PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y GEOGRAFÍA ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR Casilla 1020, Valparaíso, Chile.



FIP N° 2014-25

"IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE HÁBITAT ESENCIALES ASOCIADOS A RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN CHILE"

ID N°4728-142-LP14

INFORME FINAL

Valparaíso, 15 Julio 2016



TITULO DEL PROYECTO	: Identificación, Caracterización y Vulnerabilidad al Cambio Climático de Hábitat Esenciales Asociados a Recursos Hidrobiológicos de Importancia Económica en Chile
REQUIRENTE	: Consejo del Fondo de Investigación Pesquera Provecto FIP Nº 2014-25
UNIDAD EJECUTORA	 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Escuela de Ciencias del Mar. Facultad de Recursos Naturales. Avda, Altamirano 1480, Valparaíso, Chile
JEFE DE PROYECTO	: Claudio Silva Gallinato Escuela de Ciencias del Mar Fono (56) (32) 274250 Fax (56) (32) 274208 E-mail: claudio.silva@pucv.cl

EQUIPO DE TRABAJO

Silva, Claudio	
Título	: Ingeniero Pesquero, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
Postgrados	: Master Science Europeo en Gestión de Costas y Aguas (European
	Joint Master Science Degree in Water and Coastal Management).
	: Erasmus Mundus Ph.D. in Marine and Coastal Management
Campo de Trabajo	: Teledetección y SIG, modelación pesquera y ambiental.
Categoría	: Jefe de Proyecto e Investigador

Yáñez, Eleuterio

Título	: Ingeniero Pesquero, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.		
Postgrados	: Diplome d'Etudes Approfondies en Oceanographie Biologique		
	: Doctorat 3ème Cycle en Oceanographie Biologique		
	: Doctorat en Oceanologie (Ph.D).		
Campo de Trabajo	: Teledetección Ambiental y Modelación SIG. Biología y		
	Oceanografía Pesquera.		
Categoría	: Jefe Alterno e Investigador		

Lagos, Nelson

Título	: Biólogo Marino, Universidad Arturo Prat.
Postgrados	: Doctor en Ciencias Biológicas, mención Ecología, PUC.
	Post-Doctorado. Fundación Andrew Mellon (Estación Costera de Investigaciones Marinas, ECIM-PUC) y Center for Advanced Studies in Ecology and Biodiversity (CASEB-PUC). Licenciado en Biología Marina.
Campo de Trabajo	: Interacciones físico-biológicas en ecosistemas marinos, Conservación y manejo de recursos marinos y Cambio climático.
Categoría	: Investigador
Labra, Fabio	
Título	: Licenciado en Ciencias Biológicas, PUC.

Postgrados	: Doctor en Ciencias Biológicas, mención Ecología, PUC.
	Post-Doctorado. Laboratoire International Associé "DIAMS"

	(Dispersal and Adaptation of Marine Species) - Centro de Estudios
	Avanzados en Ecología y Biodiversidad.
Campo de Trabajo	: Ecología de Poblaciones, Manejo de recursos acuáticos y
	Cambio climático.
Categoría	: Investigador

Ramajo, Laura

Título	: Bachelor of Science with Mention in Biology. Universidad de
	Chile.
Postgrados	: PhD in Global Change. (CSIC-UIB) (Spain) and (CIICC)
	UST (Chile).
	MSc. of Ecology.Universidad Autónoma de Madrid and
	UniversidadComplutense de Madrid (Spain).
	Graduate of Environmental Science. Universidad Santo Tomás
	(Chile).
Campo de Trabajo	: Cambio climático.
Categoría	: Investigador

Sánchez, Felipe

Título	: Ingeniero Pesquero, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
Campo de Trabajo	:Procesamiento y modelación de datos
Categoría	: Co-Investigador

Gallardo, María Eugenia

Título	: Licenciado en Ciencias Pesqueras, PUCV		
	Ingeniero Pesquero (c), Pontificia Universidad Católica de		
	Valparaíso.		
Campo de Trabajo	: Recolección de información y revisión bibliográfica, modelo		
	conceptual		
Categoría	: Co-Investigador.		

RESUMEN EJECUTIVO

El presente Informe Final del Proyecto FIP N°2014-25"Identificación, Caracterización y Vulnerabilidad al Cambio Climático de Hábitat Esenciales Asociados a Recursos Hidrobiológicos de Importancia Económica en Chile", contiene los resultados y actividades que dan cuenta de los objetivos específicos estipulados en los Términos Básicos de Referencia y a la planificación incluida en la Oferta Técnica del proyecto.

En primer lugar, se realizó una recolección bibliográfica que ha permitido generar un total de 601 referencias ingresadas a las librerías EndNote para los distintos recursos pesqueros en estudio, de estas referencias 215 corresponden a los recursos pelágicos (jurel frente a Chile y anchoveta centro-sur) y 351 a recursos bentónicos (loco frente a Chile, chorito en zona sur y algas pardas en zona norte). Por orden de cantidad de referencias, el recurso loco posee 145, las algas pardas poseen 117, el jurel 113, el recurso chorito 89, y la anchoveta 84. Por tipo de referencia, para los recursos pelágicos se han obtenido mayoritariamente informes de proyectos (99), artículos en revistas científicas (83), seguidos de capítulos de libros y tesis (10 y 5 respectivamente). En los recursos bentónicos las mayores referencias son de artículos en revistas (324), seguidas de informes de proyectos (18), tesis y capítulos de libros aportan con cuatro y cinco referencias respectivamente. En cuanto a las variables ambientales, para los recursos pelágicos, las mayores referencias se han encontrado en relación a la temperatura, distribución, abundancia, biomasa, talla y desove. Para los recursos bentónicos la mayoría de las referencias tienen relación con los temas de presencia o ausencia del recurso, talla, crecimiento y biomasa. Es importante hacer notar la poca información encontrada en cuanto a los primeros estadíos de los recursos.

La recolección y análisis exhaustivo de las referencias permitió elaborar una revisión bibliográfica para cada recurso en estudio. En la revisión bibliográfica se han caracterizado los distintos hábitats esenciales y las variables ambientales más relevantes para los recursos pesqueros. La distribución de jurel (*Trachurus murphyi*) frente a Chile se caracteriza por un hábitat oceánico reproductivo, un hábitat de crianza de juveniles al norte de los 30°S y un hábitat costero asociado a la alimentación y crecimiento. Su principal parámetro es el

oxígeno disuelto, junto a las masas de agua y presenta gran tolerancia en cuanto a la temperatura. En cuanto a la anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona centro-sur de Chile, la temperatura y salinidad son factores limitantes para este recurso, mientras que los vientos superficiales también cobran relevancia al ser los inductores de las surgencias costeras de aguas frías ricas en nutrientes, asociándose a niveles de productividad primaria (clorofila) y oxígeno disuelto.

Respecto a los recursos bentónicos, el loco (*Concholepas concholepas*) en la zona costera de Chile posee un hábitat bentónico en el inter y submareal de reproducción y desarrollo larval y un hábitat oceánico de dispersión larval. El gradiente norte-sur de temperatura y salinidad de Chile tienen un efecto en los procesos biológicos de los diferentes estadíos del loco. En el norte con temperaturas mayores y salinidades altas estables con menos aportes de ríos que zona sur, favorecen el periodo de desarrollo larval y estadíos juveniles y juegan un rol relevante en la calcificación de juveniles, lo cual se refleja en una reducción en la precipitación de aragonita respecto a la calcita, ambas fases minerales del carbonato de calcio, hacia la región del sur de Chile respecto al centro-norte.

El chorito (*Mytilus chilensis*) en la zona sur presenta un hábitat bentónico en el inter y submareal rocoso donde se asientan juveniles, crecen y maduran hasta reproducirse y un hábitat oceánico de dispersión larval. El impacto de la variabilidad de la temperatura en la capa superficial es importante para el desarrollo de *M. chilensis*, observándose que el tiempo, salinidad y temperatura explican relativamente bien la abundancia de larvas competentes de *M. chilensis*. Además, en relación a la variabilidad espacial de la temperatura y su influencia sobre los procesos reproductivos, se evidencia que los desoves de los ejemplares en los bancos naturales ocurren a partir de enero cuando la temperatura del agua llega por sobre 14°C, aunque hay zonas que desovan en noviembre con temperaturas sobre 12,5°C. La temperatura también tiene un efecto positivo sobre el crecimiento y calcificación de chorito, lo que le podría conferir ventajas ante descensos en pH en el área de Chiloé, lo cual es relevante ante las proyecciones de acidificación del océano en la Patagonia.

Algas pardas: las variables ambientales que afectan el hábitat natural del recurso son la temperatura, irradiación, salinidad, profundidad y tipo de sustrato.

En la revisión bibliográfica se identifican aquellas variables y procesos (abióticos y bióticos) que afectan a las algas pardas en su hábitat natural, entre ellos se incluyen variables como la temperatura, irradiación, salinidad, profundidad y tipo de sustrato. La temperatura demostró ser el principal factor ambiental que modula las distintas variables reproductivas, el porcentaje de germinación y es el único factor que presenta un efecto sostenido sobre la asignación y éxito reproductivo en estos recursos pesqueros. Entre los procesos relevantes se destaca la variación estacional, intranual e interdecadal, como en el caso de eventos de El Niño que afectan seriamente las poblaciones mediante fuertes desprendimientos y muertes de algas, además de alterar las condiciones físico-químicas de las algas provocando un impacto ecológico de gran magnitud cuyos procesos de recuperación se estiman en un tiempo no inferior a los diez años. Sumado a ellos, se debe considerar la incidencia de eventos de dispersión y transporte de propágulos, los que usualmente se consideran como relativamente acotados.

Se recolectó e ingresó la información pesquera a un sistema de información geográfico (SIG). La información obtenida de huevos de jurel representa registros diarios georreferenciados de abundancia (N° Huevos/10 m²) observada en cruceros a bordo de naves pesqueras durante noviembre de 2001 y 2006, la base datos espacio-temporal de huevos de jurel contiene 739 registros. También se construyen, actualizan y validan las bases de datos pesqueras (capturas totales, esfuerzo de pesca y captura por unidad de esfuerzo por cuadrícula con pesca-CPUE-) espacio-temporales de jurel frente a Chile que contienen 10966 registros para el período 2001-2012, dado que ahí fueron establecidas las cuotas individuales de pesca (CIP) por el gobierno chileno para regular el sector pesquero de recursos pelágicos pequeños. Las CIP cambiaron la información pesquera operacional y niveles de esfuerzo por lo cual se selecciona este período como representativo del régimen actual. La información de huevos de anchoveta representan793 registros diarios georreferenciados de abundancia (N° Huevos/10 m²) durante agosto y noviembre de 2002

hasta 2012 (11 años). La base datos de capturas, esfuerzo y CPUE de anchoveta contiene 2397 registros de pesca.

La información ambiental reunida (1980-2011) de imágenes satelitales mensuales del tipo raster (imágenes) o matrices georreferenciadas procesadas en formato SIG (Figura 123) corresponde a la siguientes variables: temperatura superficial del mar (TSM) de satélites NOAA y MODIS (4x4 km), ii) concentración de clorofila *a* (CLOA) combinado de satélites SeaWiFS, MODIS (4x4 km), iii) vientos obtenidos de intercalibrado CCMP L4 (satélites SSM/I, SSMIS, AMSR-E, TRMM TMI, QuikSCAT, SeaWinds, WindSat), y iv) anomalía de la altura del mar derivado de la integración de satélites Topex/Poseidon, Jason, ERS y ENVISAT (25x25 km).

Se entregan los modelos conceptuales de hábitat esencial por recurso pesquero. Para la caracterización de un modelo conceptual del hábitat de jurel, anchoveta, loco, chorito y algas pardas se utiliza la información de la descripción del hábitat de la especie. Se desarrollan y entregan los diagramas para la elaboración de los modelos conceptuales por pesquería. La descripción del hábitat se basa en el conocimiento generado en la revisión bibliográfica por recurso y adicionalmente con la recolección y análisis de la información pesquera (huevos y capturas) y ambiental del proyecto, se generan las matrices con niveles de información de hábitat esencial para los recursos pesqueros en estudio, incorporando los rangos de aptitud por factor obtenidos de la revisión bibliográfica y también generados en el proyecto. Para organizar la información disponible por estadío, se elaboran las matrices de niveles de hábitat del recurso con las principales variables que influyen a lo largo de la vida de los recursos, permitiendo visualizar el nivel de información disponible que es clave en la elaboración del mapa conceptual del hábitat.

En función de los antecedentes biológicos recopilados en las matrices de niveles de hábitat esencial se generan los Mapas conceptuales del hábitat esencial de los recursos pequeros en estudio. Se categoriza la importancia del hábitat para cada recurso sobre la base de los antecedentes recopilados en las matrices de hábitat y mapa conceptual, para ello se elaboran Tablas con las principales variables ambientales en las cuales se categorizan con números que van del 5 al 1 que indican la importancia (muy importante, importante, relativa, regular y menor, respectivamente) de la variable según estadío de desarrollo. Finalmente se elaboran los modelos conceptuales que consideran las fases del ciclo de vida (huevo-larva, juvenil, adultos) y las áreas de distribución (zonas de desove, crianza y alimentación) de los recursos pesqueros. Se diseñaron los modelos, se definieron sus escalas temporales y espaciales, incorporando los forzantes del sistema. Luego se asoció la dinámica de la población y de la comunidad con la pesca y el medio ambiente. Los modelos abarcan tres planos: (1) forzantes ambientales, (2) límites biológicos, y (3) pesquería.

Finalmente, se entregan los análisis de modelos predictivos de la distribución del hábitat esencial de los recursos jurel, anchoveta, loco, chorito y algas pardas que permitirán generar criterios actualizados y nuevos sobre el impacto del cambio climático en dichos recursos pesqueros. Para el jurel se desarrolló una modelación espacial (Maxent) que permitió estimar la distribución espacial de huevos y adultos de jurel a lo largo de la costa con un buen (AUC=0.8) y excelente (AUC > 0.9 en todas las estaciones y anual) capacidad predictiva (desempeño del modelo), respectivamente. En la modelación espacial, la distribución del hábitat esencial para los huevos y adultos de jurel muestra diferencias al comparar la distribución actual y futura. Se observa una pérdida en el área de hábitat "más apto" de huevos de jurel que equivale a un 5% hacia el año 2055. Se observa una pérdida en el área de hábitat "más apto" de adultos de jurel que equivale a un 87% hacia el verano de 2055, mientras que en las demás estaciones y a nivel anual se observa una ganancia de hábitat "Más apto". En la modelación de series de tiempo con redes neuronales se ajusta un modelo completo (3 parámetros: SST-NOAA, SST NIÑO 3.4 y fe) y uno reducido (2 parámetros: SST-NOAA y fe) que tienen una arquitectura y r2 de 11:13:1 y 0.88 y 6:10:1 y 0.88, respectivamente. Al comparar las proyecciones de desembarques de 2056-2065 y 2005-2014, teniendo en cuenta los promedios de escenarios A2 y esfuerzos de pesca, los desembarques se incrementarían en un 92% para el jurel. Para la anchoveta se desarrolló una modelación espacial (Maxent) que permitió estimar la distribución espacial de huevos y adultos de jurel a lo largo de la costa con una excelente (AUC > 0.9 para los dos estadios y en todas las estaciones y anual) capacidad predictiva. En la modelación espacial, la distribución del hábitat esencial para los huevos y adultos de anchoveta muestra diferencias al comparar la distribución actual y futura. Como producto del aumento de la temperatura del mar, se observa una pérdida en el área de hábitat

"Más apto" de huevos de anchoveta que equivale a un 30%, 93% y 95% de pérdida de hábitat hacia agosto, septiembre y octubre de 2055, respectivamente. Se observa una pérdida en el área de hábitat "más apto" de adultos de anchoveta durante todo el año con mermas que van entre 62% en Invierno hasta 98% en Primavera, mientras que la pérdida anual de hábitat alcanza un 97% de hábitat hacia 2055. En la modelación de series de tiempo con redes neuronales se ajusta un modelo completo (5 parámetros: SST-NOAA, MSL, TI, SST-NIÑO 3.4 y fe) y uno reducido (2 parámetros: SST-NOAA y fe) que tienen una arquitectura y r2 de 10:9:1 y 0.90 y 4:10:1 y 0.87, respectivamente. Basado en el escenario de cambio climático A2, los desembarques de anchoveta disminuirían en un 1%, mientras que para el escenario de cambio climático 4xCO2 y promedio del esfuerzo de pesca, los desembarques de anchoveta muestran una disminución del 11%.

Para el loco aunque con diferencias en la resolución y extensión espacial de los datos colectados en sus tres estadios ontogénicos (adulto, recluta y cápsulas), los modelos completos (10 parámetros) y reducidos (3 parámetros) permiten estimar la distribución espacial a lo largo de la costa de Chile (AUC > 0.95 en todos los casos). La distribución de hábitat esencial para los diferentes estadios de C. concholepas fueron relativamente similares al comparar la actual distribución actual vs. Proyección futura sobre la base de los modelos completos y reducidos. Para el chorito aaunque con una alta heterogeneidad espacial, los datos colectados para M. chilensis integrando 2 estadios ontogénicos (adulto y juveniles), a través de los modelos completos (10 parámetros) y reducidos (3 parámetros) permiten estimar la distribución espacial a lo largo de la costa de Chile con una muy buena resolución (AUC > 0.98 en todos los casos). La distribución de hábitat esencial para los diferentes estadios de M. chilensis fue relativamente similar al comparar la actual distribución actual vs. Proyección futura. Para las algas pardas y para la macrozona norte, aunque con una alta heterogeneidad espacial, los datos colectados para la fase esporofito de las macroalgas pardas y los modelos completos (10 parámetros) y reducidos (3 parámetros) permitieron estimar la distribución espacial a lo largo de la costa de Chile (AUC > 0.97 para ambos modelos y las 3 especies en todos los casos). La distribución de hábitats esenciales para las macroalgas pardas de la macrozona norte de Chile fue similar al comparar la actual distribución actual vs. Proyección futura sobre la base de los modelos completos.

Finalmente, se realizó un Taller de Difusión el 01 de julio del presente año, convocando un total de 19 asistentes destacando profesionales provenientes de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, del Instituto de Fomento Pesquero, del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura, del Centro de Investigación Aplicada del Mar, investigadores de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Santo Tomás y docentes de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. En una jornada de más de cuatro horas se mostraron los resultados del proyecto y se discutieron diferentes aspectos relacionados con la Identificación, Caracterización y Vulnerabilidad al Cambio Climático de Hábitat Esenciales de los recursos en estudio, su investigación y los desafíos futuros que implican su estudio. El taller consistió principalmente en presentaciones efectuadas por los integrantes del equipo a cargo del proyecto. El contexto de éste estuvo a cargo del jefe de proyecto, continuando con presentaciones de los objetivos específicos planteados y cómo éstos se desarrollaron y trabajaron en cada una de las etapas.

EXECUTIVE SUMMARY

This Final Project Report FIP N°2014-25 "Identification, Characterization and Vulnerability to Climate Change Habitat Essential associated to Hydrobiological Resources of economic Importance in Chile," contains the results and activities that account for the specific objectives set out in the Basic Terms of Reference and planning included in the Technical proposal project.

Firstly, a literature collection that has generated a total of 601 references admitted to EndNote libraries for the different fishery resources studied, of these references 215 correspond to the pelagic stocks (jack mackerel off Chile and anchovy of south-central) and 351 to benthic resources (Chilean abalone off Chile, mussels in southern and northern brown algae). By order of number of references, the Chilean abalone has 145, brown algae have 117, 113 jack mackerel, mussels 89 and 84 for anchovy. By type of reference, pelagic resources have been mostly obtained from project reports (99), papers in scientific journals (83), followed by book chapters and theses (10 and 5 respectively). Benthic resources in the major references are articles in journals (324), followed by project reports (18), thesis and book chapters provide references with four and five respectively. As for the environmental variables, for pelagic resources, the major references found are related to temperature distribution, abundance, biomass, size and spawning. For benthic resources most references relate to presence or absence of the resource, size, growth and biomass. It is important to note that the scarce information found regarding the early stages of resources.

Collection and comprehensive analysis of references allowed to elaboration of bibliographic review for each resource. In the literature review it has been characterized the different essential habitats and the most relevant environmental variables of fishery resources. The distribution of jack mackerel (*Trachurus murphy*) off Chile is characterized by a reproductive ocean habitat, breeding habitat of juvenile north of 30 °S and a coastal habitat associated with food availability and growth. Its main parameter is the dissolved oxygen and type of water masses and has great tolerance for temperature. For anchovy

(*Engraulis ringens*) in the central-southern Chile, temperature and salinity are limiting factors for this resource, while surface winds also become relevant when induce coastal upwelling of cold waters rich in nutrients and is associated with higher levels of primary productivity (chlorophyll-a) and dissolved oxygen.

Regarding the benthic resources, the Chilean abalone (*Concholepas concholepas*) in the coastal area of Chile has a benthic habitat in the intertidal and subtidal of reproduction and larval development and ocean habitat of larval dispersal. The north-south gradient of temperature and salinity of Chile have an effect on the biological processes at different stages of Chilean abalone. In the north with stable temperatures and high salinities with less input from rivers than the south area, favor the larval development and juvenile stages and play an important role in the calcification of juveniles, which is reflected in a reduction in precipitation of aragonite respect to calcite, both mineral phases of calcium carbonate, to the southern region respect to the center-north area.

Mussels (*Mytilus chilensis*) in the south area presents a benthic habitat in the intertidal and subtidal rocky where juveniles settle, grow and mature until reproduction in an oceanic habitat of larval dispersal. The impact of temperature variability in the surface layer is important for the development of *M. chilensis*, observing that time, salinity and temperature explain the abundance of relatively well competent *M. chilensis* larvae. Furthermore, in relation to spatial variability of temperature and its influence on the reproductive processes, it is evident that the spawning of the specimens in natural beds occurs from January when the water temperature reaches above 14 °C, although there are spawning areas in November with temperatures above 12.5 °C. Temperature also has a positive effect on growth and calcification of mussels, what could confer advantages to decreases in pH in the Chiloe area, which is relevant to the projections of ocean acidification in Patagonia.

In the bibliographic review we registered the variables and processes (abiotic and biotic) affecting brown algae in their natural habitat, including variables such as temperature, irradiance, salinity, depth and substrate type. The temperature proved to be the main environmental factor that modulates the different reproductive variables, the germination

percentage and is the only factor that has a sustained effect on the allocation and reproductive success in these fisheries resources. Among the relevant processes seasonal, interannual and interdecadal, as in the case of El Niño events that seriously affect populations by heavy landslides and algae mortality, in addition to altering the physical and chemical conditions of algae causing an ecological impact of large magnitude whose recovery processes are estimated in a time not less than ten years. In addition to them, it should be consider the incidence of dispersion and transport of propagules events, which are usually considered as relatively bounded.

It was collected and entered the fishery information to a geographic information system (GIS). The information obtained from eggs of jack mackerel represents daily georeferenced records of abundance (No. eggs / 10 m²) observed in research cruises aboard fishing vessels during November of 2001 to 2006; the spatio-temporal database of jack mackerel eggs contains 739 records. They are also built, update and validate spatiotemporal data bases of fisheries (total catch, fishing effort and catch per unit of effort for fishing grid-CPUE-) of jack mackerel off Chile containing 10966 records for the 2001- 2012 period, since there were established individual fishing quotas (IFQ) by the Chilean government to regulate fisheries of small pelagic resources. The IFQP changed the operational fisheries information and levels of fishing effort by which this period is selected as representative of the current regime. Information represents 793 daily georeferenced records of anchovy eggs abundance (No. eggs / 10 m²) during August and November 2002-2012 (11 years). The database of anchovy catch, effort and CPUE contains 2397 records.

The environmental information (1980-2011) of monthly satellite raster images or processed in a GIS georeferenced format corresponds to the following variables: sea surface temperature (SST) of NOAA and MODIS satellites (4x4 km), ii) chlorophyll a concentration of combined satellite SeaWiFS and MODIS (4x4 km), iii) winds obtained from intercalibration CCMP L4 (satellites SSM / I, SSMIS, AMSR-E, TRMM TMI, QuikSCAT, SeaWinds, WindSat), and iv) sea height anomaly derived from the integration of Topex / Poseidon, Jason, ERS and ENVISAT satellites (25x25 km). Conceptual models of essential habitat for fish resource are delivered. For the characterization of a habitat conceptual model of jack mackerel, anchovy, Chilean abalone, mussels and brown algae, information describing the habitat of the species is used. Develop and deliver of diagrams for the development of fisheries conceptual models. Habitat description is based on the knowledge generated in the literature review by resource and additionally with the collection and analysis of environmental and fisheries information (eggs and catches) and project, matrices with levels of information of essential habitat for the fisheries resources are generated, incorporating suitability ranges by factor obtained from the bibliographic review generated in the project. To organize the information available by stage, matrices levels of resource habitat with the main variables that influence over the life cycle of the resources are developed, allowing display the level of information available which is key in developing the conceptual map habitat.

Based on the biological information gathered in the matrices of essential habitat levels, the conceptual maps of essential habitat for fisheries resources are generated. The importance of habitat for each resource based on the information collected in the habitat matrices and conceptual map is categorized. For this, tables with the key environmental were ranging from 5 to 1 indicating the importance (very important, important on regular and minor) of the variable according to developmental stage. Finally, the conceptual models that consider the phases of the life cycle (egg-larva, juvenile, adult) and distribution areas (spawning, breeding and feeding) of fisheries resources are developed. Models were designed; their temporal and spatial scales were defined, incorporating the drivers of the system. The population dynamics and community fisheries and the environment is then associated. The models cover three levels: (1) environmental drivers, (2) biological limits, and (3) fishery.

Finally, outputs and analyzes of predictive models of the distribution of essential habitat for jack mackerel, anchovy, Chilean abalone, mussels and brown algae are delivered that will generate updated and new criteria on the climate change impact on these fish species. For jack mackerel a spatial modeling (Maxent) that allowed us to estimate the spatial distribution of eggs and adults of jack mackerel along the coast with a good (AUC = 0.8) and excellent (AUC> 0.9 in all seasons and annual) predictive ability (performance of the

model), respectively. In spatial modeling, distribution of essential habitat for jack mackerel eggs and adults show differences when comparing the current and future distribution. A loss is observed in the area of "greater suitability" habitat of egg of jack mackerel equivalent to 5% by the year 2055. A loss in the area of "greater suitability" of jack mackerel adult habitat equivalent is observed to 87 % by the summer of 2055, while in the other seasons and annual level a gain of habitat of "greater suitability" is observed. In time series modeling with neural networks a complete model is fitted (3 parameters: SST-NOAA, SST NIÑO 3.4 and fe) and one reduced (2 parameters: SST-NOAA and fe) which have an architecture and r2 of 11:13:1 and 0.88 and 6:10:1 and 0.88, respectively. When comparing landings projections of 2056-2065 and 2005-2014, considering averages of A2 scenario and fishing efforts, landings would increase by 92% for jack mackerel. For anchovy a spatial modeling (Maxent) that allowed us to estimate the spatial distribution of eggs and adults of anchovy along the coast with excellent (AUC> 0.9 for both stages and in all seasons and annual) predictive capacity are developed. In spatial modeling, distribution of essential habitat for anchovy eggs and adults show differences when comparing the current and future distribution. As a result of rising sea temperatures, a loss is observed in the area of habitat "fittest" egg anchovy equivalent to 30%, 93% and 95% loss of habitat by August, September and October 2055, respectively. A loss is observed in the area of "greater suitability" habitat for adult of anchovy throughout the year with losses ranging between 62% in winter to 98% in spring, while the annual loss of habitat reaches 97% of habitat "greater suitability" by the 2055. In time series modeling with neural networks a complete model (5 parameters: SST-NOAA, MSL, TI, SST-Niño 3.4 and fe) and one reduced (2 parameters: SST-NOAA and fe) are fitted which have an architecture and r2 of 10: 9: 1 and 0.90 and 4: 10: 1 and 0.87, respectively. Based on the climate change scenario A2, anchovy landings decline by 1%, while for the climate change scenario 4xCO2 and average fishing effort, landings of anchovy show a decrease of 11%.

For the Chilean abalone with differences in resolution and spatial extent of data collected in three ontogenetic stages (adult, recruit and capsules), complete models (10 parameters) and reduced (3 parameters) can estimate the spatial distribution along the coast off Chile (AUC> 0.95 in all cases). Distribution of essential habitat for different stages of *C*.

concholepas were relatively similar when comparing the current distribution vs. future projection on the basis of complete and reduced models. For mussel even with a high spatial heterogeneity, data collected for *M. chilensis* integrating 2 ontogenetic stages (adult and juveniles) through the complete models (10 parameters) and reduced (3 parameters) can estimate the spatial distribution to along the coast of Chile with a very good resolution (AUC> 0.98 in all cases). Distribution of essential habitat for different stages of M. chilensis was relatively similar when comparing the current vs. current distribution future projection. For brown algae and north macro-zone, although with high spatial heterogeneity, data collected for the sporophyte phase of brown macroalgae and complete models (10 parameters) and reduced (3 parameters) allowed estimate the spatial distribution along off the coast of Chile (AUC> 0.97 for both models and 3 species in all cases). Distribution of essential habitats for the brown macroalgae of northern macrozone was similar when comparing the current vs. future distribution future projection based on complete models.

Finally, an a Workshop was held on July 1 2016, calling a total of 19 attendees highlighting professionals from the Undersecretaries of Fisheries and Aquaculture (Subpesca), the Fisheries Development Institute (IFOP), the Fund for Fisheries Research and Aquaculture (FIPA), Centro de Investigación Aplicada del Mar, researchers from the Catholic University of Valparaiso (PUCV), University of St. Thomas and from the School of Marine Sciences of PUCV. The project results were discussed relating to different aspects of the identification, characterization and Vulnerability to Climate Change of Essential Habitat of fisheries resources under study, their research and Future challenges involved in the study were discussed. The workshop consisted mainly of presentations by the researcher staff of the project. The context of the project was given by the Project Manager, stage of the project.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	. 44
1.1. OBJETIVO GENERAL	. 45
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	. 45
2. METODOLOGÍA	. 46
2.1. OBJETIVO ESPECÍFICO I) GENERAR UNA MATRIZ DE CONOCIMIENTO E INFORMACIÓN DE VARIABLES OCEANOGRÁFICAS Y	
AMBIENTALES QUE CARACTERIZAN Y DELIMITAN EL HÁBITAT ESENCIAL ASOCIADO A LOS RECURSOS PESQUEROS DE INTERÉS EN	EL
PRESENTE ESTUDIO.	. 46
2.1.1. RECOLECCIÓN Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	. 46
2.1.1.1. DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE LA BASE DE DATOS BIBLIOGRÁFICA	. 48
2.1.1.2. DIGITACIÓN E INGRESO DE LA INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS BIBLIOGRÁFICA	. 48
2.1.2 Revisión Bibliográfica	. 51
2.1.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PESQUERA Y AMBIENTAL	. 51
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO II) CARACTERIZAR Y ELABORAR UN MODELO CONCEPTUAL DE HÁBITAT ESENCIAL ASOCIADO A CADA	
UNO DE LOS RECURSOS PESQUEROS DE INTERÉS EN SUS DISTINTAS ETAPAS DE VIDA Y SUS CONECTIVIDADES	. 55
2.2.1. DESCRIPCIÓN DE HÁBITATS	. 56
2.2.2. Mapas de hábitat esenciales	. 57
2.2.3. MODELOS CONCEPTUALES DE HÁBITAT ESENCIAL BASADOS EN HERRAMIENTAS MATEMÁTICAS Y ESTADÍSTICAS	. 58
2.3 Objetivo específico III) Establecer un modelo predictivo de la distribución del hábitat esencial para los	
RECURSOS PESQUEROS CONSIDERADOS Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO	. 62
2.3.1. Modelos de redes neuronales de predicción	. 65
2.3.1.1. Análisis previo de los datos y selección de variables y suavizamiento	. 65
2.3.1.2. Aplicación del Modelo Red Neuronal Artificial (RNAs)	. 67
2.3.1.3. Índices de error	. 68
2.3.2. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE ESPECIES	. 70
2.3.3. SELECCIÓN DEL MEJOR MODELO	. 72
2.3.4. Predicción de abundancia y distribución	. 72
2.3.5. Mapas de hábitats esenciales	. 72
2.3.6. DETECCIÓN DE CAMBIOS EN LAS PESQUERÍAS	. 73
2.3.7. VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE HÁBITATS	. 73
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	. 76

3.0. Reuniones de Coordinación	6
3.1. OBJETIVO ESPECÍFICO I) GENERAR UNA MATRIZ DE CONOCIMIENTO E INFORMACIÓN DE VARIABLES OCEANOGRÁFICAS Y	
AMBIENTALES QUE CARACTERIZAN Y DELIMITAN EL HÁBITAT ESENCIAL ASOCIADO A LOS RECURSOS PESQUEROS DE INTERÉS EN EL	
PRESENTE ESTUDIO	7
3.1.1. RECOLECCIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
3.1.1.1. DIGITACIÓN E INGRESO DE LA INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS BIBLIOGRÁFICA	7
3.1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
3.1.2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA ESPECIE JUREL TRACHURUS MURPHYI	3
3.1.2.1.1. Aspectos Reproductivos	4
3.1.2.1.1.1. DESOVE	4
3.1.2.1.1.2. Área de desove	4
3.1.2.1.1.3. PERÍODO DE DESOVE	5
3.1.2.1.1.4 FECUNDIDAD	8
3.1.2.1.2. LARVAS	9
3.1.2.1.3. JUVENILES	1
3.1.2.1.4 TALLAS	2
3.1.2.1.4.1 PRIMERA MADUREZ SEXUAL	2
3.1.2.1.4.2. ESTRUCTURA DE TALLAS	3
3.1.2.1.5 Edad por macrozona (2001-2012)	6
3.1.2.1.6. Adultos y Alimentación	7
3.1.2.1.7. MIGRACIÓN	8
3.1.2.1.8. PRINCIPALES PARÁMETROS AMBIENTALES QUE AFECTAN Y DEFINEN EL HÁBITAT DEL JUREL	2
3.1.2.1.8.1 TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR	3
3.1.2.1.8.2 Oxígeno Disuelto	4
3.1.2.1.8.3 SALINIDAD	4
3.1.2.1.8.4 MASA DE AGUA SUBTROPICAL 104	4
3.1.2.1.8.5 CLOROFILA - A	5
3.1.2.1.8.6 EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS)	5
3.1.2.1.8.7 ONDAS KELVIN	8
3.1.2.1.8.8 CORRIENTES Y REMOLINOS	9
3.1.2.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA ESPECIE ANCHOVETA CENTRO – SUR ENGRAULIS RINGENS	1
3.1.2.2.1 Aspectos Reproductivos	2
3.1.2.2.1.1 DESOVE	2
3.1.2.2.1.2 ÁREA DE DESOVE	3
3.1.2.2.1.3 Período de desove	4

3.1.2.2.1.4 FECUNDIDAD	114
3.1.2.2.2. LARVAS	115
3.1.2.2.3. JUVENILES	116
3.1.2.2.4. TALLAS	118
3.1.2.2.4.1. PRIMERA MADUREZ SEXUAL	118
3.1.2.2.4.2 Estructura de tallas	118
3.1.2.2.5. Adultos y Alimentación	120
3.1.2.2.6. COMPORTAMIENTO	121
3.1.2.2.7. PRINCIPALES PARÁMETROS AMBIENTALES QUE AFECTAN Y DEFINEN EL HÁBITAT DE LA ANCHOVETA CENTRO –	SUR
	121
3.1.2.2.7.1 TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR	121
3.1.2.2.7.2 Oxígeno Disuelto	122
3.1.2.2.7.3 SALINIDAD	122
3.1.2.2.7.4 VIENTOS	122
3.1.2.2.7.5 CLOROFILA – A	122
3.1.2.2.7.6 EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS)	123
3.1.2.2.8. ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE INDICADORES POBLACIONALES	125
3.1.2.3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL RECURSO "LOCO", CONCHOLEPAS CONCHOLEPAS	127
3.1.2.3.1. Aspectos Reproductivos	128
3.1.2.3.1.1. DESARROLLO LARVAL	128
3.1.2.3.1.2.ÁREA DE DESARROLLO LARVAL	129
3.1.2.3.1.3. PERÍODO DE DESARROLLO LARVAL	131
3.1.2.3.1.4. FECUNDIDAD	133
3.1.2.3.2. Larvas	134
3.1.2.3.3. JUVENILES	135
3.1.2.3.4. TALLAS	136
3.1.2.3.4.1. PRIMERA MADUREZ SEXUAL	136
3.1.2.3.5. Adultos y Alimentación	138
3.1.2.3.6. DISPERSIÓN, CONECTIVIDAD Y ESTRUCTURA ESPACIAL DE C. CONCHOLEPAS	140
3.1.2.3.7. PRINCIPALES PARÁMETROS AMBIENTALES QUE AFECTAN Y DEFINEN EL HÁBITAT DEL LOCO	141
3.1.2.3.7.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR	143
3.1.2.3.7.2. Oxígeno Disuelto	143
3.1.2.3.7.3. SALINIDAD	144
3.1.2.3.7.4. SISTEMA DE LOS CARBONATOS (PH, PCO ₂ , ESTADO DE SATURACIÓN DEL CARBONATO)	144
3.1.2.3.7.5. CLOROFILA	145

3.1.2.3.7.6. RESUMEN DE PROCESOS OCEANOGRÁFICOS FÍSICOS Y QUÍMICOS RELEVANTES PARA EL HÁBITAT DE C.	
CONCHOLEPAS	146
3.1.2.4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA ESPECIE CHORITO MYTILUS CHILENSIS	148
3.1.2.4.1. Aspectos Reproductivos	149
3.1.2.4.1.1. DESOVE	150
3.1.2.4.1.2. Áreas de desove	151
3.1.2.4.1.3. PERÍODO DE DESOVE	152
3.1.2.4.1.4. FECUNDIDAD	154
3.1.2.4.2. DESARROLLO LARVAL	154
3.1.2.4.3. JUVENILES	158
3.1.2.4.4. TALLAS	159
3.1.2.4.4.1. PRIMERA MADUREZ SEXUAL	161
3.1.2.4.5. Adultos y Alimentación	162
3.1.2.4.6. DISPERSIÓN, CONECTIVIDAD Y ESTRUCTURA ESPACIAL DE M. CHILENSIS	165
3.1.2.4.7. PRINCIPALES PARÁMETROS AMBIENTALES QUE AFECTAN Y DEFINEN EL HÁBITAT DEL CHORITO, MYTILUS CHILEI	vsis.
	167
3.1.2.4.7.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR	168
3.1.2.4.7.2. Oxígeno disuelto	172
3.1.2.4.7.3. SALINIDAD	173
3.1.2.4.7.4. SISTEMA DE LOS CARBONATOS (PH, PCO2, ESTADO DE SATURACIÓN DEL CARBONATO)	173
3.1.2.4.7.6. RESUMEN DE PROCESOS OCEANOGRÁFICOS FÍSICOS Y QUÍMICOS RELEVANTES PARA EL HÁBITAT DE MYTILUS	
CHILENSIS	176
3.1.2.5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS ALGAS PARDAS NORTE DE CHILE (LESSONIA Y MACROCYSTIS)	178
3.1.2.5.1. Aspectos Reproductivos	183
3.1.2.5.1.1. CICLO DE VIDA	184
3.1.2.5.1.2. Ecología Reproductiva	187
3.1.2.5.1.3. CRECIMIENTO	202
3.1.2.5.2. TALLAS	206
3.1.2.5.2.1. PRIMERA MADUREZ SEXUAL	207
3.1.2.5.2.2. ESTRUCTURA DE TALLAS	208
3.1.2.5.3. MORTALIDAD Y RECLUTAMIENTO	211
3.1.2.5.4. PRINCIPALES PARÁMETROS AMBIENTALES QUE AFECTAN Y DEFINEN EL HÁBITAT DE LAS ALGAS PARDAS NORTE D	DE
Chile	213
3.1.2.5.4.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR	213
3.1.2.5.4.2. RADIACIÓN SOLAR	216

3.1.2.5.4.3. SALINIDAD	. 218
3.1.2.5.4.4. NUTRIENTES	. 219
3.1.2.5.4.5. EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS)	. 220
3.1.2.5.4.6. RESUMEN DE PROCESOS ABIÓTICOS Y BIÓTICOS RELEVANTES PARA EL HÁBITAT DE ALGAS PARDAS	. 222
3.1.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PESQUERA Y AMBIENTAL	. 225
3.1.3.1. INFORMACIÓN PESQUERA	. 225
3.1.3.1.1. JUREL FRENTE A CHILE	. 229
3.1.3.1.1.1. HUEVOS	. 229
3.1.3.1.1.2. Capturas	. 230
3.1.3.1.2. Anchoveta zona centro-sur	. 234
3.1.3.1.2.1. HUEVOS	. 234
3.1.3.1.2.2. Capturas	. 235
3.1.3.2. INFORMACIÓN AMBIENTAL	. 238
3.1.3.2.1. Base datos ambientales proyectos	. 238
3.1.3.2.2. INFORMACIÓN AMBIENTAL SATELITAL	. 239
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO II) CARACTERIZAR Y ELABORAR UN MODELO CONCEPTUAL DE HÁBITAT ESENCIAL ASOCIADO A CAD	A
UNO DE LOS RECURSOS PESQUEROS DE INTERÉS EN SUS DISTINTAS ETAPAS DE VIDA Y SUS CONECTIVIDADES	. 241
3.2.1. MODELO CONCEPTUAL DEL HÁBITAT ESENCIAL DEL JUREL FRENTE A CHILE	. 241
3.2.1.1. DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT ESENCIAL POR ETAPA DE VIDA	. 242
3.2.1.1.1 HUEVOS Y LARVAS	. 242
3.2.1.1.2. JUVENILES Y ADULTOS	. 243
3.2.1.2. TABLA DE HÁBITAT DEL JUREL	. 245
3.2.1.3. MAPA CONCEPTUAL DEL HÁBITAT DEL JUREL	. 250
3.2.1.4. MODELO CONCEPTUAL ESPACIO TEMPORAL DEL JUREL	. 253
3.2.2. MODELO CONCEPTUAL DEL HÁBITAT ESENCIAL DE ANCHOVETA EN LA ZONA CENTRO-SUR	. 257
3.2.2.1. DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT ESENCIAL POR ETAPA DE VIDA	. 257
3.2.2.2. TABLA DE HÁBITAT DE LA ANCHOVETA CENTRO - SUR	. 259
3.2.2.3. MAPA CONCEPTUAL DEL HÁBITAT DE LA ANCHOVETA CENTRO-SUR	. 264
3.2.2.4. MODELO CONCEPTUAL ESPACIO TEMPORAL DE LA ANCHOVETA CENTRO-SUR	. 266
3.2.3. MODELO CONCEPTUAL LOCO FRENTE A CHILE	. 269
3.2.3.1. DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT ESENCIAL POR ETAPA DE VIDA	. 270
3.2.3.1.1. LARVAS ENCAPSULADAS Y RECIÉN ECLOSIONADAS	. 271
3.2.3.1.2. LARVA COMPETENTE	. 273
3.2.3.1.3. JUVENILES Y ADULTOS	. 274
3.2.3.2. TABLA DE HÁBITAT DEL LOCO	. 278

3.2.3.4. MODELO CONCEPTUAL ESPACIO TEMPORAL DEL HÁBITAT ESENCIAL DEL LOCO	283
3.2.4. MODELO CONCEPTUAL CHORITO FRENTE A CHILE	286
3.2.4.1. DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT ESENCIAL POR ETAPA DE VIDA	287
3.2.4.1.1. Larvas	287
3.2.4.1.2. Larva competente	289
3.2.4.1.3. Asentados, juveniles o Semillas	290
3.2.4.1.3. Adultos	291
3.2.4.2. TABLA DE HÁBITAT DEL CHORITO	291
3.2.4.4. MODELO CONCEPTUAL ESPACIO TEMPORAL DEL HÁBITAT ESENCIAL DEL CHORITO	296
3.2.5. MODELO CONCEPTUAL ALGAS PARDAS FRENTE A CHILE	299
3.2.5.1. DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT ESENCIAL POR ETAPA DE VIDA	301
3.2.5.1.1. FASES MICROSCÓPICAS: ZOOESPORAS, GAMETOS Y GAMETOFITOS	302
3.2.5.1.2. DISPERSIÓN DE PROPAGULOS	309
3.2.5.1.3. JUVENILES Y ADULTOS	311
3.2.5.1.4. PRINCIPALES PARÁMETROS AMBIENTALES QUE AFECTAN Y DEFINEN EL HÁBITAT DE LAS ALGAS PARDAS NORTE	DE
CHILE	312
3.2.5.2. TABLA DE HÁBITAT DE ALGAS PARDAS	319
TABLA 26. NIVEL DE IMPORTANCIA DE HÁBITAT ESENCIAL (HE) POR ETAPA DE VIDA PARA EL RECURSO MACROALGAS PARDA	s.
	321
3.2.5.3. MAPA CONCEPTUAL DEL HÁBITAT DE ALGAS PARDAS	322
3.2.5.3.2. IMPACTOS DE LA PESQUERÍA SOBRE EL RECURSO MACROALGAS PARDAS	326
3.2.5.4. MODELO CONCEPTUAL ESPACIO TEMPORAL DEL HÁBITAT ESENCIAL DE ALGAS PARDAS	328
3.3 OBJETIVO ESPECÍFICO III) ESTABLECER UN MODELO PREDICTIVO DE LA DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT ESENCIAL PARA LOS	
RECURSOS PESQUEROS CONSIDERADOS Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO.	331
3.3.1. MODELOS PREDICTIVOS DE JUREL BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	332
3.3.1.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE JUREL FRENTE A CHILE	332
3.3.1.2. DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE VARIABLES AMBIENTALES	334
3.3.1.3. MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL HÁBITAT ESENCIAL DE JUREL EN BASE AL MÉTODO DE MÁXIMA	4
entropía (Maxent)	338
3.3.1.3.1. MODELO ESPACIAL DEL HÁBITAT DE HUEVOS DE JUREL	338
3.3.1.3.2. MODELO ESPACIAL DEL HÁBITAT DE ADULTOS DE JUREL	344
3.3.1.4. MODELACIÓN DE LAS CAPTURAS DE JUREL EN BASE AL MÉTODO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)	353
3.3.1.4.1. ZONA DE ESTUDIO Y PERÍODO DE ESTUDIO	354
3.3.1.4.2. VARIABLES UTILIZADAS	354

