- Bakun, A & C S Nelson. 1991. The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions. *Journal of Physical Oceanography*. 21 (12): 1815 - 1834.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean. Ocean process and population dynamics. California Sea Grant College System, National Oceanic and Atmospheric Administration in cooperation with Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste (1996), Roma, Italia, 323 pp.
- Bakun, A. 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Scientia Marina*. 70 (S2): 105-122.
- Baldwin R.E., Miller, T.W., Brodeur R.D. and K.C: Jacobson. 2008 Expanding the foraging history of juvenile pacific salmon: combining stomach-content and macroparasite-community analyses for studying marine diets. *Journal Fish Biology* 72: 1268-1294.

- Begg, G. A. and R. W. Brown. 2000. Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges Bank based on otolith shape analysis. *Trans. Am. Fish. Soc.* 129: 935-945.
- Begg, G. A. and J. R. Waldman. 1999. An holistic approach to fish stock identification. *Fish. Res.* 43: 35-44.
- Bergenius, M. A. J., B. D. Mapstone, G. A. Begg and C. D. Murchie. 2005. The use of otolith chemistry to determine stock structure of three epinepheline serranid coral reef fishes on the Great Barrier Reef, Australia. *Fisheries Res.* 72: 253-270.
- Berland, B. 1961. Nematodes from some Norwegian marine fishes. *Sarsia* 2, 1–50
- Bird, J. L., D. T. Eppler and D. M. Checkley. 1986. Comparisons of herring otoliths using Fourier series shape analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1228-1234.
- Bolles, K. and G. A. Begg. 2000. Distinction between silver hake (*Merluccius bilinearis*) stocks in U. S. waters of the Northwest Atlantic based on whole otolith morphometrics. *Fish. Bull.* 98: 451-462.
- Brandhorst, W. 1971. Condiciones oceanográficas estivales frente a la costa de Chile. *Revista de Biología Marina.* 14 (3): 45-84.
- Brink, K H, D Halpern, A Huyer & R L Smith. 1983. The physical environment of Peruvian upwelling system. *Progress in Oceanography.* 12: 285-305. doi:10.1016/0079-6611(83)90011-3.
- Bush AO, Lafferty KD, Lotz JM, Shostak AW (1997) Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis *et al.* revisited. *J. Parasitol.* 83: 575–583.
- Campana, S. E., and J. M. Casselman. 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 1062-1083.

- Campana, S.E., Fowler, A.J., and Jones, C.M. 1994. Otolith elemental fingerprinting for stock identification of Atlantic cod (*Gadus morhua*) using laser ablation ICPMS. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51(9): 1942-1950.
- Canales-Aguirre CB, Ferrada S, Galleguillos R. 2010b. Isolation and characterization of microsatellite loci for the jack mackerel (*Trachurus murphyi* Nichols, 1920). *Conservation Genetics.* 11(3): 1235-1237.
- Canales-Aguirre CB, Ferrada S, Hernández CE, Galleguillos R. 2010a. Population structure and demographic history of *Genypterus blacodes* using microsatellite loci. *FisheriesResearch* 106: 102-106.
- Cárdenas, L., Silva, A., Magoulas, A., Cabezas, J., Poulin, E. and 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.
- Cardinale, M., Doering-Arjes, P., Kastowsky, M., Mosegaard, H., 2004. Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61, 158–167.
- Carleton, A M. 2003. Atmospheric teleconnections involving the Southern Ocean. *Journal of Geophysical Research.* 108 (C4): 8080, doi:10.1029/2000JC000379.
- Carvalho, G.R., Hauser, L. 1994. Molecular genetics and the stock concept in fisheries. *Reviews in fish Biology and Fisheries.* 4, 326-350.
- Cerna, F. and V. Bocic, 2011. Age Validation and growth function of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. Report Fishing Research Division, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). *In: Chilean Jack Mackerel Otolith Interpretation and Ageing Workshop.* South Pacific

- Regional Fisheries Management Organization. 3 y 4 julio 2011, Lima, Perú.16p.
- Conover, D.O., Munch S. 2002. Sustaining fisheries yields over evolutionary times scales. *Science*. 297, 94-96
- Claude, J. 2008. *Morphometrics with R*. Springer, New York, 316 p.
- Cornejo, M.H. 1991. Causas posibles de las agregaciones de jurel (*Trachurus murphyi*, Nichols): disponibilidad de alimento. Tesis de Magíster en Ciencias con Mención en Oceanografía. Universidad de Concepción, Concepción, 108 pp.
- Correa-Ramírez, M., Hormazábal, S., Yuras, G., 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29°-39°S). *Geophysical Research Letters* 34, doi:10.1029/2007GL029541.
- Corten, A. 2008. The fishery for jack mackerel in the Eastern Central Pacific by trawlers from the European Union in 2007. Paper 18. In: *Chilean Jack Mackerel WorkShop*. Organized by SPRFMO and the Chilean UnderSecretary of Fishing. 30 June – 4 July 2008. FAO Regional Office for Latin America. Santiago-Chile.
- Costa G., Melo-Moreira, E., Pinheiro de Carvalho 2012 Helminth parasites of the oceanic horse mackerel *Trachurus picturatus* Bowdich 1825 (Pisces: Carangidae) from Madeira Island, Atlantic Ocean, Portugal *Journal of Helminthology* 86: 368-372
- Cruz P., Mejia-Ruiz C.H., Perez-Enriquez R., Ibarra A.M. 2002. Isolation and characterization of microsatellites in Pacific white shrimp *Penaeus* (*Litopenaeus*) *vannamei*. *Molecular Ecology Notes* 2 (3): 239-241.

- Csirke, J., R. Guevara-Carrasco y M. Espina Eds. (2013). Ecología, pesquería y conservación del jurel (*Trachurus murphyi*) en el Perú. Rev. Peru. Biol. Número Especial 20(1).
- Cubillos, L.A., Paramo, J., Ruiz, P., Nunez, S., and Sepulveda, A. 2008. The spatial structure of the oceanic spawning of jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off central Chile (1998-2001). Fisheries Research 90: 261-270.
- Cushing, D.H. 1981. Fisheries Biology 2nd.ed. University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin.
- Chad, W. T. 2009. *Lernanthropinus* Ho & Do, 1985. In: Walter, T.C., Boxshall, G. (Eds) (2009). World Copepoda Database. Accessed through the World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=347401> on 2009-04-01.
- Chaigneau, A. & Pizarro, O. 2005. Surface circulation and fronts of the South Pacific Ocean, east of 120°W. Geophysical Research Letters, 32(8): LO8605.
- Chavez R, Valdivia, I, & Oliva, M. E. 2007 Local variability in metazoan parasites of the pelagic fish species, *Engraulis ringens*: implications for fish stock assesment using parasites as biological tags. Journal of Helminthology 81: 113-116.
- Chen, Z., Canil, D., and Longerich, H.P. 2000. Automated in situ trace element analysis of silicate materials by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. Fresenius' J. Anal. Chem. 368: 73-78.
- De Woody J. & Avise J. 2000. Microsatellite variation in marine freshwater and anadromous fishes compared with other animals. Journal of fish biology. 56: 461-473.

- Elizarov, A.A., Grechina, A.S., Kotenev, B.N., Kuzetsov, A.N., 1993. Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the South Pacific. *Journal of Ichthyology* 33(3), 86-104.
- Escribano, R & W Schneider. 2007. The structure and functioning of the coastal upwelling system off central/southern Chile. *Progress in Oceanography*. 75 (3): 343-347.
- Evseenko, S. A. 1987. Reproducción de jurel del Perú *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en el Pacífico Sur. *Voprosy Ichthyologii*, 27(2):264-273.
- Excoffier L, Laval G, Schneider S (2005) Arlequin ver. 3.0: An integrated software package for population genetics data analysis. *Evolutionary Bioinformatics Online*, 1, 47-50.
- Ferrada S, Hernández K, Montoya R, Galleguillos R (2002) Estudio poblacional del recurso anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns 1842) (Clupeiformes, Engraulidae), mediante análisis de ADN. *Gayana (Concepción)*, 66, 243-248.
- Fuenzalida, R., Schneider, W., Blanco, J.L., Garcés-Vargas, J., and Bravo, L. 2007. Sistema de Corrientes Chile-Peru y masas de agua entre Caldera y Isla de Pascua. *Cienc. Tecnol. Mar*, 30(2): 5-16.
- Fuenzalida, R., Schneider, W., Garcés-Vargas, J., Bravo, L., 2008. Satellite altimetry data reveal jet-like dynamics of the Humboldt Current. *Journal of Geophysical Research*. 113, doi:10.1029/2007JC004684.
- Gaemers, P. M. 1984. Taxonomic position of the Cichlidae (Pisces, Perciformes) as demonstrated by the morphology of their otoliths. *Netherlands Journal of Zoology* 34: 91-98.

- Gaevskaya, A.V., Kovaleva, A.A., 1980. The reasons for the similarities and differences between the parasite faunas of two subspecies of horse mackerel of the Atlantic Ocean. *Biol. Nauk. Zool.* (6), 52–56 (in Russian).
- Gagliano, M., McCormick, M.I. 2004. Feeding history influences otolith shape in tropical fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 278, 291–296.
- Galleguillos R, Canales-Aguirre CB, Ferrada S. 2012. Genetic variability in jack mackerel (*Trachurus murphyi*): new SSRs loci and application. *Gayana*. 76(1):58-62.
- Galleguillos R, Troncoso L, Oyarzún C (1997) Diferenciación poblacional en la sardina chilena *Strangomera bentincki* (Pisces: Clupeidae) análisis genético de variabilidad proteínica. *Revista Chilena de Historia Natural*, 70, 351-361.
- Galleguillos, R. y A. Torres. 1988. Identificación de unidades poblacionales pelágicas. Tercera etapa. Informe Final. SUBPESCA. 67 p.
- George -Nascimento, M. 1996. Populations and assemblages of metazoan parasites in the hake *Merluccius gayi* (Guichenot) (Gadiformes: Merluccidae) from the southeastern Pacific Ocean: Stock implications. *Journal of Fish Biology* 48:557-568.
- George-Nascimento, M. 2000. Geographical variations in the jack mackerel *Trachurus symmetricus murphyi* populations in the southeastern Pacific Ocean as evidenced from the associated parasite communities. *Journal of Parasitology* 86:929-932.
- George-Nascimento, M. 2000. Geographical variations in the jack Mackerel *Trachurus symmetricus murphy* populations in the southeastern Pacific ocean as evidenced from the associated parasite communities. *Journal of Parasitology*, 86:929-932.

- George-Nascimento, M. y H. Arancibia. 1992. Stocks ecológicos del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* Nichols) en tres zonas de pesca frente a Chile, detectados mediante comparación de su fauna parasitaria y morfometría. Rev. Chilena Hist. Nat. 65: 453-470.
- González, L. & Carvajal, J. 1994. Estudio parasitológico de *Merluccius australis* (Hutton, 1872) del mar interior de Aysén. Investigaciones. Pesqueras (Chile) 38:75-85.
- González F, Alay F, Cabello J, Chávez R (1996) Definición de unidad de stock desde el punto de vista genético en el recurso jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* Nichols, 1920 (Carangidae, Perciforme). Gayana (Zool) 4:183–196.
- Gorbunova, N.N., Evseenko S.A., Garetovskiy, S.V. 1985. Distribution of Ichthyoplankton in the Frontal Zones of the Peruvian Waters. J. Ichth. 25(6): 67-79.
- Grechina, A. y Arcos, D. 1995. Distribución y migración del jurel, *Trachurus symmetricus* Murphy (Nichols), en el Pacífico suroriental. Gayana Oceanol. 3(1): 3-27.
- Grechina, A.S., Nunez, S.P., and Arcos, D.F. 1998. El desove del recurso jurel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols), en el Oceano Pacifico Sur. In: Biología y ecología del jurel en aguas chilenas. Arcos, D. (ed). Instituto de Investigacion Pesquera, Talcahuano, Chile.
- Grechina A.S. 1998. Historia de investigaciones y aspectos básicos de la ecología del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols)) en alta mar del Pacifico Sur. In: Biología y Ecología del Jurel en Aguas Chilenas. D.Arcos (ed). Inst. Invest. Pesq. Talcahuano, Chile, 11-34.