3.3.1.4.3.1. CORRELACIONES ENTRE VARIABLES.	. 359
3.3.1.4.3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).	. 359
3.3.1.4.3.3. CORRELACIONES CRUZADAS	. 360
3.3.1.4.3.4. MODELACIÓN CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)	362
3.3.2. MODELOS PREDICTIVOS DE ANCHOVETA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	367
3.3.2.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE ANCHOVETA EN LA ZONA CENTRO-SUR	367
3.3.2.2. DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE VARIABLES AMBIENTALES	369
3.3.2.3. MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL HÁBITAT ESENCIAL DE ANCHOVETA EN BASE AL MÉTODO DE	
MÁXIMA ENTROPÍA (MAXENT)	. 371
3.3.2.3.1. MODELO ESPACIAL DEL HÁBITAT DE HUEVOS DE ANCHOVETA	371
3.3.2.3.2. MODELO ESPACIAL DEL HÁBITAT DE ADULTOS DE ANCHOVETA	378
3.3.2.4. MODELACIÓN DE LAS CAPTURAS DE ANCHOVETA EN BASE AL MÉTODO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA	4)385
3.3.2.4.1. ZONA DE ESTUDIO Y PERÍODO DE ESTUDIO	. 385
3.3.2.4.2. VARIABLES UTILIZADAS.	. 385
3.3.2.4.3. ANÁLISIS PREVIO DE LOS DATOS, SELECCIÓN DE VARIABLES Y SUAVIZAMIENTO	387
3.3.2.4.3.1. CORRELACIONES ENTRE VARIABLES.	387
3.3.2.4.3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).	388
3.3.2.4.3.3. CORRELACIONES CRUZADAS	389
3.3.2.4.3.4. MODELACIÓN CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)	391
3.3.3. MODELOS PREDICTIVOS DE CONCHOLEPAS CONCHOLEPAS (LOCO) BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	396
3.3.3.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE LOCO EN LA ZONA DE ESTUDIO	396
3.3.3.2. DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE VARIABLES AMBIENTALES	400
3.3.3.3. MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL HÁBITAT ESENCIAL DE LOCO EN BASE AL MÉTODO DE MÁXIM	IA
entropía (Maxent)	. 413
3.3.3.1. MODELO ESPACIAL DEL HÁBITAT DE CÁPSULAS DE LOCO	. 414
3.3.3.3.2. MODELO ESPACIAL DEL HÁBITAT DE RECLUTAS DE C. CONCHOLEPAS (LOCO)	426
3.3.3.3. MODELO ESPACIAL DEL HÁBITAT DE ADULTOS DE C. CONCHOLEPAS (LOCO)	438
3.3.4. MODELOS PREDICTIVOS DE CHORITO BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	451
3.3.4.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE <i>MYTILUS CHILENSIS</i> (CHORITO) EN LA ZONA DE ESTUDIO	451
3.3.4.2. DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE VARIABLES AMBIENTALES	452
3.3.4.3. MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL HÁBITAT ESENCIAL DE CHORITO EN BASE AL MÉTODO DE MÁ	XIMA
entropía (Maxent)	. 454
3.3.4.3.1. MODELO ESPACIAL DEL HÁBITAT DE ADULTOS Y JUVENILES DE <i>M. CHILENSIS</i> (CHORITO)	. 455
3.3.5. MODELOS PREDICTIVOS DE ALGAS PARDAS BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	467
3.3.5.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE ALGAS PARDAS EN LA ZONA DE ESTUDIO (MACRO ZONA NORTE)	467

5.5.5.2. DISTRIBUCION ACTUAL I FUTURA DE VARIADES AIVIDIENTALES	470
3.3.5.3. MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL HÁBITAT ESENCIAL DE ALGAS PARDAS EN BASE AL MÉTOD	O DE
MÁXIMA ENTROPÍA (MAXENT)	471
3.3.5.3.1. MODELO ESPACIAL DEL HÁBITAT DE ADULTOS DE ALGAS PARDAS	471
3.3.6. DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DEL HÁBITAT ESENCIAL DE RECURSOS BENTÓNICOS	506
3.3.6.1. RECURSO LOCO EN LA MACRO ZONA NORTE	506
3.3.6.2. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE CHORITO EN LA ZONA DE ESTUDIO	510
3.3.6.3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE ALGAS PARDAS EN LA ZONA DE ESTUDIO (MACRO ZONA NORTE)	512
3.4. VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE HÁBITAT ESENCIAL PARA LOS RECURSOS PESQUEROS EN ESTUDIO	516
3.4.1. JUREL	516
3.4.1.1. HÁBITAT ESENCIAL DE HUEVOS DE JUREL	516
3.4.1.2. HÁBITAT ESENCIAL DE ADULTOS DE JUREL	518
3.4.2. Recurso Anchoveta centro-sur	519
3.4.2.1. HÁBITAT ESENCIAL DE HUEVOS DE ANCHOVETA CENTRO-SUR	519
3.4.2.2. HÁBITAT ESENCIAL DE ADULTOS DE ANCHOVETA CENTRO-SUR	520
3.4.3. Recurso Loco	522
3.4.4. Recurso Chorito	526
3.4.5. Recurso Macroalgas pardas	529
	533
	,
5. TALLER DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS PROYECTO FIP 2014-25 "IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACI	ÓN Y
/ULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE HÁBITAT ESENCIALES ASOCIADOS A RECURSOS	
HIDROBIOLÓGICOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN CHILE"	543
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	546
	592
ANEXO 1. ACTAS DE REUNIONES	592
ANEXO 1. ACTAS DE REUNIONES	592 593
ANEXO 1. ACTAS DE REUNIONES Acta Reunión № 1 Acta Reunión № 2	592 593 595
ANEXO 1. ACTAS DE REUNIONES Acta Reunión № 1 Acta Reunión № 2 Acta Reunión № 3	592 593 595 596
ANEXO 1. ACTAS DE REUNIONES ACTA REUNIÓN № 1 ACTA REUNIÓN № 2 ACTA REUNIÓN № 3 ACTA REUNIÓN № 3	592 593 595 596 597
ANEXO 1. ACTAS DE REUNIONES ACTA REUNIÓN № 1 ACTA REUNIÓN № 2 ACTA REUNIÓN № 3 ACTA REUNIÓN № 3 ANEXO 2. PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD INEXO 3. TALLER DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS	592 593 595 596 597 601
ANEXO 1. ACTAS DE REUNIONES ACTA REUNIÓN № 1 ACTA REUNIÓN № 2 ACTA REUNIÓN № 3 ANEXO 2. PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD ANEXO 3. TALLER DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS INVITACIÓN TALLER DE DIFUSIÓN	592 593 595 596 597 601
ANEXO 1. ACTAS DE REUNIONES ACTA REUNIÓN № 1 ACTA REUNIÓN № 2 ACTA REUNIÓN № 3 ANEXO 2. PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD ANEXO 3. TALLER DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS INVITACIÓN TALLER DE DIFUSIÓN LISTA DE ASISTENTES TALLER DE DIFUSIÓN	592 593 595 596 597 601 602 603

NOTICIAS DEL EVENTO	
	606

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de trabajo de la recolección y revisión bibliográfica. 47 Figura 2. Ventana de ingreso de nueva referencia en la librería EndNote X7 49 Figura 3. Estado actual de la importancia relativa de los elementos de conocimiento clave en la investigación, para las especies pesqueras más importantes de Chile (Yáñez et al., 2011). 54 Figura 4. Hábitats esenciales del pez espada frente a Chile considerando las zonas de reproducción (huevos y larvas), crianza (juveniles) y alimentación (adultos) (Yáñez et al., 2009). 58 Figura 5. Representación del espacio geográfico mediante diagrama BAM (Soberón y Peterson, 2005). 60 Figura 6. Modelo conceptual espacio-temporal (3x3), con planos en el ambiente marino físico, biológico y humano (pesquero), junto a los procesos y forzantes del ecosistema habitado por el pez espada. 61 Figura 7. Diagrama de flujo de la modelación propuesta en el presente proyecto. 64 Figura 8. Descripción de los componentes medibles de la vulnerabilidad al cambio climático. 74 77 Figura 9. Ventana de acceso principal a la base de datos bibliográfica en EndNote X7. Figura 10. El "cinturón de jurel" (de Grechina, 2008, en Gerlotto& Dioses, 2013). 84 Figura 11. Ciclo reproductivo de jurel T. murphy, serie histórica completa del IGS 2001-2012 (Perea et al., 2013). 86 Figura 12. Áreas de desove de jurel en el Océano Pacífico, relacionados con la isoterma 16°C al principio y al final de la temporada de desove. 1. Ámbito general de desove; 2. Área donde se recolectaron los huevos y / o larvas; 3. Área donde las concentraciones de huevos y larvas están por encima 200 m⁻² (de Grechina, 2008, en Gerlotto & Dioses, 2013). 87 Figura 13. Distribución de larvas en las aguas peruanas desde 1970 a 2010 (Ayón & Correa, 2013). 90 Figura 14. Tallas de primera madurez (L50) de jurel T. murphyi para Chile, valores bianuales de 1964 a 2012 (Perea et al., 2013). 93 Figura 15. Estructura de talla (porcentaje en número) de jurel nacional 2007-2012 (Subpesca, 2013). 94 Figura 16. Captura en número a la talla de jurel a nivel nacional 2010-2011. Línea vertical indica talla mínima legal de 26 cm LH (Subpesca, 2013). 94 Figura 17. Distribución de frecuencias de longitud anual de jurel nacional 1975-2014. Superior: zona Norte, Inferior zona Centro - Sur. Puntos rojos indican talla media, línea segmentada indica talla media de madurez. (Aranis et al., 2014). 95 Figura 18. Composición del desembarque por grupo de edad y zona período 2001-2012. (Elaboración en base a datos proporcionados por IFOP) 97 Figura 19. Esquema generalizado de migraciones de la subpoblación oceánica de jurel durante su ciclo de vida. 1: migraciones de peces adultos desovantes; 2: migraciones de peces adultos en engorda; 3: migraciones de peces juveniles de 2 y 3 años de edad; 4: migraciones de peces adultos entre zonas de desove y de engorda; 5: distribución de alevines y juveniles de hasta un año de edad. (Gretchina, 1998). 99

Figura 20. Modelo de los procesos de advección larval para *Trachurus murphyi* en el sudeste del océano Pacífico (Vásquez, 2012) 100

Figura 21. Modelo esquemático propuesto por Bertrand et al. (2006), para el comportamiento del jurel en el cual el alimento está disponible sólo por la noche. El jurel está representado por amarillo a pequeñas estructuras rojas (según densidad y abundancia creciente de amarillo a rojo); las presas están representadas por capas continuas de verde a naranja.

Figura 22. Modelo conceptual de la estructura espacial del stock de jurel frente a las costasde Chile, previo a la ocurrencia de El Niño 1997-98 (Arcos et al., 2001).103

Figura 23. Modelo conceptual de la estructura espacial del stock de jurel frente a las costasde Chile, durante y después de El Niño 1997-98 (Arcos et al., 2001).106

Figura 24. Patrones de distribución vertical de cardúmenes de jurel (JC) en relación a la isooxígena de 1 ml/L (Dioses, 2013).

Figura 25. Esquema general de las corrientes en el Océano Pacífico Sur (Dioses, 2013). 109 Figura 26. Mapa de las zonas de pesca de la pesquería pelágica Centro-Sur, Chile. (Aranís et al., 2012) 112

Figura 27. Reclutamiento estimado, porcentajes de ejemplares bajo talla de primera madurez y moda principal de anchoveta. Período 1991 al 2010 en la zona Centro-Sur (San Antonio-Valdivia). (Aranís et al., 2012). 117

Figura 28. Talla de primera madurez sexual al nivel del 50% de hembras maduras. Zona Centro – Sur de Chile. (Cubillos et al., 1999) 118

Figura 29. Estructura de talla de anchoveta según Región, 2011. (Aranís et al., 2012) 119 Figura 30. Distribución de las longitudes anuales de anchoveta. Periodo 2001-2011. (Aranís et al., 2012) 120

Figura 31. Distribución de las tallas promedios de anchoveta. Periodo 2001-2011. (Aranís et al., 2012) 120

Figura 32. (A) Distribución geográfica de *C. concholepas*; (B) Poblaciones de *C. concholepas* que presentan diferencias en morfologías de sus conchas; (C) Variabilidad espacial y temporal de la Temperatura Superficial del Mar registrada a nivel nacional y que influencia a las poblaciones de *C. concholepas* a lo largo de su distribución (Ramajo et al., 2013).

Figura 33. Agregaciones reproductivas de *C. concholepas* y cápsulas (color amarillo) depositadas por las hembras sobre el substrato rocoso del intermareal de la costa de Chile Central (Manriquez & Castilla, 2001).

Figura 34. (A) Cápsulas de *C. concholepas* maduras y apunto de eclosionar; (B) larvas véliger recién eclosionadas; (C) larva pedivéliger competente y lista para asentarse. A y B tomado de Manriquez et al., 2014; créditos de la fotografía en (C), Dr. Jorge Navarro (en http://www.eula.cl/anillos_acidificacion/images/lab/act_lab6.jpg revisado el 2 de julio del 2015)

Figura 35. Modelo de retención larval de *C. concholepas* postulado para la costa de Chile central. El modelo integra la migración vertical reversa con la estratificación en un ecosistema de surgencia costera (Poulin et al., 2002b). 131

Figura 36.Variabilidad espacial y temporal en el área ocupada por posturas de cápsulas ovigeras de *C. concholepas* en un área de manejo (a) y un área de libre acceso (b) de la costa de Chile central (Manriquez & Castilla, 2001). 132

Figura 37. Relaciones entre tamaño de la hembra de *C. concholepas*, longitud de la cápsula y número de larvas registradas en el ambiente submareal (•) e intermareal (o) de Chile central (Manriquez & Castilla, 2001).

Figura 38. Esquema del ciclo de vida de *C. concholepas* en la IV región de Chile (Stotz, 1997).

Figura 39. Estructura de Tallas (áreas de manejo columnas y áreas de libre acceso, línea y puntos) y Desembarques de *C. concholepas* registrados en la costa de la III y IV regiones de Chile FIP 2002-16).

Figura 40. Resumen de tasas de crecimiento, consumo de presas, de post-metamórficos, juveniles y adultos de *C. concholepas* y tiempo para alcanzar la talla comercial (Manriquez et al., 2008).

Figura 41. Modelo conceptual integrando de procesos biológicos de *C. concholepas* y procesos físico relevantes para la dispersión larval de este recurso (a), y resultados de un modelo ROM para la matriz de conectividad entre un área de liberación larval y áreas de asentamiento exitoso de *C. concholepas* (Garavelli et al., 2014). 140

Figura 42. Modelo conceptual para integrar el ciclo de vida de *C. concholepas* suponiendo cinco subpoblaciones a lo largo de la costa de Chile. Los círculos negros indican una etapa de desarrollo embrionario intra-capsular cuya duración es proporcional al área del círculo; las flechas indican la fase de dispersión; la flecha negra indica auto-reclutamiento (A) y su longitud es proporcional a la duración del periodo de dispersión larval; las flechas rojas indican conectividad (C) entre poblaciones dado por dispersión larval interactuando con el flujo hidrodinámico dominante en la dirección sur-norte (flecha sólida) o por eventuales reversiones en sentido contrario (flecha roja segmentada) 142

Figura 43. Esquema conceptual de las principales rutas (flechas) de interacciones tróficas de larvas véliger recién eclosionadas y competentes de*C. Concholepas* ante variabilidad espacial/temporal en los niveles de clorofila. 146

Figura 44. Procesos hidrodinámicos físicos y químicos que dominan la variabilidad ambiental a lo largo de la distribución de C. concholepas en la costa de Chile. (a) Sistemas de corrientes; HC = Corriente de Humboldt; CHC = Corriente del cabo de Hornos, CCC = Corriente Costera de Chile (Thiel et al., 2007); (b) Principales centro de surgencia de la costa de Chile indicados por puntos negros (Thiel et al., 2007); (c) Gradiente latitudinal en temperatura superficial del mar; número indican isolíneas de temperatura (http://www.podacc.gov); (d); Descarga de plumas de ríos en el océano costero de la zona centro-sur de Chile: Imagen facilitada por **SeaWiFS** Project: http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images; (d) Flujos de CO₂ entre la superficie del océano y la atmósfera registrada en cruceros costeros, valores positivos indican emisión de CO₂, valores negativos indican zonas sumideros de CO₂ (Torres et al., 2011). 147 Figura 45. Actual área de distribución del chorito Mytilus chilensis en la costa del sur de Chile (Toro et al. 2006). 149 Figura 46. Ciclo de vida de bivalvos mitilidos. http://www.fao.org/fi/figis/culturespecies/ revisado el 10 de Julio de 2015. 150

Figura 47. Variabilidad espacial y estacional de la producción de larvas en diferentes sectores del seno de Reloncaví, mar interior de Chiloé y estuario Pitipalena (IFOP 2015, Autor: David Opazo). 152

Figura 48. Estados reproductivos de hembras de *M. chilensis*, en cuatro de las localidades estudiadas en el seno de Reloncaví. Estados: 1: en maduración, 2a: maduración avanzada, 2b: madurez total, 3: en desove y 4: en regresión (Avendaño et al., 2011). 153

Figura 49. Resumen de potencial reproductivo de *M. chilensis* colectados desde bancos naturales de la zona de Chiloé (Yaldad) y Pta Arenas (Zenteno) (Lagos et al., 2012a). 154 Figura 50. Larva Mytilidae. Localidad Cauquear, abril del 2006(FIP 2005-18). 155

Figura 51. Máxima longitud de larvas de *M. chilensis* cultivadas a 2 temperaturas y colectadas en 2 poblaciones de su rango de distribución (Lagos et al., 2012b). 155

Figura 52. Variabilidad temporal y espacial en la disponibilidad de larvas de *Mytilus chilensis* en 3 sitios del seno de Reloncaví. Simultáneamente se presenta la variabilidad ambiental símbolos negros = temperatura; blancos = salinidad (Barria et al., 2012). 157 Figura 53. Abundancia de larvas de *M. chilensis* (ind×m⁻³) colectadas a 7.5 m de profundidad en las localidades de Quillaipe y Metri (seno Reloncaví), Sotomo y Canutillar (fiordo Reloncaví) y Pichicolo (Avendaño et al., 2011). 158

Figura 54. Estructura de tamaños de *M. chilensis* colectados desde bancos naturales en 4 sitios del fiordo Reloncaví y separados según la presencia (izquierda) y ausencia de epibiontes (derecha) (Molinet et al., 2015).

Figura 55. Variación temporal en el crecimiento observado y estimado de *Mytilus chilensis*, en Rilán (Chiloé). Nota: la medida es mm×mes⁻¹ (Marambio et al., 2012). 161

Figura 56. Microfotografías de secciones de gónadas de hembras y machos de *Mytilus chilensis* durante diferentes etapas de su desarrollo gonádico (Oyarzun et al., 2011). 162 Figura 57. Índice gonadal (promedio + DE) para machos (IGM) y hembras (IGH) de *Mytilus chilensis* y temperatura (°C) registrado en a) Chaihuín y b) bahía Yal (octubre 2007- junio 2008) (Oyarzun et al., 2011). 162

Figura 58. Relaciones alométricas entre tamaño (L), peso (W) y tasa de aclaramiento (CR)de*M. chilensis* (círculos y línea segmentada) (Ibarrola et al., 2012).163

Figura 59. Relación entre la concentración de seston con (a la izquierda) tasa de aclaramiento (CR), tasa de filtración (FR) eficiencia de selección (SE); (a la derecha) tasa de ingestión (IR), eficiencia de absorción (AE) y tasa de absorción (AR) bajo condiciones de laboratorio e *in situ* (Velasco & Navarro, 2005). 164

Figura 60. Variación temporal del Índice de RendimientoProductivo (%), temperatura (°C) y materia orgánica particulada (MOP) (mg L⁻¹) en Rilán (Chiloé), Chile (Marambio et al., 2012).

Figura 61. Dendrograma Fenético basado en 5 loci polimórficos mostrando la relación entre 8 poblaciones*M. chilensis* a través de su actual rango de distribución (Toro et al., 2006). 167 Figura 62. Modelo conceptual para integrar el ciclo de vida de *M. chilensis* suponiendo subpoblaciones desde el Golfo de Arauco a Punta. Arenas. Los círculos negros indican subpoblaciones donde se desarrollan los individuos y aportan a la producción de larvas.; las flechas indican la fase de dispersión; la flecha negra indica auto-reclutamiento (A); las flechas rojas indican conectividad (C) entre sub-poblaciones dado por dispersión larval interactuando con el flujo hidrodinámico dominante en la dirección sur-norte (flecha sólida)

o por eventuales reversiones en sentido contrario (flecha roja segmentada). En la zona más austral, la conectividad en el sentido norte sur es menor (flecha segmentada en ambos sentidos) debido al aislamiento por distancia y barreras oceanográficas (Corriente de Cabo de Hornos), que limitaría el intercambio de individuos en esta región de la Patagonia. (Modificado de Toro et al., 2006).

Figura 63. Modelos para los perfiles de temperatura y salinidad propuestos para la región de los canales y fiordos de la Patagonia (Sievers et al., 2006) 169

Figura 64. Variabilidad temporal en temperatura y salinidad registrada mensualmente en sitios de seguimiento de distribución larval de *M. chilensis* en el seno de Reloncaví, fiordo de Reloncaví y mar interior de Chiloé.Datos tomados a 5 m de profundidad (Avendaño et al., 2011).

Figura 65. Frecuencia de los estados de maduración en dos poblaciones de *M. chilensis*acondicionadas a 9°C y 15°C (Lagos et al., 2012).171

Figura 66. Cambios en tasa de calcificación (izquierda) y aumento en peso (derecha) deM. *chilensis* ante aumento de CO₂ y temperatura (12 y 16°C) en al agua de mar (Duarte et al., 2014b). 171

Figura 67. Resumen de valores mínimos de oxígeno disuelto (a) registrados en diferentesfiordos de la Patagonia (b) (Silva & Vargas, 2014).172

Figura 68. Resumen de variación en el sistema de los carbonatos en el área de Metri en el seno de Reloncaví (Alarcón et al., 2015). 174

Figura 69. (a) Incremento en peso y (b) Potencial de crecimiento de *M. chilensis* (ante aumentos de CO₂ en el agua (y disminución de pH). ((a) Duarte et al., 2014a; (b) Navarro et al., 2013).

Figura 70. Distribución de clorofila y feopigmentos (mg·m⁻³) en Canal Baker (izquierda) y Caleta Tortel (derecha), representativas de los canales continentales del norte de la Patagonia (Ramirez, 2006). 176

Figura 71. Distribución horizontal de la temperatura superficial (A) concentración de clorofila-a (B) (derivado de imágenes MODIS-Aqua, Julio 2002–Diciembre 2010), y sedimentos totales suspendidos (C) (imágenes MERIS, Noviembre 2005 – Febrero 2011). Las líneas de contornos en A y B corresponden a la isolínea de 12 °C y 5 mg m⁻³, respectivamente (Nuñez-Acuña et al., 2012). 177

Figura 72. Modelo esquemático de la circulación vertical en las secciones: boca del Guafo a estuario Reloncaví; boca del Guafo a estero Elefantes; golfo de Penas a canal Concepción y estrecho de Magallanes (a); Modelo esquemático de la circulación horizontal a nivel superficial (0- ~30 m) (Sievers & Silva, 2006). 178

Figura 73. Actual área de Distribución de las algas pardas a lo largo de la costa de Chile. Se representa mediante una barra continua la distribución latitudinal de *Lessonia nigrescens* (L_n) ; *Lessonia trabeculata* (L_t) , *Macrocystis integrifolia* (M_i) , *Macrocystis pyrifera* (M_p) y *Durvillaea antarctica* (D_a) (Vásquez et al., 2008). 180

Figura 74. Tendencia temporal en el desembarque de algas pardas a nivel nacional. Lafigura ilustra la variación interanual en (a) Desembarque total a nivel nacional de algaspardas para el periodo 1991-2008; (b) Desembarque nacional de algas pardas desde áreasde manejo de recursos bentónicos para el periodo 2002-2008 (IFOP; Sernapesca).182Figura 75. Anatomía general de las algas pardas laminariales.183

Figura 76. Ciclo de vida de algas pardas laminariales (IFOP, 2008; 2009). 184

Figura 77. Morfología de estadíos tempranos de *L. trabeculata*. A) Embriosporas con tubo de germinación (flecha). Escala = 8 μ m. B) Célula primaria del gametofito femenino adherida a la espora vacía que la originó (flecha). Escala = 6 μ m. C) Gametofito masculino con anteridio en su sección apical (flecha). Escala = 16 μ m. D) Gametofito femenino estéril en fase de crecimiento. Escala = 16 μ m. E) Gametogénesis avanzada: gametofito femenino fertil de *L. trabeculata*, con oogonios en su sección apical. Escala = 15 μ m. F) - G) liberación de la célula huevo post-fecundacion y esporofito inicial. Escala = 20 μ m. H) Esporofitos tempranos de *L. trabeculata* con gametofitos residuales. Escala = 40 μ m (Murúa, 2010).

Figura 78. Fertilidad de gametofitos femeninos de *L. trabeculata* (24 días post-liberación de zoosporas) procedente de Bahía Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010). 190

Figura 79. Fertilidad de gametofitos femeninos de *L. trabeculata* (35 días post-liberación de zoosporas) procedente de Bahía Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010).

Figura 80. Éxito reproductivo de gametofitos femeninos de *L. trabeculata* (24 días postliberación de zoosporas) procedente de Bahía Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010).

Figura 81. Variación estacional del largo (cm), peso húmedo (g) y área (cm²) de las láminas de *Lessonia nigrescens* en las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

Figura 82. Variación estacional del área reproductiva (%) por lámina, del esfuerzo reproductivo (% soro peso seco) y liberación de esporas (nº/cm² de soro) de *Lessonia nigrescens* en las localidades de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008). 195

Figura 83. Variación estacional de la germinación de esporas (%, 3d de cultivo), fertilidad de gametofitos femeninos (% oogonios, 15d de cultivo) y éxito reproductivo (% esporofitos, 15d de cultivo) en cultivos de *Lessonia nigrescens* para las localidades de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

Figura 84. Variación estacional del largo (cm), peso húmedo (g) y área (cm2) de las láminas de *Lessonia trabeculata* en las localidades de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

Figura 85. Variación estacional del área reproductiva (%) por lámina, del esfuerzo reproductivo (% soro peso seco) y liberación de esporas (nº/cm² de soro) de *Lessonia trabeculata* en las localidades de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008). 198 Figura 86. Variación estacional de la germinación de esporas (%, 3d de cultivo), fertilidad de gametofitos femeninos (% oogonios, 15d de cultivo) y éxito reproductivo (%

esporofitos, 15d de cultivo) en cultivos de *Lessonia trabeculata* para las localidades de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008). 199

Figura 87. Variación estacional del largo (cm), peso húmedo (g) y área (cm²) de las esporófilas de *Macrocystis integrifolia* en las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

Figura 88. Variación estacional del área reproductiva (%) por esporofila, del esfuerzo reproductivo (% soro peso seco) y liberación de esporas (nº/cm² de soro) de *Macrocystis integrifolia* en las localidades de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008). 201 Figura 89. Variación estacional de la germinación de esporas (%, 3d de cultivo), fertilidad de gametofitos femeninos (% oogonios, 15d de cultivo) y éxito reproductivo (% esporofitos, 15d de cultivo) en cultivos de *Macrocystis integrifolia* para las localidades de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades de estudio de la III y IV Región.El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008). 202

Figura 90. Parametrización de crecimiento a la talla (a,b), relaciones gravimétricas (c,d) y crecimiento en peso (e) de *Lessonia nigrescens*para la zona central (González et al., 2002). 204

Figura 91. Ajuste de crecimiento en la talla y peso del disco en *Lessonia nigrescens* para las Regiones XV (Ex I) y IV, a partir de datos observados (González et al., 2002). 205 Figura 92. Ajuste de crecimiento en la talla y peso del disco en *Lessonia nigrescens* para las

Regiones XV (Ex I) a IV, a partir de datos observados. 206 Figura 93 Composición del desembarque en numero y peso a la talla de Lassonia

Figura 93. Composición del desembarque en numero y peso a la talla de *Lessonia* nigrescens, de la XV (Ex I) a IV regiones, a lo largo de la zona norte (Vásquez et al. 2002). 207

Figura 94. Estructura de talla poblacional del disco basal (cm) de *Lessonia nigrescens*, en los sectores en estudio de la I a IV regiones (González et al., 2002). 209

Figura 95. Relación gravimétrica del diámetro de disco basal (cm) y peso total (g) de L.nigrescens, para las regiones I a IV (González et al., 2002).210

Figura 96. Estimación de mortalidades (a,b), producción máxima (c,d), reclutamiento (E) y asentamiento relativo estacional (f) de *L. nigrescens* para Chile central (González et al., 2002).

Figura 97. Germinación de embriosporas de *L. trabeculata* (30 hrs. post- liberación de zoosporas) procedente de Bahía. Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010). 214

Figura 98. Germinación de embriosporas de L. trabeculata (4 días post-liberación de zoosporas) procedente de Bahía. Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010). 215

Figura 99. Penetración del espectro de la luz visible en el mar. La mayor penetración que se observa en el océano abierto se produce por la menor presencia de material particulado y

organismos.(Modificado de http://www.oceanexplorer.noaa.gov/, en Edding et al., 2006). 217

Figura 100. Praderas de Lessonia spp.en Chile, extensión batilitológica y parámetros
señalados como indicadores de agregación (Molinet et al., 2005)217Figura 101. Praderas de Macrocystis integrifolia en Chile, extensión batilitológica y
parámetros señalados como indicadores de agregación (Molinet et al., 2005)218Figura 102. Concentración de elementos esenciales en el agua de mar y en algas (Edding et
al., 2006)219Figura 103. Diagrama de Stommel resumiendo las escalas espaciales y temporales de los
procesos ambientales relevantes para las macroalgas pardas (Modificado de Vance, 2007).
223

Figura 104. Diagrama de Stommel resumiendo las escalas espaciales y temporales de los procesos biológicos y de ciclo vital de las macroalgas pardas (Elaboración propia). 224 Figura 105. Cruceros de Reclutamiento de Anchoveta en la base bibliográfica EndNote. 225 Figura 106. Cruceros de Evaluación de stock desovante de anchoveta en la base EndNote

Figura 107. Informes FIP del recurso jurel ingresadas a la base de datos EndNote. 226

Figura 107. Informes FIP del recurso loco ingresadas a la base de datos Endivole. 226 226

Figura 109. Informes FIP del recurso chorito ingresadas a la base de datos EndNote. 227

Figura 110. Informes FIP del recurso algas pardas ingresadas a la base de datos EndNote. 227

Figura 111. Ejemplo de base de datos espacio-temporal de jurel en formato planilla Excel. 229

Figura 112. Abundancia (N° huevos / 10 m²) de huevos de jurel en la zona centro-sur durante noviembre de a) 2001 y b) 2006. 230

Figura 113. Ejemplo de base de datos espacio-temporal de jurel en formato planilla Excel. 231

Figura 114. Ejemplo de la distribución espacial de la captura, esfuerzo pesquero y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de jurel durante enero 2001 generado con el SIG IDRISI. 232

Figura 115. Distribución espacial de la CPUE (ton/100 m³) promedio de jurel para el período 2001-2011. 233

Figura 116. Ejemplo de base de datos espacio-temporal de anchoveta en formato planillaExcel. NHJ: Número de huevos de anchoveta.234

Figura 117. Abundancia total de huevos de anchoveta en la zona centro-sur. 235

Figura 118. Ejemplo de base de datos espacio-temporal de anchoveta en formato Excel. 236 Figura 119. Ejemplo de la distribución espacial de la captura, esfuerzo pesquero y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de anchoveta durante febrero 2003 generado con el SIG IDRISI. 237

Figura 120. Distribución espacial de la CPUE (ton/100 m³) promedio de anchoveta para el período 2001-2011. 238

Figura 121. Ejemplo de imágenes satelitales promedios mensuales (marzo 2009) de: a) temperatura superficial del mar, b) concentración de clorofila *a*, c) viento superficial del mar y d) anomalía del nivel del mar y corrientes geostróficas. 240

Figura 122. Esquema de elaboración modelo conceptual de la pesquería pelágica Centro-Sur 242 Figura 123. Rango de temperatura superficial de las capturas de huevos de jurel frente aChile (Elaboración propia proyecto FIP 2014-25)246

Figura 124. Rango de temperatura superficial (superior) y concentración de clorofila *a* (inferior) de las capturas de jurel frente a Chile (Elaboración propia proyecto FIP 2014-25) 246

Figura 125. Lances con pesca del jurel georeferenciados entre 2001-2012. (Datos
proporcionados por IFOP)251

Figura 126. Mapa conceptual del hábitat esencial del jurel. (Modificado de Arcos et al, 2001; Vásquez et al, 2013) 252

Figura 127. Modelo conceptual espacio temporal (4x4) de la pesquería del jurel. 256

Figura 128. Principales focos de surgencia en la zona centro sur. (se indican con círculo azul).

Figura 129. Rango de temperatura superficial de las capturas de huevos de anchoveta frente a Chile. 260

Figura 130. Rango de temperatura superficial y concentración de clorofila a de las capturasde anchoveta en la zona centro-sur de Chile.260

Figura 131. Variabilidad estacional de los rangos de aptitud de hábitat de la temperatura superficial, concentración de clorofila *a* y distancia a la costa para la anchoveta en la zona centro-sur de Chile. 261

Figura 132. Mapa conceptual del hábitat esencial de la anchoveta Centro-Sur. (Modificado de Cubillos et al., 2009) 265

Figura 133. Modelo conceptual espacio temporal (4x4) de la pesquería de la anchoveta Centro - Sur 268

Figura 134. Esquema de elaboración modelo conceptual del recurso Loco *Concholepas* concholepas. 270

Figura 135. Gradiente latitudinal en abundancia de capsulas de *C. concholepas* 272

Figura 136. Estructura de Tallas de *C. concholepas* (áreas de manejo columnas y áreas de libre acceso, línea y puntos) registrados en la costa de la III y IV regiones de Chile (FIP 2002-16). 278

Figura 137. Modelo conceptual del hábitat esencial de *C. Concholepas* y principales procesos ambientales que afectan su ciclo de vida. Se suponen 5 subpoblaciones a lo largo de la costa de Chile, los círculos negros indican el desarrollo embrionario intra-capsular cuya duración es proporcional al área del círculo, las flechas indican la fase de dispersión; la flecha negra indica auto-reclutamiento (A) y su longitud es proporcional a la duración del Periodo de Dispersión Larval; las flechas rojas indican conectividad (C) entre poblaciones dado por dispersión larval interactuando con el flujo hidrodinámico dominante en la dirección sur-norte (flecha solida) o por eventuales reversiones en sentido contrario (flecha roja sementada).

Figura 138. Modelo conceptual espacio-temporal de la pesquería del recurso *Concholepas concholepas* (Loco). 285

Figura 139. Esquema de elaboración modelo conceptual del recurso chorito (*Mytilus chilensis*) 287

Figura 140. Modelo conceptual para integrar el ciclo de vida de *M. chilensis* en su rango de actual distribución (a). Los círculos negros indican sub-poblaciones hipotéticas donde se desarrollan y maduran los individuos influenciados por la temperatura y disponibilidad de alimento (Nuñez-Acuña et al 2012, b), aportando a la producción de larvas; las flechas

indican la fase de dispersión; la flecha negra indica auto-reclutamiento (A); las flechas rojas indican conectividad (C) entre sub-poblaciones dado por dispersión larval interactuando con el flujo hidrodinámico dominante (detallados en c; Sievers & Silva 2006). Se supone una dirección sur-norte (flecha sólida) y con eventuales reversiones (flecha roja sementada). En la zona más austral, la conectividad en el sentido norte sur es menor (flecha segmentada en ambos sentidos debido a aislamiento por distancia y barreras oceanográficas (corriente de cabo de hornos), que limitaría el intercambio de individuos en esta región de la Patagonia. 295

Figura 141. Modelo conceptual espacio temporal de la pesquería del chorito (*Mytilus chilensis*). Los asteriscos indican que el sistema acuicultor en la zona de Chiloé, interactúa con los procesos de abundancia de adultos, disponibilidad de larvas y dispersión. 298

Figura 142. Esquema de elaboración modelo conceptual del recurso Macroalgas pardas 300 Figura 143. Variación estacional de parámetros reproductivos en Lessonia trabeculata. Se ilustra la variación en la longitud (A), biomasa húmeda (B) y ancho (C) de las frondas de L. trabeculata en tres localidades: Lagunillas (rombos blancos), Tongoy (cuadrados blancos) y Chungungo (triangulos blancos). Se ilustra la media y barras de error corresponden a errores estándar. Fuente: Tala et al (2004). 306

Figura 144. Variación estacional de parámetros reproductivos en Lessonia trabeculata. Se ilustra la variación en el área reproductiva absoluta (A), biomasa reproductiva por fronda (B) y esporas liberadas por unidad de área (C) de las frondas de L. trabeculata en tres localidades: Lagunillas (rombos blancos), Tongoy (cuadrados blancos) y Chungungo (triangulos blancos). Se ilustra la media y barras de error corresponden a errores estándar. Fuente: Tala et al (2004). 307

Figura 145. Variación estacional de parámetros reproductivos en Lessonia trabeculata. Se ilustra la variación en la germinación de esporas (A y B), fertilidad de los gametofitos femeninos (C y D) y éxito reproductivo de las fases microscópicas, estimado mediante la formación de esporofitos (E y F) de las frondas de L. trabeculata en tres localidades: Lagunillas (rombos blancos), Tongoy (cuadrados blancos) y Chungungo (triangulos blancos). Un grupo de cultivos se mantuvo sin aireación (columna izquierda), y el otro se mantuvo con aireación (columna derecha). Se ilustra la media y barras de error corresponden a errores estándar. Fuente: Tala et al (2004). 308

Figura 146. Curvas de dispersión observadas para propágulos de macroalgas en Chile Central. A) Ejemplo de una curva de dispersión logarítmica, de acuerdo a lo esperado por un proceso de dispersión análogo a la dispersión o sombra de semillas. B) Ejemplo de una curva de dispersión unimodal. C) Ejemplo de curva de dispersión bimodal. D) Ejemplo de curva de dispersión multimodal. Modificado de Bobadilla & Santelices (2005) 311 Figura 147. Mecanismos potenciales de dispersión en macroalgas pardas. Los diferentes modos de dispersión incluyen la dispersión de propágulos (esporas y espermatozoides), que se asocia con el ciclo de vida y se extiende principalmente distancias entre 0-10m. No obstante, se han detectado esporas hasta 4 kilometros aguas abajo de las poblaciones fuente. El segundo mecanismo corresponde a la saltación. Esta se ha demostrado Undaria pinnatifida donde la dispersión abarca escalas entre 10 y100m /año. de igual manera, la dispersión a la deriva de algas y fragmentos de algas podría generar eventos de dispersión del orden de 100 a 1000 m/año. Finalmente, el rafting de gametofitos y esporofitos conectados a dispositivos flotantes podría permitir la dispersión a distancias entre 100 y 5000 km (Thiel y Haye 2006). Posibles balsas para Lessonia son especies flotantes como *Macrocystis* y *Durvillaea antártida*, que tienen hábitats superpuestos con Lessonia. 318 Figura 148. Diagrama de Stommel resumiendo las escalas espaciales y temporales de los principales procesos ambientales físicos, quimicos y oceanográficos relevantes para las macroalgas pardas. Se destaca en color gris aquellos procesos y eventos relevantes para el transporte de distintas etapas del ciclo de vida. Modificado de Vance (2007). 323 Figura 149. Diagrama de Stommel resumiendo las escalas espaciales y temporales de los principales procesos bióticos relevantes para las macroalgas pardas. Elaboración propia en base a Vance (2007). 324

Figura 150. Modelo conceptual para integrar el ciclo de vida de las especies de macroalgas pardas en su rango de distribución actual en la macrozona norte (a). Las poblaciones locales o parches a lo largo del gradiente latitudinal desarrollan su ciclo de vida conforme a lo descrito en el texto, presentando distribuciones parchosas a lo largo del territorio y sustrato. En aquellos puntos en que se observan círculos negros, estos indican sub-poblaciones hipotéticas donde se desarrollan y maduran los individuos influenciados por las variables ambientales (temperatura, pH, salinidad, disponibilidad de nutrientes y radiación, etc.) aportando a la producción de propágulos. b) Se representa mediante flechas azules las condiciones de transporte oceanográfico imperantes determinan el entorno de dispersión que enfrentan tanto los propágulos, como eventuales eventos de dispersión de mayor escala. c) La integración de los eventos reproductivos y demográficos de dispersión junto con el entorno de transporte oceanográfico da origen a una función o kernel de dispersión para cada especie. En este caso, este se representa mediante un kernel de dispersión leptocúrtico, reflejando el sesgo hacia el autoreclutamiento o dispersión localizada, aunque se considera el acoplamiento entre poblaciones o parches distintas. d) El entorno abiótico modula tanto la fenología y magnitud de los eventos reproductivos, como el crecimiento y sobrevivencia. Se representa aquí mediante el diagrama de variación estacional de temperatura superficial del mar. e) Eventos de mayor escala espacial y tempora, como ENOS pueden afectar de manera más drástica la sobrevivencia y reproducción de las poblaciones locales, con un mayor impacto hacia las poblaciones del norte del país. 325

Figura 151. Modelo cuantitativo semi-conceptual propuesto por Tala & Edding (2007) para dar cuenta de las distintas transiciones de la biomasa de las especies de *Lessonia*. Las flechas que van hacia el compartimiento de *Lessonia* indican aquellos factores que favorecen incrementos en biomasa. Por otra parte, aquellas flechas que salen desde el compartimento principal indican la pérdida y destino de la biomasa algal. B, biomasa seca por unidad de superficie; DOM, materia orgánica disuelta; P, la productividad anual neta; POM, materia orgánica particulada. Adaptado de Tala y Edding 2007.Esto se verificó posteriormente con el aumento paulatino de los desembarques de macroalgas pardas, con el establecimiento de una pesquería propiamente tal. 326

Figura 152. Tendencia temporal en el desembarque de algas pardas a nivel nacional. La figura ilustra la variación interanual en (a) Desembarque total a nivel nacional de algas pardas para el periodo 1991-2008; (b) Desembarque nacional de algas pardas desde áreas de manejo de recursos bentónicos para el periodo 2002-2008. Fuente de información estadística: IFOP, Sernapesca. 327

Figura 153. Modelo conceptual espacio-temporal de la pesquería del recurso macroalgas pardas. 330
Figura 154. Distribución de la abundancia (N° huevos / 10 m^2) de huevos de jurel en la zona centro-sur durante noviembre 2003 y diciembre 2008. 332

Figura 155. Distribución espacial de las capturas de adultos de jurel para el período 2001 y 2012.