- Harden Jones, F.R. 1968. Fish migration. Edward Arnold, London. 325 pp.
- Hauser, L. y R.D. Ward. 1998. Population identification in pelagic fish: the limits of molecular markers: p. 191-224. In: Advances in Molecular Ecology. G.R. Carvalho (Ed.). 1998. IOS Press.
- Hecht, T. and S. Appelbaum. 1982. Morphology and taxonomic significance of the otoliths of some bathypelagic Anguilloidei and saccopharyngoidei from the Sargasso Sea. Helgoländer Meeresunters., 35: 301-308.
- Hernández, A., A. Sepúlveda & L Miranda. 1998. Morfometría y merística del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) a lo largo de Chile. En Arcos, D (ed). Biología y ecología del jurel en aguas chilenas. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, 47-63 pp.
- Herrington W.C, Bearnse, H.M. & Firth E.E. 1939. Observations on the life history, occurrence and distribution of the redfish parasite *Sphyrion lumpi*. United States Bureau of Fisheries, Special Report 5:1-18.
- Hewitt, G.C. y Hine, P. M 1972. Checklist of parasites of New Zealand fishes and of their Hosts New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 6:1-2, 69-114.
- Hormazábal, S, G Shaffer & O Leth. 2004. The coastal transition zone off Chile. Journal of Geophysical Research. 109 (C01021): doi:10.1029/2003JC001956.
- Hormazabal, S, G Shaffer & O Pizarro. 2002. Intraseasonal oscillations along the west coast of south America. Investigaciones Marinas. 30 (1): 95-96.
- Hormazábal, S., Shaffer, G., Letelier, J., Ulloa, O., 2001. Local and remote forcing of the sea temperature in the coastal upwelling system off Chile. Journal of Geophysical Research 106, 16657-16671.

- Hüssy, K. 2008. Otolith shape in juvenile cod (*Gadus morhua*): Ontogenetic and environmental effects. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 364:35-41.
- Huyer, A, R Smith & T Paluszkiwicz. 1987. Coastal upwelling off Perú during normal and El Niño times, 1981-1984. *Journal of Geophysical Research*. 92 (C13): 14297-14307.
- Ihssen, P.E., Booke, H.E., Casselman, J.M., McGlade, J.M., Payne, N.R., Utter, F.M., 1981. Stock identification: materials and methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1838-1855.
- Ihering H. V. 1891. On the ancient relations between NewZeland and South America. *Transactions and Proceedings of the New Zealand Institute*, 24:431-445
- Jones, C.M., and Chen, Z. 2003. New techniques for sampling larval and juvenile fish otoliths for trace-element analysis with laser-ablation sector-field inductively-coupled plasma mass spectrometry (SF-ICP-MS). In *Proceedings of the 26th Annual Larval Fish Conference*. Institute of Marine Research, Bergen, Norway. pp. 431-443.
- Jowett T. 1986. Preparation of nucleic acids. In: *Drosophila: A Practical Approach*, p. 275-286. Roberts, D.B., Ed., IRL Press, Oxford.
- Kasapidis P. & Magoulas A. 2008. Development and application of microsatellite markers to address the population structure of the horse mackerel *Trachurus trachurus*. *Fisheries Research* 89: 132–135.
- Khattree, R., and Naik, D.N. 1999. *Applied multivariate statistics with SAS® software*, second edition. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, and John Wiley & Sons, New York.

- Khattree, R., and Naik, D.N. 2000. Multivariate data reduction and discrimination with SAS® software. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, and John Wiley & Sons, New York.
- Kingsford, M.J. 1993. Biotic and abiotic structure in the pelagic environment: importance to small fishes. *Bull. Mar. Sci.* 53(2), 393-415.
- Kruskal, J.B., Wish, M., 1978. Multidimensional scaling. Sage Publications, Beverley Hills, California.
- Kuehl, R.O. 1994. Statistical principles of research design and analysis. Duxbury Press, Belmont, California.
- Kuhl, F.P. y C.R. Giardina. 1982. Elliptic Fourier features of closed contour. *Comp. Graph. Image Process.* 18: 236-258.
- Leal, E., y E. Díaz. 2012. Estimación de la Ojiva de Madurez sexual en jurel. Informe Final. IFOP-SUBPESCA. 63 p. + Anexo.
- Letelier, J, O Pizarro & S Nuñez. 2009. Seasonal variability of coastal upwelling and the upwelling front off central Chile. *Journal of Geophysical Research.* doi:10.1029/2008JC005171.
- Letelier, J., S. Hormazábal, O. Pizarro, M. Correa, S. Núñez, F. Gómez, G. Yuras, W. Rojas & C. Casanova. 2009. Oceanografía en el Pacífico Sur. In: Pre-Informe Final Project FIP 2007-27 "Estudio de migración del jurel en Chile (Fase I), 2007". R. Serra (Ed.). Instituto de Fomento Pesquero.
- Loeb, V.J., Kellermann, A.K., Koubbi, P., North, A.W., and White, M.G. 1993. Antarctic larval fish assemblages: a review. *Bull. Mar. Sci.* 53(2): 416-449.
- Lleonart, J., J. Salat and G. Torres. 2000. Removing Allometric effects of body size in morphological analysis. *J. theor. Biol.* 205,85-93.

- Mackenzie K. & Abaunza P. (2005) Parasites as biological tags in (Cadrin, Friedland & Waldman eds) Stock identification methods: applications in fisheries science. 211-226
- MacKenzie, K.; Campbell, N.; Mattiucci, S.; *et al.* 2008 Parasites as biological tags for identification of Atlantic horse mackerel *Trachurus trachurus* Fish. Res. 89 136-145
- Mattiucci S & G. Nascetti 2008. Advances and Trends in the Molecular Systematics of Anisakid Nematodes, with Implications for their Evolutionary Ecology and Host-Parasite Co-evolutionary Processes. *Adv Parasitology* 66:46:148.
- Mattiucci, S., Farina, V., Campbell N., Mackenzie K., Ramos, P., Pinto, A.L., Abaunza, P. and Nascetti, G. 2008. *Anisakis* spp. larvae (Nematoda: Anisakidae) from Atlantic horse mackerel: Their genetic identification and use as biological tags for host stock characterization. *Fish. Res.* 89: 146–151.
- Meltzer, E. 2005. Global Overview of Straddling and Highly Migratory Fish Stocks. Conference on the Governance of High Seas Fisheries and the United Nations Agreement. St. John's, Newfoundland and Labrador. May 1-5, 2005.cias.
- Miranda, L., Hernández, A., Sepúlveda, A. and Landaeta, M., 1998. Alimentación de jurel y análisis de la selectividad en la zona centro-sur de Chile. In *Biología y ecología del jurel en aguas chilenas*. Ed. D. Arcos. pp. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano. 216 pp.
- Montecinos, A & F Gómez. 2010. ENSO modulation of the upwelling season off southern-central Chile, . *Geophysical Research Letters*. 37 (L02708): doi:10.1029/2009GL041739.