Figura 156. Distribución de la temperatura superficial del mar Actual (Noviembre 2003) área huevos jurel. 334

Figura 157. Distribución Futura de la Temperatura superficial del mar NCAR-CCSM3 A2 correspondiente a Noviembre 2055 (promedio Noviembre 2051 a 2060) - área huevos jurel 335

Figura 158. Distribución de la temperatura superficial del mar actual (promedio estacional 2001-2010) para el área de adultos de jurel. 336

Figura 159. Distribución Futura de la Temperatura superficial del mar NCAR-CCSM3 A2 correspondiente al promedio estacional para el período 2051-2060 en el área de adultos de jurel. 336

Figura 160. Distribución de la Concentración de clorofila *a* actual (promedio estacional 2001-2010) para el área adultos de jurel. 337

Figura 161. Distribución de la Concentración de clorofila *a* futura (promedio estacional
período 2051-2060) para el área adultos jurel.338

Figura 162. Ejemplo de la base datos de huevos de jurel y TSM de entrada para Maxent.339 Figura 163. Curvas respuesta que muestra como la TSM afecta la probabilidad de presencia de huevos. 340

Figura 164. Mapas de prediccion del indice de aptitud de hábitat (hsi) huevos jurel paranoviembre 2003-2008 y noviembre 2055 (promedio 2051-2060).341

Figura 165. Mapas de prediccion del indice de aptitud de hábitat (hsi) de huevos de jurel clasificado (Gormley et al., 2013) para noviembre 2003-2008 y noviembre 2055 (promedio 2051-2060). 342

Figura 166. Cambio en la aptitud de hábitat (hsi) de huevos de jurel noviembre 2003-08 y 2055. 343

Figura 167. Ejemplo de la base datos de adultos de jurel TSM y Cloa de entrada para Maxent. 344

Figura 168. Curvas respuesta Maxent que muestran como la temperatura superficial del mar (TSAM) y la clorofila a (Cloa) afectan la probabilidad de presencia de adultos de jurel. 345

Figura 169. Mapas de prediccion del indice de aptitud de hábitat (HSI) de adultos de jurel estacional (verano, otoño, invierno y primavera) actual 2005 (es decir promedio estacional 2001 a 2010) y futura 2055 (es decir promedio estacional 2051 a 2060). 348

Figura 170. Mapas estacionales (verano, otoño, invierno y primavera) de prediccion del indice de aptitud de hábitat (HSI) de adultos de jurel clasificados (Gormley et al., 2013) para 2005 (es decir promedio estacional 2001 a 2010) y 2055 (es decir promedio estacional 2051 a 2060). 349

Figura 171. Mapas de predicción del indice de aptitud de hábitat (HSI) y HSI clasificado de adultos de jurel anual actual 2005 y futura 2055. 350

Figura 172. Cambio estacional y anual en la aptitud de hábitat (hsi) de adultos de jurel entre 2055 y 2005. 352

Figura 173. Capturas de jurel del período 1973-2012.354

Figura 174. Esfuerzo de pesca jurel del período 1973-2012.354

Figura 175. Temperatura superficial del mar (TSM) Talcahuano.355

Figura 176. Nivel medio del mar (NMM).	355
Figura 177. Temperatura superficial del mar (TSM) de satélites NOAA, jurel.	356
Figura 178. Temperatura del aire (TA).	356
Figura 179. Oscilación decadal del Pacífico (ODP).	356
Figura 180. Temperatura superficial del mar (TSM) NIÑO 1+2.	356
Figura 181. Temperatura superficial del mar (TSM) NIÑO 3.4.	357
Figura 182. Índice de oscilación del sur (IOS).	357
Figura 183. Índice de lengua fría (ILF).	357
Figura 184. Oscilación antártica (OAA).	357
Figura 185. Transporte de Ekman (TE)	358
Figura 186. Índice de turbulencia (IT).	358
Figura 187. Correlación no lineal entre los desembarques de jurel y variables ambienta	ales y
pesqueras.	361
Figura 188. Desembarques observados y estimados de jurel para modelos RNA redu	icido. 363
Figura 189. Series de tiempo mensuales de SST NOAA y proyecciones para el esce	nario
A2 del cambio climático para el área de pesca de jurel (1973-2014).	364
Figura 190. Series de tiempo mensuales de SST NOAA y proyecciones para el esce	nario
4xCO2 del cambio climático para el área de pesca de jurel (1973-2014).	364
Figura 191. Pronóstico de desembarques de jurel de 2015 a 2065.	366
Figura 192. Distribución de la abundancia (N° huevos / 0.05 m2) de huevos de anche	oveta
en la zona centro-sur durante agosto y noviembre de 2002 hasta 2012.	367
Figura 193. Distribución espacial de las capturas de adultos de anchoveta para el pe	ríodo
2001 y 2012.	368
Figura 194. Distribución de la temperatura superficial del mar. Actual (agosto, septiem	ıbre y
octubre 2007) - área huevos anchoveta.	369
Figura 195. Distribución Futura de la Temperatura superficial del mar NCAR-CCSM	[3 A2
correspondiente a agosto, septiembre y octubre 2055 (entendiéndose como el promedi	io del
período 2051 a 2060) - área huevos anchoveta.	370
Figura 196. Ejemplo de la base datos de huevos de anchoveta y TSM de entrada Maxent.	para 371
Figura 197. Curvas respuesta que muestra como la TSM afecta la probabilidad de pres de huevos de anchoveta.	encia 372
Figura 198. Mapas de prediccion del indice de aptitud de hábitat (HSI) de huevo	os de
anchoveta para una condición actual (agosto, septiembre y octubre 2007) y futura (ag septiembre y octubre 2055).	gosto, 374
Figura 199. Mapas de prediccion del indice de aptitud de hábitat (hsi) de hueve anchoveta clasificado para agosto, septiembre y octubre de 2007 y 2055.	os de 375
Figura 200. Cambio en el índice de aptitud de hábitat (HSI) huevos de anchoveta agosto, septiembre y octubre de 2055 y 2005.	entre 377
Figura 201. Ejemplo de la base datos de adultos de anchoveta, TSM y Cloa de entrada Maxent.	n para 378
Figura 202. Curvas respuesta Maxent que muestran como la temperatura superficial de (TSAM) y la clorofila a (Cloa) afectan la probabilidad de presencia de adulto anchoveta.	l mar os de 379

Figura 203. Mapas de prediccion del indice de aptitud de hábitat (HSI) y HSI clasificado adultos anchoveta estacional 2005 y 2055. 381
Figura 204. Mapas estacionales de prediccion del indice de aptitud de hábitat (hsi) de adultos de anchoveta clasificados (Gormley et al. 2013) para 2005 y 2055
Figura 205. Mapas de prediccion del indice de aptitud de hábitat (hsi) y HSI clasificado de
adultos de anchoveta anual actual 2005 y futura 2055. 383
Figura 206. Cambio estacional y anual en la aptitud de hábitat (hsi) de adultos de anchoveta
entre 2055 y 2005. 384
Figura 207. Capturas de anchoveta del período 1983-2012.385385
Figura 208. Estuerzo de pesca de anchoveta durante el periodo 1983-2012. 386
Figura 209. Temperatura superficial del mar NOAA, anchoveta. 386
ambientales y pesqueras. 390
Figura 211. Desembarques observados y estimados de anchoveta para modelos RNA
reducido. 392
Figura 212. Series de tiempo mensuales de SST NOAA y proyecciones para el escenario
A2 del cambio climático para el área de pesca de anchoveta (1983-2014). 393
Figura 213. Series de tiempo mensuales de SST NOAA y proyecciones para el escenario
4xCO2 del cambio climático para el área de pesca de anchoveta (1983-2014). 394
Figura 214. Pronóstico de desembarques de anchoveta de 2015 a 2065.396
Figura 215. Distribución espacial de individuos adultos y juveniles de Loco a lo largo de la
línea de costa de Chile 397
Figura 216. Distribución espacial de reclutas de Loco a lo largo de la línea de costa de
598 Eigure 217. Distribución conceiel de individuos adultos y invenilos de Loco en la línea de
costa de Chile
Figura 218 Batimetría del fondo marino 401
Figura 219. Temperatura superficial del mar. Promedio de las climatología mensual para el
periodo 2002-2009. 402
Figura 220. Concentración promedio de clorofila superficial en el mar. Promedio de las
climatología mensual para el periodo 2002-2009. 403
Figura 221. Salinidad superficial en el mar. Promedio de observaciones in situ. 404
Figura 222. pH promedio superficial en el mar. Promedio de observaciones in situ. 405
Figura 223. Concentración promedio superficial de nitrato en el mar. Promedio de
observaciones in situ. 406
Figura 224. Concentración promedio superficial de fosfato en el mar. Promedio de
407
Figura 225. Concentración promedio superficial de silicato en el mar. Promedio de
408 Eigure 226 Presión nerviel de CO, promedio en la superficie del mar. Cálculo realizado en
hase a Climatologías mensuales y Promedios interpolados a partir de observaciones in situ
Ang
Figura 227. Indice de estado de saturación medio para aragonita en la superficie del mar.

Figura 228. Temperatura superficial del mar. Escenario de cambio climático en base a ruta de emisiones A2 del IPCC. Interpolación regional en base al modelo CCSM3 del NCAR.

411 Figura 229. Concentración superficial de clorofila a en el mar. Escenario de cambio climático en base a ruta de emisiones A2 del IPCC. Interpolación regional en base al modelo CCSM3 del NCAR. 412

Figura 230. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la batimetría.

Figura 231. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la temperatura superficial del mar. 415

415

426

Figura 232. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de clorofila. 416 Figura 233. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la salinidad superficial. 416 417

Figura 234. Curva de respuesta de las cápsulas de loco al pH superficial.

Figura 235. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de Nitrato. 417 Figura 236. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de Fosfato. 418 Figura 237. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de Silicato. 418 Figura 238. Curva de respuesta de las cápsulas de loco al la presión parcial de CO₂. 419

Figura 239. Curva de respuesta de las cápsulas de loco al estado de saturación de Aragonita. 419

Figura 240. Distribución de hábitat esencial de cápsulas de C. concholepas (Loco) para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de cápsulas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para las cápsulas de C. concholepas (Loco) empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es la misma en ambas figuaras. 421

Figura 241. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la batimetría al ajustar modelo reducido. 422

Figura 242. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la temperatura al ajustar modelo reducido 422

Figura 243. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido 423

Figura 244. Distribución de hábitat esencial de cápsulas de Loco para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia de cápsulas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para las cápsulas de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando unicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila . b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es similar para ambas figuras. 425

Figura 245. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la batimetría.

Figura 246. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la temperatura superficial del mar. 427 Figura 247. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de clorofila. 427 Figura 248. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la salinidad superficial. 428 Figura 249. Curva de respuesta de los reclutas de loco al pH superficial. 428 Figura 250. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de Nitrato. 429 Figura 251. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de Fosfato. 429 Figura 252. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de Silicato. 430 Figura 253. Curva de respuesta de los reclutas de loco al la presión parcial de CO₂. 430 Figura 254. Curva de respuesta de los reclutas de loco al estado de saturación de Aragonita. 431 Figura 255. Distribución de hábitat esencial de reclutas de Loco para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de reclutas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para los reclutas de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color de la figura b)es la misma que la ilustrada en la figura 433 a) Figura 256. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la batimetría al ajustar modelo reducido. 434 Figura 257. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la temperatura al ajustar modelo reducido. 434 Figura 258. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido 435

Figura 259. Distribución de hábitat esencial de reclutas de Loco para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia de reclutas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para los reclutas de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras

Figura 260. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la batimetría. 438

Figura 261. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la temperatura superficial del mar. 439

Figura 262. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la concentración de clorofila. 439

Figura 263. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la salinidad superficial.440Figura 264. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco al pH superficial.440

Figura 265. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la concentración de Nitrato. 441 Figura 266. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la concentración de Fosfato. 441

Figura 267. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la concentración de Silicato. 442

Figura 268. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la presión parcial de CO₂ 442

Figura 269. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco al estado de saturación de Aragonita. 443

Figura 270. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de Loco para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de cápsulas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para los adultos y juveniles de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras.

Figura 271. Curva de respuesta de los adultos y juveniles de loco a la batimetría al ajustar modelo reducido. 447

Figura 272. Curva de respuesta de los adultos y juveniles de loco a la temperatura al ajustar modelo reducido 447

Figura 273. Curva de respuesta de los adultos y juveniles de loco a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido. 448

Figura 274. Distribución de hábitat esencial de juveniles y adultos de Loco para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia de cápsulas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para los reclutas de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila . b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color de la figura b)es la misma que la ilustrada en la figura a)

Figura 275. Distribución espacial de individuos adultos y juveniles de Chorito a lo largo de la línea de costa de Chile 452

Figura 276. Temperatura superficial del mar. Escenario de cambio climático en base a un forzamiento uniforme para una anomalía de +2°C. 453

Figura 277. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la batimetría. 456

Figura 278. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la temperatura superficial del mar. 456

Figura 279. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de clorofila. 457

Figura 280. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la salinidad superficial. 457

Figura 281. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito al pH superficial. 458

Figura 282. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de Nitrato. 458

Figura 283. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de Fosfato. 459

Figura 284. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de Silicato. 459

Figura 285. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la presión parcial de CO₂. 460

Figura 286. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito al estado de saturación de Aragonita. 460

Figura 287. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de chorito para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de adultos y juveniles de chorito. a) La Figura ilustra la presencia predicha para chorito empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras.

Figura 288. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la batimetría al ajustar modelo reducido. 463

Figura 289. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la temperatura al ajustar modelo reducido. 464

Figura 290. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido. 464

Figura 291. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de chorito para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia. a) La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando unicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para figuras 218 y 221 a 227. La escala de color de la figura b) es la misma que la ilustrada en la figura a)

Figura 292. Distribución espacial de individuos macroscópicos de *Lessonia nigrescens* a lo largo de la línea de costa de Chile. 468

Figura 293. Distribución espacial de individuos macroscópicos de *Lessonia trabeculata* a lo largo de la línea de costa de Chile. 469

Figura 294. Distribución espacial de individuos macroscópicos de *Macrocystis integrifolia* a lo largo de la línea de costa de Chile. 470

Figura 295. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la batimetría.473Figura 296. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la temperatura
superficial del mar.473

Figura 297. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de clorofila. 474

Figura 298. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la salinidad superficial. 474

Figura 299. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro al pH superficial. 475

Figura 300. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de Nitrato. 475

Figura 301. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de Fosfato. 476

Figura 302. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de Silicato. 476

Figura 303. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la presión parcial de CO₂. 477

Figura 304. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro al estado de saturación de Aragonita. 477

Figura 305. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro negro para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de adultos y juveniles de huiro negro. a) La Figura ilustra la presencia predicha para el huiro negro empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es la misma para ambas figuras.

Figura 306. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la batimetría al ajustar modelo reducido. 480

Figura 307. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la temperatura al ajustar modelo reducido. 481

Figura 308. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido. 481

Figura 309. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro negro para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia de esporofitos juveniles y adultos. a) La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando unicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila . b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila . b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color de la figura b) es la misma que la ilustrada en la figura a)

Figura 310. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la batimetría.484Figura 311. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la temperatura
superficial del mar.484

Figura 312. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de clorofila. 485

Figura 313. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la salinidad superficial 485

Figura 314. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo al pH superficial. 486

Figura 315. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de Nitrato. 486

Figura 316. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de Fosfato. 487

Figura 317. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de Silicato. 487

Figura 318. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la presión parcial de CO₂. 488

Figura 319. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo al estado de saturación de Aragonita. 488

Figura 320. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro palo para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de adultos y juveniles de huiro palo. a) La Figura ilustra la presencia predicha para el huiro palo empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras.

Figura 321. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la batimetría al ajustar modelo reducido. 491

Figura 322. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la temperatura al ajustar modelo reducido. 491

Figura 323. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido. 492

Figura 324. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro palo (*L. trabeculata*) para el modelo reducido. a) La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila . b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es la misma para ambas figuras.

Figura 325. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la batimetría.494Figura 326. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la temperatura
superficial del mar.494

Figura 327. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de clorofila. 495

Figura 328. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la salinidad superficial. 496

Figura 329. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato al pH superficial. 496

Figura 330. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de Nitrato. 497

Figura 331. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de Fosfato. 497

Figura 332. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de Silicato. 498

Figura 333. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la presión parcial de CO₂. 498

Figura 334. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato al estado de saturación de Aragonita. 499

Figura 335. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro pato (*M. integrifolia*) para el modelo completo. a) La Figura ilustra la presencia predicha para el huiro pato empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras.

Figura 336. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la batimetría al ajustar modelo reducido. 502

Figura 337. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la temperatura al ajustar modelo reducido. 503

Figura 338. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido. 503

Figura 339. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro pato (*M. integrifolia*) para el modelo reducido. a) La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila . b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 216 y 219 a 225. La escala de color es la misma para ambas figuras.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Algunas variables o forzantes ambientales a considerar por recurso y estadío) de
desarrollo del ciclo de vida de los recursos pesqueros a estudiar que pudieran afecta	r la
densidad y abundancia, producto del cambio climático	53
Tabla 2. Niveles de importancia de hábitat esencial por etapa de vida para los recursos	s en
estudio.	57
Tabla 3. Modelos utilizados para determinar la correlación cruzada lineal y no lineal.	66
Tabla 4 Total de referencias por tema de interés	78
Tabla 5 Número de referencias por tino de documento para recursos pelágicos y bentóni	icos
en estudio	78
Tabla 6 Número de referencias de variables asociadas a los recursos pelágicos en estu	dio
Tabla 0. Tulneto de Terefeneras de Variables asociadas a los recursos peragreos en esta	70
Table 7 Número de referencias de variables asociadas a los recursos bentónicos	() 010
rabia 7. Numero de referencias de variables asociadas a los recursos bentonicos	01
Table 9. Números de referencies de veriebles esceledes e stance de vide de les recu	01
Tabla 8. Numeros de referencias de variables asociadas a etapas de vida de los recur	.SOS
peragicos en estudio (Noiese que un estudio puede estar presente en mas de una variab.	le y
estado del ciclo de vida).	82
Tabla 9. Numero de referencias de variables asociadas a etapas del ciclo de vida del recu	irso
"loco" (C. concholepas) e incluidas en la revision bibliografica.	83
Tabla 10. Resumen de información sobre estructura de tallas de jurel.	96
Tabla 11. Límites de tolerancia y preferencia de las características del agua del Pacífico	Sur
del jurel.	110
Tabla 12. Zonas de pesca de la pesquería pelágica Centro - Sur	111
Tabla 13. Indicadores poblacionales y variables ambientales asociadas a la anchov	veta
Centro - Sur.	124
Tabla 14. Biomasa desovante y distribución del desove de anchoveta Centro - Sur.	125
Tabla 15. Resumen de las especies que componen el recurso comercial algas pardas en	n la
zona norte del país.	181
Tabla 16. Niveles de información de hábitat esencial para el jurel frente a Chile.	248
Tabla 17. Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) por etapa de vida para el recu	ırso
jurel.	249
Tabla 18. Niveles de información de hábitat esencial para la anchoveta Centro - Sur.	262
Tabla 19. Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) por etapa de vida para el recu	ırso
anchoveta.	263
Tabla 20. Nivel de hábitat por estado ontogénico de Concholepas concholepas (Loco)	279
Tabla 21. Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) por etapa de vida para el recu	ırso
Loco.	280
Tabla 22. Nivel de hábitat por estado ontogénico de <i>Mytilus chilensis</i> (chorito).	292
Tabla 23 Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) por etapa de vida para el recu	irso
Chorito	293
Tabla 24 Localidades de estudio empleadas para examinar la variabilidad fenológica	de
Lessonia trabeculata (Tala et al. 2004)	305
Tabla 25. Nivel de hábitat por estadíos del recurso macroalgas pardas	320
Tabla 26. Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) nor etana de vida nara el recu	520 1rso
macroalgas pardas	371
macroargas paruas.	121
	41

Tabla 27. Área y porcentaje de pérdida del hábitat "Mas Apto" para la ocurrencia o de jurel para noviembre 2003-2008 y noviembre 2055	le huevos 342
Tabla 28. Contribución relativa (%) de las variables ambientales al modelo Ma estación del año	axent por 346
Tabla 29. Indices del Área bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés) de u	umbrales-
independientes para el modelo de hábitat de adultos de jurel	346
Tabla 30. Área y porcentaje de pérdida estacional y anual del hábitat "Mas Apto	o" para la
ocurrencia de adultos de jurel para 2005 y 2055.	351
Tabla 31. Matriz de correlación entre las variables ambientales para jurel.	359
Tabla 32. Valores calculados a partir del Análisis de Componentes Principal- variables ambientales	es de las 360
Tabla 33. Correlación entre variables ambientales con los principales factores n	ara iurel.
	360
Tabla 34. Mejores modelos seleccionados para jurel: Fase 1.	362
Tabla 35. Análisis de sensibilidad para jurel: Fase 1.	362
Tabla 36. Meiores modelos seleccionados para jurel: Fase 2.	363
Tabla 37. Análisis de sensibilidad para jurel: Fase 2.	363
Tabla 38. Provecciones de TSM para zona de Pesca de jurel 2015-2065.	365
Tabla 39. Variaciones de las provecciones de los desembarques de jurel para cada	escenario
de esfuerzo de pesca y temperatura superficial del mar (TSM), comparación entr	e 2015 y
Table 40. Veriaciones de les provessiones de les desemberques de jurel pare cade	osconario
de esfuerzo de pesca y temperatura superficial del mar (TSM), comparación entre	2056_65
y 2005-2014.	366
Tabla 41. Área y porcentaje de pérdida del hábitat "Más Apto" para la ocurrencia c	le huevos
de anchoveta para agosto, septiembre y octubre de 2007 y 2055.	376
Tabla 42. Contribución relativa (%) de las variables ambientales al modelo Ma estación del año	axent por 380
Tabla 43. Indices del Área bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés) de u	umbrales-
independientes para el modelo de hábitat de adultos de anchoveta.	380
Tabla 44. Área y porcentaje de pérdida estacional y anual del hábitat "Mas Apto	o" para la
ocurrencia de adultos de anchoveta para 2005 y 2055.	384
Tabla 45. Matriz de correlación entre las variables ambientales para anchoveta.	388
Tabla 46. Valores calculados a partir del ACP de las variables ambientales.	388
Tabla 47. Correlación entre variables ambientales y principales factores para anche	oveta. 389
Tabla 48. Mejor modelo seleccionado para la anchoveta: Fase 1.	391
Tabla 49. Análisis de sensividad para adultos anchoveta: Phase 1.	391
Tabla 50. Mejor modelo seleccionado para la anchoveta: Fase 2.	392
Tabla 51. Análisis de sensitividad para anchoveta: Fase 2.	394
Tabla 52. Proyecciones de la temperatura superficial del mar (TSM) para el área de la anchoveta durante 2015-2065.	de pesca 395
Tabla 53. Variaciones en las proyecciones del desembarque de anchoveta p	oara cada
escenario de esfuerzo de pesca y temperatura superficial del mar (TSM), comparad 2015 y 2065.	ción entre 395
-	

Tabla 54. Variaciones en las proyecciones del desembarque de anchoveta para cadaescenario de esfuerzo de pesca y temperatura superficial del mar (TSM), comparación entre2056-2065 y 2005-2014.395

Tabla 55. Variables fisicoquímicas empleadas en el presente estudio*.400

Tabla 56. Estructura de variables consideradas en los dos modelos ajustados a los distintosestadíos de loco.413

Tabla 57. Valores de bondad de ajuste mediante AUC observados para los distintosmodelos calculados para los distintos estados de ciclo de vida de Loco.*414

Tabla 58. Valores de bondad de ajuste mediante AUC observados para Adultos y Juvenilesde chorito*.455

Tabla 59. Valores de bondad de ajuste mediante AUC observados para Adultos y Juvenilesde macroalgas pardas.*472

1. INTRODUCCIÓN

La contribución del Grupo de Trabajo I "Cambio Climático 2013: Las Bases de las Ciencias Físicas", al 5to Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), indican que calentamiento del océano supone el 90% de la energía acumulada entre 1971 y 2010 como consecuencia del cambio climático. El 60% de este aumento se concentra en las capas altas, entre la superficie y los 700 metros de profundidad. Asimismo se confirma, con mayor evidencia desde el cuarto informe, que los extremos se profundizan, y las zonas más salinas aumentan su salinidad, mientras que las menos salinas se vuelven cada vez más dulces.

Por lo tanto, el cambio climático está afectando y/o modificando algunas características fundamentales de los océanos, las costas y de los ecosistemas. Específicamente, cambios en la física (i.e. temperatura, patrones de corriente oceánica) y biogeoquímica (i.e., acidez, contenido de oxígeno, productividad primaria, estructura comunitaria del plancton), y en las condiciones del océano resultan en cambios en la fisiología, distribución de especies, fenología y en el ensamble de especies (Cheung et al., 2011). A estos cambios, las variables oceanográficas como la temperatura, salinidad, oxígeno, profundidad etc., cumplen un rol muy importante en la modulación de la distribución y abundancia de peces en el océano, lo cual, es un tema muy interesante en la investigación pesquera.

La Conferencia de Reykiavik (2001) en la cual Chile fue parte, señala la necesidad de *"identificar y describir la estructura, componentes y el funcionamiento del ecosistema marino más relevantes, composición de dietas y cadenas alimenticias, interacción de especies y relaciones presa-predador, el papel del hábitat y los factores biológicos, físicos y oceanográficos que afectan la estabilidad del ecosistema y su resiliencia"* (FAO, 2001a). Así mismo, Ley General de Pesca y Acuicultura en su artículo 1°B, indica que el objetivo de esta ley es la conservación y el uso sustentable de los recursos hidrobiológicos, mediante la aplicación del enfoque precautorio, de un enfoque ecosistémico en la regulación pesquera y la salvaguarda de los ecosistemas marinos en que existan esos recursos. El estudio del hábitat de los recursos hidrobiológicos, específicamente la identificación de hábitats esenciales definido como áreas o volúmenes de agua y sustratos del fondo que proporcionan los hábitats más favorables para las poblaciones de los recursos para desarrollar su ciclo de vida, es importante para su conservación y la gestión sostenible de estos recursos.

Por lo tanto, el conocimiento del hábitat esencial es muy importante para el mantenimiento de una pesca sostenible con una relación fundamental entre la calidad de los hábitats y la calidad de los recursos pesqueros (Benaka, 1999). Con el fin de mantener la producción de la pesca a largo plazo, la protección de hábitats esenciales es un reto que se debe considerar en el manejo pesquero, considerando un enfoque basado en el ecosistema.

En este proyecto se ha considerado importante centrar el estudio en especies que conforman pesquerías con características distintas desde el punto de vista geográfico, posición en la cadena trófica, aspectos socio-económicos y de manejo, tales como, jurel, anchoveta (pesquería centro-sur), algas pardas (macrozona norte), loco (nacional) y chorito (zona sur).

1.1. Objetivo General

Identificar, caracterizar y estudiar la vulnerabilidad al cambio climático del hábitat esencial de los recursos pesqueros: jurel, anchoveta (pesquería centro-sur), algas pardas (macrozona norte), loco (nacional) y chorito (zona sur).

1.2. Objetivos Específicos

i) Generar una matriz de conocimiento e información de variables oceanográficas y ambientales que caracterizan y delimitan el hábitat esencial asociado a los recursos pesqueros de interés en el presente estudio.

ii) Caracterizar y elaborar un modelo conceptual de hábitat esencial asociado a cada uno de los recursos pesqueros de interés en sus distintas etapas de vida y sus conectividades.

iii) Establecer un modelo predictivo de la distribución del hábitat esencial para los recursos pesqueros considerados y su relación con el cambio climático.

2. METODOLOGÍA

2.1. Objetivo específico i) Generar una matriz de conocimiento e información de variables oceanográficas y ambientales que caracterizan y delimitan el hábitat esencial asociado a los recursos pesqueros de interés en el presente estudio.

2.1.1. Recolección y revisión bibliográfica

Se estructuró un equipo de trabajo de ambas Universidades (PUCV – UST) el cual distribuyó su acción para reunir el material bibliográfico requerido. Para describir, sistematizar y facilitar la búsqueda de la información recopilada, se acordó la utilización del programa de ordenamiento bibliográfico EndNote versión X7.

Para llevar a cabo la recolección y revisión bibliográfica se aplica un esquema de trabajo metodológico (Figura 1) consistente en diversas etapas. En primer lugar, se realiza una búsqueda y recolección exhaustiva de publicaciones científicas en revistas, libros, tesis, *newsletters*, documentos técnicos, informes finales de proyectos orientados a la evaluación acústica del reclutamiento y del stock desovante (SUBPESCA) e información disponible a nivel nacional e internacional sobre la temática del proyecto; con el sentido de identificar el conocimiento más actual del tema en estudio, en su mayoría vía Internet utilizando como principal entrada de búsqueda el nombre científico de las especies o autor experto en el tema, en:

- Plataformas electrónicas como Science Direct o Web of Science, que poseen bases de datos con fuentes indizadas.
- Bibliotecas virtuales de Universidades y del Congreso Nacional.
- Profesionales en el extranjero con acceso a publicaciones científicas de libre acceso.
- Autores (vía correo electrónico) de publicaciones científicas.

 Página web del FIPA (Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura) para la búsqueda de proyectos FIP, cuando no estuvo disponible el documento en su página web, se solicitó vía correo electrónico a la secretaría ejecutiva del FIPA.



Figura 1. Diagrama de flujo de trabajo de la recolección y revisión bibliográfica.

La búsqueda y recolección de la información (Figura 1), se inicia luego de la identificación de las palabras y conceptos claves por investigar, con ellas se reúnen posibles referencias que se irán ingresando a la base de datos bibliográfica.

2.1.1.1. Diseño y programación de la base de datos bibliográfica

Para describir y sistematizar la información recopilada de proyectos de investigación y publicaciones científicas, se utiliza el programa de ordenamiento bibliográfico EndNote, que se fundamenta en la creación de una base de datos (librería) en la que se almacena información por cada referencia (revistas periódicas, trabajos publicados, libros, secciones de libros, etc.), distinguiendo diferentes campos para cada tipo de referencia, proporcionando respuestas a consultas efectuadas por el usuario sobre necesidades de información particular. Una vez instalado el software EndNote X7, se creó la correspondiente librería de EndNote, asignándole el nombre FIP 2014-25 a la base de referencias de las especies pelágicas (jurel y anchoveta Centro-Sur); en el caso de las librerías EndNote para las especies bentónicas de algas pardas, chorito y loco se generaron librerías individuales asignándole el nombre científico de cada una de las especies bentónicas (Lessonia trabeculata, Lessonia nigrescens, Macrocystis pyrifera, Macrocystis integrifolia, Mytilus chilensis y Concholepas concholepas). Estas bases de datos se fueron conformando mediante la lectura de los resúmenes, resultados y conclusiones de las referencias posibles a ser ingresadas. La lectura del resumen de cada documento se hizo considerando los elementos asociados al proyecto. Si el resumen, resultados y/o conclusiones no eran suficientemente claros o explicativos como para vincularlos se leyó el documento completo. Todo documento encontrado se guardó en una carpeta digital de respaldo fuera de la librería EndNote.

2.1.1.2. Digitación e ingreso de la información en la base de datos bibliográfica

Posteriormente de la lectura del resumen, la publicación se ingresa a la librería de EndNote de forma automática o manual. A continuación se leen resultados y conclusiones para ir

completando los distintos campos que ofrece EndNote para cada tipo de documento que se va ingresando a la librería (Figura 2). En este punto se determina la idoneidad y pertinencia de la publicación, descartando las no afines al tema. Luego se continúa con la lectura y organización de las referencias hasta completar la revisión bibliográfica.



Figura 2. Ventana de ingreso de nueva referencia en la librería EndNote X7

En este proyecto, los campos completados por referencia ingresada a EndNote serán:

- Autor
- Año de publicación
- Título
- Institución
- Páginas
- Tipo de documento
- N° de reporte
- Palabras claves
- Resumen (en español y/o inglés)
- URL (donde se encontró el documento de la referencia)
- Documentos Adjuntos (PDF)

En el campo palabras claves (*keywords*) se incorporan los elementos de conocimientos o "variables" lo que facilita la búsqueda por tema específico al ser requerido. La manera cómo se relaciona la información asociada a cada recurso consiste en la vinculación de los principales resultados, metodologías y datos encontrados en las referencias bibliográficas, con los distintos elementos "variables", vale decir:

Variables: oceanográficas, ambientales, biológicas, ecológicas, pesqueras (que caracterizan y delimitan el hábitat esencial asociado a los recursos en estudio).

- Temperatura
- Salinidad
- Abundancia
- Biomasa
- Alimentación
- Macho/Hembra
- Crecimiento
- Talla/Edad
- Stocks
- pH
- Concentración de oxígeno
- Concentración de Clorofila

Etapas de vida de cada uno de los recursos: asociado a la distribución, densidad, abundancia y a las forzantes relacionadas al cambio climático (priorizando aquellas que influyan directamente en el comportamiento del recurso)

- Desove
- Huevos
- Larvas
- Juveniles
- Reclutamiento
- Adultos

2.1.2 Revisión Bibliográfica

La revisión bibliográfica se realiza a continuación de la identificación de las fuentes de información arbitrada e indizada, seguida dela lectura de los resúmenes respectivos de cada documento, sus resultados y conclusiones con el fin de determinar las ideas principales, considerando los elementos asociados al proyecto. Se tomaron notas de cada sección revisada con estrategias de síntesis, paráfrasis y citas. Se creó una planilla Excel con los datos de evaluaciones de cruceros (jurel y anchoveta), para ir comparando los rangos de los parámetros en los cuales se distribuyen las especies a través del tiempo.

2.1.3. Recolección de información pesquera y ambiental

Se construyen bases de datos con información histórica de las pesquerías de peces y bentónicas, tanto a escala temporal como a escalas espacio-temporal. Las bases de datos pesqueras serán cruzadas con la información ambiental para así construir las bases de datos pesca-ambiente históricas. Estas bases de datos se presentan en matrices con formato de planilla Excel.

Las bases de datos pesca-ambiente históricas serán utilizadas por el equipo científico del proyecto para el desarrollo de las siguientes etapas y resultados científicos del proyecto: relaciones entre el ambiente y los recursos pesqueros, desarrollo y validación de modelos ecosistémicos para las zonas de estudio basados en herramientas matemáticas y estadísticas. Estas bases de datos son singulares, sin embargo, un sustituto serían bases de datos con otras variables pesqueras y ambientales.

Las bases de datos pesqueras serán elaboradas con la información proveniente de dos instituciones del sector público pesquero encargadas del levantamiento de información pesquera, como son el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA), Instituto de Fomento Pesquero (IFOP, encargado de levantar la información necesaria para administrar y regular la captura de los recursos) y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA,

encargada de la elaboración de informes técnicos en pesca y acuicultura), por lo cual se asegura la mejor calidad de la información disponible. A la información de estas dos instituciones del sector público, se agregan las bases de datos recopiladas por el Laboratorio de Evaluación y Oceanografía Pesquera de la PUCV. La principal diferencia de estas bases de datos es la riqueza y nivel de detalle de la información pesquera y ambiental. Entre otras diferencias, se destaca la base de datos del proyecto por la gran cantidad de datos, la confiabilidad y robustez de los datos dada las fuentes (IFOP, SUBPESCA y PUCV) primarias de información, la flexibilidad para crear reportes y exportar datos. Estas bases de datos permitirán al equipo científico del proyecto contar con la más amplia, mejor calidad y más robusta información histórica pesquera ambiental disponible para el desarrollo de las siguientes etapas y resultados científicos del proyecto: relaciones entre el ambiente y los recursos pesqueros, desarrollo y validación de modelos ecosistémicos. El uso de una información más confiable y robusta permitirá obtener resultados y análisis más precisos en el proyecto.

Las bases de datos ambientales temporales representan registros mensuales por zona (norte y centro-sur) de temperatura superficial del mar (TSM), temperatura del aire (TA), nivel del mar y vientos (índice de turbulencia [IT] y transporte Ekman [TE]) obtenidos de estaciones oceanográficas y meteorológicas costeras, además de los índices climáticos southern oscillation index (SOI), Pacific Decadal Oscillation (PDO), Niño1-2, Niño3-4, profundidad de termoclina (Zt), Cold Tongue index (CTI), Antartic Oscillation Index (AAO) y Humboldt Current index (CTI). Las bases de datos ambientales espacio-temporales corresponden a la siguiente información satelital del tipo raster (imágenes) o matrices georreferenciadas procesadas en formato SIG: i) TSM de satélites NOAA-MODIS, 4x4 km, ii) vientos de satélites ERS-QuikSCAT, 25x25km y iii) clorofila de satélites MODIS, 4x4 km.

Estas bases de datos de variables pesqueras y ambientales se generan por recurso pesquero y estadio de desarrollo del ciclo de vida, considerando *a priori* las variables que pudieran afectar la densidad y abundancia de los recursos en cuestión, tanto en escenarios actuales como los futuros producidos por el cambio climático. En la Tabla 1 se muestran las

variables o forzantes ambientales a considerar por recursos y ciclo de vida para el presente proyecto.

Tabla 1. Algunas variables o forzantes ambientales a considerar por recurso y estadio de desarrollo del ciclo de vida de los recursos pesqueros a estudiar que pudieran afectar la densidad y abundancia, producto del cambio climático

	Recursos	s Pelágicos	Recursos Bentónicos									
Variables pesqueras	Jurel	Anchoveta	Loco	Chorito	Algas pardas							
	(nacional)	Centro-sur	(nacional)	(zona sur)	(zona norte)							
Captura mensual												
Esfuerzo de pesca												
CPUE												
Biomasa												
Abundancia												
Variables ambientales	Jurel (nacional)	Anchoveta CS	Loco (nacional)	Chorito (zona sur)	Algas pardas (zona norte)							
Temperatura superficial del mar (TSM)												
Temperatura del aire (TA)												
Índice de turbulencia (IT)												
Transporte de Ekman (TE).												
Índice de Oscilación del Sur (SOI)												
Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)												
Niño1-2												
Niño3-4												
Profundidad de termoclina (Zt)												
Cold Tongue index (CTI)												
Antartic Oscillation Index (AAO)												
Humboldt Current index (CTI).												
Tipo de fondo												
Concentración de oxígeno												
Concentración de clorofila												
Salinidad												
Marejadas												
Precipitación												
Acidificación (pH)												
Tallas												
Pesos												
Factor de condición												
Abundancia												
Densidad												

Generación de Matriz de Conocimiento

Con la información bibliográfica y bases de datos (ambientales y pesquera) se generarán cinco matrices de conocimiento según los recursos pesqueros de estudio y serán dos para pesquerías pelágicas (jurel y anchoveta zona centro-sur) (ZEE) y tres para pesquerías bentónicas como el loco (a nivel nacional), chorito (zona sur) y las algas pardas (macrozona norte).

Por ejemplo en la Figura 3 se presenta una matriz del conocimiento para 31 especies de importancia pesquera en Chile desarrollada por Yáñez et al. (2011). El análisis comparativo entre los resultados del análisis de la matriz (es decir, los elementos identificados como claves del conocimiento) y del análisis bibliográfico, mostró el estado actual (importancia relativa) de estos elementos del conocimiento clave dentro del sistema cognitivo para cada una de las 31 especies de pesca más importantes de Chile, pesquerías pelágicas, bentónicas, algas, etc.

Elements	X phias gladius	Trachurus murphyi	Sardi nops sagax	Clupea benticki	En graulis ringens (norfh)	En graulis ringens (south)	Mertuccius gayigayi	Mentuccius australis	Macruron us magellanicus	Micromesistus australis	Geny pterus blac odes	Dis sos tichus bla cod es	Epigonus crassicaudus	Hoplo sthetus all antic us	Beryx splend ens	Raja chilensi s	Isurus oxyrinchus	Priorace glauca	Lithodes santoll a	Jasus frontalis	Heterocarpus reedi	Cervi munda johni	Heucorondes monodon	Concholepas concholepas	Loxechinus albus	Me sode sm a do nacium	Gari solida	Fissurella cumingi	Thais chocol ata	Macrosystis sp.	Durvilea antarcíica
Tide						1																								2	1
Swell																														2	1
Coast current		2	2	2		2	4																2	1	1						
Large scale circulation		5			2																										
Coastal circulation		10	12	12	16	10	4		1														2	3						2	
Turbulence	1	3	2	2	3	1	1																1	1							
Mesoscale structure		2			2		1																								
Rossby waves																															
ENSO	2	8	7	7	9	3	5	1													1	1	1	3	2			1		3	
Regime shift		1	2	2	4	1																		2							
Storm																															
Wind	1	4	2	2	7	3																		1							
Planktonic productivity	1	3	3	3	2	3		1															1	1							
Vertical and horizontal gradients	10	39	22	22	36	17	10	3	1												1	2	6	7	2	1		1		1	
Distribution, abundance and population structure	20	95	42	42	57	31	48	23	17	8	9	20	2	9		3	1	1	9	5	18	19	28	35	19	9	1	8		20	7
Catchability coefficient	12	30	12	8	12	8	19	9	8	8	9	12		6		4	2	1	11	3	10	8	6	12	5	4	1	2		3	1
Fishing effort	20	53	17	23	18	18	24	27	24	15	19	26		6		7	4	3	9	3	15	15	16	18	11	3	6	8	1	1	1
Catch	34	94	27	40	43	32	42	44	30	20	27	32	2	9		9	4	3	12	10	29	31	29	25	20	10	7	14	2	6	2
Type of product	1	39	8	3		2	10	6	3	1	2	5	2	2		3			2		4	1	2	3	1	3	1		1	1	1
Social marginal cost from externalities					1																										
Final product demand	1						2	31		1	1	1		2		2							1							1	1
Use level							2		2	1														2	2	1					
Marginal user cost from resource																															
Marginal user cost from ecosystem																															
Subsidies																															
Discount rates	1		1		1						1					1								1		1		1			
Number: number of references including this element															Empt	r: no n	eferen	ces de	alt wit	h this I	knowle	dge el	lemen								

Figura 3. Estado actual de la importancia relativa de los elementos de conocimiento clave en la investigación, para las especies pesqueras más importantes de Chile (Yáñez et al., 2011).

2.2 Objetivo específico ii) Caracterizar y elaborar un modelo conceptual de hábitat esencial asociado a cada uno de los recursos pesqueros de interés en sus distintas etapas de vida y sus conectividades.

El concepto de hábitat esencial asociado a recursos hidrobiológicos proviene de la legislación de Estados Unidos de América y es el resultado de numerosas enmiendas al acta Magnuson-Stevens, también conocida como Ley de Pesquerías Sostenibles. Pretende describir o realizar un intento de complementar las evaluaciones de stock con la identificación y la protección de los hábitats de poblaciones marinas y de alguna forma proporcionar apoyo a los administradores de las actividades de pesca. El hábitat esencial de los peces se define en el acta como **"esas aguas y sustratos necesarias para el desove, alimentación, reproducción y el crecimiento a la madurez".** El término peces incluye peces, moluscos, crustáceos y todas las demás formas de animales marinos y excluye la vida vegetal y mamíferos marinos y aves (<u>http://galveston.ssp.nmfs.gov/efh/default.htm</u>).

El equipo de investigadores de la PUCV desarrollaron un modelo conceptual ecosistémico aplicado a las pesquerías del pez espada (Yáñez et al., 2008a) y anchoveta y sardina (Yáñez et al., 2008b) a escala espacio temporal, herramienta útil para la conceptualización, la integración y la exploración de las relaciones de los elementos que intervienen. Se utiliza, por ejemplo, para identificar los procesos físicos que podrían influir en los procesos biológicos de los recursos pesqueros (por ejemplo, alimentación y migración vertical) (Perry et al. 2000). Estas comparaciones interescala presentan retos analíticos, en su intento de comprender el comportamiento específico e identificar los procesos subyacentes (Perry y Ommer, 2003).

Entonces el modelo conceptual se refiere a la variabilidad de los indicadores de los ecosistemas y los cambios en el régimen en una escala multidecadal. Yáñez et al. (2005, 2007) adaptaron un modelo conceptual integrado de diferentes fenómenos de gran escala local y que afectan al medio ambiente marino y la distribución de los principales recursos pelágicos frente al norte de Chile.

Perry & Ommer (2003) proponen que los cambios en el ecosistema marino son impulsados por tres procesos generales: (1) forzamientos ambientales naturales (por ejemplo, climático), (2) forzamientos inducidos por el hombre (por ejemplo, la pesca, disminución del hábitat, contaminación), y (3) los procesos biológicos (por ejemplo, mecanismos densodependientes, relación predador-presa). Debido a la limitada comprensión en las escalas de los impactos sobre los ecosistemas, junto con la capacidad humana para interferir en los sistemas naturales a través de la tecnología y medios económicos resulta fundamental conocer las dificultades a la hora de intentar comprender las interacciones recíprocas entre los seres humanos y los ecosistemas marinos. Estas dificultades incluyen la disponibilidad de metodologías adecuadas y la identificación de las diferentes escalas. Por lo tanto, es esencial para determinar cómo combinar estas escalas de análisis de lo natural y social a fin de comprender el impacto de los sistemas y recursos naturales en los seres humanos y viceversa. Además, los procesos pueden propagarse a escalas transversales, tales que los eventos en una escala tienen consecuencias distintas para los procesos en otra escala

2.2.1. Descripción de hábitats

Para la caracterización de un modelo conceptual se debe recurrir a información de dos tipos:

1.- Descripción hábitat típicos donde se desarrolla la pesquería: Ubicación, corrientes, pesquería en general, sedimentos, temperatura superficial del mar, otras especies.