- Montecinos, A, S Purca & O Pizarro. 2003. Interannual-to-interdecadal sea surface temperature variability along the western coast of South America. *Geophysical Research Letters*. 30 (11): 1570, doi:10.1029/2003GL017345.
- Neilson, J. D., G. H. Geen and B. Chan. 1985. Variability in dimensions of salmonid otolith nuclei: implications for stock identification and microstructure interpretation. *Fishery Bulletin* 83: 81-89.
- Neshyba, S J, C N K Mooers, R L Smith & R T Barber. 1989. *Poleward Flows Along Eastern Ocean Boundaries (Coastal and Estuarine Studies)* Springer-Verlag, New York, pp.
- Nixon, S & A Thomas. 2001. On the size of the Peru upwelling ecosystem. *Deep Sea Research I*. 48: 2521-2528. doi:10.1016/S0967-0637(01)00023-1.
- Noble E. & Noble G. 1982. *Parasitology "The Biology of Animal Parasites"*. Lea & Febiger. 5ta Edición. Filadelfia. 522 pp.
- Núñez, S., Letelier, J., Donoso, D., Sepúlveda, A. and Arcos, D. 2004. Relating spatial distribution of chilean jack mackerel eggs and environmental factors in the oceanic water off Chile. *Gayana*, 68(2) :444-449. doi: 10.4067/S0717-65382004000300023.
- Núñez, S., S. Vásquez, P. Ruiz & A. Sepúlveda. 2008. Distribution of early developmental stages of jack mackerel in the Southeastern Pacific Ocean. Paper 2. In: *Chilean Jack Mackerel WorkShop*. Organized by SPRFMO and the Chilean UnderSecretary of Fishing. 30 June – 4 July 2008. FAO Regional Office for Latin America. Santiago-Chile.
- Oliva M & Ballón I. 2002 Parasites of the Chilean hake *Merluccius gayi* as a tool for stocks discrimination. *Fisheries Research* 56: 313-320.

- Oliva M. E. & Gonzalez M.T. 2004 Metazoan parasites of *Sebastes capensis* from two localities in northern Chile as tools for stock identification. *Journal of Fish Biology* 64 (1), 170-175.
- Oliva M. E. 1999 Metazoan Parasites of the jack mackerel *Trachurus murphyi* Nichols, 1920 (Teleostei, Carangidae) in a latitudinal gradient from South America (Chile and Perú). *Parasites* 6 (3): 223-230.
- Oliva M., Gonzalez M.T & E. Acuña. 2004. Metazoan Parasite Fauna as Biological Tag for the Habitat of the Flounder *Hippoglossina macrops* from Northern Chile, in a Depth Gradient. *Journal of Parasitology* 90:1374-1377.
- Oliva M.E & Sánchez, M. 2005 Metazoan parasites and commensals of the northern Chilean scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) as tools for stock identification. *Fisheries Research* 71: 71-77.
- Oliva M.E. 2001 Metazoan parasites of *Macrurus magellanicus* from southern Chile as Biological tags. *Journal Fish Biology*. 58: 1617-1622.
- Oliva M.E., González MT y R Castro. 2007 Biodiversity of metazoan parasites in teleost from the Humboldt Current System. 7th International Symposium on Fish parasites Viterbo-Italia. 24-28 septiembre 2007.
- Oliva M.E. 1994 Parasites of the Chilean jack mackerel *Trachurus symmetricus murphyi* *Memorias Instituto Oswaldo Cruz* 89: 363-364.
- Orsi, A.H., Whitworth, T., and Nowlin, W.D. 1995. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-Sea Res. I*, 42(5): 641-673.
- Oyarzún, C., Chong, J. and Malagueño, M. 1998. Fenología reproductiva en el jurel, *Trachurus symmetricus* (Ayres, 1855) (Perciformes, Carangidae) en el área de Talcahuano-Chile: 1982–1984. In *Biología y ecología del*

- jurel en aguas chilenas. pp. 67–75. Ed. D. Arcos. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano. 216 pp.
- Palma, W., Escribano, R., and Rosales, S.A. 2006. Modelling study of seasonal and inter-annual variability of circulation in the coastal upwelling site of the El Loa River off northern Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67: 97-107.
- Palma, W., Pizarro, J., and Flores, C. 1998. Variación estacional de la abundancia de larvas de jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols)) en la zona norte de Chile. In: *Biología y ecología del jurel en aguas chilenas*. Arcos, D. (ed). Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile.
- Parada, C., Núñez, S., Correa-Ramírez, M., Vásquez, S., Sepúlveda, A., Hormázabal, S., Combes, V. and Di Lorenzo, E. 2010. Advances in biophysical modeling of Chilean jack mackerel in the South Pacific. *ICES CM 2010/L:20*. 32 pp.
- Parin, N.V. 1984. Oceanic ichthyogeography: an attempt to review the distribution and origin of pelagic and bottom fishes outside continental shelves and neritic zones. *Arch. Fishwiss.* 35:5-41.
- Parin, N. V. 1987. Soviet Oceanic Ichthyology: Achievements and Prospects. *J. Ichth.* 27(6): 39-46.
- Parisi-Baradad, V., A. Lombarte, E. García-Ladona, J. Cabestany, J. Piera and Ò. Chic. 2005. Otolith shape contour analysis using affine transformation invariant wavelet transforms and curvature scale space representation. *Marine Freshwater Research* 56: 795-804.
- Parrish, R.H. 1989. The South Pacific oceanic horse mackerel [*Trachurus picturatus murphyi*] fishery. En. Pauly, D, P Muck, J Mende & I Tsukayama (eds). *The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and*

interactions. ICLARM Conference Proceedings 18: 321-331. Instituto del Mar del Perú (IMARPE) Callao. Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn. Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.

Peakall R, Smouse PE (2006) GenAIEx 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*, 6, 288-295.