2.- Descripción hábitat de la especie: Distribución general y ciclo de vida, pesquería, información trófica relevante, hábitat, asociaciones biológicas.

En la Tabla 2 un ejemplo de los niveles de información de hábitat esencial por etapa del ciclo de vida necesarios para los recursos en estudio. Es importante mencionar que probablemente no exista información para algún nivel de la etapa del ciclo de vida,

situación que se debe explicitar. Además, estos niveles deben contener la mejor información científica disponible por lo que su actualización es a medida que la información se genere y mejore.

Tabla 2. Niveles de importancia de hábitat esencial por etapa de vida para los recursos en estudio.

Nivel HE* Etapa	Duración o edad	Dieta	Estación /tiempo	Localización	Columna de agua	Tipo de fondo	Oceanografía principal	Otras
Huevos								
Larvas								
Juveniles								
Adultos								

HE*: Hábitat esencial

Se describirá el hábitat esencial para las especies por etapa de vida como de distribución general a través de nuevas herramientas analíticas que utilizan la información científica más reciente. Por lo tanto, las descripciones de hábitat esencial incluyen información bibliográfica y un mapa, si se dispone de información para la etapa particular de la vida de una especie.

2.2.2. Mapas de hábitat esenciales

Se realizarán mapas de hábitat esenciales que muestren, dentro de las limitaciones de la información disponible, la ubicación geográfica del hábitat esencial de los recursos pesqueros o los límites geográficos para cada especie y por ciclo de vida. La herramienta a utilizar es el software GIS para crear la mejor información disponible para este análisis. Los mapas de hábitat esencial descriptivos representan los distintos estados de vida del recurso, si es posible conocerlos. Por lo tanto, estos mapas son interpretados mediante los requerimientos de hábitat de las especies junto con delimitaciones espaciales (mapa). Por ejemplo, en la Figura 4 se muestra la ubicación geográfica de los hábitats esenciales del pez

espada frente a Chile considerando las zonas de reproducción (huevos y larvas), crianza (juveniles) y alimentación (adultos) (Yáñez et al., 2009).

La metodología para generar los mapas de hábitat esenciales actuales (no futuros) de la abundancia y distribución de los recursos pesqueros en estudio, y los cuales son usados para elaborar los modelos conceptuales se muestran en detalle en el capítulo 2.3.



Figura 4. Hábitats esenciales del pez espada frente a Chile considerando las zonas de reproducción (huevos y larvas), crianza (juveniles) y alimentación (adultos) (Yáñez et al., 2009).

2.2.3. Modelos conceptuales de hábitat esencial basados en herramientas matemáticas y estadísticas

Para modelar el hábitat esencial basado en herramientas matemáticas y estadísticas se desarrollarán e implementarán modelos de relaciones históricas de la condición ambiental y distribución, abundancia y densidad de los recursos pesqueros (jurel, anchoveta, loco, chorito y algas pardas) de interés del presente proyecto. Los modelos se desarrollarán e

implementarán físicamente en computadores de alto rendimiento ubicados en el Laboratorio de Evaluación y Oceanografía Pesquera de la PUCV.

Los modelos de relaciones históricas ambiente-recursos se compondrán de una serie de asociaciones estimadas con herramientas matemáticas y estadísticas (MATLAB, ArcGIS, STATISTICA 10) mediante análisis temporales (series de tiempo, redes neuronales artificiales, modelos aditivos generalizados) y espacio-temporales (series de tiempo, factoriales, fuzzy logic, multicriterio) de las bases de datos actualizadas y validadas obtenidas como resultado del objetivo 1. Las asociaciones estadísticas darán cuenta de los efectos del ambiente sobre las pesquerías de los recursos pelágicos y bentónicos definidos en este proyecto, identificando variables ambientales claves (proxies), lo que permitirá el desarrollo de modelos conceptuales que describirán las relaciones ambiente-recursos según las distintas etapas del ciclo de vida de los recursos pesqueros. El modelamiento estadístico de las relaciones ambiente-recursos puede concebirse también como un modelo de distribución de la especie de interés, particularmente cuando se desea modelar el área ocupada en el dominio geográfico. Alternativamente se puede conceptualizar como un modelo del nicho ecológico, cuando se desea modelar las condiciones ambientales favorables a la especie de interés, o sea caracterizar el híper volumen del nicho (Soberón y Nakamura 2009, Peterson et al. 2011). En la literatura ecológica, esta aproximación se ha enfocado frecuentemente en caracterizar la distribución (o el nicho), en base a modelos estadísticos o correlacionales que caracterizan la relación entre los registros de presencias (o de presencias y ausencias) y los valores de variables ambientales en los puntos de las presencias, entregando generalmente modelos espacialmente explícitos de la distribución geográfica (Peterson et al. 2011). Desde esta perspectiva, el área de distribución de una especie, en un tiempo dado, puede describirse como el resultado de una combinación de factores. De estos, hay tres grupos de factores que son de particular importancia y corresponden al ambiente abiótico (A), al ambiente biótico (B) y al conjunto de sitios que la especie ha tenido tiempo de visitar, o "explorar" desde una fecha dada, conformando la sombra o huella de migración (M). Estos tres factores permiten representar de manera abstracta el espacio geográfico (G) mediante el diagrama BAM (Figura 5) (Soberón y Peterson, 2005).



Figura 5. Representación del espacio geográfico mediante diagrama BAM (Soberón y Peterson, 2005).

Desde una perspectiva heurística, estos conceptos permiten definir dos importantes regiones geográficas: el área ocupada (Go) y el área geográfica invadible (G_I). Dependiendo del tipo de información y aproximación metodológica, un modelo estadístico ambiente-recurso puede entregar distintos resultados, y es común observar en la literatura que se confundan las tres áreas Go, G_I y A. En el extremo, cuando se usan datos de presencias y ausencias verdaderas y algoritmos de regresión, se está aproximando Go. En caso de no contar con datos de ausencias verdaderas, y dependiendo de los diferentes algoritmos y configuraciones de las regiones en el diagrama BAM, un algoritmo puede producir estimaciones más aproximadas a A (Jimenez-Valverde et al., 2008; Soberón & Nakamura, 2009).

En la presente propuesta, utilizaremos las interacciones entre ambiente-recursos, información bibliográfica y la matriz del conocimiento para desarrollar modelos conceptuales integrados por especie que sustentan las hipótesis de trabajo en diferentes escalas espacio-temporales. Por ejemplo, en la escala interanual, se pueden considerar las relaciones entre los cambios biológicos-pesqueros y eventos de El Niño, mientras que, en la escala interdecadal, se establecen relaciones entre las fluctuaciones de los recursos pesqueros y los cambios ambientales a gran escala. Se propone aplicar la metodología desarrollada por Yáñez et al. (2008a, b) para las pesquerías de pez espada frente a Chile y

anchoveta y sardina española en la zona norte, a modo de ejemplo en la Figura 6 se muestra el modelo conceptual espacio temporal del ecosistema habitado por el pez espada en el Pacifico Sudeste.



Figura 6. Modelo conceptual espacio-temporal (3x3), con planos en el ambiente marino físico, biológico y humano (pesquero), junto a los procesos y forzantes del ecosistema habitado por el pez espada.

2.3 Objetivo específico iii) *Establecer un modelo predictivo de la distribución del hábitat esencial para los recursos pesqueros considerados y su relación con el cambio climático.*

El cambio climático está provocando cambios biológicos y ecológicos en el océano (Brierley y Kingsford, 2009). En concreto, los cambios de las condiciones físicas (por ejemplo, temperatura, patrones de corrientes oceánicas) y biogeoquímicos (por ejemplo, la acidez, el contenido de oxígeno, la productividad primaria, estructura de la comunidad del plancton) del océano han resultado en cambios en la fisiología, la distribución de las especies, fenología, y asociaciones de especies (Edwards y Richardson, 2004; Richardson y Schoeman, 2004; Perry et al., 2005; Hiddink y Hofstede, 2007; Rosa y Seibel, 2008; Portner, 2010). Tales cambios pueden ser más rápidos en el futuro (IPCC, 2007).

La modelación temporal del pronóstico de abundancias, densidades y distribución de los recursos pesqueros se basa en las relaciones históricas y en la aplicación de técnicas estadísticas no lineales (redes neuronales artificiales, modelos aditivos generalizados, fuzzy logic) a las bases de datos pesca-ambiente temporal. La construcción, calibración y validación de la modelación temporal retrospectiva de los pronósticos de la densidad, abundancia se lleva a cabo en computadores de alto rendimiento y con la aplicación y desarrollo de algoritmos matemáticos con el programa/lenguaje MATLAB. La construcción y validación de la modelación espacio-temporal retrospectivo de los pronósticos se lleva a cabo con el SIG IDRISI SelvaTM GIS (Eastman, 2012).

Existen modelos ecosistémicos ambiente-recursos sustitutos de los modelos a desarrollar en el proyecto, tales como: modelos de idoneidad de hábitat (Cheung et al., 2008), modelos tróficos de balance de masa (por ejemplo Ecopath y Ecosim) (Christensen, 2012), modelos biofísicos del tipo individual-based models (IBM) (Lett et al., 2009), modelos "end-to-end" que integran modelos de dinámica física, planctónica y de recursos marinos junto con la dimensión humana (Barange et al., 2011).

Los resultados entregados por los modelos ecosistémicos cuentan con una capacidad predictiva superior a las técnicas tradicionales, lo que permitirá generar criterios

actualizados y nuevos criterios sobre el impacto del cambio climático en los recursos pesqueros. Estos modelos predictivos son herramienta importantes para asesorar en la elaboración del Plan de Adaptación al Cambio Climático que desarrollan Ministerio del Medio Ambiente y Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Yáñez et al., 2013).Los modelos ecosistémicos propuestos se desarrollarán con herramientas matemáticas y estadísticas avanzadas como las redes neuronales que copian la estructura de los sistemas neuronales biológicos con el fin de alcanzar una funcionalidad similar, en este caso se utilizarán para resolver problemas de regresión y para la predicción de la abundancia de recursos pesqueros. Una de las principales ventajas que ofrece estas técnicas es que obtienen la estimación óptima del modelo, así como también de los parámetros del mismo, por otra parte la solución óptima es global y única. Estos modelos ecosistémicos contarán com una capacidad de predicción superior a las técnicas tradicionales y se utilizarán como técnicas de predicción a mediano y largo plazo.

Los modelos se desarrollarán, en la medida que la información esté disponible, con robustas bases de datos actualizadas, validadas, elaborados con una gran cantidad de datos y alta confiabilidad de la información dada las fuentes (IFOP, SUBPESCA y PUCV) primarias (Objetivo 1). Al equipo de investigadores del proyecto le permitirá disponer de modelos ecosistémicos para generar predicciones temporales y espacio-temporales de la abundancia y distribución de recursos pesqueros. Contar con modelos ecosistémicos que serán acoplados a escenarios plausibles de cambio climático lo que permitirá evaluar los impactos en la abundancia y distribución de los recursos pesqueros y como también en la vulnerabilidad de sus hábitats esenciales.

Se propone la aplicación de dos tipos de modelos de predicción usando algoritmos de aprendizaje automático (machine learning en inglés, es la rama de la Inteligencia Artificial que tiene como objetivo desarrollar técnicas que permitan a las computadoras aprender): modelos de máxima entropía (Maxent) y modelos de redes neuronales (RNA) los cuales se describen a continuación (Figura 7).



Figura 7. Diagrama de flujo de la modelación propuesta en el presente proyecto.

2.3.1. Modelos de redes neuronales de predicción

2.3.1.1. Análisis previo de los datos y selección de variables y suavizamiento

Según Pérez (2004), se puede observar que cuando existen muchas variables es posible que parte importante de la información sea redundante, en cuyo caso es necesario eliminar el exceso y dejar sólo variables que tengan representatividad dentro del conjunto. Esto se consigue con la aplicación de técnicas multivariantes de reducción de la dimensión.

En este caso el primer paso consiste en realizar un análisis de correlación entre las variables, con el objeto de conocer el grado de asociación y excluir aquellas variables que se encuentren fuertemente correlacionadas con otras.

Un problema central, en el análisis de datos multivariantes, es la reducción de la dimensionalidad: si es posible describir con precisión los valores de p variables por un pequeño subconjunto r < p de ellas, se habrá reducido la dimensión del problema a costa de una pequeña pérdida de información. El análisis de componentes principales, tiene como objetivo: dada n observaciones de p variables, se analiza si es posible representar adecuadamente esta información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales. Por ejemplo, con variables con alta dependencia es frecuente que un pequeño número de nuevas variables (en general menos del 20% de las originales) expliquen la mayor parte de la variabilidad original (80 – 100%).

Una vez seleccionadas las variables, se realiza un análisis de correlación cruzada no lineal utilizando el programa CORN (Correlaciones No-Lineales), diseñado por Gutiérrez (com. pers.), que permite calcular correlaciones lineales y no lineales desfasadas en el tiempo para un total de 22 funciones (Tabla 3). En éstas el término constante corresponde a β_0 , y los parámetros de la función correspondiente se denominan β_1 y β_2 ; mientras que X e Y son variables independientes y dependientes respectivamente. El programa utilizado es un sistema de ayuda para la selección de retrasos en modelos de series de tiempo, para la selección de los desfases se establece como nivel de confianza un 95% (α =0,05).

Modelo	Ecuación
(1) Lineal	$Y = \beta_0 + \beta_1 X$
(2) Lineal Recíproca	$Y=1/(\beta_0+\beta_1X)$
(3) Hipérbola Rectangular I	$Y = (\beta_0 + \beta_1 X) / (1 + \beta_1 X)$
(4) Hipérbola Rectangular Recíproca I	$Y = (1 + \beta X) / (\beta + \beta X)$
(5) Hipérbola Rectangular II	$Y = X/(\beta_0 X + \beta_1)$
(6) Hipérbola Rectangular Recíproca II	$Y = (\beta_0 X + \beta_1)/X$
(7) Parábola	$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$
(8) Potencial	$Y = \beta_0 X_1^{\beta}$
(9) Potencial Modificada	$Y = \beta_0 \beta_1^X$
(10) Raíz	$Y = \beta_0^{(1/X)}$
(11) Geométrica	$Y = \beta_0 X_1^{\beta X}$
(12) Geométrica Modificada	$Y = \beta_0 X_1^{(\beta)} / X_1^{(X)}$
(13) Exponencial	$Y = \beta_0 \exp(\beta_1 X)$
(14) Exponencial Modificada	$Y = \beta_0 \exp(\beta_1 X)$
(15) Logarítmica	$Y = \beta_0 + \beta_1 \log(X)$
(16) Logarítmica Recíproca	$Y=1/[\beta_0+\beta_1\log(X)]$
(17) Hoerl	$Y = \beta_0 \beta_1^X X_2^{\beta}$
(18) Hoerl Modificada	$Y = \beta_{\beta} \beta_{1}^{(1/X)} X^{\beta}_{2}$
(19) Normal	$Y = \beta_0 \exp[-(X - \beta_1)^2 / (2\beta_2^2)]$
(20) Logarítmica Normal	$Y = \beta_0 \exp[-(\log(X) - \beta_1)^2 / (2\beta_2^2)]$
(21) Cauchy	$Y = \beta_0 / [1 + ((X - X_0) / \beta_1)^2]$
(22) Beta	Y= β 0X β 1(1-X) β 2

Tabla 3. Modelos utilizados para determinar la correlación cruzada lineal y no lineal.

Luego de seleccionar las variables que representen la naturaleza del problema a modelar, se procede a preparar las series de datos a ser utilizadas para calibrar los modelos de redes neuronales artificiales. Freón et al. (2003) recomiendan suavizar las series de datos, para disminuir los ruidos de alta frecuencia y observar en forma más clara su tendencia. Por ejemplo, para tal efecto ellos utilizaron la media móvil de 3 meses centrados, como se muestra a continuación:

$$Xs_{i} = \frac{X_{i-1} + X_{i} + X_{i+1}}{3}$$

donde X_{s_i} es el valor mensual suavizado de X_i ; X_{i-1} y X_{i+1} los valores previos y posteriores de X_i respectivamente.
2.3.1.2. Aplicación del Modelo Red Neuronal Artificial (RNAs)

Las RNAs permiten el ajuste de modelos considerando los datos de densidad y abundancia, las variables ambientales y de pesca seleccionados con sus respectivos desfases. La red toma el 60% de los datos para la etapa de entrenamiento o calibración de la misma, un 20% de los datos se utilizan para la etapa de selección y el 20% restante para la etapa de prueba, todos seleccionados aleatoriamente, como parte del funcionamiento introductorio a la red y es posible modificar los porcentajes según la expertise del modelador y pesquería en estudio.

La abundancia y densidad constituirán las variables de salida de los modelos. Se probarán distintas RNAs con una capa oculta con 2 a 11 neuronas y se selecciona la red neuronal con el mejor funcionamiento en el período de validación realizando 30 repeticiones del proceso de calibración para cada estructura de RNA, considerando ecosistemas marinos (Anctil & Rat, 2005; Pérez-Marín et al., 2006). Este nivel de repeticiones implica que el modelo escogido se distribuye dentro del 14% de los mejores modelos posibles con un 99% de confianza (Iyer & Rhinehart, 1999).

El algoritmo de aprendizaje seleccionado para la calibración y posterior validación de los modelos es el algoritmo supervisado de segundo orden de Levenberg-Marquart (Shepherd, 1997). Éste es una variación del algoritmo de retropropagación hacia atrás o backpropagation (Rumelhart et al., 1986) y es recomendado por varios autores (Tan & Van Cauwenberghe, 1999; Martín del Brío & Sanz-Molina, 2001; Anctil & Rat, 2005, Özesmi et al., 2006; Suryanarayana et al., 2008); además, es el más empleado en sistemas neuronales. Para implementar los modelos de RNAs se utiliza el software STATISTICA 7.0.

Una vez realizada la validación externa con el 20% de los datos para cada uno de los modelos, se realiza un análisis de sensibilidad. Este análisis considera cada variable de

entrada a la red neuronal como si no estuviera disponible en el modelo. Se ha definido un procedimiento de sustitución de valores no presentes (Hunter et al., 2000); primero se corre la red con un conjunto de casos de prueba y el error que se obtiene es guardado. Luego se utiliza la misma red, pero reemplazando los valores observados con el valor estimado por el procedimiento de sustitución de valores no presentes y nuevamente se guarda el error de la red. Dado que efectivamente se ha removido información que la red utiliza (una de las variables de entrada), existirá un deterioro en el nivel de error. La medida básica de sensibilidad es el cociente (ratio) entre el error de la red sin la variable de entrada y el error original. Si el ratio es menor o igual a uno, el quitar o agregar la variable no tendría efecto, o eventualmente mejoraría el nivel de error de la red.

2.3.1.3. Índices de error

El coeficiente de determinación (R²) describe la proporción de la varianza total en los datos observados que puede ser explicada por el modelo. Las medidas de varianzas representan el porcentaje de error estándar de predicción (%SEP) (Ventura et al., 1995), el coeficiente de eficiencia (E) (Nash & Sutcliffe, 1970; Kitanidis & Bras, 1980) y la varianza relativa media (ARV) (Griñó, 1992). Estos estimadores no están influenciados por el rango de variación de sus elementos y son empleados para ver hasta donde el modelo es capaz de explicar el total de la variación de los datos.

Es apropiado cuantificar el error en términos de las unidades de la variable a estimar. Estas medidas de errores absolutos incluyen la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE), dada por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{N}} = \sqrt{MSE}MAE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} |Y_t - \hat{Y}_t|}{N}}$$

donde Y_t corresponde al desembarque observado en el tiempo t, \hat{Y}_t es el desembarque estimado en el mismo tiempo t y N el número total de observaciones del conjunto de la validación.

El porcentaje del error estándar de predicción (SEP) está definido por:

$$\%$$
SEP = $\frac{100}{\bar{Y}}$ = RMSE

donde \bar{Y} es la media de los desembarques observados en el conjunto de validación. La principal ventaja del %SEP es su adimensionalidad, que permite comparar estimaciones dadas por distintos modelos.

El coeficiente de eficiencia (E₂) y la varianza media relativa (ARV) representan la proporción de la variación total de los datos observados y considerados por el modelo, y se calcula:

$$MAE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} |Y_t - \hat{Y}_t|^2}{\sum_{i=1}^{N} |Y_t - \bar{Y}|^2} \qquad ARV = 1 - E_2 = RMSE$$

La sensibilidad de los puntos fuera de rango, debido al cuadrado de su diferencia con la media, se asocia con E_2 o, equivalentemente, con ARV. Un valor de cero para E_2 indica que el valor medio observado Y es un buen estimador al igual que el modelo ajustado; mientras que valores negativos indican que la media observada arroja una mejor estimación que el modelo ajustado (Legates & McCabe, 1999). Para aceptar la bondad del ajuste, los valores de R^2 y E_2 deben aproximarse a uno y los valores de %SEP y ARV a cero.

También se utiliza para evaluar el funcionamiento del modelo el índice de persistencia (PI) (Kitanidis & Bras, 1980).

$$PI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{\sum_{i=1}^{N} (Y_t - Y_{t-L})^2}$$

donde Y_{t-L} es el desembarque observado en el tiempo t-L y L el intervalo de tiempo.

Un valor de PI igual a uno indica un ajuste perfecto entre los valores estimados y observados, y un valor cero es equivalente a decir que el modelo no es mejor que un modelo 'naïve', el cual da siempre como predicción la observación previa. Un valor negativo de PI significaría que el modelo está alterando la información original, mostrando un funcionamiento peor que un modelo 'naïve' (Anctil & Rat, 2005).

2.3.2. Modelos de distribución espacio-temporal de especies

En la modelación de la distribución espacio-temporal de las pesquerías se usan modelos de distribución de especies (en inglés Species Distribution Models - SDM), o más apropiadamente, la modelación de la aptitud de hábitat (hábitat suitability en inglés), la cual es una técnica para interpolar espacialmente información biológica. Desde una perspectiva de conservación, ésta es una herramienta analítica útil para predecir la ocurrencia de especies en áreas con insuficiencia de información. Maxent es un algoritmo que ha sido utilizado para predecir y evaluar el efecto del cambio climático en la distribución geográfica de la aptitud de hábitat de los recursos pesqueros (Cheung et al., 2016; Jones and Cheung, 2015).

El modelo de Maxent (Phillips y Dudík, 2008) genera predicciones de las aptitud de hábitat relativa de las especies al asociar los datos de ocurrencia de especie (jurel, anchoveta, loco, algas pardas y chorito) con el conjunto de variables ambientales promedio del período 2001-2010. Maxent (Phillips et al., 2004) utiliza un enfoque estadístico generativo (Phillips et al., 2006), dentro de las técnicas del área de aprendizaje automático (machine learning) en la inteligencia artificial, para estimar las covariables ambientales que condicionan la presencia de especies y basa la predicción final en el principio de máxima entropía. La probabilidad de ocurrencia se modela en relación con las variables ambientales bajo el supuesto de que la distribución de las especies seguirá la propiedad de máxima entropía (Phillips et al. 2006, Jones et al. 2012). Esto especifica que la mejor aproximación de una

distribución desconocida es la distribución de probabilidad con máxima entropía, sujeto a las restricciones impuestas por la muestra de observaciones de presencia de especies (Phillips et al., 2006). Maxent utiliza un algoritmo no-paramétrico basado en la teoría de entropía máxima que permite que el modelo pueda adaptarse a relaciones no-lineales complejas con múltiples variables ambientales y su co-variación (Phillips et al., 2006). Maxent ha demostrado competir bien con los enfoques alternativos (Pearson et al., 2007; Phillips et al., 2006), obteniendo mejores resultados que los métodos clásicos de ocurrencia (Elith et al., 2006) y se ejecuta bien con muestras de pequeño tamaño (Pearson et al., 2007). En un análisis comparativo entre Maxent y otros 9 modelos (GLM, GBM, FDA, SVM, RF, BIOCLIM, GARP y MARS), Maxent alcanzó el mejor desempeño en términos de poder y precisión de predicción de la distribución espacio-temporal de especies marinas (Reiss et al., 2011).

Los modelos de distribución espacio-temporal de especies se construyen utilizando Maxent (versión 3.3.3e) con los parámetros por defecto para una semilla aleatoria, parámetro de regularización (1, incluidos para reducir el exceso de ajuste o over-fitting), máximo de iteraciones (500), el umbral de convergencia (0,00001) y el número máximo de puntos de fondo (10.000 puntos que no han sido registrados como presentes). Se seleccionan las características ambientales y su contribución relativa a cada iteración del modelo se lleva a cabo de forma automática.

2.3.2.1. Índices de error

La predicción de los modelos Maxent son testeados utilizando el área bajo la curva (Area Under Cuve -AUC en inglés) generada por Maxent. El área bajo la curva característica de funcionamiento del receptor (Receiver Operating Characteristic - ROC en inglés) es una prueba estadística ampliamente utilizada que mide el rendimiento del modelo (Jones et al. 2012). Las AUC varía entre 0 y 1, con valores por encima de 0.9 indica una excelente predicción, entre 0.7 y 0.9, indicando buena predicción, por debajo de 0.7 indica insuficiencia de predicción, y por debajo de 0.5 no es mejor que al azar (Reiss et al., 2011). Un modelo de validación cruzada se realiza utilizando el conjunto de datos completo de

ocurrencia dividido aleatoriamente en un conjunto de datos de entrenamiento (training) correspondiente al 75% y un 25% para la prueba (test) internamente utilizados en la configuración de prueba (test) al azar (random) de Maxent.

Se realiza un análisis Jack-knife para cada variable ambiental (en caso de haber más de una) para medir la contribución de cada variable en el modelo Maxent ajustado.

2.3.3. Selección del mejor modelo

Las salidas de los modelos (RNA y Maxent) de predicción son evaluadas para establecer su precisión y así seleccionar el mejor modelo. Se utilizan índices de error para evaluar la capacidad predictiva de cada modelo: coeficiente de determinación (R²), precisión (Buisson et al., 2010), área bajo la curva (AUC en inglés) (Pearce y Ferrier, 2000) y Cohen's kappa (Cohen, 1960). Estos métodos son ampliamente utilizados en ecología y serán aplicados para seleccionar el mejor modelo de los diferentes modelos ecosistémicos ambiente-recurso empleados en este proyecto.

2.3.4. Predicción de abundancia y distribución

Para predecir la abundancia y distribución de los recursos pesqueros, tanto actual y bajo escenarios plausibles de cambio climático, los modelos ecosistémicos ambiente-recursos seleccionados son forzados con la información histórica (simulación estado actual) y con escenarios plausibles (simulación futura) de cambio climático en variables ambientales claves como por ejemplo la temperatura, clorofila, pH, entre otras. Las simulaciones pueden ser tanto temporales (series de tiempo) y espacio-temporales (mapas o imágenes).

2.3.5. Mapas de hábitats esenciales

Se generarán mapas de hábitat basados en la predicción de la abundancia y distribución espacial de los recursos pesqueros en estudio tanto para un escenario actual como para

diferentes escenarios futuros de cambio climático utilizando modelos ecosistémicos ambiente-recursos validados históricamente y seleccionados. Los pronósticos de los modelos ecosistémicos ambiente-recursos espacio-temporales se presentarán en formato de mapas (imágenes SIG o matrices georreferenciadas) de indicadores de abundancia relativa año, estación, mes, recurso pesquero y zona de estudio. Los mapas de hábitats esenciales tendrán una resolución espacial máxima de 4x4 km. Los mapas de hábitat esenciales provienen de la clasificación de la probabilidad de ocurrencia de Gormley et al. (2013), donde 0 a 0.1 es No Apto, de 0.1 a 0.5 es Menos Apto y 0.5 a 1 es Más Apto.

2.3.6. Detección de cambios en las pesquerías

Para la detección de cambios en la abundancia y distribución espacial de los recursos pesqueros en estudio, se comparan o restan los mapas de hábitat esenciales actuales (generados con la información histórica) con los mapas de hábitat futuros.

2.3.7. Vulnerabilidad al cambio climático de hábitats

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2001) define la vulnerabilidad al cambio climático como el nivel al que un sistema (natural o humano) es susceptible, o no es capaz de soportar, el efecto adverso del cambio climático, incluido la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática al que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad, y su capacidad de adaptación.

Nos enfocaremos en el marco de trabajo propuesto por Marshall et al. (2009) y según la definición del IPCC de vulnerabilidad para describir la vulnerabilidad en función de tres elementos o componentes: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa (Figura 8). La comprensión de estos elementos puede ayudar a evaluar la naturaleza y magnitud de la amenaza del cambio climático, detectar las principales fuentes de vulnerabilidad e identificar acciones para ayudar a reducir o hacer frente a la amenaza en cada elemento.



Figura 8. Descripción de los componentes medibles de la vulnerabilidad al cambio climático.

Exposición. Es la naturaleza o grado al cual un sistema está expuesto a variaciones climáticas significativas (IPCC, 2001). Ejemplos son aumentos en el nivel del mar, aumentos de la temperatura, acidificación, aumento en la intensidad de los vientos, etc.

Sensibilidad. Es el grado de dependencia de la pesca y por lo tanto sensible a cualquier cambio en el sector (Allison et al., 2006), refleja el grado de dependencia de un sistema (producción pesquera) a la influencia climática y está conformada por condiciones socioeconómicas y ambientales (SEI, 2004). Ejemplos son el "estatus" del recurso, cambios en el rango de distribución geográfico, reclutamientos, otros.

Capacidad adaptativa. Describe la capacidad de responder a los retos a través del aprendizaje, la gestión del riesgo y el impacto de desarrollo de nuevos conocimientos y la elaboración de enfoques eficaces. Requiere entre muchas otras cosas, la flexibilidad para experimentar y adoptar soluciones novedosas (Gunderson, 2000; Levin et al., 1998). En los ecosistemas, la capacidad adaptativa se relaciona con la diversidad genética, la diversidad biológica, y la heterogeneidad dentro de los paisajes (Carpenter & Gunderson, 2001; Peterson, 2002).

El impacto potencial es el grado al cual un sistema es susceptible o incapaz de enfrentar, efectos adversos del cambio climático, incluyendo variabilidad climática y eventos

extremos (IPCC). Sin embargo, para medir la vulnerabilidad se propone una modificación de la metodología utilizada por Hampton (2011), realizada para el Ecosistema Marino de la gran Corriente de Benguela. Esta metodología implica estimar un Índice de Vulnerabilidad (*IV*), basado en dos índices:

$$IV = IE \times IS$$

donde, *IE* es el índice de exposición e *IS* es el índice de sensibilidad. Para cada efecto del cambio climático se definen indicadores de exposición e indicadores de sensibilidad. En este caso los factores o variables que identificarán el índice de exposición provendrán de los análisis previos obtenidos por la aplicación de los modelos estadísticos bajo escenarios plausibles del cambio climático y considerando el ciclo de vida de los recursos en estudio. La escala a utilizar será a través de promedios o promedios ponderados de los indicadores o variables seleccionadas. El índice de sensibilidad califica el grado en que cada pesquería se ve afectada por los cambios inducidos por el medio ambiente en la abundancia y densidad de la especie objetivo. La escala a utilizar será a través de promedios a través de promedios o promedios o promedios o promedios o promedios estos indicadores se obtienen el impacto potencial del efecto del cambio climático. Estos indicadores se estiman para escenarios temporales plausibles.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.0. Reuniones de Coordinación

La primera reunión se realizó el 23 de abril de 2015 en Valparaíso, donde el Jefe de Proyecto coordinó el trabajo con el equipo de la Universidad Santo Tomás (UST) (Ver Acta Reunión N°1 en ANEXO 1. Actas de Reuniones).

La segunda reunión de trabajo se realizó el 23 de noviembre de 2015 en Valparaíso, donde la totalidad del equipo de trabajo (PUCV y U. Santo Tomás) presentan y analizan los resultados de los modelos conceptuales desarrollados para cada especie y se hace entregar de las bases de datos finales las cuales son entregadas en el presente informe (Ver Acta Reunión N°2 en ANEXO 1. Actas de Reuniones).

La tercera reunión de trabajo se realizó el 4 de marzo de 2016 en la PUCV (Valparaíso) y el objetivo fue dar a conocer los modelos de pronósticos desarrollados e implementados, además de coordinar la elaboración y entrega del Pre-Informe Final y actividades de cierre del presente proyecto FIP 2014-25 (Ver Acta Reunión N°3 en ANEXO 1. Actas de Reuniones).

3.1. Objetivo específico i) Generar una matriz de conocimiento e información de variables oceanográficas y ambientales que caracterizan y delimitan el hábitat esencial asociado a los recursos pesqueros de interés en el presente estudio.

3.1.1. Recolección Bibliográfica

3.1.1.1. Digitación e ingreso de la información en la base de datos bibliográfica

La digitalización de la información entregó como resultado (actual) una base de datos con 215 referencias para los recursos pelágicos y 351 referencias para los bentónicos (Figura 9) que incluyen: reportes pesqueros, tesis de pre y post-grado, artículos científicos en revistas internacionales, artículos científicos en revistas nacionales, informes sectoriales, informes finales de proyectos FIP, sección de libro, etc.



Figura 9. Ventana de acceso principal a la base de datos bibliográfica en EndNote X7.

Filtrado de la información por grupo de especies

A ejecutar la búsqueda por tema principal de interés, la librería produjo el siguiente número de referencias (Tabla 4):

Tema de interés	Total de Referencias
Anchoveta Centro – Sur	84
Jurel	113
Anchoveta y jurel	18
Algas Pardas (4 especies)	117
Chorito	89
Loco	145
Cambio climático	15

Tabla 4. Total de referencias por tema de interés.

• Filtrado de la investigación por tipo de documento

Al realizar la búsqueda por tipo de referencia, la librería produjo el siguiente número de referencias (Tabla 5).

Tabla 5. Número de referencias por tipo de documento para recursos pelágicos y bentónicos en estudio.

Tipo de documento	N° referencias	N° Referencias
	Recursos Pelágicos	Recursos Bentónicos
Libro:	10	5
Publicación	83	324
Tesis (pre y postgrado)	5	4
Informes técnicos	99	18
(e.g. FIP, IFOP, FAO, Subpesca,		
Sernapesca,)		

Filtrado de la investigación por aspectos de conocimiento

A continuación se indican los elementos de búsqueda en la librería EndNote y la cantidad de documentos recopilados actualmente en cuanto a referencias de variables asociadas a los recursos jurel y anchoveta (Tabla 6) y recursos bentónicos (Tabla 7). En el caso particular de *C. concholepas,* 'loco', los resultados indicados son parciales, pues corresponden exclusivamente a la información presente en los informes de proyectos FIP, y serán complementados por los resultados generados a partir de los artículos que se encuentra aún en etapa de revisión. Adicionalmente se presentan las variables asociadas a las etapas de vida para recursos pelágicos (Tabla 8) y para el estado de avance del recurso loco, cuya información corresponde principalmente a los artículos y capítulos de libros citados en la revisión bibliográfica de este recurso (Tabla 9).

Variables	Jurel	Anchoveta
Temperatura superficial del mar	40	14
El Niño	10	2
Salinidad	17	13
Clorofila a	9	10
Turbulencia	4	0
Viento	8	11
Surgencia	5	8
Termoclina	5	3
Masas de agua	15	1
Alimentación	18	15
Crecimiento	9	9
Densidad	7	5
Distribución	56	30

Tabla 6. Número d	le referencia	s de variable	es asociadas a	los recursos	pelágicos en	estudio.
-------------------	---------------	---------------	----------------	--------------	--------------	----------

Abundancia	45	34
Biomasa	29	24
Talla/Edad	43	23
Reclutamiento/Stock	17	25
Desove/Huevos	29	31
Larvas	18	22
Juveniles	11	6
Adultos	98	57

Variables	Algas pardas	M. chilensis	C. concholepas
Captura mensual	6	1	13
Esfuerzo de pesca	17	4	15
CPUE	5	0	14
Biomasa	28	4	13
Abundancia	17	2	7
Presencia /Ausencia	117	71	10
Temperatura superficial del mar	8	8	1
Temperatura del aire	0	2	2
Índice de turbulencia	0	0	1
Transporte de Ekman	4	0	2
Índice de Oscilación del Sur	4	0	1
Oscilación Decadal del Pacífico	0	0	1
Niño 1-2	3	0	1
Niño 3-4	3	0	1
Profundidad de termoclina	0	0	1
Cold Tongue index	0	0	1
Antartic Oscillation Index	0	0	1
Humboldt Current index	0	0	1
Tipo de fondo	3	1	2
Concentración de oxígeno	1	1	1
Concentración de clorofila	0	2	1
Salinidad	0	6	1
Marejadas	0	1	1
Precipitación	0	1	1
Acidificación (pH)	0	3	7
Tallas	27	18	13
Pesos	7	7	12
Factor de condición	0	0	3
Abundancia	9	4	8
Densidad	10	3	1
Metabolismo	0	7	1
Reclutamiento	3	0	10
Crecimiento	29	6	3
Filtración/aclaramiento	0	16	4
Calcificación	0	2	4
Sobrevivencia	6	5	8

Tabla 7. Número de referencias de variables asociadas a los recursos bentónicos en estudio*.

* Sólo paper e informes FIP

Tabla 8. Números de referencias de variables asociadas a etapas de vida de los recursos pelágicos en estudio (Nótese que un estudio puede estar presente en más de una variable y estado del ciclo de vida).

		Etapa del ciclo de Vida			
Variable	Recursos	Huevos	Larvas	Juveniles	Adultos
	Jurel	12	11	3	30
Distribución					
	Anchoveta	7	1	2	27
	Jurel	2	1	3	6
Columna de agua					
	Anchoveta	3	2	0	10
	Jurel	0	0	5	13
Alimentación					
	Anchoveta	0	4	1	10
	Jurel	14	12	2	21
Temperatura					
	Anchoveta	9	4	1	14
	Jurel	7	1	2	12
Salinidad					
	Anchoveta	9	1	1	13
	Jurel	7	1	1	12
Oxígeno disuelto					
	Anchoveta	9	1	1	13
	Jurel	2	0	1	7
Clorofila a					
	Anchoveta	2	2	0	10
	Jurel	4	1	0	7
Vientos					
	Anchoveta	1	2	0	11

Variable	Etapa del ciclo de Vida		
	Cápsulas ovígeras	Larva competente	Juveniles /adultos
Distribución	10	6	24
Densidad	3	2	13
Alimentación	1	1	4
Temperatura	1	3	3
Abundancia/Biomasa	3	3	9

Tabla 9. Número de referencias de variables asociadas a etapas del ciclo de vida del recurso "loco" (*C. concholepas*) e incluidas en la revisión bibliográfica.

3.1.2. Revisión Bibliográfica

Posterior a la lectura de las referencias, se llegó a la elaboración de un documento por especie en estudio que fue trabajado en forma recursiva cuidando de la coherencia y cohesión para obtener la revisión. Además, de lo anterior, en este informe se presenta el estado de avance en la revisión bibliográfica para los recursos bentónicos, priorizando la recolección de la información biológica y ambiental que permita desarrollar una primera aproximación a un modelo conceptual para los recursos bentónicos y en una segunda etapa elaborar las matrices biológicas y de conocimiento como las que se presentan para los recursos pelágicos.

3.1.2.1. Revisión Bibliográfica de la especie Jurel Trachurus murphyi

El jurel es una especie de ambiente nerítico y oceánico que presenta una amplia distribución en el Pacífico sur, encontrándose desde Ecuador (1° 38' S) hasta el sur de Chile (55° 00' S) (Aracena et al., 1998) y desde el litoral de América del Sur hasta las costas de Nueva Zelanda, e Isla de Tasmania por el oeste, cuya extensión, en el área oceánica, cubre una superficie de más de 2,5 millones de millas náuticas cuadradas a lo largo de la convergencia subtropical en el denominado "cinturón de jurel" (Figura 10) (Grechina, 1998). En Chile centro-sur, el jurel se distribuye en una amplia zona, tanto

latitudinal como longitudinalmente. Durante el año, su distribución y disponibilidad están fuertemente determinadas por las condiciones bio-oceanográficas del área y por el estado fisiológico de los peces (Arcos, 1995).



Figura 10. El "cinturón de jurel" (de Grechina, 2008, en Gerlotto & Dioses, 2013).

3.1.2.1.1. Aspectos Reproductivos

3.1.2.1.1.1. Desove

El jurel es un desovante parcial típico, posee una sexualidad normal con fertilización externa y no presenta ningún dimorfismo sexual visible (Dioses et al., 1989). Alegría (1995) señala que una de las principales características del jurel capturado en Chile, es presentar un desove parcial o fraccionado y mezcla de clases anuales, observándose en un mismo período, tanto ejemplares que están reproduciéndose como otros en reposo.

3.1.2.1.1.2. Área de desove

El área global de desove del jurel se distribuye a lo largo de la costa de América del Sur, desde el Ecuador hasta los 43°S (Serra, 1991), desde las costas del Perú y norte de Chile hasta las 250-400 mn y desde la costa centro-sur de Chile hasta los 170°W con un centro desovador en la Zona de Convergencia Subtropical que se extiende desde Chile entre 150° W y 160° W. (Cubillos et al., 2004). La principal área de desove del jurel, se encuentra situada entre los 16° S y los 40°S, más allá de las 60 mn desde la costa de América del Sur (Grechina et al., 1998).

En la región centro-sur de Chile, el área de distribución del desove del jurel, está situada entre los 35° y 42°S hasta los 172°W, posiblemente en las cercanías de nueva Zelanda.(Aracena et al., 1998). Entre 1999 y 2007 se observó una tendencia de desove decreciente produciéndose la mayor parte de este en aguas oceánicas fuera del centro de Chile, entre 33°-38°S y desde los 82°W extendiéndose hasta los 92 ° W y más allá. (Núñez et al., 2008).

3.1.2.1.1.3. Período de desove

El desove del jurel no es homogéneo en el tiempo ni en el espacio (Adrianov, 1994), es una especie migratoria que realizan migraciones marinas para desovar en aguas oceánicas fuera del centro de Chile durante la primavera austral, entre octubre-diciembre (Serra 1991; Arcos et al., 2001). Aparentemente, este comienza en la zona norte (principios de primavera), y más tarde en la zona sur (fines de primavera), extendiéndose hasta enero del año siguiente (Adrianov, 1994).

Su desove es más intenso en primavera y verano en las aguas subtropicales, lo que se realiza prácticamente en los límites de todo el "cinturón de jurel", entre los 35° y 40°S. (Grechina, 1998). Dioses et al., (1989) verificaron que *T. murphyi* desova con mayor intensidad entre septiembre y diciembre, sin embargo en un análisis histológico de las gónadas, realizado por Leal et al., (2013) se confirmó que la actividad reproductiva de la especie tiende a concentrarse entre septiembre y enero.

Existen diferencias interesantes en los ciclos reproductivos entre Perú y Chile: El patrón anual del Índice Gonadosomático (IGS) de *T. murphyi* en Perú, se extiende entre septiembre y diciembre con máximos valores de IGS en noviembre y es claramente diferente al que se observa para el *T. murphyi* en el centro-sur de Chile, donde según Oyarzún et al.

(1998) y Aracena et al. (1998) los valores máximos se producen en diciembre (Figura 11). En cuanto a la amplitud del periodo máximo de desove en el Perú es de 4 meses, mientras que en el norte y en el centro-sur de Chile es de 3 meses. (Perea et al., 2013).

En un estudio realizado entre Septiembre de 1993 y agosto de 1994 en aguas costeras de la I y II Regiones en Chile (Alegría, 1995) se estableció que el evento reproductivo se inició a mediados del invierno culminando a mediados del verano, con una máxima intensidad de desove en octubre-noviembre y un mínimo proceso en otoño (marzo-mayo).



Figura 11. Ciclo reproductivo de jurel *T. murphy*, serie histórica completa del IGS 2001-2012 (Perea et al., 2013).

Durante el período de desove, el jurel produce de 3 a 6 tandas de huevos, observándose cambios interanuales en el número de tandas de desove, relacionados con las condiciones

oceanográficas favorables (5,85 tandas en los año 1991/92) o desfavorables (3,3-3,9 tandas en los años 1990/91, 1992/93 y 1993/94), antes y durante el período de desove.

Estudios de huevos y larvas de jurel en la zona sur del océano abierto del Pacífico suroriental, señalan que su principal área de desove está limitada por la isoterma de 16,5°C, cuya posición varía anualmente de 37°S, a 42°S y de 80°W a 88°W (Aracena et al., 1998). Según Cubillos & Arcos (2002) la isoterma 16° C puede ser considerada para marcar el límite del huevo y la distribución de las larvas durante octubre-diciembre (Figura 12).