Pizarro, O & A Montecinos. 2004. Interdecadal variability of the thermocline along the west coast of South America. *Geophysical Research Letters*. 31 (L20307): doi:10.1029/2004GL020998.

Pond, S & G L Pickard. 1983. *Introductory dynamical oceanography*. Butterworth Heinemann, 329 pp.

Pothin, K., C. Gonzalez-Salas, P. Chabanet and R. Lecomte-Finiger. 2006. Distinction between *Mulloidichthys flavolineatus* juveniles from Reunion Island and Mauritius Island (south-west Indian Ocean) based on otolith morphometrics. *Journal of Fish Biology* 69: 38-53.

Poulin, E.L. Cardenas, C.E. Hernández, I. Kornfield & F.P. Ojeda. 2004. Resolution of the taxonomic status of Chilean and Californian jack mackerels using mitochondrial DNA sequence. *Journal of Fish Biology*, 65: 1160-1164.

Pressa. P; M. Pérez & A. Díaz. 2002. Polymorphic microsatellite markers for blue mussels (*Mytilus* spp.) *Conservation Genetics*. 3: 441- 443.

Pulliam, H.R. 1988. Sources, sinks and population dynamics. *Amer. Naturalist* 132, 652-661.

- Quiñones, R., Serra, R., Núñez, S., Arancibia, H., Córdova, J. and Bustos, F. 1997. Relación espacial entre el jurel y sus presas en la zona centro-sur de Chile. In Gestión de sistemas oceanográficos del Pacífico Oriental. pp. 187–202. Ed. E. Tarifeño. Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO COI/INF – 1046. 432 pp.
- Sandroval, N.S., and Hott, D.K. Contribucion al conocimiento de las masas de agua en el Pacifico Sudoriental. Expedicion Krill, Crucero 3-4 julio-agosto 1974. 1975. Rev. Com. Perm. Pacifico Sur 3:63-75.
- Schiffman, S.S., Reynolds, M.L., Young, F.W., 1981. Introduction to multidimensional scaling: Theory, methods, and applications. Academic Press, New York.
- Sepúlveda A., L. Cubillos, A. Grechina, H. Peña, L. Vilugron, A. Hernandez, L. Miranda, P. Sobarzo, R. Serra, M. Braun, G. Bohm, V. Valenzuela, R. Galleguillos, R. Montoya y R. Quiñones. 1996. Migracion de jurel desde y hacia la ZEE de Chile central. Informes Tecnicos. FIP/IT N°96-15, 273.
- Sepúlveda A., P. Ruiz, S. Núñez, R. Alarcón, J. Chong, R. Bahamonde, J. Córdova, H. Rebolledo, M. Aguayo, L. Bustos. 2007. "Condición biológica del jurel en alta mar, año 2006". PreInforme Final FIP 2006-05, Fondo de Investigación Pesquera, Instituto de Investigación Pesquera – Instituto de Fomento Pesquero, 267 pp.
- Sepúlveda, A., L. Cubillos & D. Arcos. 2003. Pesquerías pelágicas chilenas: una síntesis sobre la incertidumbre biológica. Pages 91-107. In: Laz actividad pesquera y de acuicultura en Chile. E. Yáñez (Ed.). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

- Serra, R. 1983. Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. In: G.D. Sharp and J. Csirke (Eds.) Proceedings of the Expert Consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18 - 29 April 1983. FAO Fish. Rep. 291 (2): 255 - 284.
- Serra, R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. Investigaciones Pesqueras Chile, 36: 67-83.
- Serra, R., R. Galleguillos, C. Canales, S. Ferrada, M. Oliva, M. González, A. Sepúlveda, C. Oyarzún, F. Cerna, J.C. Quiroz, L. Muñoz, V. Bocic, A. Villalon, J. Ashford, J.C. Saavedra, L. Cubillos, J. Letelier, S. Hormazábal, S. Nuñez, O. Pizarro, C. González, C. Gatica. 2010. Estudio Migración de jurel en Chile (Fase I), 2007. Informe Final FIP N° 2007-27. Fondo de Investigación Pesquera- IFOP, Valparaíso, Chile.339p+Anexos. (www.fip.cl)
- Sievers, H, C Calvete & N Silva. 2002. Distribución de características físicas, masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre el golfo de Penas y el estrecho de Magallanes (crucero cimar-fiordo 2), Chile. Ciencia y Tecnología Marina. 25 (2): 17-43.
- Silva, N, C Calvete & H Sievers. 1997. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y Laguna San Rafael, Chile (Crucero CIMAR 1 FIRDOS). Ciencia y Tecnología Marina. 21: 17-48.
- Silva, N., and Neshyba, S. 1979. Masas de agua y circulación geostrofica frente a la costa de Chile Austral. Ser. Cient. Inst. Antart. Chileno 25/26: 5-32.

- Smith, K. M. 1992. Regional differences in otolith morphology of the deep slope red snapper *Etelis carbunculus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 795-804.
- Sobarzo, M & L Djurfeldt. 2004. Coastal upwelling process on a continental shelf limited by submarine canyons, Concepcion, central Chile. *Journal of Geophysical Research*. 109 (C12012): doi:10.1029/2004JC002350.
- Stevens, D P, P D Killworth, C A Hindmarsh, C L Parkinson & D I M MacDonald. 1992. The Distribution of Kinetic Energy in the Southern Ocean: A Comparison between Observations and an Eddy Resolving General Circulation Model *Philosophical Transactions of The Royal Society*. 338 (1285): 251-257.
- Stramma, L, R Peterson & M Tomczak. 1995. The south Pacific current. *Journal of Physical Oceanography*. 25: 77-91.
- Stransky C., A. Murta, J. Schlickeisen and C. Zimmermann. 2008. Otolith shape analysis as a tool for stock separation of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Northeast Atlantic and Mediterranean. *Fisheries Research* 89, 159–166.
- Strub, P, J Mesías, V Montecino, J Rutlland & S Salinas. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. Chapter 10. En: A. R. Robinson, & K. H. Brink (Eds.). *The sea: The global coastal ocean, regional studies and synthesis*. John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 273-313.
- Tautz D. 1989. Hypervariability of simple sequences as a general source for polymorphic DNA markers. *Nucleic Acids Res.* 17: 6463-6471.
- Taylor P.R: 1999. Stock structure & population biology of the jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. Final Research Report for Ministry of Fisheries Research Project JMA9802 84 pp.

- Taylor, P.R., 2002. Stock structure and population biology of the Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. New Zealand Fisheries Assessment Report 2002/21. Ministry of Fisheries, Wellington, New Zealand.
- Taylor, B.L. y A.E. Dizon (1999). First policy then science: Why a management unit based solely on genetic criteria cannot work. *Molecular Ecology* 8: 11-16.
- Tomczak, M & S Godfrey. 2001. The Pacific Ocean. Chapt. 8. En. *Regional Oceanography: An introduction*. CSIRO, pp. 106-136.
- Torres, G. J., A. M. Lombarte and B. Morales-Nin. 2000. Sagittal otolith size and shape variability to identify geographical instraespecific differences in tree species of the genus *Merluccius*. *Journal Marine Biology*. 80, 333-342.
- Turan, C. 2000. Otolith shape and meristic analysis of herring (*Clupea harengus*) in the North-East Atlantic. *Arch. Fish. Mar. Res.* 48: 213-225.
- Turan, C. 2006. The use of otolith shape and chemistry to determine stock structure of Mediterranean horse mackerel *Trachurus mediterraneus* (Steindachner). *Journal of Fish Biology*. 69, 165–180.
- Turan, C., M. Oral, B. Öztürk and E. Düzgüneş. 2006. Morphometrics and meristic variation between stocks of bluefish (*Pomatomus saltatrix*) in the Black, Marmara, Aegean and northeastern Mediterranean Seas. *Fisheries Research* 79: 139-147.
- Valdivia, I., Chavez R. & Oliva, M.E. 2007 Metazoan Parasites of *Engraulis ringens* as tools for stock discrimination along the chilean coast. *Journal Fish Biology* 70: 1504-1511.

- Van Der Molen, S., N. Martínez y R. Gonzáles-José. 2007. Introducción a la morfometría. Curso Teórico-Práctico. Centro Nacional Patagónico (CENPAT), CONICET. 82 p.
- Vásquez, S., Correa-Ramírez, M., Parada, C. and Sepúlveda, A. (accepted) Influence of oceanographic processes on jack mackerel (*Trachurus murphyi*) larval distribution and population structure off Chile.
- Vinogradov M.E., Shushkina, E. A. and S.A. Evseyenko 1990. Plankton Biomass and Potential Stocks of the Peruvian Jack Mackerel in the Southeastern Pacific Subantarctic Zone originally published in Voprosy ikhtiologii 30(6): 1036-1040. transl Scripta Technica, inc.
- Waldman, J.R. (1999). The importance of comparative studies in stock analysis. Fish. Res. 43:237-246.
- Waldman, J.R. (2005). Definition of stocks: an evolving concept. In: Cadrin, S.X., K.D. Friedland y J.R. Waldman Eds. (2005). Stock identification methods. Application in Fishery Science. Elsevier Inc. Pages 7-16.
- Ward R, Woodwark M, Skibinski DOF (1994) A comparison of genetic diversity levels in marine, freshwater and anadromous fish. Journal of Fish Biology, 44, 213-232.
- Ward, R. D. 2000. Genetics in fisheries management. Hydrobiologia 420: 191-201.
- White, TA, HA Fotherby, PA Stephens y AR Hoelzel. (2011). Genetic panmixia and demographic dependence across de North Atlantic in the deep sea fish blue hake (*Antimora rostrata*) Heredity 106: 690-699.
- Wirgin I, Waldman JR (2005) Use of nuclear of DNA in stock identification: single-copy and repetitive sequence markers. In: Stock Identification Methods:



Applications in Fishery Science (Eds. Cadrin SX, Friedland KD, Waldman JR), pp. 331-370. Elsevier Academic Press, Oxford.

Zar H. 1996. Biostatistical analysis. Prentice inc.

Zhang, M., X. Zou, Y. Zhou. 2008. Report of data collection on Jack mackerel in South-East Pacific. Paper 15. In: Chilean Jack Mackerel WorkShop. Organized by SPRFMO and the Chilean UnderSecretary of Fishing. 30 June – 4 July 2008. FAO Regional Office for Latin America. Santiago-Chile.

A N E X O S

A N E X O 1

Análisis permutacional MANOVA
a resultados de parásitos

PERMANOVA
 Permutational MANOVA

Resemblance worksheet

Name: Resem1
 Data type: Similarity
 Selection: All
 Transform: Square root
 Resemblance: S17 Bray Curtis similarity (+d)

Sums of squares type: Type III (partial)
 Fixed effects sum to zero for mixed terms
 Permutation method: Unrestricted permutation of raw data
 Number of permutations: 9999

Factors

Name	Abbrev.	Type	Levels
LOC LO	Fixed	14	

PAIR-WISE TESTS

Term 'LO'

Groups	t	P(perm)	Unique perms
CHC12, CHO11		23.059	0.0001 9934
CHC12, COQ11		5.6199	0.0001 9962
CHC12, COQ12		6.0081	0.0001 9954
CHC12, CP11	4.2078	0.0001	9923
CHC12, NCH11		9.2687	0.0001 9953
CHC12, NCH12		13.369	0.0001 9955
CHC12, NP11	2.873	0.0001	1884
CHC12, NP12	11.682	0.0001	9947
CHC12, NZ11	13.244	0.0001	9951
CHC12, NZ12	15.823	0.0001	9950
CHC12, SP11	8.3109	0.0001	9957
CHC12, TCO11		10.61	0.0001 9958
CHC12, TCO12		19.537	0.0001 9937
CHO11, COQ11		18.619	0.0001 9935
CHO11, COQ12		19.069	0.0001 9948
CHO11, CP11	6.8501	0.0001	9941
CHO11, NCH11		15.166	0.0001 9955
CHO11, NCH12		22.55	0.0001 9933