Figura 12. Áreas de desove de jurel en el Océano Pacífico, relacionados con la isoterma 16°C al principio y al final de la temporada de desove. 1. Ámbito general de desove; 2. Área donde se recolectaron los huevos y / o larvas; 3. Área donde las concentraciones de huevos y larvas están por encima 200 m⁻² (de Grechina, 2008, en Gerlotto & Dioses, 2013).

Las mayores densidades de las primeras etapas de desarrollo del jurel se han asociado a la posición $16^{\circ}-18^{\circ}$ C de la isoterma, vientos moderados (4-8 m s⁻¹), un índice de turbulencia <100 m³ s⁻³, y las corrientes bajas (<15 cm s⁻¹)(Núñez et al., 2008)lo que sugiere que el proceso de desove situada en alta mar del centro de Chile podría ser relacionado con el límite sur de la Zona de Convergencia Subtropical y los recursos alimentarios adecuados para las larvas (Cubillos, Núñez, & Arcos, 2002).

Resultados exploratorios realizados con jurel en alta mar (entre 80 ° W y 92 ° W) muestran una mayor densidad de huevos relacionados con aguas con temperaturas entre 16°- 19°C, vientos moderados entre 4-8 m s-¹ y corrientes bajas (<15 cm s-¹) y entre 17° - 19°C (Cubillos et al., 2008), con una distribución casi continua de clorofila superficial con valores entre 75 y 100 ng/L, observándose en algunos sectores núcleos mayores a 100 ng/L sin un patrón particular. No obstante, valores mayores a 100 ng/L se ubicaron en los sectores oceánicos adyacentes al continente. Asimismo, al contrastar la distribución de clorofila con la temperatura superficial del mar, se pudo apreciar que prácticamente el 72% de los valores más altos de clorofila se distribuyeron en temperaturas inferiores a 18°C (Cubillos, 2002). Todos estos resultados sugieren un acoplamiento bio-físico entre estas variables en el área de desove del jurel (Núñez et al., 2004). Ayón & Correa, (2013) señalan que en el caso del jurel, el desove (entre los 14°S y los 18°30'S) está asociado a concentraciones elevadas de oxígeno mayores a 5.0 ml/L (Santander & Flores, 1983; Dioses et al., 1989).

Gerlotto & Dioses (2013) señalan que el referendo del agua en el Perú para la actividad de desove es de 18° C para la temperatura, salinidades menores a 35 psu y sobre 5,0 ml/L para el oxígeno disuelto, y que las agregaciones de desove se encuentran en una capa superficial, entre 10 y 80 m, donde las estancias de salinidad van entre 34,9 y 35,1 psu, temperatura entre 15° y 18°C y oxígeno disuelto entre los 3 y 5 ml/L.

3.1.2.1.1.4 Fecundidad

En los años 1990-1994, la fecundidad individual absoluta promedio de una hembra de longitud horquilla (LH) entre 35 y 37 cm, fluctuó entre 273.347 y 586.377 huevos; la fecundidad parcial osciló entre 82.637 y 100.296 huevos, con un promedio entre 60 mil y 80 mil huevos; la fecundidad parcial relativa varió entre 157,6 y 176,4 huevos por gramo de hembra. (Grechina et al., 1998a).

En un estudio realizado por Aracena et al., (1998), en la octava región de Chile entre 1994-1995, se registró que la fecundidad parcial promedio fue de 232.054 huevos por hembra, y la fecundidad relativa promedio fue de 284 huevos por gramo de hembra. A su vez, en ese mismo período Adrianov (1994) indicó que la fecundidad parcial era de 235 huevos por gr. de hembra.

3.1.2.1.2. Larvas

La frecuencia de tamaños de larvas fuera de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Chile centro-sur y en el norte de Chile, presenta la misma distribución y moda principal (4mm), esto podría explicarse a que a partir del tamaño de la moda principal, los estados larvales necesitan buscar alimento, observándose una mayor mortalidad larval en larvas de mayor tamaño (Grechina et al., 1998b).

(Palma et al., 1998), entregan antecedentes sobre la distribución y abundancia de larvas del jurel entre los 20°30'S y 22°00'S hasta los 70°42'W (marzo - diciembre de 1990), indicando que se encontraron larvas de esta especie en invierno y primavera, con una mayor abundancia en primavera:

- Septiembre: 21°15' S, hasta los 21°45'S, entre las 20 y 30 mn de la costa. Estructura de talla entre 3,6 – 5,2 mm longitud estándar(L.E.) con una moda de 4,0 mm con isotermas de 16°-17°C
- Diciembre: 20°30'S 22°00'S; La distribución espacial de las larvas fue entre 5 y 30 mn desde la costa. Estructura de talla entre 3,0 9,4 mm L.E, con una moda de 3,0 mm con isotermas de 19° 21°C.

Como se logra desove dentro de la zona eufótica en las capas superficiales (menos de 50 m) las larvas sufren la influencia de las corrientes para su distribución y dispersión, y algunos de ellos se pueden encontrar en el océano abierto en más de 200 millas náuticas de la costa gracias al transporte de Ekman (Gerlotto & Dioses, 2013). En el mar peruano los centros de gravedad de la distribución de larvas presentaron tres periodos muy notorios: fueron más costeros hacia el sur de los 14°S, entre 1966 y1978; más oceánicos y al norte de los 14°S,

entre 1979 y 1994; y con una posición intermedia entre 1995 – 2010 (Figura 13) (Ayón & Correa, 2013).

En el Océano Pacífico Sur, los huevos y larvas de jurel se encuentran en aguas con temperaturas superficiales entre 14°C y 23,6°C con salinidades superficiales entre 33,8 y 35,6 ppm y concentraciones de oxígeno disuelto entre 5 y 6 ml/L (Gretchina, Núñez, &Arcos, 1998).



Figura 13. Distribución de larvas en las aguas peruanas desde 1970 a 2010 (Ayón & Correa, 2013).

3.1.2.1.3. Juveniles

Los antecedentes de los investigadores soviéticos (Aranís et al., 2002) indican que el hábitat de los prerreclutas y juveniles de jurel en el Pacífico Sur Oriental se encuentra a distancias mayores a las 200 mn de la costa, al norte de los 30° latitud sur y circundando las Islas Desventuradas; San Félix y San Ambrosio; (26°25'S 80°08'W) y el archipiélago de Juan Fernández; Islas Robinson Crusoe (33°37'S 78°50'W) y Alejandro Selkirk (33°45'S 80°43'W). La definición operacional de recluta de jurel se denomina a todos los ejemplares menores de 26 cm de LH, lo cual incluye a los juveniles (no maduros) y prerreclutas, ejemplares menores a 20 cm de LH.

Grechina (1998) analizó la distribución espacial de los lances de pesca con jurel juvenil de hasta 16 cm de longitud capturados entre 1980 y 1990 que fueron registrados entre diciembre y mayo por la pesquería rusa en el Pacífico suroriental ,entre 36°-41°S, por fuera de la ZEE de Chile hasta 137°W. Al considerar estratos de 5 cm LH se observó que los juveniles menores de 20 cm se registraron en el margen oriental del Pacífico sur, frente a las costas de Perú y norte de Chile. Entre los 90° y 120° W, solamente se registraron lances con juveniles de hasta 15 cm de LH, estando virtualmente ausente los juveniles de entre 15 y 20 cm; mientras que los juveniles de hasta 10 cm de LH, sólo se presentaron al oeste de los 120° W. A su vez, Bailey (1989) registró en Perú entre enero y marzo de 1986 y 1987, la presencia de juveniles de jurel de 4,5 a 8,5 cm en estómagos de atún al oeste de los 166° W. De acuerdo con estos antecedentes, solamente en el borde oriental existe una mayor probabilidad de encontrar juveniles menores de 20 cm, mientras que la probabilidad de encontrar juveniles de entre 15 y 20 cm es menor al oeste de los 90°W, lo que en conjunto con la incidencia de juveniles en las capturas demuestra el efecto acumulativo de la abundancia de juveniles en el margen oriental del Océano Pacífico Sur y principalmente al norte de los 30° S, en promedio. Por el contrario, en el borde oriental al sur de los 30°S, tanto en el sector costero como oceánico, predominan ejemplares de jureles mayores de 25 cm de LH.

En las capturas promedio registradas en el período 1982-1996, en la zona norte (Arcos et al., 2004) la fracción juvenil de jurel menor a 25 cm de LH, aportó con más del 50% de éstas. Por el contrario, en la zona centro-sur las capturas promedio del período fueron debidas a la fracción mayor a 25 cm LH.

3.1.2.1.4 Tallas

3.1.2.1.4.1 Primera madurez sexual

El jurel madura y desova por primera vez, en promedio entre los 22 y 27 cm LH, correspondiendo a la edad de 3 años (Grechina et al., 1998), valores que son coherentes con los obtenidos por Leal et al. (2013) quienes estimaron en 2011 una LH de 22,7 cm (2,44 años de edad). En estudios por sexos separados, los machos alcanzaron la madurez sexual entre 21 y 23 cm LH, alrededor de los 2-3 años de vida, mientras que las hembras lo hicieron entre los 24 y 25 cm LH, a los 4 años. (Leal et al., 2013).

Una revisión de la talla de media de madurez de jurel de la zona Norte, señala que esta alcanzaba los 23,2 cm LH (Martínez et al, 2002), cifras cercanas a los resultados obtenidos por: Alegría et al. (1995) (21,6 cm LH); Oliva et al, (1997) (22,0 cm LH); Oliva et al., (2000) (22,6 cm LH); Díaz (2004) (23,6 cm LH) y para la zona oceánica Centro-Sur: Sepúlveda et al. (2001) (22,5 cm LH). Estos valores, se presentan menores en comparación a las descritas en la década del 70' que eran entre 33-36 cm de LH (Grechina et al., 1998).

En el Perú, Dioses et al. (1989) determinaron la talla media de madurez gonadal de jurel en 21 cm de longitud total (LT); la longitud en la que el 100% de los individuos son maduros sería de 26 cm LT (Gerlotto & Dioses, 2013). Perea et al. (2013) analizan la talla de primera madurez de *T. murphyi* entre 1967 y 2012 para el caso de Chile, observándose que ha venido disminuyendo de 39,7 cm LT en el periodo 1963 – 1964 (Kaiser, 1973) a 26,0 cm LT en el periodo 1999 – 2000 (Cubillos & Alarcón 2010), y a 25,2 cm LT en el periodo 2011 – 2012 (Perea et al., 2013) (Figura 14). Este cierto grado de variabilidad interanual en

los períodos de madurez de los ovocitos, estarían asociados fundamentalmente a cambios en las condiciones ambientales(Grechina et al., 1998a).



Figura 14. Tallas de primera madurez (L50) de jurel *T. murphyi* para Chile, valores bianuales de 1964 a 2012 (Perea et al., 2013).

3.1.2.1.4.2. Estructura de tallas

En términos generales, la información de estructura de talla de la captura de jurel nacional entre el 2007-2011, muestra una composición con un alto porcentaje de ejemplares por debajo de la talla mínima legal (26 cm LH), situación que cambia el 2012, con una muy baja proporción del segmento juvenil de la población respecto al resto del período (Figura 15).



Figura 15. Estructura de talla (porcentaje en número) de jurel nacional 2007-2012 (Subpesca, 2013).

Según Subpesca (2013), la captura en número el 2010, mostró una distribución multimodal con modas principales en 16 y 27 cm LH y secundarias en 23,32 y 38 cm LH. Para el 2011, el jurel aumentó su talla en las modas principales, siendo de 18 y 30 cm LH, las modas secundarias fueron de 25 y 30 cm LH (Figura 16).



Figura 16. Captura en número a la talla de jurel a nivel nacional 2010-2011. Línea vertical indica talla mínima legal de 26 cm LH (Subpesca, 2013).

La distribución demográfica diferencial, se hace evidente, al observar que las tallas de jurel de la zona norte, incluyen casi exclusivamente el segmento de ejemplares menores y de tallas intermedias; en tanto que en la zona centro sur, los jureles recorren tallas mayores y presentan el contingente exclusivo de longitudes sobre la talla de 41 cm (Figura 17, Tabla 10).

En la zona Centro-Sur el jurel presentó en los últimos doce años (2002-2014) un rango de tallas relativamente similar, desde los 9 hasta los 66 cm con modas principales entre 27 y 40 cm, manifestando un incremento progresivo en el tiempo. Los contingentes de ejemplares bajo la talla de 26 cm han fluctuado y decrecido desde 55% el 1999 hasta un 1,8%, el 2014 (Figura 17).



Figura 17. Distribución de frecuencias de longitud anual de jurel nacional 1975-2014. Superior: zona Norte, Inferior zona Centro – Sur. Puntos rojos indican talla media, línea segmentada indica talla media de madurez. (Aranis et al., 2014).

Fecha	Rango	Promedio/Moda	Área	Referencia
	Talla	(cm)	Estudio	
	(cm) LH			
junio 1994-	22 - 49		VIII Región	Aracena et al., 1998
junio 1995				
Julio, nov. y	Hasta 53		VIII Región	Aracena et al., 1998
marzo 1995				
oct-nov-dic 1994	25 - 40		VIII Región	Aracena et al., 1998
y jun 1995				
jul – oct 1994		39 LH /	V – IX	Arcos, 1995
			Región	
ene-jun 1995	27 - 32	29 LH /	V – IX	Arcos, 1995
			Región	
nov -dic 2000	22 - 54	Moda hembras:	VIII Región	Cubillos et al., 2002
		26 LH, machos:		
		27 LH		
nov – dic 2001	20 - 57	Moda: 26 LH	Alta mar	Cubillos et al., 2003
nov-2006	26-61	37 LH / 35 LH	Alta mar	Sepúlveda et al., 2009

Tabla 10. Resumen de información sobre estructura de tallas de jurel.

3.1.2.1.5 Edad por macrozona (2001-2012)

A nivel nacional, destaca que en la zona Centro-Sur, existe un bajo aporte de los GE (Grupo de edad) 0 al III y también de los GE superiores a X, producto del deterioro estructural de la población, en tanto en la zona Norte se detecta mayor presencia de juveniles bajo la talla mínima legal con mayor contribución de los GE II, III y IV. A nivel nacional los GE IV, V, VI, son los de mayor importancia (Figura 18). En la Macrozona Norte (Arica – Coquimbo), las capturas se concentran en el GE III y secundariamente el IV. En la Macrozona Centro-Sur (San Antonio-Chiloé) la presencia de GE menores va perdiendo importancia, centrándose las capturas en el GE V y VI.

Estos antecedentes resultan relevantes, considerando que el reclutamiento ocurre en la zona Arica-Antofagasta y que si bien la estructura de edad de esa zona está conformada por los GE menores a IV años (25 cm, bajo la talla media de madurez), permite inferir que los ejemplares que alcanzan la talla media de madurez es probable que realicen migraciones reproductivas y/o tróficas desplazándose a la zona sur, constituyéndose en los dominantes en la pesquería Centro-Sur, donde se observan GE II al XXI, siendo los mayoritarios, el V, VI, seguido por el GE VII y VIII (Figura 18).



Figura 18. Composición del desembarque por grupo de edad y zona período 2001-2012. (Elaboración en base a datos proporcionados por IFOP)

3.1.2.1.6. Adultos y Alimentación

La alimentación de jurel en alta mar se caracteriza por la presencia de eufáusidos, mictófidos y copépodos, siendo las dos primeras presas las que adquieren importancia tanto en la zona costera como oceánica. La similitud trófica indica que los jureles menores a 30 cm se segregan de los jureles de mayor tamaño principalmente debido al consumo de eufáusidos y crustáceos pequeños. En los jureles mayores a 30 cm adquieren importancia los mictófidos. (Cubillos, 2002). La alimentación del jurel reveló una similitud entre el 2000 y 2001, donde las presas más importantes fueron los eufáusidos, mictófidos, copépodos y restos de crustáceos (Cubillos, 2003).

En áreas costeras de la I y II Regiones entre septiembre 1993 y agosto de 1994, Alegría (1995) explica que la principal presa del jurel fueron eufáusidos, destacando también el pez mesopelágico del género Vinciguerria y la de mayor tamaño en el contenido estomacal de jurel fue la anchoveta. Arcos (1995) en la zona centro-sur (V-IX Regiones) confirma que los eufáusidos son la presa más frecuente en los estómagos de jurel (Sepúlveda et al., 2009), siguiéndoles los peces linterna, pero no aparecen como presas, peces pelágicos costeros de pequeño tamaño como sardina común y anchoveta. Hernández (2004) y Bertrand et al., (2004), señalan que en términos de ocupación espacial, el jurel presenta un comportamiento "atípico" es decir, más agregado durante la noche que durante el día, que estaría relacionado con la búsqueda de alimento activa nocturna.

3.1.2.1.7. Migración

Los juveniles hasta un año de edad migrarían pasivamente, en su mayor parte, ayudados por las corrientes del Pacífico Sur, cuya dirección es de oeste a este y noreste, preferentemente más al sur de 40°S, hasta el límite de la Corriente Peruana. En la parte oceánica de esta corriente se encuentran zonas de alta productividad, donde en el segundo y tercer año de vida del jurel, los individuos alcanzan la madurez sexual, a la vez que ocurre la engorda. Luego ya maduros, vuelven a migrar al oeste, buscando alimentación más ventajosa energéticamente (Grechina, 1998).

Los ejemplares maduros, de 3 y más años de edad, crecen mientras migran, generalmente, en dirección oriente a occidente, esto significa que en promedio los jureles son más viejos y de mayor tamaño hacia el occidente (Gretchina, 1998), por lo que parcialmente se concluye que las migraciones que presenta *T. murphyi* se caracterizan por ser progresivas y en espiral, las que quedan condicionadas por las peculiaridades en la distribución de las agregaciones durante las temporadas anuales de engorda y desove (Grechina & Arcos, 1995).

En los límites del área de distribución del jurel en el Pacífico Suroriental, se observan diferencias en la migración de este recurso, las cuales están determinadas principalmente por la dinámica de las condiciones oceanográficas estacionales y por el estado biológico de peces en el período de desove y engorde. En el período de desove, primavera-verano del Hemisferio Sur, con el comienzo del calentamiento intenso de las aguas superficiales de la región, las concentraciones del jurel migran desde el norte, desde las aguas costeras del Perú y norte de Chile a lo largo de la zona frontal entre las Aguas Subtropicales y Subantárticas hacia el sur y luego hacia el suroeste y oeste, donde la temperatura superficial del mar es entre 12° y 14°C, al norte de 40°S. Los peces desde el sector centro-sur de Chile migran hacia el noroeste, hacia las regiones con condiciones favorables para desove y después en la dirección suroeste y oeste. Los peces de gran tamaño se distribuyen más cerca del límite frío de la zona frontal y los peces de tamaño menor más cerca del límite cálido de este frente (Figura 19)(Grechina & Arcos, 1995).



Figura 19. Esquema generalizado de migraciones de la subpoblación oceánica de jurel durante su ciclo de vida. 1: migraciones de peces adultos desovantes; 2: migraciones de peces adultos en engorda; 3: migraciones de peces juveniles de 2 y 3 años de edad; 4: migraciones de peces adultos entre zonas de desove y de engorda; 5: distribución de alevines y juveniles de hasta un año de edad. (Gretchina, 1998).

Hacia febrero-marzo, los individuos de jurel prácticamente terminan de desovar; las concentraciones se reagrupan, pasando de una condición dispersa a la formación de cardúmenes densos y engorde activo. A menudo, los cardúmenes de jurel comienzan a

concentrarse entre los flujos de las aguas cálidas y frías, donde se observan las zonas de gradientes con un descenso de la temperatura en 0,02-0,04 °C/m profundidad y la temperatura superficial oscila en los márgenes de 11 - 13,5°C. Este proceso se observa claramente en mayo-junio, es decir, en el período de engorde activo del jurel (otoño – invierno del Hemisferio Sur), cuando la capacidad de acercamiento de las concentraciones de jurel hacia la costa alcanza su nivel máximo (Grechina & Arcos, 1995).

La estructura poblacional del jurel propuesta por Arcos et al. (2001), considera una separación de gran escala entre la zona de desove y el área de crianza, lo que necesariamente involucra un mecanismo eficiente que propicie el transporte de estadios tempranos hacia áreas productivas de crianza, durante la etapa larval, en que presentan bajos niveles de movimiento activo. Este transporte de larvas desde la zona de desove hacia el sector costero, sería producto de un flujo superficial con un marcado patrón de circulación superficial asociado al esfuerzo del viento noreste y de la influencia de corrientes de meandros superficiales, determinando un transporte neto hacia la zona de crianza situado en el sector costero del norte de Chile (Figura 20) (Vásquez, 2012).



Figura 20. Modelo de los procesos de advección larval para *Trachurus murphyi* en el sudeste del océano Pacífico (Vásquez, 2012)

Las migraciones verticales de los cardúmenes están vinculadas a los ciclos de comportamiento y de marcación tróficos. Se han realizado varios trabajos, en donde se concluye que el jurel realiza movimientos verticales diarios, desde la sub-superficie (entre 15 y 40 m) por la noche a profundidades que varían de acuerdo a la distancia desde la costa: alrededor de 50 m de profundidad a distancias inferiores a 10 mn de la costa, hasta más de 100 m para distancias de más de 30 mn (Gerlotto & Dioses, 2013).

Nictimeralmente, en la zona centro - sur de Chile (32° S a 41° S), el jurel realizan migraciones en busca de sus presas, remontando hacia la superficie durante la noche y descendiendo a una profundidad media de 100 m durante el día (Bertrand et al., 2004). Esta migración vertical, que dejaría al jurel fuera del alcance de depredadores pelágicos durante el día, se representa en un modelo esquemático propuesto por Bertrand et al., (2006) en donde considera la densidad de las agregaciones durante el día y la noche (Figura 21)



Figura 21. Modelo esquemático propuesto por Bertrand et al. (2006), para el comportamiento del jurel en el cual el alimento está disponible sólo por la noche. El jurel está representado por amarillo a pequeñas estructuras rojas (según densidad y abundancia creciente de amarillo a rojo); las presas están representadas por capas continuas de verde a naranja.

3.1.2.1.8. Principales parámetros ambientales que afectan y definen el hábitat del jurel

De acuerdo con los antecedentes biológicos disponibles de la pesquería, la población de jurel chileno se organiza en (Cubillos & Arcos, 2002; Arcos et al., 2004) (Figura 22):

- a) un hábitat oceánico reproductivo frente a Chile central, con un centro principal de desove de 35 ° a 40 ° S y los 90 ° W meridiano.
- b) un hábitat costero de alimentación (engorda) de los adultos en la zona centro-sur de Chile (34°S- 41°S), donde los adultos son reclutados y luego migran generalmente hacia el oeste para el desove en la primavera.
- c) un hábitat de crianza al norte de 30° S en aguas más cálidas.


Figura 22. Modelo conceptual de la estructura espacial del stock de jurel frente a las costas de Chile, previo a la ocurrencia de El Niño 1997-98 (Arcos et al., 2001).

3.1.2.1.8.1 Temperatura superficial del mar

El jurel tiene gran plasticidad por lo que puede vivir en aguas de 9° a 28° C, tanto en las dimensiones espaciales (horizontales) y verticales; sin embargo, su área de distribución puede ser limitada por las aguas subtropicales, es decir, de 17 a 28° C y más específicamente para aguas peruanas dentro de una preferencia de 15° - 20° C (Gerlotto & Dioses, 2013).

3.1.2.1.8.2 Oxígeno Disuelto

Uno de los principales parámetros es el oxígeno disuelto (OD). Este parámetro impulsa la horizontal así como la distribución vertical del jurel , además lo obliga a adoptar un comportamiento en particular, de alguna manera opuesta a lo que usualmente se conoce para el género *Trachurus* (Gerlotto & Dioses, 2013): más bien dispersos y descansando durante el día por encima de la oxiclina, y alimentándose por la noche en cardúmenes densos. El jurel no puede vivir en aguas con concentraciones de oxígeno por debajo de 1 ml /L, y hasta 4 ml / L dependiendo de la agregación de los peces (grandes cardúmenes son incapaces de sobrevivir en agua con OD menor de 4 ml /L). Además de un mínimo de concentración, el jurel requiere una altura bastante importante del OD (no menor a 40 m) lo que sería también un factor clave en los movimientos verticales diarios del jurel.

3.1.2.1.8.3 Salinidad

Hay pocos trabajos sobre la salinidad, y se supone que esta variable no juega un papel importante en la definición del hábitat del jurel. Bertrand et al. (2004) indica que la variación de la salinidad en el área de distribución no es lo suficientemente amplia como para presentar un valor discriminante. Dioses (en prensa) presenta que el jurel tiene una preferencia para salinidades entre 34,9 y 35,1 °/00 que parece ser menos prioritaria que la preferencia por temperatura entre 15° y 20° C y, sobre todo oxígeno (aguas con OD <1 ml /L se consideran inaccesible al jurel).

3.1.2.1.8.4 Masa de Agua Subtropical

El segundo parámetro importante es la masa de agua subtropical. El "cinturón del jurel" está limitado por el frente frío de la Antártida en el sur y el frente tropical en el norte, lo que permite dar a las isotermas 9° y 28° C límites generales para el dominio del jurel.

3.1.2.1.8.5 Clorofila - a

El jurel es un depredador activo con un metabolismo alto. Por lo tanto sus necesidades en los alimentos son importantes y es lógico que la disponibilidad de alimentos sea un factor crítico para su distribución. En relación con la clorofila - a, las obras más recientes (Gerlotto & Dioses, 2013) parecen indicar que el jurel se encuentra en la frontera exterior de la alta concentración de Cl - a, observado a lo largo de las fronteras exteriores de los afloramientos, dentro de un rango de 0,13 a 5,0 mg / L. El jurel se limita a las zonas donde la productividad secundaria es alta, y en su mayoría consiste en eufáusidos y mictófidos: este pez es un alimentador oportunista (Gerlotto & Dioses, 2013). La clorofila es un proxy, sabiendo que el jurel no está presente en la alta concentración de Cl - a, pero sí alrededor de los frentes de productividad primaria.

3.1.2.1.8.6 El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

ENOS representa una gran parte de la variabilidad interanual en toda la cuenca del Océano Pacífico Sur. ENOS influye en la dinámica de peces pelágicos, es decir, cambios en los patrones de distribución, alteraciones fisiológicas, fracaso reproductivo y la mortalidad de huevos y larvas (Arancibia & Neira, 2002). Para el caso del jurel, se postula que las condiciones ambientales pre-El Niño y El Niño producen una alteración en la distribución espacial del recurso," atrapando" a los juveniles en la zona centro-sur de Chile (Figura 23) (Arcos et al., 2004).



Figura 23. Modelo conceptual de la estructura espacial del stock de jurel frente a las costas de Chile, durante y después de El Niño 1997-98 (Arcos et al., 2001).

Los límites de hábitat del jurel se relacionan con los eventos ENOS, porque el frente subtropical oscila de sur a norte cuando se produce un ENOS (Arcos et al., 2001). A partir del análisis de la distribución del jurel en las subdivisiones norte y sur del Pacífico Suroriental, y de las características de su posición espacial por grupos de tamaño y edad, es posible admitir que durante el evento El Niño 1982-83 se generó una redistribución considerable de las concentraciones de jurel; particularmente el traslado de peces de hasta 25 cm LH desde los lugares habituales (específicamente al interior de la ZEE de Chile y Perú al norte de los 30°S), hasta los 42°S y 90°W (Grechina & Arcos, 1995). Del mismo modo durante El Niño 1997-1998, se produjeron cambios notables en la estructura de tallas de las capturas de jurel, como juveniles (<26 cm LH) dominando las zonas de pesca, observándose también un desfase de un año en la respuesta de un aumento de la incidencia de juveniles, proponiendo que las condiciones de El Niño afectan la ruta migratoria de los juveniles (Arcos et al., 2001). Al respecto, en Perú, la amplia distribución de larvas 106

observada durante el Niño 97/98 y la que hubo durante el año 2006 estuvieron asociadas a un acercamiento de las Aguas Subtropicales Superficiales que habrían generado un intenso proceso de mezcla en la zona costera (Ayón & Correa, 2013). En ese sentido, la profundización de la isoterma de 15 °C, la distribución espacial de la salinidad y la profundización de la mínima de oxígeno durante las décadas de los años 1980 y 1990 favorecieron altas abundancias de larvas de jurel al norte de los 10°S, asociadas a una intromisión de Corrientes Ecuatoriales y Aguas Subtropicales Superficiales (Bertrand, 2004).

Aparte de los movimientos de población, éstos ENOS afectan también el comportamiento de agregación de los peces, los cardúmenes son más pequeños y menos numerosos durante un ENOS. Resultados hidroacústicos reportados por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), indican que en años cálidos o de eventos El Niño, se presenta un claro aumento de la biomasa del jurel cerca de la costa peruana; y en años moderadamente fríos una disminución de su biomasa en la misma área (Gretchina, 1995). Dioses (2013) Identifica tres patrones de distribución vertical y profundidad de las capturas de jurel *T. murphyi* en relación a cambios en condiciones ambientales (Figura 24):

(1) cuando ocurren fenómenos El Niño fuertes, se concentran debajo de una marcada y profunda termoclina. Las capturas se realizan a profundidades mayores de 100 m, en temperaturas de 15 a 20 °C, salinidades entre 35.0 - 35.1 psu y niveles de oxígeno de 1 mL/L (200 m de profundidad), las capturas son altas y varían poco entre día y noche.

(2) cuando hay fuertes afloramientos los cardúmenes se distribuyen entre 0 y 75 m de profundidad, el valor de oxígeno de 1 ml/L se halla sobre los 100 m de profundidad; la pesca es más oceánica y superficial.

(3) cuando se refuerza la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC) en ausencia de un evento El Niño o en presencia de eventos suaves o moderados, los cardúmenes están entre 0 y 300 m de profundidad, el valor de oxígeno de 1 ml/L alcanza profundidades

cercanas a los 300 m, la pesca es más costera, a mayor profundidad de día y más superficial de noche.



Figura 24. Patrones de distribución vertical de cardúmenes de jurel (JC) en relación a la isooxígena de 1 ml/L (Dioses, 2013).

3.1.2.1.8.7 Ondas Kelvin

Están relacionados con el ENOS, y producen una serie de cambios en el Océano Pacífico Oriental. Aunque no hay duda de que el efecto de las ondas Kelvin sea probablemente efectiva en la población de jurel, no hay trabajo realizado de esta especie a esta escala todavía, pero parece importante para el futuro a tenerla en cuenta (Gerlotto & Dioses 2013).

3.1.2.1.8.8 Corrientes y Remolinos

El Sistema de la Corriente de Humboldt es impulsado fuertemente por corrientes ya sea desde la Antártida o las zonas ecuatoriales; por tanto es lógico concluir que el jurel está muy adaptado a estas corrientes y que su hábitat depende de estas características (Gerlotto & Dioses, 2013) (Figura 25).

Los remolinos de mesoescala (50 a 400 km de diámetro) y especialmente las corrientes de meandro entre los remolino constituyen el hábitat en que con frecuencia se encuentran los jureles entre 0 y 2años. 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 (Serra et al., 2014).



Figura 25. Esquema general de las corrientes en el Océano Pacífico Sur (Dioses, 2013).

Todos estos principales parámetros se resumen en la Tabla 11, que forman las bases para la realización de un modelo conceptual del hábitat para *Trachurus murphyi*. Otros factores

están ciertamente jugando algún papel (especialmente las corrientes y remolinos), pero en un nivel secundario. Este es también el caso de las migraciones de desove y ciclos del jurel, que no serían lo suficientemente estrictos para definir el hábitat (Gerlotto & Dioses, 2013).

Tabla 11. Límites de tolerancia y preferencia de las características del agua del Pacífico Sur del jurel.

parámetro	Límite mínimo	Límite máximo	Mínimo	Máximo
			preferendum	preferendum
Oxígeno	0.1 ml/L		0.2 ml/L	
Temperatura	9° C	26° C	15° C	20° C
Salinidad	<mínima observada<="" td=""><td>>máximo</td><td>34.9 psu</td><td>35.1 psu</td></mínima>	>máximo	34.9 psu	35.1 psu
		observada		
Cl a	0.07 mg/m ³	26 mg/m^3	0.1	?
Oxiclina		30 m		40 m

Fuente: Gerlotto & Dioses, 2013.

3.1.2.2. Revisión bibliográfica de la especie anchoveta Centro – Sur Engraulis ringens

La anchoveta (*Engraulis ringens*) es una especie pelágica, de talla pequeña, que puede alcanzar hasta los 20 cm de longitud total. Su distribución es fuertemente costera, presenta un corto ciclo de vida, con tres a cuatro años de longevidad, un rápido crecimiento, elevada tasa de mortalidad natural, forma cardúmenes altamente densos, y es una especie influenciada por factores ambientales (bióticos y abióticos) en todas las etapas de su ciclo vital (Yáñez & Barbieri, 1992; Cubillos & Arancibia 1993; Cubillos et al. 1998; Cubillos et al. 2001; Cubillos & Arcos, 2002).

Se distribuye entre los 4°00' y 42°00' LS (Serra et al., 1979). En la costa del pacífico suroriental la anchoveta tiene tres stocks discretos, el más austral y menos abundante se localiza en la zona centro sur de Chile (34°00'- 40°00'S) (Cubillos et al., 2007), constituyendo la pesquería pelágica de la zona Centro-Sur la cual considera el espacio marítimo entre los 32°10' y 47°00'S; longitudinalmente este-oeste desde la costa hasta más allá de las 200 mn de la zona económica exclusiva de Chile continental (ZEEc), incluyendo las Islas Oceánicas y altamar, sobrepasando hacia el oeste en los últimos años las mil mn de la costa. Ésta área se divide de norte a sur en cinco zonas de pesca: San Antonio, Talcahuano, Valdivia, Chiloé y Guaitecas (Aranís et al., 2012) (Tabla 12, Figura 26).

Zonas de pesca	Latitud (°S)
San Antonio	32°10'00'' - 34°49'59''
Talcahuano	34°50'00'' - 38°29'59''
Valdivia	38°30'00'' - 40°59'59''
Chiloé	41°00'00'' - 43°29'59''
Guaitecas	43°30'00'' - 47°00'00''

Tabla 12. Zonas de pesca de la pesquería pelágica Centro - Sur

Fuente: Aranís et al., 2012.



Figura 26. Mapa de las zonas de pesca de la pesquería pelágica Centro-Sur, Chile. (Aranís et al., 2012)

3.1.2.2.1 Aspectos Reproductivos

3.1.2.2.1.1 Desove

La anchoveta es un desovante parcial, de hábito epipelágico costero, con fecundación externa y desove fraccionado a lo largo del año que ocurre frente a las costas de Chile central y centro sur, en un área costera comprendida entre la costa y las 20 mn, bajo condiciones ambientales relacionadas con un transporte hacia la costa en invierno (Cubillos et al., 2001).

3.1.2.2.1.2 Área de desove

En Chile el área de desove se extiende desde 18°30' hasta 39°47' LS, con focos de mayor concentración en la franja costera de 15 a 20 mn. Además, se reconocen dos áreas principales de desove, Arica-Antofagasta y Talcahuano (Martínez et al., 2004).

En la zona Centro – Sur destacan latitudinalmente dos áreas principales de reproducción y desove a través de la historia reciente; Una ubicada en los 35°30'-37°30'S que corresponde a un área entre la VII y VIII Región (Punta Nugurne a Constitución (35°30'S), desembocadura del Río Itata a Bahía Concepción (36°30'S), Golfo de Arauco(37°S)) y otro corredor reproductivo, focalizado entre los 38°30`-40°S que corresponde a parte de la IX y XIV Región (Lebu a Corral (38°20' a 39°40'S) (Cubillos et al., 2005)). Secundariamente, se observan focos puntuales en el 33°30' y 42°S, siendo este último, el área del mar interior de Chiloé, que aunque manifiesta sus procesos en similares meses que las otras zonas, (fines de invierno hasta fines de año), sus magnitudes son relativamente menos significativas (Aranís et al., 2012).

Según Cubillos et al. (1999, 2001, 2007), la estrategia reproductiva de anchoveta de desovar a fines de invierno, está relacionada con condiciones oceanográficas de la zona Centro-Sur, en las cuales se produce una retención y concentración de los huevos y larvas cerca de la costa, ayudado por la acción de los vientos del norte. A partir del término del invierno y comienzo de primavera, cuando comienza la acción de los vientos del SW, que generan procesos de "surgencias" de aguas profundas, ricas en nutrientes, proporcionando las condiciones óptimas para el desarrollo de fitoplancton, que constituye el alimento de esas especies. Estos procesos de surgencias se intensifican hacia los meses de verano, permitiendo asegurar la alimentación de las anchovetas.

El tamaño de las hembras desovantes puede determinar la ubicación del desove es decir, hembras más grandes desovan más alejadas de la costa (Castro et al., 2009) y desovan con mayor frecuencia (mayor número de desoves) que las hembras de menor tamaño, esto indicaría que la biomasa desovante no sería un buen indicador del potencial reproductivo (Aranís et al., 2012).

En cuanto a la temperatura de desove, la anchoveta desova en toda su área de distribución latitudinal durante el invierno, cuando las temperaturas son más bajas y coinciden con el óptimo local, es decir, de 12 a 15 ° C en el sur de Chile (Castro, 2001). La eclosión no se produciría a temperaturas <5 ° C en Talcahuano (Tarifeño et al., 2008).

3.1.2.2.1.3 Período de desove

El desove es fraccionado a lo largo del año, asociado a zonas costeras someras, observándose un período de desove principal entre los meses de invierno – primavera (julio-diciembre) (Castro & Hernández, 2000; Soto-Mendoza et al., 2010), con un período máximo reproductivo en agosto y septiembre, cuando las condiciones ambientales fluctúan notablemente en escalas de tiempo cortas (Hernández & Castro, 2000) durante la transición del invierno a la primavera (hemisferio sur), que se caracterizan por la alternancia de vientos entre el norte y sur (Cubillos et al., 2007); y otro de menor intensidad en enero y febrero, entrando en etapa de relativo reposo sexual.

Se postula que la mayor actividad reproductiva poblacional de la anchoveta, centrada en agosto, es una respuesta adaptativa de las poblaciones al sistema de surgencia costera estacional de la zona centro-sur de Chile. La mayor productividad asociada al período de surgencias que comienza a mediados de septiembre y que se extiende hasta fines de marzo, sería favorable tanto para la sobrevivencia y crecimiento de estados larvales y juveniles como para el almacenamiento de energía de los adultos para ser utilizada en la reproducción durante el período invernal (Cubillos et al., 1999).

3.1.2.2.1.4 Fecundidad

La anchoveta es un desovante parcial de fecundidad indeterminada (Cubillos et al., 2007). En las especies indeterminadas no es posible estimar el potencial de fecundidad, sino sólo la fecundidad anual real; es decir, el número total de huevos que en realidad fueron liberados durante la temporada de desove (Cubillos et al., 2011).

3.1.2.2.2. Larvas

Resultados han revelado que el tamaño del huevo tiene un efecto sobre la longitud de las larvas al nacer, el volumen de la yema y la longitud inicial de larvas en la absorción de yema de huevo, ya que los valores obtenidos fueron siempre mayor en las larvas eclosionadas de huevos más grandes (Talcahuano) que de huevos más pequeños (Antofagasta) (Llanos-Rivera & Castro, 2006). Esto sugiere que las poblaciones de anchoveta desde Talcahuano compensan sus tasas inferiores de crecimiento de larvas aumentando sus tamaños iniciales de huevo al nacer (ya que son más grandes que las larvas de Antofagasta al final de la etapa de saco vitelino). Este aumento de la longitud de las larvas mejoraría sus posibilidades de supervivencia en condiciones ambientales adversas, como la alta turbulencia, temperatura más baja y menor disponibilidad de alimento durante el invierno, que es típico de la zona de desove de la anchoveta sur (Llanos-Rivera & Castro, 2006).

La distribución vertical de las larvas de peces puede ser modificada por una serie de procesos físicos que ocurren en la columna de agua en diferentes escalas de tiempo y espacio y también por procesos biológicos que ocurren durante el desarrollo larval (Landaeta & Castro, 2012). La estabilidad de la columna de agua podría estar relacionada con una mayor tasa de supervivencia de los estados tempranos de anchoveta (Bustos et al., 2008).

La estrategia reproductiva es desovar bajo condiciones ambientales relacionadas con un transporte hacia la costa en invierno, favoreciendo la concentración y retención de huevos y larvas (Cubillos et al., 2001). Las mayores abundancias de huevos y larvas de anchoveta y sardina común se encuentran en salinidades entre los 32 psu y 34 psu, sin embargo, en ocasiones (año 2005) fue posible observar agrupaciones en salinidades menores (20 a 24 psu) (Soto-Mendoza et al., 2010).

La mortalidad debido a la temperatura se puede atribuir a temperaturas letales críticas por debajo de 9 °C para los huevos y por debajo de 10 °C en larvas de saco vitelino (Soto-Mendoza et al., 2012).

La dieta de las larvas de menor tamaño se compone principalmente de pequeñas presas, como nauplios, huevos de copépodos, dinoflagelados y larvas de moluscos (Hernández & Castro, 2000). En larvas de mayor talla, además de detectarse las mismas presas, aunque de mayor anchura, es posible encontrar otras definitivamente más grandes, como copepodito (Llanos et al., 1996).

3.1.2.2.3. Juveniles

Cuando ocurre enriquecimiento de alimento planctónico debido a una surgencia moderada (octubre), el área de desove se transforma en un área de crianza de juveniles (Cubillos et al., 2001). Las larvas inician su primera alimentación a distintos tamaños, que están asociados con distintos tamaños bucales. Así *E. ringens* es una de las especie que captura partículas más grandes (Llanos et al., 1996).

Respecto a los reclutas, (ejemplares bajo 12 cm LT), la anchoveta presenta dos pulsos de reclutamiento en el año, desfasados 6 meses entre sí, el principal se observa entre noviembre y enero de cada año, representado por peces de cuatro a cinco meses de edad y longitud modal centrada entre los 6 y 7 cm de longitud total; el secundario entre julio y agosto medidos como ejemplares de una longitud modal de 8 cm longitud total (Cubillos et al., 1998, 2001).

El reclutamiento de anchoveta a través de los años ha sido variable, con contribuciones de importancia en 1994, 2002 y 2009, presentando declinaciones e incrementos, entre estos períodos, inversamente correlacionada con la moda principal (Aranís et al., 2012) (Figura 27).



Figura 27. Reclutamiento estimado, porcentajes de ejemplares bajo talla de primera madurez y moda principal de anchoveta. Período 1991 al 2010 en la zona Centro-Sur (San Antonio-Valdivia). (Aranís et al., 2012).

La distribución espacial de la anchoveta en la época del reclutamiento (Castillo et al., 2010), en verano presenta una estratificación espacial por tallas, con los juveniles ubicados en los 32° 40'S, con valores modales entre 5 y 9 cm. Esta notable diferenciación sugiere que la zona de reclutamiento y crecimiento se presenta entre las regiones VI y IX, mientras que el desove y alimentación de los adultos se presenta preferentemente en las regiones XIV y X, coincidente con los resultados alcanzados en el proyecto FIP 96-11 (Castro, 1997) en que se estudiaron las áreas de desove de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur.

3.1.2.2.4. Tallas

3.1.2.2.4.1. Primera madurez sexual

Se estimó la talla promedio de primera madurez sexual ($Lm_{50\%}$) para el período 1993-1997 en 11,5 cm LT, (Figura 28) la que es alcanzada en diciembre, al año y medio de vida (Cubillos et al., 1999; Aranís et al., 2012)



Figura 28. Talla de primera madurez sexual al nivel del 50% de hembras maduras. Zona Centro – Sur de Chile. (Cubillos et al., 1999)

3.1.2.2.4.2 Estructura de tallas

Según Aranís et al. (2012), las estructuras de tallas en anchoveta, varían significativamente entre todas las regiones, lo que puede atribuirse a que cada una de ellas representa segmentos de la población, con discontinuidades propias de su distribución longitudinal y su historia de vida, reflejando contingentes de ejemplares de tallas distintas (Figura 29).



Figura 29. Estructura de talla de anchoveta según Región, 2011. (Aranís et al., 2012)

En el periodo 2001-2011, se observa una tendencia al incremento de las modas en las longitudes, comenzando el 2001 con la moda en la talla más baja (12,5 cm LT) y finalizando el 2011 con una moda en los 14,5 cm LT. En el año 2008, se registra la moda más alta, en los 16 cm LT (Figura 30). Las tallas promedios se incrementan sistemáticamente desde el 2001 al 2005, decayendo levemente en el 2006 y volviendo a aumentar en el 2008, para finalmente a partir del 2009 volver a declinar, pero a valores por sobre los 13,5 cm LT (Figura 31). (Aranís et al., 2012).



Figura 30. Distribución de las longitudes anuales de anchoveta. Periodo 2001-2011. (Aranís et al., 2012)



Figura 31. Distribución de las tallas promedios de anchoveta. Periodo 2001-2011. (Aranís et al., 2012)

3.1.2.2.5. Adultos y Alimentación

Según antecedentes recopilados de cruceros hidroacústicos de la zona Centro-Sur entre el 2002-2011, Castillo et al, (2003, 2013), señalan que la alimentación de la fracción recluta (5-11 cm LT) de los recursos sardina común y anchoveta no exhiben diferencias en su espectro trófico y la dieta de ambos está compuesta por ítems alimentarios asociados al fito y zooplancton, con una mayor frecuencia de ocurrencia asociada al componente zooplanctónico, con preferencia de copépodos en ambos predadores en toda el área de

estudio (V-X Región, fuera del mar interior de Chiloé) y por larvas de cirripedios al sur de los 38°S.

El ítem presa más abundante en los estómagos de ambos recursos fueron los copépodos y diatomeas del género *Skeletonema*, representando más del 80% en relación con la abundancia de otras presas. El componente zooplanctónico en la dieta, estuvo compuesta principalmente por especies de copépodos y en forma muy secundaria por larvas de cirripedios y huevos de invertebrados (Arrizaga et al., 1993; Aranís et al., 2012).

3.1.2.2.6. Comportamiento

La anchoveta tiene comportamiento gregario en un ciclo diario, conformando cardúmenes relativamente densos durante las horas de luz diurna y dispersándose en la noche, para formar estratos superficiales de densidad variable (Castillo et al., 2003). Los cambios en el comportamiento, determinan que las densidades acústicas promedio diurnas son mayores que los registrados en la noche, particularmente en las agregaciones tipo cardumen que son más frecuentes en el día. Las agregaciones tipo estratos, más comunes en la noche, tienen densidades acústicas inferiores a las diurnas (Saavedra et al., 2014).

3.1.2.2.7. Principales parámetros ambientales que afectan y definen el hábitat de la anchoveta centro – sur

3.1.2.2.7.1 Temperatura superficial del mar

La temperatura es un factor limitante para la vida de la anchoveta, la eclosión no se produciría a temperaturas menores de 5°C, huevos y larvas no sobrevivirían a temperaturas menores a 9°C y 10°C respectivamente. En cuanto a los reclutas (cruceros acústicos), se han encontrado en un rango de 10°C a 15,6 °C (Castillo et al., 2003; Castillo et al., 2010; Castillo et al., 2012a).

3.1.2.2.7.2 Oxígeno Disuelto

El rango de Oxígeno disuelto es amplio, va desde los 2 a 8,2 ml/L, sin embargo, la preferencia se encuentra cercana a los 4,5 (ml/L). En los huevos, el oxígeno disuelto se observa con valores superiores a los 6 (ml/L) (Castillo et al., 2003; Castillo et al., 2010; Castillo et al., 2012a; Castillo et al., 2013).

3.1.2.2.7.3 Salinidad

La salinidad es un parámetro importante que se mide en los cruceros hidroacústicos de reclutamiento de anchoveta, el recurso, no se encontraría en salinidades menores a los 20 (psu), siendo su rango óptimo tanto para huevos, juveniles y adultos entre 30 y 34, 65 (psu), con preferencia en los 34 (psu) (Castillo, 1996; Castillo et al., 2005; Saavedra et al., 2014).

3.1.2.2.7.4 Vientos

La acción de los vientos del norte, ayuda a la retención de huevos y larvas cerca de la costa; del mismo modo los vientos del Sur Oeste, generan surgencias ricas en nutrientes para el desarrollo del fitoplancton, ayudando a la disponibilidad del alimento. La moda de la velocidad del viento, se observa entre los 5 - 10 (m/s) (Castillo et al., 2010; Castillo et al., 2012a)(Castillo et al., 2012b; Saavedra et al., 2014).

3.1.2.2.7.5 Clorofila – a

La clorofila – a, es el parámetro que presenta el rango más amplio, ya que se presenta entre los 0,11 y los 21,2 (mg/m³), sin embargo la mayor presencia del recurso es entre los 4,3 y 8 (mg/m³) (Castillo et al., 2002; Castillo et al., 2003; Castillo et al., 2004; Castillo et al., 2005; Castillo et al., 2012b; Saavedra et al., 2014).

3.1.2.2.7.6 El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

(Cubillos & Arcos, 2002), analizan los cambios en el reclutamiento de *Strangomera bentincki* (sardina común) y *E. ringens* entre 1990 y 1998 en el ecosistema de surgencia de Chile centro-sur, y su relación con las fluctuaciones en las condiciones oceanográficas con énfasis en el evento El Niño 1997–1998 que causó cambios físicos en el hábitat de estos pelágicos pequeños que se caracterizó por una disminución del índice de surgencia (IS) y por TSM anómalamente cálidas entre mayo de 1997 y septiembre de 1998. Sin embargo, el reclutamiento de la anchoveta no fue afectado por los cambios en las condiciones ambientales observadas en los años 90. En cambio, la tasa de reclutamiento presentó una relación negativa con la tasa de reclutamiento de sardina común. Estos autores concluyeron que las condiciones de El Niño 1997–1998 frente a Chile centro-sur afectaron la abundancia de la cohorte de 1997 de sardina común, y que el éxito del reclutamiento de la anchoveta habría estado determinado por las cohortes menos abundantes de sardina común a través de un mecanismo biológico de interacción.

Los principales parámetros de esta sección y los datos e información recopilada de los cruceros de evaluación acústica que se realizan en enero de cada año (Tabla 13) y los de evaluación de stock desovante (Tabla 14), forman las bases para la realización de un modelo conceptual del hábitat para anchoveta centro-sur.

		Abundancia	% Reclutas	Mayor			Oxígeno		
	Biomasa	(mill	de la	distribución	Talla	Salinidad	disuelto		
Año	(t)	ejemplares)	abundancia	abundancia	(cm)	(psu)	(ml/L)	T (° C)	Fuente
			2 0.40.0/	Sur Punta				10 10 0	
	1167/64	67178	39,10 %	Tumbes				12-13,9	
	verano	verano	verano	(verano)				(verano)	
	1874556	113240	10 00 %	Sur Lebu			3,0	10.12	FIP N°
2000	1074550	113240 otoão	40, 90 70	Sui Leou	15 16 5	22 5 24 10		10-12	2007-
2009	010110	010110	010110	(010110)	15-10,5	55,5-54,19		(010110)	04
				Norte Isla					
				Mocha					
	17550	6906	977%	(verano)					
	verano	verano	verano	(())					
	veruno	veruno	veruno	Sur Isla					FIP Nº
	339094	24587	51,50	Mocha					2009-
2010	otoño	otoño	otoño	(otoño)	9-16,5	34,2-34,59	2,0-4,5	11-12,9	04
				Norte Isla					
				Mocha					
	25864	2749	73,1 %	(verano)					
	verano	verano	verano	NY . Y 1					
			2 0.00/	Norte Isla					FIP N°
	248664	18144	38,3%	Mocha					2010 -
2011	otoño	otoño	otoño	(otoño)	11,5-16,5	34,2-35,5	3,0-5.0	11-13	04
				Norte Isla					
				Mocha					
	100222	12214	Q110/	(varana)					
	100225	15214	04,4 %	(verano)					
	verano	verano	verano	Norte Isla					EID Nº
	174082	16826	56.5 %	Mocha					2011-
2012	otoño	otoño	otoño	(otoño)	9-15 5	31 -34 4	31-82	11-16 5	07
2012	010110	otono	010110	(otono)	<i>y</i> 10,5	51 51,1	5,1 0,2	11 10,0	07
				Sur Isla					
				Mocha					
	73550	5414	49,4 %	(verano)					
	verano	verano	verano						
				Norte Isla					FIP N°
	86300	8043	49,6 %	Mocha					2012-
2013	otoño	otoño	otoño	(otoño)	14,5-15	33,4-34,5	4-6,5	11-13,5	12

Tabla 13. Indicadores poblacionales y variables ambientales asociadas a la anchoveta Centro - Sur.

Año	Biomasa	Producción diaria	Área	Sector	Fuente
	Desovante (t)	De huevos (m^2/d)	Desove (km ²)	desove	
2007	181643	46,5	7773	37°30'S - 40°28'S	FIP Nº 2007-06
2008	410525	349,2	6800	37°30'S - 40°50'S	FIP Nº 2008-09
2009	85252	81	7450	37°30'S - 41°20'S	FIP Nº 2009-08
2010	105475	160	4883	37°30'S - 41°20'S	FIP N° 2010-02
2012	50772	56,1	2184	37°30'S - 41°20'S	FIP Nº 2012-09
2013	17685	132	2402	34°30'S - 37°10'S	FIP Nº 2013-07

Tabla 14. Biomasa desovante y distribución del desove de anchoveta Centro - Sur.

3.1.2.2.8. Análisis espacio-temporal de indicadores poblacionales

a) abundancia y biomasa

- b) longitud promedio en la población
- c) proporción de juveniles en la población

a) En enero, la fracción recluta de anchoveta tiende a ser más importante entre los 34°30'S (norte de Constitución) y los 37°10'S (Golfo de Arauco), incluyendo el sur de la Isla Mocha.

b) Al sur de la Isla Mocha (38°20'S) y hasta los 40°S, los ejemplares son de mayor tamaño corporal y constituyen la fracción adulta de la biomasa.

c) En invierno (agosto-septiembre), no se ha detectado desove (huevos en el mar) en el área comprendida entre los 33°S (Valparaíso) y los 34°S (exceptuando el 2005, según Cubillos et al, 2009).

De los cruceros de evaluación del stock desovante, se resume la distribución del desove evaluada a fines de invierno y comienzos de primavera (agosto-septiembre).

Huevos:

Se identifica el sector entre 38°20'S y 40° S como la principal área de desove. Esta área presenta la mayor abundancia de huevos durante el máximo de desove principal y que ha sido evaluado regularmente entre agosto y septiembre de cada año. No obstante, se identifica al Golfo de Arauco, la desembocadura del Río Itata, y Constitución, como los núcleos de desove de mayor importancia en este estrato geográfico.

Pre-reclutas:

El sistema de bahías de la zona centro-sur al norte del Golfo de Arauco (37°10'S) constituyen áreas de crianza, donde prerreclutas y reclutas menores a seis meses de edad crecen y se desarrollan. Esto es, durante una ventana temporal que va entre el desove y el reclutamiento (julio a diciembre). En enero, los ejemplares han reclutado con una talla promedio de entre 6 y 7 cm, principalmente al norte del Golfo de Arauco.

Juveniles y pre-adultos:

Entre abril y junio, los juveniles originados durante el desove del año anterior comienzan a ser pre-adultos y los adultos comienzan una migración activa para congregarse en agregaciones pre-reproductivas.

Adultos:

Entre enero-marzo, los adultos (> 11 cm, y de más de un año de edad), tienden a distribuirse preferentemente hacia Carranza (desembocadura del Río Itata) y preferentemente al sur de los 38°20'S (sur de la Isla Mocha a Corral). Durante la transición invierno-primavera (julio-septiembre), la fracción adulta ingresaría a la región más costera (sistemas de bahías) para reproducirse.

3.1.2.3. Revisión Bibliográfica del recurso "Loco", Concholepas concholepas

Concholepas concholepas (Bruguiere, 1789) (Gastrópoda, Muricidade) es una especie característica de ambiente bentónicos rocosos y expuestos (Castilla & Cancino 1976, Castilla, 1979; 1999), el cual presenta una amplia distribución latitudinal desde Perú (ca. 6°S) hasta el Cabo de Hornos en Chile (ca. 55°S) (Stuardo, 1979), e incluyendo el archipiélago de Juan Fernández (Cárdenas et al., 2008). En términos de su distribución vertical, esta especie se distribuye desde la zona intermareal hasta los 30-40 m de profundidad (DuBois et al., 1980, Manríquez et al., 2001; Figura 32 a, b). Esta amplia distribución latitudinal a lo largo de la costa de Chile –Perú implica que durante su ciclo de vida, *C. concholepas* está expuesto a una amplia variabilidad ambiental determinada por la influencia de procesos que operan a diferentes escalas espaciales y temporales (Martínez et al., 2001; Manríquez et al., 2012; Ramajo et al., 2013, 2015).



Figura 32. (A) Distribución geográfica de *C. concholepas*; (B) Poblaciones de *C. concholepas* que presentan diferencias en morfologías de sus conchas; (C) Variabilidad espacial y temporal de la Temperatura Superficial del Mar registrada a nivel nacional y que influencia a las poblaciones de *C. concholepas* a lo largo de su distribución (Ramajo et al., 2013).

3.1.2.3.1. Aspectos Reproductivos

Esta especie tiene un ciclo reproductivo anual, sexos separados (dioica), sin dimorfismo sexual aparente (Castilla & Cancino, 1976). Bajo condiciones de laboratorio se ha observado que la madurez sexual se alcanza a una talla entre 40 y 70 cm de longitud peristomal (PL), mientras que en condiciones naturales esta talla es entre 80 y 90 mm (Lozada et al., 1976). Durante la época reproductiva, *C. concholepas* presenta un patrón de agregación en el cual los adultos se reúnen en sectores desde el inter hasta el submareal someros y donde realizan la cópula (Castilla, 1974; Castilla & Cancino, 1976; Manriquez & Castilla, 2001; Figura 33), la cual ocurre por fecundación interna (DiSalvo, 1988).



Figura 33. Agregaciones reproductivas de *C. concholepas* y cápsulas (color amarillo) depositadas por las hembras sobre el substrato rocoso del intermareal de la costa de Chile Central (Manriquez & Castilla, 2001).

3.1.2.3.1.1. Desarrollo larval

Luego de la cópula, las hembras depositan cápsulas ovígeras, las cuales son cementadas al substrato rocoso donde ocurre el desarrollo intra-capsular que tiene una duración aproximada entre 2 a 3 meses (DiSalvo, 1988; Manriquez & Castilla, 2001; Manriquez et al., 2014). Recientemente, se demostró experimentalmente que la duración de este periodo

de desarrollo intra-capsular presenta variabilidad inter-poblacional, siendo más rápido en el norte (Antofagasta), respecto a individuos de poblaciones del centro-sur de Chile (Las Cruces y Valdivia, respectivamente, Manriquez et al., 2014). Luego de este periodo, eclosionan larvas en estado véliger, que pasan por un periodo de vida planctónica que dura 2 a 3 meses, las cuales una vez maduras o competentes (Gallardo, 1979; DiSalvo 1988; Poulin et al., 2002a,b; Figura 34), se asientan en la zona intermareal y submareal en el periodo de primavera-verano (Moreno et al., 1993). Esta tasa de asentamiento presenta una alta variabilidad espacial, lo cual sugiere la influencia de la variabilidad oceanográfica costera (Martínez & Navarrete, 2002; Poulin et al., 2002a,b; Lagos et al., 2007).



Figura 34. (A) Cápsulas de *C. concholepas* maduras y apunto de eclosionar; (B) larvas véliger recién eclosionadas; (C) larva pedivéliger competente y lista para asentarse. A y B tomado de Manriquez et al., 2014; créditos de la fotografía en (C), Dr. Jorge Navarro (en <u>http://www.eula.cl/anillos_acidificacion/images/lab/act_lab6.jpg</u> revisado el 2 de julio del 2015)

3.1.2.3.1.2.Área de desarrollo larval

El desarrollo intra-capsular de *C. concholepas* ocurre tanto en el inter- como sub-mareal de la costa rocosa (Manriquez & Castilla, 2001). Sin embargo, existe una variación significativa en el área ocupada por estas posturas de cápsulas o "maicillo" - como le denominan los pescadores - (Figura 33), por ejemplo, en áreas de libre acceso se registra una disminución significativa del tamaño de estas posturas y del tamaño de las cápsulas depositadas respecto a áreas de manejo. Así, estos autores indican que las áreas de manejo y reservas marinas generan un mayor aporte a la producción de larvas a la población (Manriquez & Castilla, 2001).

Luego de la eclosión las larvas tienen vida planctónica y los estudios indican que se dispersa ampliamente en los primeros metros de la columna de agua y sobre la plataforma continental y modulada por la advección de masas de agua (Stotz, 1997; Moreno et al., 1998; Poulin et al., 2002a). Por ejemplo, en Chile central la distribución de larvas de C. concholepas se relacionó a la ocurrencia de vientos norte-Sur: la mayor abundancia de larvas se registró cerca de la costa luego de periodos de vientos sur moderados respecto a días calmos, lo cual fue asociado a la advección superficial hacia la costa durante esos periodos, lo cual contrasta con lo registrado durante periodos de surgencia costera inducida por viento sur-oeste cuando las larvas se distribuyen entre la costa y el frente de surgencia, lo cual sugiere que a pesar de la importancia del componente físico, podrían existir mecanismo de retención que podrían evitar la dispersión larval costa afuera, manteniendo las larvas cerca de su hábitat de asentamiento (Poulin et al., 2002a). Estos autores, postularon un modelo de retención larval de C. concholepas el cual ocurriría por la interacción entre un comportamiento diario de migración vertical de larvas competentes con los periodos de intensificación/relajación de la surgencia costera (Poulin et al., 2002b) (Figura 35).



Figura 35. Modelo de retención larval de *C. concholepas* postulado para la costa de Chile central. El modelo integra la migración vertical reversa con la estratificación en un ecosistema de surgencia costera (Poulin et al., 2002b).

Finalmente, las larvas competentes se asientan en hábitats rocosos del inter- y submareal de la costa de Chile (Gallardo, 1979; Reyes & Moreno, 1990; Lepez et al., 1991, Stotz et al., 1991a,b,; Moreno et al., 1993).

3.1.2.3.1.3. Período de desarrollo larval

En la costa de Chile central, la depositación o postura de cápsulas ovígeras de *C. concholepas* puede durar varios días (Castilla & Cancino, 1976). Esta postura de cápsulas se concentra fuertemente en el periodo comprendido entre febrero a julio (Stotz, 1997; Manriquez & Castilla, 2001; Figura 36).



Figura 36.Variabilidad espacial y temporal en el área ocupada por posturas de cápsulas ovígeras de *C. concholepas* en un área de manejo (a) y un área de libre acceso (b) de la costa de Chile central (Manriquez & Castilla, 2001).

Aunque espacialmente variable, este periodo de incubación intra-capsular de C. concholepas toma entre 1,5 a 2,5 meses (Manriquez et al., 2014). Por lo que la eclosión de larvas véliger ocurriría en una mayor proporción entre el inicio del otoño hasta fines de invierno; además, considerando que el desarrollo larval en el plancton dura aproximadamente entre 30 y 90 días (Gallardo, 1979; Disalvo, 1988), entonces las larvas competentes y asentadas comienzan a ocurrir a partir del mes de junio de cada año (e.g., Gallardo, 1979; Guisado & Castilla, 1983; Lepez et al., 1991); no obstante el periodo de asentamiento puede ocurrir hasta fines del periodo de verano del año siguiente. Poulin et al. (2002), registraron larvas competentes desde julio de 1999 a febrero de 2000, con máximo en abundancia en septiembre y octubre, y este patrón de distribución temporal de las larvas se corresponde con la ventana temporal de abundancia de individuos recién asentados en el intermareal (véase también Martínez & Navarrete, 2002). Este patrón temporal registrado en Chile central, es similar al calendario establecido para la zona de Valdivia (Moreno et al., 1993) y en la IV región (Stotz, 1997). Así, la duración del periodo larval de la fase dispersiva también varía a través de la costa de Chile: mientras en el norte de Chile, en condiciones de laboratorio se ha registrado una duración de 2-3 meses (DiSalvo, 1988), en

el centro-sur de Chile puede alcanzar entre 3-4 meses (Moreno et al., 1993), y entre 6-12 meses en la región de los fiordos (Molinet et al., 2005). Garavelli et al. (2014) interpretan este patrón en asociación a la disminución gradual de la temperatura y su potencial impacto sobre el tiempo de desarrollo larval de *C. concholepas*.

3.1.2.3.1.4. Fecundidad

La fecundidad de *C. concholepas* puede ser descrita como una función del número de cápsulas ovígeras depositadas, del número de larvas que contiene cada cápsula y del número de eventos de postura por año (Duran & Castilla, 1998). Además, se ha estimado que cada hembra puede depositar hasta unas 200 cápsulas y que el número de larvas que contiene es proporcional al largo de la cápsula y que el largo de estas es proporcional al tamaño de hembra (Castilla & Cancino, 1976; Manriquez & Castilla, 2001). Estos últimos autores demostraron que esta característica se mantiene en poblaciones de *C. concholepas* intermareal y submareales (Figura 37). Sin embargo, Fernández et al. (2007), reportan que el número de embriones por área de cápsulas es más bajo en el norte que en el sur de Chile, patrón que fue atribuido a la influencia de la temperatura superficial a través de la costa de Chile.



Figura 37. Relaciones entre tamaño de la hembra de *C. concholepas*, longitud de la cápsula y número de larvas registradas en el ambiente submareal (•) e intermareal (o) de Chile central (Manriquez & Castilla, 2001).

3.1.2.3.2. Larvas

Como se indicó anteriormente la distribución del desarrollo larval de *C. concholepas* incluye un estadio intra-capsular que se desarrolla en el bentos rocoso, desde la zona intermareal (ca. 1 m sobre la línea de marea) hasta la zona submareal (30 - 40 m). En zonas submareales de libre acceso se ha registrado que los máximos de densidad de cápsulas fluctuaron entre 0.03 a 0.06 cápsulas por m², mientras que en zonas protegidas (AMERB y reserva Marina ECIM) esta densidad fluctuó entre 0.12 a 0.19 cápsulas por m² (Manriquez & Castilla, 2001, Figura 36). Estudios experimentales han sugerido que la mortalidad larval en este periodo puede estar dada por contaminación por micro-organismos (bacterias, hongos, protozoos ciliados; DiSalvo, 1988).

Debido a la distribución latitudinal y vertical de la postura de cápsulas durante este periodo de desarrollo larval, los individuos están fuertemente expuestos a la influencia de condiciones ambientales variables lo cual podría impactar en el tiempo de desarrollo intracapsular. Recientemente, Manriquez et al. (2014), demostraron experimentalmente que la duración de este periodo de desarrollo es más rápido en el norte (Antofagasta), respecto a individuos de poblaciones del centro-sur de Chile (Las Cruces y Valdivia, respectivamente), y que bajo condiciones de acidificación del océano, esta variabilidad entre poblaciones se mantiene pero aumenta significativamente el tiempo de desarrollo intracapsular. Una vez eclosionadas, las larvas véliger son filtradoras y se alimentan de diatomeas y dinoflagelados, sin embargo, factores como la acidificación del océano reducen la tasa de filtración y modifica drásticamente su selectividad hacia pequeños nano-flagelados y bacterias (Vargas et al., 2013).

Las larvas véliger eclosionadas, se desarrollan en las primeras capas superficiales (epineustónicas) en ambiente pelágico y su duración va de entre 2 – 4 meses (Gallardo, 1979, DiSalvo, 1988), pero variable a través de la costa llegando a incluso a postularse una duración entre 6 y 12 meses (Molinet et al., 2005). En este periodo, la dispersión larval estaría modulada por la interacción entre comportamiento de larvas competentes (Poulin et al., 2002b) y mecanismos de trasporte físico cercanos a la costa (frentes de surgencia 134 costera, Poulin et al., 2002a, b), resultando en una relación positiva entre índice de surgencia y el asentamiento en el sur de Chile (Moreno et al., 1998). Al estar asociado a surgencia, en Chile central se ha registrado que durante el periodo de dispersión larval, la variabilidad en temperatura fluctúa entre 11°C y 14,5°C a 3 m de profundidad y entre 10,5°C y 14°C a 15 m (Poulin et al., 2002b). Así, durante este periodo de surgencia (septiembre-noviembre), grandes extensiones de la costa de Chile central presenta temperaturas menores a 14°C, asociados a la presencia de larvas competentes pero en una abundancia relativamente baja (e.g., 2 - 26 larvas \times km⁻¹). Poulin et al., 2002b, sostienen que el comportamiento migratorio vertical diario podría explicar esta variabilidad en la abundancia superficial de larvas competentes de C. concholepas y que las ayudaría a mantenerse cerca de su hábitat de asentamiento. Sin embargo, a pesar de la duración temporal y amplio potencial de dispersión de C. concholepas durante esta fase pelágica, las larvas en diferentes estados pre- y competentes han sido raramente registrada en muestreos de campo (Moreno et al., 1993; Poulin et al., 2002a, b). Así, existen pocos estudios de laboratorio que hayan evaluado respuestas biológicas con esta fase larval. Por ejemplo, durante la fase de competente de la larva véliger, como pastoreado res omnívoros, los estudios indican que su alimentación está basada principalmente en fitoplancton de gran tamaño y protozoos heterotróficos (Vargas et al., 2006). Estudios de comportamiento, indican que son más activas durante la noche con una tendencia a nadar hacia la superficie, lo cual se invierte durante el día (Manriquez & Castilla, 2011). Este patrón de comportamiento de las larvas competente de C. concholepas podría explicar el patrón de migración vertical propuesto como mecanismo de retención por Poulin et al., (2002b).

3.1.2.3.3. Juveniles

La variabilidad espacial del asentamiento y abundancia de juveniles y adultos de *C. concholepas* ha sido revisada en relación a los tipos de hábitat rocoso y nivel intermareal (plataformas, paredones, bolones nivel intermareal, e.g., Lepez et al., 1991; Stotz et al., 1991; Stotz, 1997); el grado de intervención humana en una determinada área (Castilla & Duran, 1985; Stotz, 1997). Además, diversos estudios han establecido la relación entre los

procesos oceanográficos descritos anteriormente con los patrones de asentamiento larval, abundancia de juveniles (Moreno et al., 1998) y producción de una determinada región (Stotz, 1997), la cual estaría dada por el aporte de fitoplancton para organismos suspensívoros que forman parte de la dieta que sostiene a *C. concholepas* durante su ontogenia temprana. Stotz et al. (1991a), postulan que el asentamiento ocurriría en una mayor proporción en el hábitat submareal (hasta 30 - 40 m de profundidad) debido a la mayor área que esto implica respecto al intermareal. Así, los patrones de asentamiento intermareal no necesariamente reflejarían la abundancia de la población adulta, lo cual podría oscurecer una relación directa stock/recluta. Finalmente, en la medida que los juveniles van aumentando en tamaño se ha postulado que una fracción permanece en intermareal y otra migraría hacia el submareal (Oliva & Castilla, 1990). Basándose en este tipo de información, Stotz (1997), desarrolló un esquema que resume la ontogenia de *C. concholepas* para la zona norte de Chile (Figura 38).



Figura 38. Esquema del ciclo de vida de C. concholepas en la IV región de Chile (Stotz, 1997).

3.1.2.3.4. Tallas

3.1.2.3.4.1. Primera madurez sexual

Duran & Castilla (1988), determinaron que un 100% de madurez en individuos de *C*. *concholepas* con tallas entre 8 a 10 cm (PL) Sin embargo, otros estudios, reportan que

individuos de *C. concholepas* de talla entre 6-7 cm e incluso menores (~ 5 cm) ya serían maduros (Ramorino, 1979; Reyes & Moreno, 1990). En términos del ciclo reproductivo anual de esta especie, diferentes estudios han indicado que el periodo de mayor desarrollo gonadal es extenso (Ramorino, 1979), con máximos registrados a fines del invierno y comienzo de primavera y mínimos en el periodo primavera-verano (Reyes & Moreno, 1990). Sin embargo, Ramorino (1975), reportó una periodo de madurez poblacional en enero-febrero, que sería previo al periodo de posturas de cápsulas ovígeras desde febrero a julio como se indicó anteriormente (Stotz, 1997; Manriquez & Castilla, 2001).

Los rangos de tallas de *C. concholepas* reportado por diferentes estudios son variables y la presencia de determinados rangos de tamaños está fuertemente asociada al régimen de explotación del recurso. En general, los rangos de tamaños mínimos registrados en prospecciones submareales de áreas de manejo de las III y IV regiones de Chile fluctúan entre 3-4,5 cm de PL, con máximos de hasta 13.5 cm, y con una moda por sobre los 10 cm PL (Figura 37, FIP 2002-16). Sin embargo, en macrozonas de libre acceso, se ha registrado una total ausencia de cualquier fracción de talla de *C. concholepas* hasta otras macro-zonas donde la moda es significativamente menor a la moda registrada en áreas de manejo (Figura 39, IFOP 2002-16). Este patrón de distribución de frecuencias de los rangos de tallas de *C. concholepas* para áreas de manejo, es similar a lo reportado previamente por Castilla & Fernández (1998).



Figura 39. Estructura de Tallas (áreas de manejo columnas y áreas de libre acceso, línea y puntos) y Desembarques de *C. concholepas* registrados en la costa de la III y IV regiones de Chile FIP 2002-16).

3.1.2.3.5. Adultos y Alimentación

El recurso *C. concholepas* tiene un crecimiento relativamente lento pero variable a través de su ontogenia. Los individuos juveniles presentan mayores tasas de crecimiento con valores entre 0.08 y 0.12 mm × d⁻¹ (Chile central, Guisado & Castilla, 1983), ~0.13 mm × d⁻¹ (Ancud y Caldera); 0.03-0.13 mm × d⁻¹(Chile central, Manriquez et al., 2013a), ~ 0.06 mm × d⁻¹(Valdivia, Manriquez et al., 2013b).

En términos de la población adulta, se sostiene que en la IV región *C. concholepas* alcanza los 10 cm a una edad entre 3 y 4 años (Stotz & Perez, 1992), en Caldera sería a los 6,6 años
aproximadamente, en la V región sería a los 4 y 5 años (Castilla & Jerez, 1986; Acuña & Stuardo, 1979, respectivamente). En la X región la talla mínima legal de *C. concholepas* se alcanzaría a los 5 (Bustos et al., 1986). Lo anterior podría también estar asociado al gradiente en temperatura, que podría impactar los procesos metabólicos de *C. concholepas*. Recientemente, Manriquez et al., 2008, han resumido esta información, demostrando una amplia variabilidad en las tasas de crecimiento a través de la ontogenia de *C. concholepas* y con diferencias en el periodo que les toma a las poblaciones alcanzar la talla comercial de 10 cm (Figura 40).

References	Size and prey	GR	FR	FR	Years to achieve 100 mm	Type of da
		(mm month ⁻¹)	(No prey day ⁻¹)	(g prey day ⁻¹)		
Tobella (1975)	J	3.30 (a)	NA	NA	NA	F
ozada et al. (1976)	Α	3.20-3.00 (a)	NA	NA	NA	F
Acuña and Stuardo (1979)	J	3.00 (a)	NA	NA	NA	F
Gallardo (1979)	EPM	0.67-3.12 (a)	NA	NA	NA	F
Guisado and Castilla (1983)	J and A	3.67 (a)	NA	NA	2.1	F
ustos et al. (1986)	А	NA	NA	NA	5-6	F
iSalvo (1988)	EPM	2.82 (b)	NA	NA	NA	L
ara and Montes (1988)	EPM, (1)	3.80 (b)	NA	NA	1.7	L and F
arela and López (1989)	NA, (2 and 3)	NA	0.14–0.49 and 0.18–0.69	NA	NA	L and F
Volff (1989)	Α	NA	NA	NA	NA	F and S
léndez and Cancino (1990)	EPM and J (†), (1)	NA	0.67, 2.53, 1.67 and 3.00	NA	NA	L
épez et al. (1991)	EPM	1.84 (a)	NA	NA	NA	F
eyes and Moreno (1990)	EPM	1.05 (a)	NA	NA	NA	F
totz and Pérez (1992)	J	0.03-0.27 (a)	NA	NA	3-4	F
Néndez and Cancino (1992)	EPM (1, 2 and 4) (‡)	1.39-1.59 and 2.27 (b)	NA	NA	NA	L
livares et al. (1994)	J, 5	2.15, 1.05 and 0.65 (a) (*)	0.28, 0.18 and 0.13 (*)	14.7, 23.0 and 20.4	NA	L
lavarro and Torrijos (1995)	J and A	NA	NA	NA	8-9	L
abi and Maravi (1997)	J and A	3.57 (b)	NA	NA	2.7-3.0	L
odríguez et al. (2001)	J and A, 2	0.45-3.51 (a) and 0.60-2.79 (b)	NA	NA	5.5	L and F
resent study	EPM and J	3.69-3.85 EPM (b)	NA	NA	NA	L and F
-		5.76–3.45 J in T and C (a)	1.40-0.82	0.67-1.84	1.65	
		4.00–2.27 I in T and C (b)	0.80-2.03	0.79-2.11	2.64	

Figura 40. Resumen de tasas de crecimiento, consumo de presas, de post-metamórficos, juveniles y adultos de *C. concholepas* y tiempo para alcanzar la talla comercial (Manriquez et al., 2008).

En Chile central, los juveniles de *C. concholepas* consumen preferentemente especies abundantes y de amplia distribución como cirripedios (Balanidos y Chtamalidos) y el mitílido *Perumytilus purpuratus*. (Manriquez et al., 2009). Los primeros, parecieran ser el principal ítem trófico hasta 2-3 años de edad (Stotz, 1997), Sin embargo, en hábitats submareales comienzan a incluir otros ítems como *Pyura chilensis* (Stotz et al., 2003, Castilla & Fernández, 1998).

Finalmente, en términos de la fracción de mortalidad natural que podría presentar la fracción de adultos de este recurso en la costa de Chile, se ha estimado que en la II y IV regiones esta mortalidad podría fluctuar entre un 0.25 y 0.34 (FIP 2002-16).

3.1.2.3.6. Dispersión, Conectividad y estructura espacial de C. concholepas

La amplia capacidad de dispersión de *C. concholepas* está determinado, en términos generales, por la longitud del periodo de desarrollo larval pelágico como larva precompetente y competente (DiSalvo, 1988; Moreno et al., 1993; Molinet et al., 2005; Manriquez et al., 2012; Garavelli et al., 2014) y su interacción con mecanismos de trasporte físico como la surgencia costera (Poulin et al., 2002a, b). La evidencia genética indica que *C. concholepas* puede dispersarse cientos de kilómetros (Gallardo & Carrasco, 1996; Kinlan & Gaines, 2003; Cárdenas et al., 2009), pero existe poca evidencia empírica acerca de la efectividad y escalas de su dispersión larval sobre la dinámica regional de este recurso (Manriquez et al., 2012).



Figura 41. Modelo conceptual integrando de procesos biológicos de *C. concholepas* y procesos físico relevantes para la dispersión larval de este recurso (a), y resultados de un modelo ROM para la matriz de conectividad entre un área de liberación larval y áreas de asentamiento exitoso de *C. concholepas* (Garavelli et al., 2014).

Recientemente, Garavelli et al., (2014) han propuesto un modelo oceánico regional (ROM, Figura 41a) que sugiere que la escala de dispersión de C. concholepas fluctúa entre 170 y 220 km, lo cual, además del periodo de duración larval, depende de la profundidad a la cual se liberaría una larva. Además, estos autores indican que los factores físicos y biológicos incluidos en ROM determinan el patrón de éxito en el asentamiento post-dispersión de C. concholepas pero no su conectividad (Figura 41b), lo que concuerda con resultados previos que sugieren la importancia de la retención en el asentamiento de una subpoblación y la baja probabilidad de intercambio entre subpoblaciones, por ejemplo, del norte (23°S) con las de Chile central (33°S) (Manriquez et al., 2012). Así, la interacción de procesos físicos locales/regionales con procesos biológicos de la fase dispersiva favorecerían la retención larval y la definición de unidades poblacionales características para el norte (23°S), centro (33°S) y sur (38°S) de la costa de Chile (Garavelli et al., 2014). Sin embargo, a pesar de esta distinción ecológica entre unidades poblacionales de C. concholepas, la evidencia genética y fitogeográfica indican que este recurso corresponde a una unidad taxonómica distribuida entre Perú y el Sur de Chile (Cárdenas et al., 2008) y que las barreras biogeográficas bien establecidas a lo largo de la costa de Chile no determinan diferenciación en la estructura genética de esta población (Cárdenas et al., 2009).

3.1.2.3.7. Principales parámetros ambientales que afectan y definen el hábitat del loco

De acuerdo con los antecedentes biológicos disponibles, la organización de la población de *C. concholepas* a lo largo de la costa de Chile puede ser descrita como:

- a) Un hábitat bentónico en el inter y submareal rocoso (~ 0 a 40 m de profundidad) donde los adultos crecen, maduran y se reproducen depositando cápsulas ovígeras.
- b) Un hábitat bentónico de desarrollo larval intra-capsular (~ 0 a 20 m) variable con una duración de 2 a 6 meses de norte a sur, respectivamente.
- c) Un hábitat oceánico de dispersión larval variable de norte a sur en la costa de Chile con una duración entre 2 a 12 meses, respectivamente y delimitado por la influencia

de frentes termales y estratificación vertical asociados a procesos de surgencia costera.

Estos parámetros biológicos permiten postular un modelo conceptual para identificar la organización espacial del hábitat esencial de los diferentes estadios ontogénicos de *C. concholepas* (Figura 42).



Figura 42. Modelo conceptual para integrar el ciclo de vida de *C. concholepas* suponiendo cinco subpoblaciones a lo largo de la costa de Chile. Los círculos negros indican una etapa de desarrollo embrionario intra-capsular cuya duración es proporcional al área del círculo; las flechas indican la fase de dispersión; la flecha negra indica auto-reclutamiento (A) y su longitud es proporcional a la duración del periodo de dispersión larval; las flechas rojas indican conectividad (C) entre poblaciones dado por dispersión larval interactuando con el flujo hidrodinámico dominante en la dirección sur-norte (flecha sólida) o por eventuales reversiones en sentido contrario (flecha roja segmentada)

3.1.2.3.7.1. Temperatura superficial del mar

El gradiente en temperatura registrado en la costa de Chile tiene un impacto proporcional sobre los procesos biológicos de los diferentes estadios ontogénicos de *C. concholepas*. Por ejemplo, el número de embriones por área de cápsulas depositadas es menor en la zona norte respecto al sur de Chile (Fernández et al., 2007). Así mismo, en el norte de Chile, la mayor temperatura superficial del mar se asocia a un periodo de desarrollo de la larva competente (fase dispersora) relativamente corto (2-3 meses, DiSalvo, 1988) y el gradiente hacia el sur se reflejaría en un retardo en el tiempo de desarrollo de 3-4 meses (Moreno et al., 1993) hasta 1 año (Molinet et al., 2005). Estos autores, en el sur de Chile (44°S) registraron una variabilidad en temperatura entre 8 y 15°C cuyas variaciones se asocian a positivamente al tamaño y abundancia de las larvas recién eclosionadas.

En estadios juveniles de *C. concholepas* se ha demostrado que los individuos del norte $(23^{\circ}S)$ presentan un metabolismo más elevado que las poblaciones del sur de Chile $(37^{\circ}S)$, lo cual ha sido interpretado como el resultado de gradiente norte-sur en temperatura superficial del mar (Lardies et al., 2014). Finalmente, Ramajo et al. (2015), han sugerido que la temperatura podría tener también un rol dominante sobre el proceso de crecimiento vía calcificación de juveniles de *C. concholepas*, lo cual se refleja en una reducción en la precipitación de aragonita respecto a la calcita, ambas fases minerales del carbonato de calcio, hacia la región del sur de Chile respecto al centro-norte.

3.1.2.3.7.2. Oxígeno Disuelto

No existen estudios de campo enfocados a determinar el rol de la disponibilidad natural de oxígeno sobre los procesos biológicos de *C. concholepas*. Sin embargo, existen estudios experimentales que se han focalizado en el consumo de oxígeno necesario para mantener tasas de crecimiento positivas. En la región de Valdivia, el consumo de oxígeno en individuos adultos de *C. concholepas* (4 - 13,5 cm) fluctúa entre 0,57 a 0,72 mlO₂/h y se sugiere que las variaciones en consumo de oxígeno se deben más al estado reproductivo

que a las variaciones ambientales como temperatura (Navarro & Torrijos, 1995). En el caso de juveniles, Lardies et al. (2014), registraron una tasa de consumo de $0,17 \pm 0,030$ y $0,23 \pm 0.045$ mg O₂ L h⁻¹ (por gramo de animal) en las poblaciones del sur (38°S) y norte (23°S), respectivamente.

3.1.2.3.7.3. Salinidad

Los límites de tolerancia a la salinidad de las larvas encapsuladas son relativamente altos lo cual indica el régimen estrictamente marino de la especie. En Chile central las larvas encapsuladas de *C. concholepas* toleran salinidades de 25°/oo y con óptimos para el desarrollo de 28 y 30°/oo, esta amplitud en tolerancia a baja salinidad es distinto a lo sugerido para larvas provenientes del norte de Chile (Coquimbo) en las cuales se registró que salinidades de un 25°/oo son letales para este estadio de desarrollo (Gallardo, 1994). Así mismo, Molinet et al. (2005), registraron una ausencia de relación entre el tamaño y abundancia de larvas recién eclosionadas con la salinidad, pero se destaca que a bajas salinidades (<15-20 psu) las larvas son muy poco abundantes.

Para la fracción de juveniles, estudios recientes indican que la variabilidad en salinidad (relacionada proporcionalmente con la alcalinidad) podría afectar las propiedades estructurales de la concha de carbonato de calcio de *C. concholepas*, sugiriéndose que la reducción en calcita registrada en individuos colectados en el sur de Chile (Valdivia) podría deberse a la reducción en salinidad debido al aporte de descarga de ríos en la región (Ramajo et al., 2015).

3.1.2.3.7.4. Sistema de los carbonatos (pH, pCO₂, estado de saturación del carbonato)

El impacto de la variabilidad en el sistema de los carbonatos sobre los estadios de desarrollo de *C. concholepas* ha sido revisada en relación al efecto de la acidificación sobre el tiempo de desarrollo intra-capsular, registrándose un aumento significativo en este periodo ante aumentos de CO₂ y consecuente reducción en pH en el agua (Manriquez et al.,

2014). Además, como se indicó anteriormente, el aumento de acidificación reduce la tasa de ingestión y selectividad de larvas recién eclosionadas (Vargas et al., 2013). En la etapa juvenil, los resultados de laboratorio indican que la tasa de crecimiento no se ve afectada por la acidificación (Manriquez et al., 2013). Sin embargo, estudios de campo reportan que la morfología y estructura mineralógica de las conchas de carbonato de calcio de juveniles de *C. concholepas* está asociada a la variabilidad en la presión parcial de oxígeno y temperatura superficial del mar (Ramajo et al., 2013), lo cual tiene implicancias en la proporción de calcita y aragonita que es precipitada en las conchas de *C. concholepas* a lo largo de la costa de Chile (Ramajo et al., 2015).

3.1.2.3.7.5. Clorofila

Durante su etapa larval, *C. concholepas* es una especie filtradora, las larvas recién eclosionadas consumen principalmente fitoplancton, pero las larvas componentes consumen fitoplancton de gran tamaño, principalmente diatomeas formadoras de cadenas (Vargas et al. 2006, Figura 43). Sin embargo, estos autores también sostienen que la variabilidad temporal en productividad determina el ítem que potencialmente consume cada estado ontogénico, siendo las larvas competentes las cuales podrían realizar cambios en sus ítems tróficos dependiendo de la estacionalidad de la surgencia. Sin embargo, como se indicó anteriormente, estos patrones de consumo de clorofila son impactados cuantitativa y cualitativamente por la acidificación del océano, reduciendo la tasa de filtración y modificando su selectividad hacia ítems tróficos de pequeño tamaño (Vargas et al., 2013).



Figura 43. Esquema conceptual de las principales rutas (flechas) de interacciones tróficas de larvas véliger recién eclosionadas y competentes de *C. Concholepas* ante variabilidad espacial/temporal en los niveles de clorofila.

3.1.2.3.7.6. Resumen de procesos oceanográficos físicos y químicos relevantes para el hábitat de *C. concholepas*

Dado el potencial de dispersión larval y la amplia distribución geográfica de *C. concholepas* a lo largo de la costa del Pacifico Sur Oriental, es necesario considerar procesos hidrodinámicos que también operan en estas escalas. El rango de distribución de *C. concholepas* está influenciado por el Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) que se localiza al norte de los 40°S y la corriente del Cabo de Hornos incluidos fiordos y canales de la Patagonia (56-40°S). En la rama costera del SCH, a lo largo de los ecosistemas de surgencia, se ha descrito la Corriente Costera de Chile (CCC), con un flujo dominante hacia el Ecuador (hacia el sur en verano y la Corriente Subsuperficial hacia el polo a una profundidad de 100-300 m (Thiel et al., 2007, Figura 44 a). Los vientos costeros determinan la intensidad del proceso de surgencia y estratificación vertical de la columna de agua (Strub et al., 2008). Este proceso interactúa con la geomorfología costera y determina variaciones en la magnitud y frecuencia a la cual se registra el fenómeno en

Centro de surgencia (Thiel et al., 2007, Figura 44 b) y áreas de menor intensidad y/o protegidas como bahías (Castilla et al., 2002, Lagos et al., 2008).