CHO11, NP11	4.5669	0.0002	3369	
CHO11, NP12	18.398	0.0001	9951	
CHO11, NZ11	25.67	0.0001	9948	
CHO11, NZ12	27.073	0.0001	9938	
CHO11, SP11	13.57	0.0001	9942	
CHO11, TCO11		13.843	0.0001	9950
CHO11, TCO12		6.2311	0.0001	9963
COQ11, COQ12		0.60619	0.7365	9956
COQ11, CP11	2.361	0.0029	7732	
COQ11, NCH11		4.3783	0.0001	9947
COQ11, NCH12		7.3189	0.0001	9948
COQ11, NP11	1.6408	0.0608	470	
COQ11, NP12	6.6125	0.0001	9965	
COQ11, NZ11	12.039	0.0001	9954	
COQ11, NZ12	14.93	0.0001	9940	
COQ11, SP11	4.683	0.0001	9957	
COQ11, TCO11		7.4683	0.0001	9965
COQ11, TCO12		14.557	0.0001	9956
COQ12, CP11	2.6288	0.0024	6550	
COQ12, NCH11		4.7063	0.0001	9952
COQ12, NCH12		8.0103	0.0001	9962
COQ12, NP11	1.8646	0.0491	359	
COQ12, NP12	7.2792	0.0001	9953	
COQ12, NZ11	12.574	0.0001	9948	
COQ12, NZ12	15.702	0.0001	9936	
COQ12, SP11	5.1661	0.0001	9959	
COQ12, TCO11		7.7035	0.0001	9964
COQ12, TCO12		14.899	0.0001	9958
CP11, NCH11	1.4773	0.1001	6953	
CP11, NCH12	0.67999	0.7529	585	
CP11, NP11	0.59761	1	2	
CP11, NP12	0.88964	0.3549	1249	
CP11, NZ11	5.4262	0.0001	9940	
CP11, NZ12	6.9414	0.0001	9952	
CP11, SP11	0.16166	0.873	48	
CP11, TCO11	5.0125	0.0001	9952	
CP11, TCO12	5.3536	0.0001	9953	
NCH11, NCH12		4.399	0.0001	9966
NCH11, NP11	1.001	0.4459	388	
NCH11, NP12	3.5369	0.0002	9950	
NCH11, NZ11	13.729	0.0001	9954	
NCH11, NZ12	16.099	0.0001	9950	
NCH11, SP11	2.9031	0.0001	9946	

NCH11, TCO11	7.7818	0.0001	9955
NCH11, TCO12	11.251	0.0001	9950
NCH12, NP11	0.45568	1	62
NCH12, NP12	1.3957	0.1234	9950
NCH12, NZ11	17.477	0.0001	9944
NCH12, NZ12	21.532	0.0001	9926
NCH12, SP11	0.9733	0.3873	7348
NCH12, TCO11	15.119	0.0001	9942
NCH12, TCO12	17.335	0.0001	9963
NP11, NP12	0.42957	0.8591	85
NP11, NZ11	3.5804	0.0005	4122
NP11, NZ12	4.585	0.0001	4321
NP11, SP11	0.56578	1	13
NP11, TCO11	3.3155	0.0002	3239
NP11, TCO12	3.4753	0.0009	5996
NP12, NZ11	14.905	0.0001	9940
NP12, NZ12	18.236	0.0001	9947
NP12, SP11	1.3887	0.1327	9223
NP12, TCO11	12.662	0.0001	9960
NP12, TCO12	14.107	0.0001	9955
NZ11, NZ12	4.7591	0.0001	9957
NZ11, SP11	10.71	0.0001	9956
NZ11, TCO11	14.545	0.0001	9952
NZ11, TCO12	22.656	0.0001	9947
NZ12, SP11	13.487	0.0001	9951
NZ12, TCO11	16.791	0.0001	9952
NZ12, TCO12	23.904	0.0001	9933
SP11, TCO11	9.7228	0.0001	9957
SP11, TCO12	10.598	0.0001	9947
TCO11, TCO12	9.7875	0.0001	9954

Denominators

Groups	Denominator	Den.df	
CHC12, CHO11	1*Res		306
CHC12, COQ11	1*Res		164
CHC12, COQ12	1*Res		160
CHC12, CP11	1*Res	98	
CHC12, NCH11	1*Res		157
CHC12, NCH12	1*Res		157
CHC12, NP11	1*Res	95	
CHC12, NP12	1*Res	139	
CHC12, NZ11	1*Res	192	
CHC12, NZ12	1*Res	193	

CHC12, SP11 1*Res	114	
CHC12, TCO11	1*Res	191
CHC12, TCO12	1*Res	292
CHO11, COQ11	1*Res	282
CHO11, COQ12	1*Res	278
CHO11, CP11 1*Res	216	
CHO11, NCH11	1*Res	275
CHO11, NCH12	1*Res	275
CHO11, NP11 1*Res	213	
CHO11, NP12 1*Res	257	
CHO11, NZ11 1*Res	310	
CHO11, NZ12 1*Res	311	
CHO11, SP11 1*Res	232	
CHO11, TCO11	1*Res	309
CHO11, TCO12	1*Res	410
COQ11, COQ12	1*Res	136
COQ11, CP11 1*Res	74	
COQ11, NCH11	1*Res	133
COQ11, NCH12	1*Res	133
COQ11, NP11 1*Res	71	
COQ11, NP12 1*Res	115	
COQ11, NZ11 1*Res	168	
COQ11, NZ12 1*Res	169	
COQ11, SP11 1*Res	90	
COQ11, TCO11	1*Res	167
COQ11, TCO12	1*Res	268
COQ12, CP11 1*Res	70	
COQ12, NCH11	1*Res	129
COQ12, NCH12	1*Res	129
COQ12, NP11 1*Res	67	
COQ12, NP12 1*Res	111	
COQ12, NZ11 1*Res	164	
COQ12, NZ12 1*Res	165	
COQ12, SP11 1*Res	86	
COQ12, TCO11	1*Res	163
COQ12, TCO12	1*Res	264
CP11, NCH11 1*Res	67	
CP11, NCH12 1*Res	67	
CP11, NP11 1*Res	5	
CP11, NP12 1*Res	49	
CP11, NZ11 1*Res	102	
CP11, NZ12 1*Res	103	
CP11, SP11 1*Res	24	

CP11, TCO11 1*Res	101	
CP11, TCO12 1*Res	202	
NCH11, NCH12	1*Res	126
NCH11, NP11 1*Res	64	
NCH11, NP12 1*Res	108	
NCH11, NZ11 1*Res	161	
NCH11, NZ12 1*Res	162	
NCH11, SP11 1*Res	83	
NCH11, TCO11	1*Res	160
NCH11, TCO12	1*Res	261
NCH12, NP11 1*Res	64	
NCH12, NP12 1*Res	108	
NCH12, NZ11 1*Res	161	
NCH12, NZ12 1*Res	162	
NCH12, SP11 1*Res	83	
NCH12, TCO11	1*Res	160
NCH12, TCO12	1*Res	261
NP11, NP12 1*Res	46	
NP11, NZ11 1*Res	99	
NP11, NZ12 1*Res	100	
NP11, SP11 1*Res	21	
NP11, TCO11 1*Res	98	
NP11, TCO12 1*Res	199	
NP12, NZ11 1*Res	143	
NP12, NZ12 1*Res	144	
NP12, SP11 1*Res	65	
NP12, TCO11 1*Res	142	
NP12, TCO12 1*Res	243	
NZ11, NZ12 1*Res	197	
NZ11, SP11 1*Res	118	
NZ11, TCO11 1*Res	195	
NZ11, TCO12 1*Res	296	
NZ12, SP11 1*Res	119	
NZ12, TCO11 1*Res	196	
NZ12, TCO12 1*Res	297	
SP11, TCO11 1*Res	117	
SP11, TCO12 1*Res	218	
TCO11, TCO12	1*Res	295

Average Similarity between/within groups

	CHC12	CHO11	COQ11	COQ12	CP11	NCH11	NCH12	NP11	NP12
NZ11	NZ12	SP11	TCO11	TCO12					
CHC12		63.728							
CHO11		23.52	73.925						
COQ11		55.014	28.748	61.917					
COQ12		56.065	29.094	64.138	66.048				
CP11	35.84	27.11	54.131	55.082	80				
NCH11		41.169	38.183	54.716	56.048	62.973	60.496		
NCH12		36.559	26.39	55.028	55.96	81.486	63.902	81.382	
NP11	35.762	27.077	56.725	57.278	90	67.723	88.692	100	
NP12	33.502	28.594	51.585	52.068	77.56	62.56	78.347	84.679	76.129
NZ11	30.793	13.07	29.133	28.464	14.561	18.836	15.375	14.561	14.084
	59.059								
NZ12	28.114	18.166	24.469	23.73	11.804	17.32	12.519	11.804	11.937
	58.376	66.878							
SP11	35.075	26.649	53.134	54.01	81.954	62.21	80.415	87.96	76.923
	14.406	11.713	79.502						
TCO11		47.052	52.563	52.489	53.502	36.119	50.054	37.674	37.882
	37.316	30.662	30.902	35.652	68.25				
TCO12		28.338	68.664	36.534	37.006	35.667	45.319	36.66	37.992
	38.03	16.368	20.748	35.467	58.162	69.709			

A N E X O 2

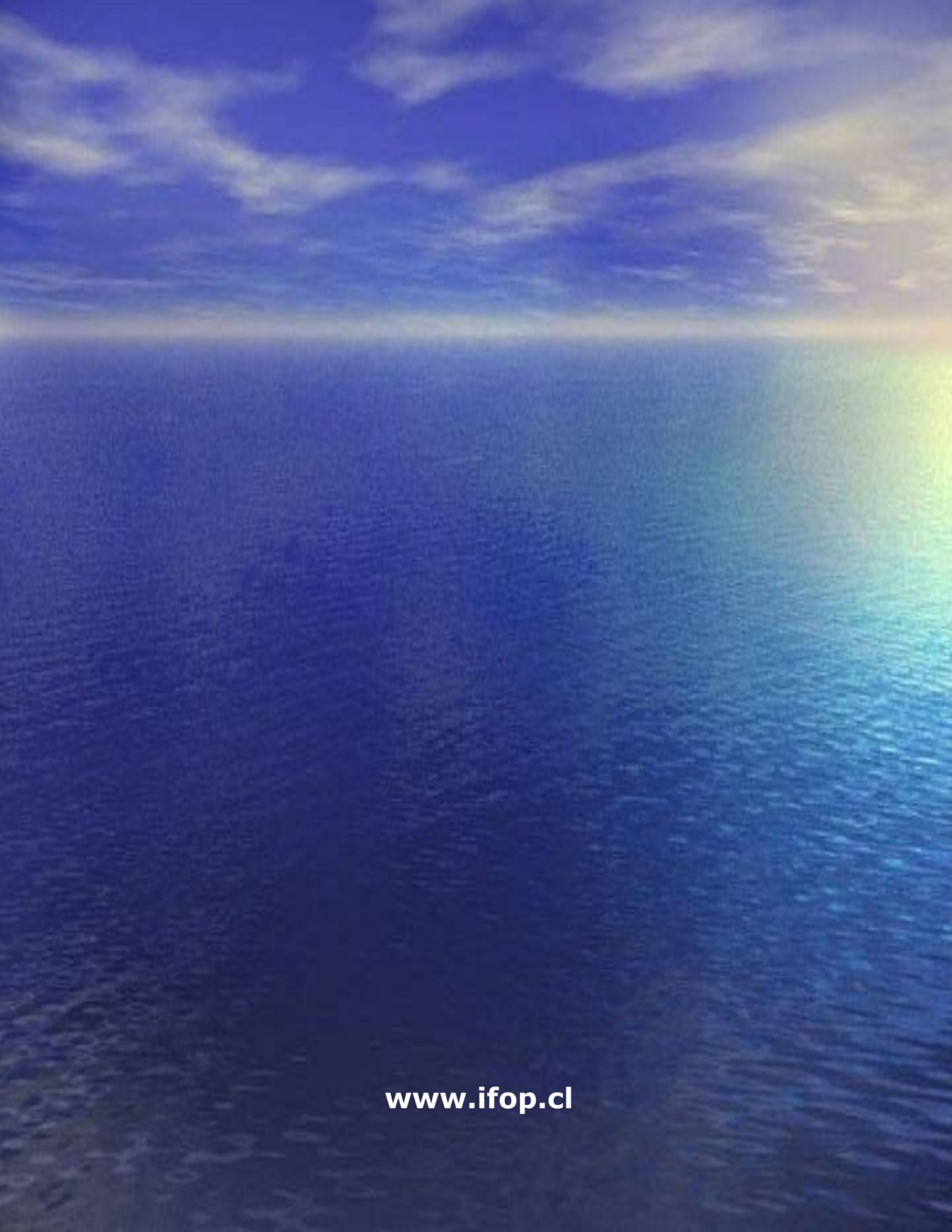
Base de datos Proyecto
FIP N° 2010-18.





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción
Almte. Manuel Blanco Encalada 839
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl



www.ifop.cl