Figura 44. Procesos hidrodinámicos físicos y químicos que dominan la variabilidad ambiental a lo largo de la distribución de *C. concholepas* en la costa de Chile. (a) Sistemas de corrientes; HC = Corriente de Humboldt; CHC = Corriente del cabo de Hornos, CCC = Corriente Costera de Chile (Thiel et al., 2007); (b) Principales centro de surgencia de la costa de Chile indicados por puntos negros (Thiel et al., 2007); (c) Gradiente latitudinal en temperatura superficial del mar; número indican isolíneas de temperatura (<u>http://www.podacc.gov</u>); (d); Descarga de plumas de ríos en el océano costero de la zona centro-sur de Chile; Imagen facilitada por SeaWiFS Project; <u>http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images</u>; (d) Flujos de CO₂ entre la superficie del océano y la atmósfera registrada en cruceros costeros, valores positivos indican emisión de CO₂, valores negativos indican zonas sumideros de CO₂ (Torres et al,. 2011).

A lo largo de la costa de Chile se observa una disminución gradual en temperatura superficial del mar en la medida que aumenta la latitud (Figura 44 c), el cual también se asocia a un gradiente en la intensidad de surgencia costera que modula la variabilidad espacial de mesoescala de la temperatura del océano costero (Strub et al., 1998, Lagos et al., 2005; 2008). Además, se observa un gradiente latitudinal en salinidad determinada por la variabilidad en el aporte de descarga de ríos, desde la región árida en el norte de Chile donde están ausentes hacia la zona de bosque lluvioso en el sur (Dávila et al., 2002; Ramajo et al., 2013, Figura 44 d). La temperatura y salinidad interactúan también con la variabilidad geográfica en el flujo de CO_2 entre el océano superficial y la atmósfera, lo cual lleva a bajos niveles en el estado de saturación (Ω) de calcita y aragonita, principalmente

asociado a los centro de surgencias de la costa centro- norte de Chile (Torres et al., 2011; Mayol et al., 2012). Así, la zona norte de Chile presenta valores de temperatura, salinidad, pH, alcalinidad total y valores de Ω mayores que lo observado en la costa de Chile centro-Sur (e.g., Mayol et al.,2012; Ramajo et al., 2013), evidenciándose un importante cambio en los flujos de CO₂ desde la emisión neta en la zona de surgencia del norte y centro de Chile (20-37°S) hacia una zona sumidero desde aproximadamente Valdivia y hacia el sur a través de toda la Patagonia (Torres et al., 2011. Figura 44 e). Así, aunque estas variaciones son significativas, la zona central (30-35°S) y sur (37-40°S) presentan valores de Ω relativamente similares debido a la prevalencia de la surgencia costera y el aporte de descarga de ríos en la región (Ramajo et al., 2015).

3.1.2.4. Revisión Bibliográfica de la especie Chorito Mytilus chilensis

El chorito comestible *Mytilus chilensis* (Hupe, 1854) (Bivalvia, Mitylidae) se distribuye ampliamente sobre substratos rocosos desde el intermareal bajo hasta 10 m (Barria et al., 2012, Molinet at al., 2015) y excepcionalmente hasta los 25 m de profundidad en el submareal. Aunque la especie tenía una distribución a lo largo de la costa de Chile, en la actualidad los bancos están restringidos a la región entre Concepción (37° S) y el Cabo de Hornos (56° S) (Brattström & Johanssen, 1983; Lancellotti & Vasquez, 2000; Toro et al., 2006). Así, la distribución de la especie va desde la desembocadura del río Tirúa (IX región) hasta el Estrecho de Magallanes (Toro et al., 2006; Figura 47). Dada la gran extensión latitudinal en que se encuentran las poblaciones de *M. chilensis*, sus ciclos reproductivos varían en extensión y temporada de desove (Toro et al., 2008), lo cual sería una función de interacción con procesos biológicos y ambientales (Molinet et al., 2015).

Así mismo, a lo largo de esta región y con mayor desarrollo en la Patagonia norte, *M. chilensis* representa el segundo recurso cultivado de mayor importancia socioeconómica. Estos centros de cultivo de este recurso se apoyan en la disponibilidad de semillas de bancos naturales. Sin embargo, cuando los individuos maduran también aportan a la reproducción. De esta forma en la dinámica poblacional de *M. chilensis* interactúan

poblaciones naturales y cultivadas. Por ejemplo, se sugiere que las poblaciones naturales del recurso enfrentan mayores presiones de depredación y ambientales, lo cual les implica asignar un mayor porcentaje de energía a la resistencia de la concha y músculo abductor con costos en el crecimiento corporal, no así en los ambientes de cultivo protegidos (Valladares et al., 2010). Finalmente, un aspecto importante a considerar en esta revisión es la posible hibridación y problemas de identificación *in situ* de las poblaciones naturales de *M. chilensis* y *M. galloprovincialis* (Toro et al., 2005, 2012). Hasta ahora pocos estudios han abordado el tema, por lo que parte de los estudios ecológicos revisados aquí podrían estar influenciados por este problema.



Figura 45. Actual área de distribución del chorito *Mytilus chilensis* en la costa del sur de Chile (Toro et al. 2006).

3.1.2.4.1. Aspectos Reproductivos

Mytilus chilensis es una especie con sexos separados, fecundación externa y ciclo de vida complejo con una fase larval planctónica. Luego de la fecundación, se desarrolla una larva trocófora, la cual posteriormente se transforma en velígera (24-48 h), que se caracteriza por 149

presentar concha y velo con el que se moviliza y mediante el cual captura partículas alimentarias de la columna de agua. Transcurridos 30-40 días en la columna de agua, la larva se asienta al sustrato rocoso mediante el biso generado por el pie. Una vez asentado, ocurre la metamorfosis, que es un cambio de forma a un "adulto pequeño" llamado juvenil y fase adulta bentónica (Winter et al., 1983; Barría et al., 2012; Molinet et al., 2015); este ciclo de vida es común a la familia Mytilidae (Figura 46).



Figura 46. Ciclo de vida de bivalvos mitílidos. <u>http://www.fao.org/fi/figis/culturespecies/</u> revisado el 10 de julio de 2015.

La distribución de *M. chilensis* va desde la zona intermareal hasta aproximadamente 10 m del submareal, donde el rango de salinidad en el Seno de Reloncaví fluctúan entre 9 y 26 psu, registrándose un mayor índice de condición en individuos del intermareal, lo cual ha llevado a Molinet et al. (2015), ha discutir el aporte a la reproducción de estas dos fracciones de la población.

3.1.2.4.1.1. Desove

Estudios pioneros determinaron que esta especie tiene un ciclo gametogénico anual con desoves en primavera-verano, presentándose individuos maduros principalmente en noviembre-diciembre en el sur de Chile (Winter et al., 1983). Sin embargo, a pesar de la importancia de la actividad de captación, existen pocos estudios enfocados a comprender la dinámica de la distribución temporal y espacial de larvas y asentados en los sitios utilizados por los cultivadores como lugares de captación. Los estudios existentes (Navarro & Winter,

1988) están circunscritos a la localidad de Yaldad, que fue el principal semillero de mitílidos en los años 80 (FIP 2005-18). Dada la preocupación por una reducción importante en la producción de semillas, en años recientes han comenzado a desarrollarse estudios sistemáticos acerca del ciclo reproductivo y producción de larvas de *M. chilensis* (Avendaño et al., 2011). Estos estudios están circunscritos principalmente al área del Seno de Reloncaví, la zona de mar interior de Chiloé y los fiordos por el lado continental (e.g., Avendaño et al., 2011; Oyarzun et al., 2011; Barria et al., 2012, Molinet et al., 2015).

3.1.2.4.1.2. Áreas de desove

El área más estudiada en relación al desove de *M. chilensis* comprende la zona de la Patagonia donde históricamente se han desarrollado actividades de mitilicultura. La Patagonia es un complejo sistema de fiordos y canales que se extiende desde el seno de Reloncaví (41°31'S) hasta Magallanes (56°40'S) (e.g., Sievers & Silva, 2006). Diversos autores sugieren que en este tipo de ambiente se generan gradientes de densidad que pueden actuar como barreras físicas, que pueden influir en la posición de las larvas en la columna de agua y en su distribución horizontal.

En los últimos años, el abastecimiento de semilla se realiza principalmente en localidades ubicadas en el seno y fiordo de Reloncaví, estero Pitipalena y puerto Marín Balmaceda. No obstante, en general se desconoce la abundancia y comportamiento de las larvas durante los períodos reproductivos de *M. chilensis*. Un esfuerzo importante lo está desarrollando el Instituto de Fomento Pesquero en el proyecto "*Programa de monitoreo y vigilancia sobre la disponibilidad larval de mitílidos para la sustentabilidad de la actividad de acuicultura en el mar interior de Chiloé (X región) y otras áreas de interés para la actividad mitilicultora en la XI región". Este programa de investigación se enfoca a comprender en la variabilidad estacional e interanual observada en la abundancia de larvas de chorito, la relación con variables ambientales que modulan dicha variabilidad y la presencia de larvas competentes. En general, los resultados parciales conocidos hasta el momento indican que los máximos de abundancias de larvas de chorito alcanzan ~ 67.000 larvas m⁻³,* registrándose las abundancias en sectores de Cta. La Arena (seno de Reloncaví) y Dalcahue (mar interior de Chiloé), la abundancia de larvas es variable pero con máximos en Primavera –Otoño y coincidentes con aumento de temperatura y biomasa fitoplanctónica (Figura 47).



Figura 47. Variabilidad espacial y estacional de la producción de larvas en diferentes sectores del seno de Reloncaví, mar interior de Chiloé y estuario Pitipalena (IFOP 2015, Autor: David Opazo).

3.1.2.4.1.3. Período de desove

El desove de este recurso ocurriría principalmente en primavera - verano (Winter et al., 1983; Chaparro & Winter, 1983). Oyarzun et al. (2011), estudiaron el ciclo gonádico de *M*. *chilensis* identificando diferencias en el ciclo reproductivo y en la época de desove: en Chaihuin (Corral) ocurrieron a fines de octubre 2007 y marzo 2008, mientras que en Bahía Yal (Chiloé) se registraron cuatro desoves, de marzo a junio 2008. Estos desoves se asociaron a descensos en temperatura del agua y aumentos de concentraciones de alimento.

Así, estos autores sugieren una revisión del periodo de veda definido hasta entonces para *M. chilensis* que va del 1 de noviembre al 31 diciembre de cada año, una mayor proporción de individuos maduran principalmente en octubre. Así mismo, estos autores sugieren que las diferencias espaciales en el ciclo reproductivo de *M. chilensis* se podrían atribuir a diferencias ambientales (e.g. temperatura) causadas por el gradiente latitudinal. Finalmente, Avendaño et al. (2011), mediante análisis histológico de la gónada de *M. chilensis*, registraron que el 33,4% de los individuos colectados en áreas de cultivo de Quillaipe (seno de Reloncaví), desovan desde noviembre hasta marzo (2007-2008), donde entre el 80 y 100% de los ejemplares muestreados en ese período se encontraron desovados (Figura 48). Sin embargo, el desove de individuos colectados en bancos naturales de Metri, Sotomo y Pichicolo, comienza en enero y se extiende hasta marzo (2007-2008). El Porcentaje de mitílidos desovados varió con la localidad, fluctuando entre un 50 y 100% (Figura 48).



Figura 48. Estados reproductivos de hembras de *M. chilensis*, en cuatro de las localidades estudiadas en el seno de Reloncaví. Estados: 1: en maduración, 2a: maduración avanzada, 2b: madurez total, 3: en desove y 4: en regresión (Avendaño et al., 2011).

3.1.2.4.1.4. Fecundidad

La fecundidad de las hembras ha sido evaluada experimentalmente, y en relación al impacto de la temperatura sobre dos poblaciones de bancos naturales de Yaldad (mar interior de Chiloé) y Zenteno (Pta. Arenas). Los resultados indicaron que la fecundidad (N° de ovocitos/hembra) en Yaldad fluctuó entre $2,0\times10^6 - 4.6\times10^6$ y fue más alta a los 9°C de temperatura. Así mismo, Zenteno presentó una menor fecundidad que Yaldad y un efecto inverso de la temperatura (Figura 49) (Lagos et al., 2012a). Además, las poblaciones no mostraron diferencias en el porcentaje de fertilización, ni efectos de las temperaturas, por lo que los autores sugieren que poblaciones de *M. chilensis* tienen un potencial reproductivo similar a pesar de la distancia que separa a las poblaciones estudiadas (Lagos et al., 2012a).

Población	Bahía	Yaldad	Bahía Zenteno		
Temperatura	9°C	15°C	9°C	15°C	
Promedio ovocitos totales hembra	4.609.841*	2.093.250*	1.430.483 ab	1.830.625*	
Promedio diámetro de ovocitos	76,68 ^{*c}	71,68 ^{*d}	79,0 ^a	77,63*	
Promedio % fertilización	65,52	63,68	75,72	64,57	
Promedio % supervivencia larva D	62,39 ^{*a}	96,39*	81,83*	79,3*	

Figura 49. Resumen de potencial reproductivo de *M. chilensis* colectados desde bancos naturales de la zona de Chiloé (Yaldad) y Pta. Arenas (Zenteno) (Lagos et al., 2012a).

3.1.2.4.2. Desarrollo Larval

El desarrollo larval de *M. chilensis* se extiende entre 19 a 45 días aproximadamente (Toro & Sastre, 1995; Toro et al., 2004, 2012) (Figura 50). El Tamaño de la larva es de 100-125 μ m, luego la larva embonada tiene un tamaño entre 125 a 140 entre μ m, finalmente la larva pedivéliger puede alcanzar tamaños entre 170-258 μ m (Lagos et al., 2012b).



Figura 50. Larva Mytilidae. Localidad Cauquear, abril del 2006(FIP 2005-18).

Este tiempo de desarrollo larval, sin embargo, es influenciado por la temperatura, generando diferencias en las tasa de crecimiento larval entre 2.1 μ m×d⁻¹ a 9°C hasta 4.76 μ m×d⁻¹ a 15°C (Lagos et al., 2012b; Figura 51). Así mismo, a pesar de este aumento en la tasa de crecimiento a 15°C registrado para la población de *M. chilensis* de Pta. Arenas, ambas poblaciones se desempeñan mejor en términos de las unidades termales acumuladas (°C dia⁻¹) creciendo a 9°C que a 15°C. Esto es relevante ante las proyecciones de aumento de temperatura para las zonas del extremo sur de Chile.



Figura 51. Máxima longitud de larvas de *M. chilensis* cultivadas a 2 temperaturas y colectadas en 2 poblaciones de su rango de distribución (Lagos et al., 2012b).

Esta influencia de la temperatura sobre el desarrollo larval explicaría en parte la distribución de la etapa competente (pre-asentamiento). Por ejemplo, Barria et al. (2012), estudiando la distribución de larvas de M. chilensis en tres sitios en el seno de Reloncaví determinaron una alta correlación temporal y sin desfase entre las localidades estudiadas, lo cual es evidencia de un pool larval común que se mantiene cohesionado y que arriba a la costa simultáneamente. Este aumento en la abundancia en la columna de aguas ocurre principalmente en primavera-verano (Barria et al., 2012). En particular, estos autores registraron que la mayor abundancia de larvas competentes de M. chilensis ocurre entre noviembre y enero (90%), lo cual se refleja en un aumento significativo respecto a los otros meses. Sin embargo, al expresar los datos en densidad de larvas, las diferencias son entre casi todos los meses reflejando una alta variabilidad temporal y espacial en el aporte de larvas hacia la costa de los sitios estudiados (Figura 52). En otro estudio similar, Avendaño et al. (2011) muestrearon larvas de M. chilensis entre septiembre 2007 y marzo 2008 en el seno y fiordo de Reloncaví registrando que la presencia de larvas es permanente en dicho periodo e incrementándose desde octubre a diciembre (Figura 53), para luego decaer en el periodo enero a marzo, todo lo cual es simultáneo al periodo de desove de la especie descrito anteriormente. Otras prospecciones de larvas han registrado que la tendencia estacional en la ocurrencia de larvas en la columna de agua se corresponde además con altos valores de seston orgánico, clorofila y, como se indicó anteriormente, temperatura (FIP 2005-18)



Figura 52. Variabilidad temporal y espacial en la disponibilidad de larvas de *Mytilus chilensis* en 3 sitios del seno de Reloncaví. Simultáneamente se presenta la variabilidad ambiental símbolos negros = temperatura; blancos = salinidad (Barria et al., 2012).

Así, aunque la variabilidad espacial y temporal en la abundancia de larvas de *M. chilensis* ha sido estudiada en la zona (Leiva et al., 2007; Avendaño et al., 2011), aún el conocimiento acerca de la dinámica de los estadios tempranos de *M. chilensis* y de la interacción con procesos de transportes costero asociados en la zona es escaso. Este tipo de información es clave para comprender la distribución y abundancia de larvas en este rango de distribución de la especie (Barria et al., 2012) y su impacto sobre el asentamiento y formación de bancos de individuos adultos. En general la variabilidad espacial y temporal del suministro larval observado en la zona del seno de Reloncaví estaría asociada a la variabilidad del viento este-oeste, la temperatura y en menor grado a la salinidad, y en un contexto general, los resultados de Barria et al. (2012), sugieren el potencial transporte larval desde el sureste del seno de Reloncaví hasta la zona norte de éste (Pelluhuín). Pero, estos autores no registraron una relación directa entre ambas variables lo cual sugiere la importancia de procesos locales y/o biológicos que podría afectar la distribución de las larvas y su arribo a la costa (Barria et al., 2012).

	Localidad				
Mes / Año	Canutillar	Pichicolo	Quillaipe	Metri	Sotomo
Septiembre 07 Octubre 07	271 ± 55 49.038 ± 11.582	1.919 ± 984 468 ± 397	44 ± 11 1.536 ± 1.348	19 ± 8 6.525 \pm 2.638	1.290 ± 265 6.039 ± 2.502
Noviembre 07	10.449 ± 3.648	8.666 ± 3.574	2.718 ± 800	3.586 ± 762	3.384 ± 1.248
Diciembre 07	8.749 ± 1.808	3.602 ± 1.025	6.117 ± 552	$3.058\ \pm 748$	9.420 ± 4.037
Enero 08	39 ± 14	54 ± 21	28 ± 7	105 ± 59	20 ± 7
Febrero 08	4 ± 4	61 ± 19	41 ± 5	38 ± 9	12 ± 4
Marzo 08	149 ± 55	17 ± 10	19 ± 5	25 ± 9	589 ± 186

Figura 53. Abundancia de larvas de *M. chilensis* (ind×m⁻³) colectadas a 7.5 m de profundidad en las localidades de Quillaipe y Metri (seno Reloncaví), Sotomo y Canutillar (fiordo Reloncaví) y Pichicolo (Avendaño et al., 2011).

3.1.2.4.3. Juveniles

El tamaño del asentamiento es el resultado de la tasa de crecimiento registrada durante el periodo, el cual como se indicó anteriormente es una función de la temperatura ambiental (e.g., Lagos et al., 2012b). Así mismo la abundancia asentados depende de la abundancia larval y su arribo exitoso a la costa y la modulación de procesos ambientales sobre esta etapa del ciclo de vida de M. chilensis (Barria et al., 2012; Molinet et al., 2015). Sin embargo, existen pocos estudios enfocados a determinar la variabilidad espacial y temporal en el asentamiento de M. chilensis. Por ejemplo, Barria et al. (2008), usando substratos artificiales, evaluaron la tasa de asentamiento de M. chilensis en Metri y Pelluhuín (seno de Reloncaví) en el periodo 2007-2008, demostrando una correlación positiva entre número de asentados y descensos en salinidad, sugiriendo que además de los efectos ambientales, el asentamiento ocurriría en forma sincrónica en el área estudiada. Estos resultados deben ser vistos en el contexto de lo registrado por la misma autora en relación a la distribución espacial y temporal de las larvas competentes (i.e., Barria et al., 2012), lo cual indica que los procesos que modulan la variabilidad en temperatura y salinidad en la columna de agua también impactan los procesos en la costa. Desde la misma perspectiva, al vincular la distribución de larvas y asentados, otras prospecciones han demostrado que la variabilidad espacial en la abundancia de larvas se asocia a los patrones de asentamiento, incluso permitiendo establecer un "ranking" de asentamiento, donde existirían sitios con alto potencial de asentamiento y por lo tanto de actuar como "semilleros" para el sector mitilicultor (por ejemplo, en los sectores de Pichicolo, Cochamó y Metri (seno y fiordo Reloncaví), respecto a Yaldad y Chauquear (mar interior de Chiloé) (Lizama, 2003).

3.1.2.4.4. Tallas

Luego del asentamiento, en condiciones naturales, los individuos de *M. chilensis* crecen y se desarrollan fijados al sustrato formando un "banco" que ha sido definido como aquel sector en donde habita y abunda este recurso y que sometido a una extracción moderada, es capaz de recuperarse, ya que presenta buenas condiciones para el repoblamiento y crecimiento (Pequeño & Guesalaga, 1981). En este hábitat, *M. chilensis* experimenta fluctuaciones de corto y largo plazo en temperatura, salinidad, aporte de alimento, las cuales afectan su respuesta fisiológica, tasas de crecimiento y éxito reproductivo (Velasco & Navarro, 2002; Navarro et al., 2003). La tasa de crecimiento de esta especie es un factor importante que afecta su capacidad competitiva de filtración y la energía disponible para gametogénesis y por lo tanto reproducción. Así, algunos bivalvos exhiben mecanismos de compensación para maximizar su crecimiento y evitar variaciones extremas que afecten su sobrevivencia y reproducción (e.g., Navarro & Gonzalez, 1998). Por todo lo anterior, el crecimiento y rango de tallas de *M. chilensis*, debe ser revisado bajo condiciones naturales; pero, dado el aporte a la reproducción que tiene la fracción cultivada, esta no puede dejar de ser considerada.

En el seno de Reloncaví, se ha registrado que la distribución de tamaños (longitud máxima de las valvas) registrada en bancos naturales de *M. chilensis* es variable, siendo simétrica en sectores de la boca del fiordo Reloncaví y sesgada hacia tamaños de valvas mayores en la cabeza del fiordo (Molinet et al., 2015; Figura 54). Estos autores distinguieron entre choritos con y sin epibiontes, registrando que éstos son más escasos y su rango de tallas va entre 40- to 80-mm de longitud valvar (Molinet et al., 2015, Figura 54).



Figura 54. Estructura de tamaños de *M. chilensis* colectados desde bancos naturales en 4 sitios del fiordo Reloncaví y separados según la presencia (izquierda) y ausencia de epibiontes (derecha) (Molinet et al., 2015).

Otras prospecciones realizadas en el estuario Reloncaví determinaron que en bancos naturales *M. chilensis* presenta las tallas medias (4.5-6.5 cm) dominan la distribución de tamaños (7.020.591 ind. ×hectárea⁻¹), seguidas en densidad por las tallas pequeñas (0.5-4.5 cm; 4.730.818 ind. × hectárea⁻¹) y finalmente las tallas grandes (6.5 - 10.5 cm 3.013.046 ind.×hectárea⁻¹) (Lizama, 2003).

En esta etapa del ciclo de vida, la tasa de crecimiento es tamaño-especifica, siendo mayor durante la etapa temprana del asentamiento (hasta 8 mm/mes) e influenciada por la disponibilidad durante primavera y verano, y disminuye (0.5-1 mm/mes) cuando los individuos alcanzan tamaños sobre los 3-4 cm (Marambio et al., 2012) (Figura 55). En sistemas de cultivo se ha estimado que el crecimiento es rápido alcanzando los 5 cm de longitud comparados al doble de tiempo necesario para alcanzar dichos tamaños en bancos naturales (
biblio>).



Figura 55. Variación temporal en el crecimiento observado y estimado de *Mytilus chilensis*, en Rilán (Chiloé). Nota: la medida es mm×mes⁻¹ (Marambio et al., 2012).

3.1.2.4.4.1. Primera madurez sexual

Se ha estimado que *M. chilensis* alcanza la primera madurez sexual a los 40 mm y a esta talla comienza el desarrollo gonádico, que pasa por periodos de madurez y desove (Figura 56; Oyarzun et al., 2011). En *M. chilensis* el índice de desarrollo gonádico es fluctuante espacial y temporalmente pero similar entre sexos y estudios recientes han registrado una relación en la caída de este índice para periodos en que la temperatura del agua baja de los 15°C (Figura 57) (Oyarzun et al., 2011)



Figura 56. Microfotografías de secciones de gónadas de hembras y machos de *Mytilus chilensis* durante diferentes etapas de su desarrollo gonádico (Oyarzun et al., 2011).



Figura 57. Índice gonadal (promedio + DE) para machos (IGM) y hembras (IGH) de *Mytilus chilensis* y temperatura (°C) registrado en a) Chaihuín y b) bahía Yal (octubre 2007- junio 2008) (Oyarzun et al., 2011).

3.1.2.4.5. Adultos y Alimentación

M. chilensis es una especie de una importante capacidad filtradora y, por ejemplo, su tasa de aclaramiento es una relación directa a su tamaño corporal (Ibarrola et al., 2012; Figura 58).



Figura 58. Relaciones alométricas entre tamaño (L), peso (W) y tasa de aclaramiento (CR) de *M. chilensis* (círculos y línea segmentada) (Ibarrola et al., 2012).

Mediciones realizadas en Yaldad (Chiloé) utilizando disponibilidad natural del seston en concentraciones de 3 a 665 mg l⁻¹ permitieron identificar que *M. chilensis* no altera sus tasas de aclaramiento, eficiencia de selección bajo condiciones experimentales e in situ. Pero, las tasa de filtración, ingestión y absorción son menores bajo condiciones naturales, lo cual sería consecuencia de la digestibilidad del seston natural *vs* dietas artificiales, y que esta respuesta se mantiene bajo cambios en la concentración de seston (Figura 59), lo cual podría explicar que durante periodos de re suspensión de sedimentos en invierno, *M. chilensis* presentaría crecimientos positivo a pesar de la baja productividad (Velasco & Navarro, 2005).



Figura 59. Relación entre la concentración de seston con (a la izquierda) tasa de aclaramiento (CR), tasa de filtración (FR) eficiencia de selección (SE); (a la derecha) tasa de ingestión (IR), eficiencia de absorción (AE) y tasa de absorción (AR) bajo condiciones de laboratorio e *in situ* (Velasco & Navarro, 2005).

Finalmente, en condiciones de cultivo, su rendimiento productivo (IRP) está estrechamente relacionado a la disponibilidad de alimento y la materia orgánica particulada (MOP) (Marambio et al., 2012). Por ejemplo, frente a diminuciones de MOP invierno, el IRP disminuye tendiendo a un mínimo y lo inverso ocurre cuando aumenta la MOP (Figura 60). Así, *M. chilensis*, en condiciones de baja disponibilidad de alimento, posiblemente podría activar algún mecanismo de supervivencia reduciendo al mínimo el metabolismo. Este tipo de compensaciones han sido descritas para bivalvos, exhibiendo mecanismos para maximizar su crecimiento y evitar variaciones extremas que afecten su sobrevivencia y reproducción (e.g., Navarro & González, 1998).



Figura 60. Variación temporal del Índice de Rendimiento Productivo (%), temperatura (°C) y materia orgánica particulada (MOP) (mg L⁻¹) en Rilán (Chiloé), Chile (Marambio et al., 2012).

3.1.2.4.6. Dispersión, Conectividad y estructura espacial de M. chilensis

Dado el ciclo de vida complejo, *M. chilensis* tiene un alto potencial de dispersión. (Toro et al, 2006), sostienen que las larvas de *M. chilensis* presentan una vida pelágica de 40 a 45 días y una capacidad de dispersión de cientos de kilómetros a lo largo de la costa chilena. Algunos estudios determinaron que entre Arauco y Punta Arenas tienen una baja diferenciación genética y morfológica, con una leve diferenciación en las poblaciones más australes (Toro et al., 2004; 2006). Como consecuencia de esto, la capacidad de dispersión larval y su variabilidad espacial, ha resaltado la importancia de considerar la dinámica regional del recurso a escala metapoblacional (Toro et al., 2006; Leiva et al., 2007), donde diferentes poblaciones de reproductores, aportarían a la conformación de un *pool* larval común, muy bien conectado, que a escala regional se comporta como una sola población (Avendaño et al., 2011). Por ejemplo, mediante cruzamientos experimentales entre poblaciones aisladas no se detectaron diferencias significativas en el éxito del

entrecruzamiento intra e inter poblacional, pero se registra un aumento en mortalidad de larvas de cruzamientos inter-poblacionales (Toro et al., 2008). Así mismo, Núñez-Acuña et al. (2012), registraron que los patrones de expresión génica de la especie tiene una alta variabilidad espacial ambiental, pero que induciría sólo cambios fenotípicos en las diferentes poblaciones dentro del rango de distribución. Esto pareciera ser la explicación de Kaprivka et al. (2007), en relación a los cambios morfológicos de la especies, y la diferencias fenotípicas de la poblaciones más australes las cuales podrían resultar aisladas del resto de la Patagonia centro y norte debido al flujo de vientos del oeste y la corriente del Cabo de Hornos.

Toro et al. (2006), estudiando poblaciones distribuidas en todo el actual rango de distribución de la especie, determinaron que la varianza en las frecuencias génicas de *M. chilensis* son debido a variaciones entre-poblaciones y no intra poblacional y que la tasa de migración deducida a partir del índice de fijación (F_{st}), sugiere un intercambio de 8 individuos por generación entre pares de poblaciones, lo cual en términos teóricos evitaría la diferenciación poblacional por deriva génica y por el contrario generaría altos niveles de flujo génico determinando que toda la población se comporte como una sola unidad reproductiva. Sin embargo, estos autores también indican que las poblaciones más australes (Punta Arenas, en el estrecho de Magallanes) presentarían algún grado de diferenciación (Figura 61) que podría resultar del aislamiento por vientos y corrientes indicado anteriormente, y que evitaría un trasporte larval hacia los sitios de la Patagonia norte. Por otra parte, la baja diferenciación genética entre poblaciones de Arauco, Valdivia, Ancud y mar interior de Chiloé, sugieren que ocurre trasporte larval a través de estos sitios, quizás en un modelo "*steping-stone*" donde cada generación de larvas se dispersa cortas distancias, tendiendo a homogeneizar las poblaciones, excepto las más australes.



Figura 61. Dendrograma Fenético basado en 5 loci polimórficos mostrando la relación entre 8 poblaciones *M. chilensis* a través de su actual rango de distribución (Toro et al., 2006).

3.1.2.4.7. Principales parámetros ambientales que afectan y definen el hábitat del Chorito, *Mytilus chilensis*.

De acuerdo con los antecedentes biológicos disponibles, la organización de la población de *Mytilus chilensis* a lo largo de su actual rango de distribución puede ser descrita como:

a) Un hábitat bentónico en el inter y submareal rocoso (~ 0 a 10 m de profundidad) donde se asientan los juveniles, crecen y maduran hasta se reproducen por fecundación externa, desovando en el periodo de primavera-verano.

b) Un hábitat oceánico de dispersión larval variable de norte a sur en la costa entre Punta Arenas y el Golfo de Arauco, con una duración de esta fase larval de hasta 40 días, que garantiza intercambio de individuos entre poblaciones, pero con una menor probabilidad de mezcla con las poblaciones más australes debido a barreras oceanográficas y aislamiento por distancia. Estas dos condiciones permiten postular un modelo conceptual para identificar la organización espacial del hábitat esencial de los diferentes estadios ontogénicos de *M*. *chilensis* (Figura 62).



Figura 62. Modelo conceptual para integrar el ciclo de vida de *M. chilensis* suponiendo subpoblaciones desde el Golfo de Arauco a Punta. Arenas. Los círculos negros indican subpoblaciones donde se desarrollan los individuos y aportan a la producción de larvas.; las flechas indican la fase de dispersión; la flecha negra indica auto-reclutamiento (A); las flechas rojas indican conectividad (C) entre sub-poblaciones dado por dispersión larval interactuando con el flujo hidrodinámico dominante en la dirección sur-norte (flecha sólida) o por eventuales reversiones en sentido contrario (flecha roja segmentada). En la zona más austral, la conectividad en el sentido norte sur es menor (flecha segmentada en ambos sentidos) debido al aislamiento por distancia y barreras oceanográficas (Corriente de Cabo de Hornos), que limitaría el intercambio de individuos en esta región de la Patagonia. (Modificado de Toro et al., 2006).

3.1.2.4.7.1. Temperatura superficial del mar

En la región de la Patagonia, la distribución vertical de temperatura tiene una estructura de dos capas, la superior de 20-30 m de profundidad en la Zona Norte, 50-100 m en la Zona

Central y 50-75 m en la Zona Sur de la Patagonia (Sievers, 2006), y cuya variabilidad en temperatura es el resultado de la acción, individual o conjunta de fluctuaciones anuales en la radiación solar, aporte de aguas más o menos frías por ríos y glaciares, precipitaciones (lluvia, nieve y granizo), escurrimiento costero, mezcla vertical debida al viento, advección de aguas oceánicas y posiblemente calentamiento geotermal. Esto genera que los canales y fiordos tengan diferentes perfiles de temperatura (y salinidad) al comparar entre la cabeza y boca de estos (Figura 63). Más abajo, luego de una fuerte termoclina, se localiza la capa profunda, donde la distribución de la temperatura es más uniforme e incluso homotermal (Sievers, 2006).



Figura 63. Modelos para los perfiles de temperatura y salinidad propuestos para la región de los canales y fiordos de la Patagonia (Sievers et al., 2006)

El impacto de la variabilidad en temperatura en la capa superficial es importante para el desarrollo de *M. chilensis*. Por ejemplo, en Metri (seno de Reloncaví) se observó que las variables tiempo, salinidad y temperatura explican relativamente bien la abundancia de larvas competentes de *M. chilensis*, pero ambas variables (temperatura y salinidad) no explican significativamente la presencia/ ausencia ni densidad de estas larvas (Barria et al., 2012). Lo cual implica la importancia de otras variables no medidas en este estudio, como procesos biológicos (Molinet et al., 2015).

Además, en relación a la variabilidad espacial de la temperatura y su influencia sobre los procesos reproductivos, Avendaño et al. (2011), reportan que los desoves de los ejemplares

en los bancos naturales ocurren a partir de enero cuando la temperatura del agua llega por sobre 14°C, con excepción de Quillaipe (norte del seno de Reloncaví), donde el desove de individuos bajo condiciones de cultivo, ocurrió en noviembre y con temperaturas de 12,5°C (Figura 64).



Figura 64. Variabilidad temporal en temperatura y salinidad registrada mensualmente en sitios de seguimiento de distribución larval de *M. chilensis* en el seno de Reloncaví, fiordo de Reloncaví y mar interior de Chiloé. Datos tomados a 5 m de profundidad (Avendaño et al., 2011).

Estudios experimentales enfocados a determinar la influencia de la temperatura sobre el desarrollo reproductivo de *M. chilensis* de la zona de Chile y Punta Arenas demostraron que, los choritos de Chiloé presentan una mayor proporción de individuos maduros a 9°C respecto a 15°C, lo cual fue inverso en el caso de la población más austral (Lagos et al., 2012b; Figura 65). Esto sugiere que la población de Chiloé podría tener su óptimo termal de desarrollo cerca de los 9°C, mientras que la población más austral podría beneficiarse del aumento a 15°C, dada las bajas temperaturas en el área.



Figura 65. Frecuencia de los estados de maduración en dos poblaciones de *M. chilensis* acondicionadas a 9°C y 15°C (Lagos et al., 2012).

Para finalizar, la temperatura también tiene un efecto positivo sobre el crecimiento y calcificación de *M. chilensis*, lo que le podría conferir ventajas ante descensos en pH en el área de Chiloé (Figura 66), lo cual es relevante antes la proyección de acidificación del océano en la Patagonia (Duarte et al., 2014).



Figura 66. Cambios en tasa de calcificación (izquierda) y aumento en peso (derecha) de *M. chilensis* ante aumento de CO₂ y temperatura (12 y 16°C) en el agua de mar (Duarte et al., 2014b).

3.1.2.4.7.2. Oxígeno disuelto

En la región de canales y fiordos de la Patagonia, las aguas subantárticas aportan oxigenación (5–6 ml L⁻¹), este oxígeno es consumido por la respiración de materia orgánica articulada autóctona y alóctona, y en la medida que se avanza desde la boca hacia la cabeza del fiordo, la concentración de oxígeno puede llegar a niveles cercanos a la hipoxia (2–3 ml L⁻¹) e incluso hipoxia (<2 ml L⁻¹). En general, el oxígeno disuelto en esta región resulta de la combinación de procesos físicos y biogeoquímicos. Sin embargo, de los 90 golfos, canales y fiordos analizados por Silva & Vargas (2014), 86 fueron categorizados como óxicos (>2 ml L⁻¹), sólo 4 como hipóxicos (<2 ml L⁻¹), condición que sólo se observa en la cabeza de éstos; y ninguno fue anóxico (0 ml L⁻¹) (Figura 67). Estos autores sostienen que estas condiciones son permanentes en el mar interior de la Patagonia (Silva & Vargas, 2014). En consecuencia podría sostenerse también que no es un parámetro que imponga limitaciones a la distribución y desarrollo de *M. chilensis* en la región.



Figura 67. Resumen de valores mínimos de oxígeno disuelto (a) registrados en diferentes fiordos de la Patagonia (b) (Silva & Vargas, 2014).

3.1.2.4.7.3. Salinidad

La distribución vertical de salinidad en la región de la Patagonia, al igual que la temperatura presenta, en general, una estructura de dos capas: superficial (hasta 15-20 m) y profunda, separadas por una haloclina de intensidad variable (Figura 63). Los factores que modulan la salinidad corresponden a la interacción entre agua de mar y al aporte de agua dulce proveniente de ríos, precipitaciones, escurrimiento costero y glaciares, la mezcla vertical provocada por el viento y la advección profunda de aguas de mayor salinidad (Sievers, 2006).

Molinet et al. (2015) describen la importancia de la salinidad (y fluctuaciones mareales) sobre la distribución de *M. chilensis*, sosteniendo que en el submareal superior del fiordo Reloncaví, -donde la salinidad presenta valores entre 9 y 26 psu-, esta variable junto a factores biológicos serían críticos para explicar la distribución vertical de esta especie, la cual, según estos autores podría estar contrayéndose debido a la baja abundancia hacia la zona submareal. Este tipo de información, en general ha llevado a sostener que el gradiente vertical en salinidad en la Patagonia, modularía la distribución vertical de *M. chilensis*, lo cual podría tener un efecto sobre la fase planctónica, donde la haloclina impondría barreras a la dispersión o la sobrevivencia de reclutas y adultos en estos ambientes variables (Molinet et al., 2015).

3.1.2.4.7.4. Sistema de los carbonatos (pH, pCO₂, estado de saturación del carbonato)

Como se indicó en el capítulo de *C. concholepas*, la temperatura y salinidad interactúan con el flujo de CO₂ entre el océano superficial y la atmósfera, llevando a bajos niveles en el estado de saturación (Ω) de calcita y aragonita. En la zona al sur del Golfo de Arauco, se registran valores de temperatura, salinidad, pH, alcalinidad total y Ω menores a lo registrado en el norte de Chile (e.g., Mayol et al., 2012; Ramajo et al., 2013), evidenciándose un importante cambio en los flujos de CO₂ desde la emisión neta en la zona de surgencia del norte y centro de Chile (20-37°S) hacia una zona sumidero desde aproximadamente Valdivia y hacia el sur a través de toda la Patagonia (Torres et al., 2011). Recientemente, Alarcón et al. (2015) ha descrito la variabilidad temporal en el sistema de los carbonatos en la zona de Metri (seno de Reloncaví), reportando que la saturación del carbonato de calcio (Ω) fue cercano a < 2, llegando incluso a registrar aguas superficiales corrosivas para el Carbonato (i.e., subsaturadas $\Omega < 1$), específicamente cuando la salinidad y alcalinidad bajaron de 25-28 psu y 1.700- 1.800 µmol kg⁻¹ respectivamente (Figura 68). Este estudio demuestra que eventos de bajo pH y aguas subsaturadas podrían ser comunes en esta área de la Patagonia norte (Alarcón et al., 2015). Estos resultados son críticos para interpretar lo reportado en relación a la potencial disminución en productividad de *M. chilensis* asociados a la acidificación del océano (AO), ya que se ha demostrado efectos negativos del aumento de CO₂ en el agua de mar sobre la tasa de crecimiento en peso y potencial de crecimiento y biomasa de *M. chilensis* (Figura 69) (Duarte et al., 20014; Navarro et al., 2013).

	Período	Promedio ± DE	Máximo	Mínimo
Salinidad	Otoño 2012	$30,02 \pm 4,62$	32,7	12,4
	Verano 2013	$23,74 \pm 0,92$	24,7	22,0
Temperatura (°C)	Otoño 2012	$11,21 \pm 0,49$	11,9	10,1
	Verano 2013	$20,54 \pm 0,57$	21,4	19,6
Alcalinidad total (µmol kg ⁻¹)	Otoño 2012	$2012,30 \pm 268,67$	2169,78	987,31
	Verano 2013	$1704,01 \pm 44,26$	1736,03	1591,94
CID (µmol kg ⁻¹)	Otoño 2012	$1919,95 \pm 262,01$	2079,14	945,84
	Verano 2013*	1561,61 ± 56,58	1605, 86	1436,08
ΩCa	Otoño 2012	$1,87 \pm 0,25$	2,43	0,89
	Verano 2013*	$2,43 \pm 0,19$	2,58	1,99
ΩAr	Otoño 2012	$1,18 \pm 0,17$	1,54	0,51
	Verano 2013*	$1,52 \pm 0,13$	1,62	1,24

Figura 68. Resumen de variación en el sistema de los carbonatos en el área de Metri en el seno de Reloncaví (Alarcón et al., 2015).


Figura 69. (a) Incremento en peso y (b) Potencial de crecimiento de *M. chilensis* (ante aumentos de CO₂ en el agua (y disminución de pH). ((a) Duarte et al., 2014a; (b) Navarro et al., 2013).

3.1.2.4.7.5. Clorofila

La distribución vertical de la clorofila total en diferentes secciones de la zona de los fiordos permite establecer, al igual que para la temperatura y salinidad, una estructura de dos capas: la superior (hasta 20 m) con mayor concentración (1,5 a 13,6 mg·m⁻³), formando un máximo localizado entre los 5 - 15 m de profundidad, mientras que los valores mínimos (< 0,5 mg·m⁻³) se presentan bajo los 20- 25 m (Figura 70; Ramírez, 2006).



Figura 70. Distribución de clorofila y feopigmentos (mg·m⁻³) en Canal Baker (izquierda) y Caleta Tortel (derecha), representativas de los canales continentales del norte de la Patagonia (Ramírez, 2006).

3.1.2.4.7.6. Resumen de procesos oceanográficos físicos y químicos relevantes para el hábitat de Mytilus chilensis.

En la porción norte del rango de distribución de *M. chilensis*, las condiciones de temperatura, clorofila y sólidos suspendidos no presentan un gradiente monotónico hacia el sur. Por ejemplo, las aguas de mayor temperatura se registran en la parte norte del seno de Reloncaví, mientras que la concentración de clorofila fue relativamente alta (\geq 5mgm-3) a través de toda la región, pero con valores máximos también dentro del mar interior de Chiloé (\geq 9.5 mgm-3); en esa zona también se registran los mayores valores de sólidos suspendidos (Figura 71). Este patrón de variabilidad espacial, llevó a sostener que el ciclo anual de temperatura y concentración de clorofila es más predecible en la zona del mar interior de Chiloé (Núñez-Acuña et al, 2012). Así mismo, estos autores demostraron una relación positiva entre la temperatura y la expresión de proteínas de *shock* térmico en *M. chilensis*. Así, este estudio es el primero en registrar patrones de variabilidad ambiental, lo

cual amplía el debate acerca de la estructura espacial poblacional de *M. chilensis* en su rango de distribución (e.g., Toro et al., 2006).



Figura 71. Distribución horizontal de la temperatura superficial (A) concentración de clorofila-a (B) (derivado de imágenes MODIS-Aqua, Julio 2002–Diciembre 2010), y sedimentos totales suspendidos (C) (imágenes MERIS, Noviembre 2005 – Febrero 2011). Las líneas de contornos en A y B corresponden a la isolínea de 12 °C y 5 mg m⁻³, respectivamente (Núñez-Acuña et al., 2012).

Por otra parte, en la región norte, centro y sur de la Patagonia se han identificado que las masas de Agua Subantártica (ASAA) que se extiende hasta 150 m de profundidad y agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) entre 150 y 300 penetran a la zona de aguas interiores de esta región, el ASAA por la capa superficial y el AESS por la profunda (Figura 72a), estas masas de agua penetran hasta donde la batimetría de los golfos y canales lo permite. Así mismo, el ASAA se va mezclando con agua dulce (AD) en distintas proporciones, conforme al aporte de ríos, ventisqueros, escurrimiento costero, pluviosidad y cercanía o lejanía de las fuentes de AD. En términos verticales, como se ha mencionado anteriormente, la estructura es en dos capas con una altura variable (Norte y Central, 20 y 30 m; Zona Sur entre 50 y 75 m (Sievers & Silva, 2006). Sobre impuesto a todo lo anterior,

en la región más austral se encuentra la influencia de la Corriente del Cabo de Hornos (Sievers, 2006; Thiel et al., 2007).



Figura 72. Modelo esquemático de la circulación vertical en las secciones: boca del Guafo a estuario Reloncaví; boca del Guafo a estero Elefantes; golfo de Penas a canal Concepción y estrecho de Magallanes (a); Modelo esquemático de la circulación horizontal a nivel superficial (0- ~30 m) (Sievers & Silva, 2006).

3.1.2.5. Revisión Bibliográfica de las algas pardas norte de Chile (Lessonia y Macrocystis)

Las especies de algas pardas se agrupan en la división Phaeophyta, y se caracterizan por reunir un gran número de especies que presentan diversas morfologías, que van desde algas

filamentosas de estructura sencilla hasta grandes algas que pueden alcanzar varios metros de longitud y con estructuras muy complejas. En nuestro país, el recurso comercial de algas pardas incluye cinco especies, agrupadas en 3 géneros de esta división: Lessonia trabeculata, Lessonia nigrescens, Macrocystis integrifolia, Macrocystis pyrifera y Durvillaea antarctica. Todas estas especies corresponden a algas pardas de la División Laminariales. En general, las especies de algas pardas chilenas se caracterizan por presentar una distribución latitudinal diferenciada. Así Lessonia nigrescens se distribuye a lo largo de toda la costa chilena, desde Arica a Cabo de Hornos (18°S-55°S), mientras que Lessonia *trabeculata* se distribuye desde Antofagasta a Puerto Montt (23°S-41°S). Por otra parte, Macrocystis integrifolia se distribuye desde Arica a Concepción (18°S-36°S). Esta variabilidad en el rango de distribución geográfica se aprecia en la Figura 73. La macrozona norte, correspondiente a los sectores costeros ubicados entre la XV y IV Regiones, se caracteriza por presentar sólo tres de estas especies: Lessonia trabeculata, Lessonia nigrescens y Macrocystis integrifolia. En términos fitogeográficos, Lessonia nigrescens se distribuye en regiones aledañas a la circulación subantártica, incluyendo las Islas Malvinas, Islas Heard y Kuerguelen. Por otra parte, Lessonia trabeculata es una especie endémica de la costa de Chile, sin ningún otro punto de distribución registrado. En el caso de Macrocystis integrifolia, esta es una especie con una distribución amplia en las regiones templadas del océano Pacífico Oriental, tanto en el Norte de América como en el cono Sur de América. En Sudamérica su distribución geográfica se extiende desde Chile hasta la zona central y norte del Perú.



Figura 73. Actual área de Distribución de las algas pardas a lo largo de la costa de Chile. Se representa mediante una barra continua la distribución latitudinal de *Lessonia nigrescens* (L_n); Lessonia trabeculata (L_t), Macrocystis integrifolia (M_i), Macrocystis pyrifera (M_P) y Durvillaea antarctica (D_a) (Vásquez et al., 2008).

El huiro negro o chascón, (*Lessonia nigrescens*), es una especie de macroalga parda que puede alcanzar hasta los 6 m de longitud, con un disco adhesivo o grampón que puede alcanzar hasta 50 cm de diámetro, y del cual surge un número variable de estipes. Los estipes se dividen en forma dicotómica para transformarse en láminas de ancho variable. Los individuos de esta especie se encuentran adheridos a las rocas en la zona intermareal a submareal somera. Por otra parte, el Huiro palo o varilla, (*Lessonia trabeculata*) es una macroalga parda de gran tamaño, distribuida en zonas rocosas, desde el intermareal al submareal, a profundidades de alrededor de 30 m. Se distingue de las otras especies del género por la presencia de trabeculas en las cavidades corticales de la lámina y estipe, y la morfología externa del disco, siendo la presencia de cavidades corticales una característica 180

constante de la especie (Hoffman & Santelices, 1997). A su vez, *Macrocystis integrifolia* es conocida junto con *M. pyrifera* como "huiro canutillo o pito". Las plantas (esporofitos) son erectas y de gran tamaño, siendo submareales, de color pardo amarillento. Estas se adhieren firmemente al sustrato por un disco adhesivo rastrero, formado por un rizoma macizo, aplanado y alargado. De los márgenes del disco emergen numerosos hapterios ramificados, de longitud variable. A su vez, del rizoma se levantan los estipes, erectos y subcilíndricos, en cuya base suelen dividirse de una a tres veces, ya sea dicotómica o subdicotómicamente. En el resto de su longitud los estipes son cilíndricos y se ramifican unilateralmente, a intervalos regulares, constituyendo los pedicelos de hojas laminares. Las hojas son largas y angostas de superficie rugosa y márgenes levemente dentados. En las hojas adultas, el pedicelo es corto y soporta un flotador (aerociste) elipsoidal o piriforme. La Tabla 15 resume estas características para el grupo de algas pardas estudiadas

Especie	Nombre común	Latitudinal	Batimétrica	Ambiente y		
		(en Chile)		Sustrato		
			0.05	X / 1		
Lessonia nigrescens Bory	Huiro negro o	Arica a	0-0,5 m	Intermareal		
1826	chascón	Cabo de		rocoso expuesto		
		Hornos		y semi-expuesto		
		(18°S-55°S)				
Lessonia trabeculata Villouta	Huiro palo,	Arica a	2-30 m	Submareal		
y Santelices 1986	varilla	Puerto		rocoso expuesto		
		Montt		y semi-expuesto		
		(18°S-				
		41°S).				
Macrocystis integrifolia Bory	Huiro pato	Arica a	2-14 m	Intermareal y		
1826		Concepción		submareal		
		(18°S-36°S)		rocoso		

Tabla 15. Resumen de las especies que componen el recurso comercial algas pardas en la zona norte del país.

Fuente: Elaboración a partir de información presente en Hoffman & Santelices 1997; Santelices, 1989 y Molinet et al., 2005. Tal como se mencionó anteriormente, estas tres especies, junto con las restantes dos especies de algas laminariales constituyen la pesquería de algas pardas, siendo esta una importante fuente de recursos económicos. La pesquería de algas pardas ha presentado un aumento sostenido en los niveles de desembarque en el periodo 1980-2001 (SERNAPESCA, 1980-2001, ver www.sernapesca.cl), para luego presentar una disminución y posterior aumento en el periodo 2005-2008 (Figura 74). Así, estas tres especies de algas pardas forman parte de una importante pesquería, que se ha expandido gradualmente en el tiempo, con la zona norte alcanzando el 90% del desembarque nacional el 2008. No obstante las disminuciones en algunos periodos, la tendencia global es al aumento en la extracción de este recurso, por lo que la dinámica de cosecha y recolección presenta una creciente importancia en determinar el éxito ecológico de estas especies.



Figura 74. Tendencia temporal en el desembarque de algas pardas a nivel nacional. La figura ilustra la variación interanual en (a) Desembarque total a nivel nacional de algas pardas para el periodo 1991-2008; (b) Desembarque nacional de algas pardas desde áreas de manejo de recursos bentónicos para el periodo 2002-2008 (IFOP; Sernapesca).

En este contexto, dada su importancia comercial, numerosos estudios han buscado comprender la biología y ecología de las especies de *Lessonia* spp y *Macrocystis* spp, examinando su distribución espacial y batimétrica, al igual que la productividad de las praderas naturales en el norte de Chile (Vásquez, 1989; 1990; 1992; Vásquez & Fonck, 1993; Edding & Tala, 2003; Tala, 1999; Tala et al., 2004; Tala & Edding, 2005; Vega, 2005; Vega et al., 2005; Tala & Edding, 2007). Ello ha permitido conocer no solamente los factores ambientales abióticos que se asocian con la distribución local y regional de las especies de macroalgas pardas, sino también su importancia e interrelación con los 182

procesos ecológicos que estructuran las comunidades marinas en que se encuentran insertas. En las siguientes secciones se resumen los aspectos más relevantes de la biología de estas tres especies de algas pardas.

3.1.2.5.1. Aspectos Reproductivos

En general, las algas pardas presentan reproducción sexual (gamética) y asexual (vegetativa y espórica) (Mansilla & Alveal, 2004). En el caso de las algas pardas, estas corresponden a algas laminariales, con una anatomía general compuesta de un disco adhesivo o grampón, del que se desarrollan estipes o talos que terminan en frondas con estructura de láminas aplanadas (Figura 75). El disco adhesivo o grampón permite a las algas mantenerse unidas al sustrato, generalmente de tipo rocoso, lo cual, junto a las dimensiones de estas algas resulta en la formación de estructuras macroscópicas que generan hábitats importantes para un sinnúmero de especies tanto bentónicas como de vida libre en la columna de agua.



Figura 75. Anatomía general de las algas pardas laminariales.

La alternancia de distintos estadios de diferentes estructuras, morfología, tamaño y movilidad, permite definir el ciclo de vida de estas especies como un ciclo de vida complejo, que permite a las algas enfrentar las exigencias del ambiente abiótico en el cual se desarrollan. A continuación se discuten algunos aspectos generales y específicos del ciclo de vida y principales eventos reproductivos para estas tres especies.

3.1.2.5.1.1. Ciclo de vida

En algas pardas laminariales, el ciclo de vida presenta alternancia de estadios diploides (2N) y haploides (N). En el caso de las algas pardas laminariales, la planta macroscópica o huiro corresponde al esporofito /2N), mientras que el gametofito (N) está reducido a filamentos microscópicos. Así, estas especies se caracterizan por una alternancia de generaciones heteromórficas. La producción de esporas se lleva a cabo en estructuras presentes en las frondas del esporofito, llamadas soros. Estos órganos uniloculares están formados generalmente por una célula grande y esférica, donde se realiza la meiosis, la que forma 4 o más esporas haploides (siempre en múltiplos de 4) (Mansilla & Alveal, 2004). La Figura 76 representa mediante un esquema general el ciclo de vida de las algas pardas laminariales, haciendo hincapié en las diferencias morfológicas y de tamaño entre las formas haploides.



Figura 76. Ciclo de vida de algas pardas laminariales (IFOP, 2008; 2009).

En el caso de *Lessonia nigrescens*, esta especie posee un ciclo de vida heteromórfico con dos fases de vida. La fase macroscópica correspondiente al esporofito haploide (N), puede vivir por varios años, incluso después del desprendimiento del disco de adhesión. Esta es la fase extraída con fines comerciales. La segunda fase de vida por otra parte, es

microscópica, correspondiente al gametofito dioico diploide (2N). Luego de la fertilización se inicia el desarrollo del esporofito juvenil, los que eventualmente producen esporas a partir de esporangios uniloculares agrupados en soros de forma irregular, que se desarrollan en las láminas. Después de liberadas las esporas, la zona de los soros se necrosa lo que contribuye a que el extremo distal de las frondas se desgarre. Una vez asentadas las meioesporas dan origen a gametofitos microscópicos (Santelices, 1989).

Por otra parte, *Lessonia trabeculata* posee un ciclo de vida heteromórfico con dos fases de vida uno macroscópico, correspondiente al esporofito, y otro microscópico correspondiente al gametofito. Nuevamente, en esta especie los gametofitos son dioicos, y el esporofito corresponde a la fase de vida extraída comercialmente. Los soros esporangiales se disponen en bandas longitudinales en ambas caras de la lámina, los cuales se observan como manchas en las esporofilas (Hoffman & Santelices, 1997). Los esporangios miden entre 30 y 40 pm de alto y 15 pm de diámetro; las parálisis miden entre 40 y 60 ptm de alto y 5-8 ptm de diámetro. Las embrioesporas mantenidas en cultivo germinan a las 24 horas, y forman gametofitos de tres o más células al cabo de 15 días (Hoffman & Santelices, 1997).

En la Figura 77 se ilustra la morfología de los estadios tempranos de *Lessonia trabeculata*. Estudios experimentales en laboratorio han mostrado que la inducción a la esporulación permite obtener esporas con buena movilidad entre 30 y 120 min, presentando un gran porcentaje de fijación al sustrato a las 30 hrs post-liberación, creciendo hasta 10 µm de diámetro en los días sucesivos (Murúa, 2010). Posterior a su asentamiento, las embrioesporas empiezan a germinar, independiente de las condiciones experimentales, la época del año y de la localidad de origen. La germinación se observa como la formación de una protuberancia llamada tubo de germinación (Figura 77a) y el contenido citoplasmático de la espora es vaciado en una segunda célula: la célula primaria del gametofito, principal indicador de que el proceso ontogénico dio comienzo (Figura 77b). Además, Murúa (2010), ha descrito dos patrones de desarrollo para las estructuras femeninas, también descrito para algas laminariales: (1) gametofitos multicelulares filamentosos y (2) gametofitos unicelulares.



Figura 77. Morfología de estadios tempranos de *L. trabeculata*. A) Embrioesporas con tubo de germinación (flecha). Escala = 8 μm. B) Célula primaria del gametofito femenino adherida a la espora vacía que la originó (flecha). Escala = 6 μm. C) Gametofito masculino con anteridio en su sección apical (flecha). Escala = 16 μm. D) Gametofito femenino estéril en fase de crecimiento. Escala = 16μm. E) Gametogénesis avanzada: gametofito femenino fértil de *L. trabeculata*, con oogonios en su sección apical. Escala = 15 μm. F) - G) liberación de la célula huevo post-fecundación y esporofito inicial. Escala = 20 μm. H) Esporofitos tempranos de *L. trabeculata* con gametofitos residuales. Escala = 40 μm (Murúa, 2010).

La formación de gametofitos multicelulares se observó como divisiones sucesivas de la célula primaria con formación de ramificaciones (Figura 77 c-d), en las cuales podía haber uno o más oogonios por gametofito al momento de alcanzar la fertilidad. Por otro lado, los gametofitos unicelulares se observaron con un crecimiento de la célula primaria hasta las 20 µm de diámetro y la formación de un oogonio único, observándose bajo ciertas condiciones de cultivo, y muy bajas cantidades respecto a los gametofitos multicelulares. Los gametofitos masculinos, en cambio, siempre tuvieron una estructura filamentosa, siendo en algunos casos de pocas células, o bien de más de cinco o más células antes de formar anteridios (Figura 77 e). A su vez, se ha señalado que existen correlaciones positivas

entre el número de frondas reproductivas y el diámetro basal del disco, lo que evidenciaría que a medida que la planta aumenta de peso y tamaño, aumentaría también su potencial reproductivo (Vásquez, 1991).

En el caso de *Macrocystis integrifolia*, esta especie también posee un ciclo de vida heteromórfico con dos fases de vida. La fase esporofítica es macroscópica, siendo objeto de extracción, mientras que la fase gametofítica es microscópica y se desarrolla adosada al esporofito macroscópico. Los gametofitos son dioicos. En el esporofito los esporangios uniloculares (30-60 cm de largo por 6-10 cm de diámetro) a menudo se diferencian en láminas situadas cerca de la base de las ramas (esporófilos), las que pueden estar provistas o no de neumatocistos. Parte de las esporas fijas originarán filamentos microscópicos masculinos y femeninos que formarán las estructuras sexuales, produciendo espermios y óvulos respectivamente. Luego de fecundado el óvulo desarrollará sobre sí mismo el esporofito juvenil (Hoffman & Santelices, 1997). El proceso de aparición de filamentos microscópicos que se encuentran sobre las rocas y la fecundación tiene una duración entre 20 y 30 días, dependiendo del fotoperiodo y la temperatura del agua de mar, desarrollándose posteriormente las plantas juveniles, las que se encuentran maduras en aproximadamente 12 meses (Hoffman & Santelices, 1997).

3.1.2.5.1.2. Ecología Reproductiva

Distintos estudios acerca de la fertilidad de *Lessonia nigrescens* han aportado evidencia que sugiere que existen plantas reproductivas durante todo el año. En particular, se ha propuesto que la fertilidad es máxima en invierno (Ojeda & Santelices, 1984). Sin embargo, las frondas fértiles se encuentran a partir de octubre y alcanzan su mayor frecuencia entre enero y febrero, para desaparecer a fines de junio (Hoffman & Santelices, 1997). Por otra parte, el reclutamiento de juveniles es un fenómeno claramente estacional, que ocurre entre los meses de agosto y noviembre (Santelices, 1982; Santelices & Ojeda, 1984), por lo que si se libera sustrato rocoso en forma experimental o producto de alguna perturbación física en el ambiente natural, en cualquier época entre estos dos meses, el sustrato liberado será

rápidamente ocupado por plantas juveniles de *Lessonia nigrescens*. Por otra parte, un estudio realizado por Venegas et al. (1992), permitió la evaluación de distintos parámetros de fertilidad, como son el número de estipes fértiles por planta, la distribución de los soros en relación al largo de los estipes, la germinación y sobrevivencia de esporas, proporción de sexos en los gametofitos, y el tamaño y fertilidad de estos. Sobre el 90% de las plantas analizadas presentaron soros en sus estipes y sobre el 60% de los estipes de cada planta estaban reproductivos (Venegas et al., 1992). La zona distal de los estipes es la que presenta el porcentaje más alto de esporangios (sobre 80%). La viabilidad de las zoosporas es alta para ambas zonas (estipe y fronda sobre 80%). De manera interesante, los autores concluyen que la fertilidad presenta resultados erráticos por lo que puede que no esté asociada con la procedencia de las esporas. Por otra parte, la sobrevivencia de los gametofitos fue más alta para los que provenían de los estipes, y los gametofitos proveníentes de estipes desarrollaron esporofitos morfológicamente similares a los que provenían de las frondas (Venegas et al., 1992).

En el caso de *Lessonia trabeculata*, estudios de laboratorio han demostrado que la fertilidad se ve afectada significativamente por la temperatura y la estacionalidad. Así, los propágulos provenientes de muestras de Bahía Inglesa en primavera fueron altamente fértiles, apreciándose las primeras células huevos a los 15 días post-liberación. A los 24 días, la formación de oogonios provenientes de esta temporada fue lograda por entre 30 - 95% de los gametofitos femeninos totales de las respectivas muestras (Figura 78a). En las otras estaciones del año la viabilidad fue decreciendo: en verano e invierno los valores oscilaron entre 10 - 50% y 13 - 60% respectivamente, mientras que en otoño las muestras no fueron viables, muriendo durante la ejecución del estudio (Figura 78b, c y d). Los gametofitos provenientes de Maicolpue mostraron la misma viabilidad estacional, logrando las mayores fertilidades durante primavera (10 - 65%; Figura 78). En verano este potencial reproductivo decreció (3 – 14%; Figura 78f) hasta alcanzar los mínimos en otoño, donde no fueron viables (Figura 78g). Por otra parte, la fertilidad se restableció para el material colectado en los meses invernales (3 – 30% Figura 78h) (Murúa, 2010). De esta forma, la viabilidad es máxima en primavera y mínima en otoño. De igual manera, se aprecia que la irradiancia o la magnitud de radiación solar incidente tiene una interacción significativa con

la temperatura y estación del año, pese a no distinguirse un patrón claro de variación para esta variable (Figura 78). Al examinar el patrón correspondiente a 35 días posterior a la liberación de las zooesporas, se evidencia nuevamente un patrón de efecto significativo de la estacionalidad y temperatura ambiente, además de las diferencias entre localidades (Figura 79). Cabe destacar que la importante heterogeneidad en la respuesta observada puede tener otras fuentes de variación, incluyendo diferencias genéticas, o que potenciales efectos de aclimatización afecten la norma de reacción estudiada.



Figura 78. Fertilidad de gametofitos femeninos de *L. trabeculata* (24 días post-liberación de zoosporas) procedente de Bahía Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010).



Figura 79. Fertilidad de gametofitos femeninos de *L. trabeculata* (35 días post-liberación de zoosporas) procedente de Bahía Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010).

Al evaluar otra variable asociada a la reproducción, como es el éxito reproductivo, medido como el grado de formación de nuevos individuos posterior a la gametogénesis, el estudio experimental de Murúa (2010), mostró diferencias significativas a nivel norte-sur y entre las distintas estaciones del año, con un efecto preponderante de la temperatura para los estadios provenientes del norte (Figura 80). De esta forma, se observó una mayor fertilidad y éxito reproductivo para el material proveniente de Bahía Inglesa en primavera, mostrando una mayor tolerancia a las condiciones de luz y temperatura simuladas, con valores de éxito reproductivo que fluctuaron entre 5 y 56% (Murúa, 2010). Los valores variaron de forma estacional, oscilando entre 9 - 35% en primavera, 1 - 15% en verano, reflejando una mortalidad masiva en otoño y valores de éxito reproductivo entre 1 - 13% en invierno (Figura 80e-h) (Murúa, 2010).



Figura 80. Éxito reproductivo de gametofitos femeninos de *L. trabeculata* (24 días post-liberación de zoosporas) procedente de Bahía Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010).

Por otra parte, Vásquez et al. (2008), han realizado estudios en terreno, caracterizando el potencial reproductivo de las especies de *Lessonia* spp. y *Macrocystis* en la III y IV regiones, observando una importante variabilidad a nivel de localidades, aunque para las especies de *Lessonia* spp., se observa una caída de su potencial reproductivo en invierno, tanto en términos del área reproductiva como de su esfuerzo reproductivo, acompañado de incrementos en su crecimiento (Tala & Edding, 2005). En el caso las especies de *Lessonia nigrescens*, estas presentan su tejido reproductivo en láminas no diferenciadas, lo cual puede generar cierta competencia por recursos en periodos de crecimientos y reproducción con láminas que no presenten tejido reproductivo. En ambas regiones se observa una tendencia al aumento en el tamaño de las láminas hacia el invierno (Figura 81) indicando crecimiento de las láminas, acompañado de una baja en las variables reproductivas, principalmente en términos de áreas reproductivas y esfuerzo reproductivo.



Figura 81. Variación estacional del largo (cm), peso húmedo (g) y área (cm²) de las láminas de *Lessonia nigrescens* en las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

Por otra parte, también se evidencia la existencia de crecimiento junto con una disminución en las variables reproductivas, principalmente en la asignación de biomasa a tejido reproductivo. Esto evidencia un compromiso en la asignación de biomasa a tejido reproductivo *os*curecimiento vegetativo (Figura 82).



Figura 82. Variación estacional del área reproductiva (%) por lámina, del esfuerzo reproductivo (% soro peso seco) y liberación de esporas (nº/cm² de soro) de *Lessonia nigrescens* en las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

Al examinar la germinación de esporas, se evidencia claramente la existencia de una variación estacional en la germinación de esporas y la fertilidad de gametofitos femeninos (Figura 83). Sin embargo, la respuesta es altamente variable, al comparar las localidades del estudio.



Figura 83. Variación estacional de la germinación de esporas (%, 3d de cultivo), fertilidad de gametofitos femeninos (% oogonios, 15d de cultivo) y éxito reproductivo (% esporofitos, 15d de cultivo) en cultivos de *Lessonia nigrescens* para las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

Por otra parte, en el caso de *Lessonia trabeculata*, se observó que la talla de las láminas (largo, peso y área) tiende a mantenerse relativamente estable en el tiempo (Figura 84), mientras que las variables reproductivas (área de soro y esfuerzo reproductivo) muestran una disminución en invierno (Figura 85). La liberación de esporas fue espacialmente variable, dependiendo de la región, con bajas liberaciones de esporas y estables temporalmente en la III Región. Por el contrario en la IV Región se evidenció una mayor liberación en otoño 2006, disminuyendo hacia la primavera (Figura 86). En aquellos casos en que se detectó una extensión del rango de distribución hacia el intermareal bajo, los especímenes estudiados presentaron características morfológicas y reproductivas similares a las algas presentes en la fracción del submareal (Vásquez et al., 2008).



Figura 84. Variación estacional del largo (cm), peso húmedo (g) y área (cm2) de las láminas de *Lessonia trabeculata* en las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).



Figura 85. Variación estacional del área reproductiva (%) por lámina, del esfuerzo reproductivo (% soro peso seco) y liberación de esporas (nº/cm² de soro) de *Lessonia trabeculata* en las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).



Figura 86. Variación estacional de la germinación de esporas (%, 3d de cultivo), fertilidad de gametofitos femeninos (% oogonios, 15d de cultivo) y éxito reproductivo (% esporofitos, 15d de cultivo) en cultivos de *Lessonia trabeculata* para las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

En el caso de las algas del género *Macrocystis*, las estructuras reproductivas se ubican en láminas especializadas denominadas esporofilas, en la base de las plantas. Esto lleva a que la asignación en reproducción (área y biomasa) sea mayor en esta especie que en las especies de *Lessonia*, en donde un mismo tejido cumple múltiples funciones. Los estudios realizados en la III y IV regiones muestran una tendencia al aumento en el tamaño de las esporofilas hacia la primavera, previa disminución en invierno, mientras que las variables reproductivas, principalmente en términos de áreas reproductivas y esfuerzo reproductivo, como asignación de biomasa seca a tejido reproductivo, mostraron un aumento en invierno, en forma más notoria para las poblaciones de la III Región (Figura 87).



Figura 87. Variación estacional del largo (cm), peso húmedo (g) y área (cm²) de las esporofilas de *Macrocystis integrifolia* en las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

A su vez, pese a que se detectó un alza en la liberación de esporas en invierno, el desarrollo de éstas mostró una baja capacidad para formar esporofitos (Figura 88, Figura 89).



Figura 88. Variación estacional del área reproductiva (%) por esporofila, del esfuerzo reproductivo (% soro peso seco) y liberación de esporas (nº/cm² de soro) de *Macrocystis integrifolia* en las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).



Figura 89. Variación estacional de la germinación de esporas (%, 3d de cultivo), fertilidad de gametofitos femeninos (% oogonios, 15d de cultivo) y éxito reproductivo (% esporofitos, 15d de cultivo) en cultivos de *Macrocystis integrifolia* para las localidades de estudio de la III y IV Región. El eje Y es mostrado en la misma escala para permitir una comparación visual entre las regiones de estudio. La línea muestra el valor promedio entre las localidades por estación (Vásquez et al., 2008).

3.1.2.5.1.3. Crecimiento

En la zona intermareal rocosa, los ejemplares de *Lessonia nigrescens* alcanzan una longitud de hasta 3-4 m de largo. El crecimiento de las láminas se efectúa paulatinamente por un meristema de crecimiento basal en las láminas, persistiendo la generación regular de nuevos tejidos. Distintos estudios han estimado la velocidad de crecimiento tomando en cuenta diversos rasgos o caracteres de la planta. Estos incluyen la longitud de los estipes, la distancia entre el disco y la primera dicotomía, el diámetro mayor del disco y el número de estipes. Los meses de mayor crecimiento corresponden a invierno y principios de primavera (agosto-octubre). Durante la parte final de la primavera y todo el verano la elongación de los estipes es menor, aparentemente influido por dos fenómenos: destrucción del tejido cicatrizal luego de la descarga del tejido reproductivo y deshidratación y decoloración,

como consecuencia de la mayor radiación solar y altas temperaturas durante el verano (Santelices, 1982).

En general, las especies del género *Lessonia (Lessonia nigrescens* y *Lessonia trabeculata)* presentan velocidades de recolonización y de crecimiento relativamente lentos. Las tallas superiores a 1,5 m y discos basales grandes se logran en unos 20 meses y en algunos casos, en que las frondas se han podado a nivel del disco no se logra la regeneración de nuevas frondas, ya que no existe renovación a partir de los discos de tal manera que la extracción de las láminas lleva a la desaparición total de los ejemplares. En cuanto a la recuperación a la remoción y recolonización de sustratos para *Lessonia nigrescens*, Santelices (1982; 1989) establece que en Chile Central ambos eventos son altamente efectivos en invierno y primavera y más retardados hacia fines de primavera y de verano.

Para el género *Macrocystis*, el crecimiento de frondas se produce en primavera en la zona centro sur de Chile, y las praderas son visibles durante esos meses generando una biomasa importante. Esta especie posee un meristema apical que le permite crecer (2% diario) alcanzando tamaños sobre 30 m. Los estudios que se han realizado para evaluar el efecto de poda sobre estas plantas indican que la tasa de recuperación es lenta y puede llegar a ser de hasta 6 meses para recuperar el 80% de la biomasa (Romo et al, 1984; Santelices, 1989). Las praderas de *Macrocystis* tienen crecimiento estacional durante la primavera y verano y durante otoño e invierno es muy lento y durante estos meses es que se produce la mayor mortalidad de plantas por efectos de marejadas o condiciones climáticas.

En ciertos sectores del intermareal bajo, el crecimiento de la pradera de *L. nigrescens* es inestable, particularmente en aquellos casos en que las plantas se fijan sobre poblaciones de bálanidos o mitílidos, que después de un tiempo resultan ahogados por el exuberante crecimiento del huiro y se desprenden del sustrato con el consecuente desprendimiento de grandes porciones de alga. El desprendimiento del alga puede también ser resultado del efecto de poliquetos, crustáceos y moluscos que al buscar refugio y alimento horadan los discos debilitando su adherencia al sustrato lo que facilita su desprendimiento por acción

del oleaje. Junto a lo anterior, existen moluscos como *Scurria scurra*, que roen los estipes de *Lessonia* debilitando las frondas que posteriormente se cortan por efecto del oleaje.

Estudios empíricos han estimado las velocidades de crecimiento en poblaciones de *Lessonia nigrescens* tomando en cuenta varios caracteres de la planta: la longitud de los estipes, la distancia entre el disco y la primera dicotomía, el diámetro mayor del disco y el número de estipes. En las Figura 90, Figura 91 y Figura 92 se ilustran los ajustes para lograr la parametrización en base a distintos rasgos de esta especie.



Figura 90. Parametrización de crecimiento a la talla (a, b), relaciones gravimétricas (c, d) y crecimiento en peso (e) de *Lessonia nigrescens* para la zona central (González et al., 2002).



Figura 91. Ajuste de crecimiento en la talla y peso del disco en *Lessonia nigrescens* para las Regiones XV (Ex I) y IV, a partir de datos observados (González et al., 2002).

Como resultado, se obtuvieron un conjunto de funciones de crecimiento para *Lessonia nigrescens*. En resumen, en *L. nigrescens*, los meses de mayor crecimiento corresponden a invierno y principios de primavera (agosto-octubre). Durante la parte final de la primavera y todo el verano la elongación de los estipes es menor, aparentemente influido por dos fenómenos: destrucción del tejido cicatrizal luego de la descarga de tejido reproductivo y deshidratación y decoloración, como consecuencia de la mayor radiación solar y altas temperaturas durante el verano (Santelices, 1982). Por otra parte, los esporofitos presentan una sobrevivencia de varios años. Las frondas fértiles se encuentran a partir de octubre y alcanzan su mayor frecuencia entre enero y febrero, y desaparecen a fines de junio (Hoffman & Santelices, 1997).





Figura 92. Ajuste de crecimiento en la talla y peso del disco en *Lessonia nigrescens* para las Regiones XV (Ex I) a IV, a partir de datos observados.

3.1.2.5.2. Tallas

La estructura de tallas de las praderas de algas ha sido un criterio útil para detectar y dimensionar el efecto de las cosechas y las medidas administrativas regulatorias en praderas de algas pardas de la III y IV Región (Proyecto FIP N° 2005-22). En este contexto, se considera aquellas praderas que presentan estructura de tallas con modas bajo la marca de clase de 17,5 cm de diámetro del disco de adhesión como praderas que están sometidas a explotación intensiva. En base a este criterio, se ha documentado como los signos de explotación en las praderas de *L. nigrescens* tienden a intensificarse a medida que aumenta

la accesibilidad al sector de evaluación (Vásquez et al., 2010). La Figura 93 ilustra como el desembarque de *L. nigrescens* desde la XV a IV regiones se caracteriza por una estructura unimodal. Sin embargo, este patrón observado a nivel de los desembarques, puede no cumplirse en la medida que las distintas localidades experimenten presiones diferenciales de extracción.

	l Región		II Región		III Región		IV Región		Total Regiones	
Diametro del disco	Numero	Peso (ton)	Numero	Peso (ton)	Numero	Peso (ton)	Numero	Peso (ton)	Numero	Peso (ton)
1-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-8	0	0	0	0	6307	13	36381	68	42688	80
9-12	23420	99	401012	1750	718971	2738	847153	3240	1990556	7827
13-16	75881	505	985343	6749	1996091	12448	1450035	8836	4507350	28538
17-20	62766	588	687449	6742	1787968	16947	815969	7361	3354152	31637
21-24	21547	283	320809	4168	785192	10738	332624	4325	1460173	19514
25-28	6558	112	103117	1793	507695	9249	57170	958	674539	12112
29-32	1874	39	0	0	116675	2731	15592	330	134141	3100
33-36	937	23	0	0	40994	1201	0	0	41931	1224
37-40	0	0	0	0	6307	240	0	0	6307	240
41-44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45-48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49-52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53-56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Región	192982	1648	2497730	21202	5966201	56305	3554924	25118	12211836	104273
Diametro Medio (cm)	16,91	-	16,51	-	17,78	-	15,42	-	17,09	-
Peso Medio (kg)		8,54	-	8,49	-	9,44	-	7,07		8,54

Figura 93. Composición del desembarque en número y peso a la talla de *Lessonia nigrescens*, de la XV (Ex I) a IV regiones, a lo largo de la zona norte (Vásquez et al. 2002).

3.1.2.5.2.1. Primera madurez sexual

Estudios experimentales en terreno reportados por Vásquez et al. (2008), han permitido evaluar el efecto de la presión de cosecha sobre la talla de primera madurez sexual de las plantas de *L. nigrescens*, tomando en consideración la estacionalidad del ciclo anual. Así, para aquellas poblaciones de *L. nigrescens* no intervenidas, la primera talla de madurez sexual se observa principalmente en tamaños que oscilan entre 15 y 18 cm de diámetro mayor del disco basal adhesivo. Por otra parte, en aquellas áreas intervenidas con moderada presión de cosecha la primera talla de madurez sexual ocurre en discos de 10-15 cm de diámetro. Finalmente, en áreas con una presión de cosecha intensa, la primera talla de madurez sexual se observa discos de 5-10 cm de diámetro (Vásquez et al., 2008). Por otra parte, en el caso de *Lessonia trabeculata*, la determinación de la primera talla de madurez reproductiva se vuelve difícil, dada la muy baja tasa de crecimiento de las plantas de *L*.

trabeculata, observándose los primeros indicios morfológicos de madurez en plantas de entre 60 a 80 cm de longitud, con diámetro mayor del disco mayores o iguales a 12 cm (Vásquez et al., 2008). Finalmente, en el caso de *Macrocystis integrifolia*, se observó que plantas juveniles marcadas de *M. integrifolia* presentan esporofilas en las frondas entre seis a nueve meses después de ser marcadas. Sin embargo, no se pudo estimar una talla mínima de madurez sexual, debido a la alta variabilidad y plasticidad de los atributos morfológicos que son usados para las estimaciones de talla y peso de las plantas de *Macrocystis*; las cuales varían entre localidades y en el gradiente de profundidad (Vásquez et al., 2008).

3.1.2.5.2.2. Estructura de tallas

Un estudio poblacional acerca de Lessonia nigrescens, realizado por González et al. (2002), muestra una importante variación espacial en la densidad, que disminuye de norte a sur. De igual manera, al establecerse la estructura de tallas poblacionales de las poblaciones, por medio de los discos adhesivos de las plantas (Figura 94), se observa una alta heterogeneidad entre localidades, evaluada en función de la presencia de individuos de tallas que conforman el stock poblacional, los cuales han sido establecidos en función de su talla critica (Lc) y de la fracción de reclutas poblacionales (< a 3 cm). Las poblaciones extremas, localizadas en las Regiones I y IV, se caracterizan por un amplio rango de distribución de tallas, con mayores tallas medias poblacionales, a diferencia de las localidades de la II y III Regiones, donde la fracción del stock es comparativamente menor (González et al., 2002). Por otra parte, al examinar la relación media regional para las variables diámetro del disco y peso total de la planta, se observa que esta presenta una adecuada capacidad predictiva (Figura 95), permitiendo por ende la estimación de la estructura en peso de la población. Dicha estimación reveló una tendencia de aumento en la composición de peso norte - sur. De esta forma, las localidades de las Regiones I y II, registran sobre el 70% de individuos bajo los 8 kg, a diferencia de las poblaciones de las localidades de la IV Región, donde las plantas presentan un alto porcentaje de ejemplares por sobre los 12 kg. En el caso especial de Los Pozos y caleta Angosta, sobre el 80% de los individuos se distribuyen bajo los 8 kg, respondiendo a una población rejuvenecida,

producto de la remoción directa de las plantas de mayor tamaño, permaneciendo las plantas de menor peso (González et al., 2002).



Figura 94. Estructura de talla poblacional del disco basal (cm) de *Lessonia nigrescens*, en los sectores en estudio de la I a IV regiones (González et al., 2002).



Figura 95. Relación gravimétrica del diámetro de disco basal (cm) y peso total (g) de *L. nigrescens*, para las regiones I a IV (González et al., 2002).
3.1.2.5.3. Mortalidad y reclutamiento

Las estimaciones de mortalidad (M) recopiladas de literatura dan cuenta de la mortalidad natural de L. nigrescens, con el supuesto que la actividad extractiva se realiza sólo sobre las algas varadas (González et al., 2002; Vásquez et al., 2008). En particular, un estudio más detallado de las praderas de L. nigrescens permite la estimación de los principales parámetros poblacionales para Chile central (González et al., 2002). En particular, un conjunto de datos de seguimiento de 15 meses de cambios en densidad de L. nigrescens (reclutas/0,25 m²), permitieron estimar tasas de mortalidad mensual (Figura 96). La estimación de un valor de mortalidad constante a partir de la pendiente linealizada de los logaritmos de sobrevivencia en densidad, arroja un valor de 0,105 en base mensual. Por su parte, la pendiente de la función logarítmica de la mortalidad edad específicas (Mi), entrega un valor de Mi medio de 0,137 mensual, encontrándose una alta consistencia entre ambos valores de M global, obtenidos por los dos métodos utilizados. Esta buena bondad de ajuste entrega una mayor certeza sobre los fenómenos que subyacen a estos procesos demográficos. La estimación de la función de M a la edad específica permite asignar tasas de mortalidad considerando la edad-talla de la población, enfoque que resulta más adecuado considerando los procesos de mortalidad densodependientes a la talla, que se presentarían para este recurso (González et al., 2002).



Figura 96. Estimación de mortalidades (a,b), producción máxima (c,d), reclutamiento (E) y asentamiento relativo estacional (f) de *L. nigrescens* para Chile central (González et al., 2002).

Un aspecto importante a considerar en lo que respecta a la mortalidad de individuos de *Lessonia* es el impacto de variables que puedan disminuir o mermar la adhesión del disco basal, aumentando la susceptibilidad al desprendimiento de individuos por efecto del oleaje. En este sentido, estudios empíricos han documentado que la presión de herbívoría por parte de erizos y caracoles gastrópodos puede modificar la morfología de las algas, generando morfotipos arborescentes con estipes menos numerosos y rígidos, que pueden ser susceptibles de mayor mortalidad producto del efecto hidrodinámico e impacto del oleaje (Vásquez 1989, 1991, 1993, Vásquez y Santelices 1990). En ese sentido, la mortalidad que se estima en terreno refleja no solo el efecto de los factores físico-químicos

que caracterizan a una localidad, sino también el efecto resultante de la presión de herbivoría sobre las macroalgas del género *Lessonia*.

3.1.2.5.4. Principales parámetros ambientales que afectan y definen el hábitat de las algas pardas norte de Chile

3.1.2.5.4.1. Temperatura superficial del mar

Tal como se ha discutido anteriormente, en la sección 3.1.3.4.1.2, Murúa (2010), en un estudio de los requerimientos de irradiancia y temperatura para la gametogénesis de *Lessonia trabeculata*, demostró que el desarrollo de las fases microscópicas de esta especie presentó variaciones a nivel estacional y latitudinal, además de ser afectadas considerablemente por el efecto irradiancia-temperatura y su variación estacional. En particular, la temperatura demostró ser el principal factor ambiental que modula las distintas variables reproductivas. En este mismo trabajo, se demuestra también un efecto similar sobre el porcentaje de germinación, observándose un efecto dominante de la temperatura y estación de origen del material reproductivo (Figura 97 y Figura 98). De esta manera, se aprecia que la temperatura es el único factor que presenta un efecto sostenido sobre la asignación y éxito reproductivo en esta especie. Para ciertas combinaciones de tratamiento, la relación es unimodal, con valores máximos a temperaturas intermedias, mientras que para otras, se observa un efecto monótono a aumentar el desempeño en función de la temperatura experimental.



Figura 97. Germinación de embrioesporas de *L. trabeculata* (30 hrs. post- liberación de zoosporas) procedente de Bahía. Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010).



Figura 98. Germinación de embrioesporas de L. trabeculata (4 días post-liberación de zoosporas) procedente de Bahía. Inglesa (A-D) y Maicolpue (E-H), en relación a la estación del año, irradiancia y temperatura (Murúa, 2010).

3.1.2.5.4.2. Radiación solar

El rol de la irradiancia en los experimentos reportados por Murúa (2010), refleja la evidente importancia de la luz solar para el proceso de fotosíntesis. En los sistemas acuáticos la luz solar puede penetrar y es filtrada en los primeros 10 cm, donde virtualmente toda la radiación asociada al espectro infrarrojo es filtrada y transformada en calor, dependiendo de las características de la columna de agua (Gross, 1982). En el primer metro del agua de mar el 60% de la radiación es absorbida y a los 10 m el 80%. Por lo general la luz penetra a mayor profundidad en aguas oceánicas que en aguas costeras (Figura 99), principalmente por la baja concentración de materia orgánica disuelta y partículas en suspensión. Por otra parte, las condiciones costeras favorecen la productividad primaria, por lo tanto las aguas son más turbias producto de las poblaciones de microorganismos que se desarrollan dada la riqueza de nutrientes que aportan los cursos de agua que llegan al mar y de las masas de aguas ricas en nutrientes (Edding et al., 2006). Las aguas ecuatoriales sub-superficiales que viajan de norte a sur en la costa del Pacifico Sur Este son las que mayormente aportan nutrientes (Moron & Marquina, 1997). Las altas concentraciones de material particulado, como ocurre cuando el fitoplancton es muy abundante, producen una gran cantidad de dispersión y absorción de la luz, provocando el color verdoso característico de las aguas productivas (Thurman, 1994). El patrón característico de penetración del espectro de luz visible define entonces un rango de profundidades en las cuales existe disponibilidad de energía para la realización del proceso de fotosíntesis, delimitando una restricción a la distribución batimétrica. Sin embargo, dada la importancia de la productividad y presencia de materia particulada en absorber la energía del espectro de luz visible, el patrón observado en terreno es dinámico, y depende fuertemente de la productividad y dinámica oceanográfica del área a estudiar.



Figura 99. Penetración del espectro de la luz visible en el mar. La mayor penetración que se observa en el océano abierto se produce por la menor presencia de material particulado y organismos. (Modificado de http://www.oceanexplorer.noaa.gov/, en Edding et al., 2006).

Las restricciones batimétricas a la distribución de las algas pardas se evidencian en las profundidades descritas para las praderas de estas especies. La Figura 100 ilustra el patrón para *Lessonia nigrescens* y *Lessonia trabeculata*.

Especie/ tipo de banco	Ubicación	Superf. Há	Sustrato	Prof. (m)	Biomasa promedio (gr/m ²)	Biomasa Máx. (gr/m²)	Biomasa Mín. (gr/m ²)	Densidad prom. (frondas/ m ²)	Densidad Máx. (frondas/ m ²)	Densidad Máx. (frondas/ m ²)	Fuente
	Los Molles			2 - 18		10,3 k	6,2	2,1	0,5		Villouta & Santelices 1984
	Playa El Francés			4-12					0,5	3	Vasquez & Santelices 1990
	Península de Mejillones		Rocoso	4-14					0	0,3	Vega 2005
Lessonia	Caleta Constitución			3				0,5		8	Vasquez et al. 2006
trabeculata	Punta Choros							2,1			Thiel & Vásquez 2000
	Chañarcillo			15-20				0,5 a 1,3			Vásquez et al. 2007
	Salto del gato			10-11				1,2			Vásquez et al. 2007
	Islas Chatas y Chata chica							0,3 a 1,0			Vásquez et al. 2007
	Los Molles								3	4	Vasquez & Santelices 1990
Lessonia	Punta Choros							3,7			Thiel & Vásquez 2000
nigrescens	Punta Lobos								2,9	3,8	Vásquez et al. 2007
	I. Chata								2,4	5,1	Vásquez et al. 2007

Figura 100. Praderas de *Lessonia* spp. en Chile, extensión batilitológica y parámetros señalados como indicadores de agregación (Molinet et al., 2005).

Y a su vez, la Figura 101 resume la información para praderas históricas de *Macrocystis integrifolia* en Chile. Tal como se aprecia en ambas figuras, las praderas históricas se encuentran principalmente dentro de la zona fótica, predominando profundidades someras.

Especie/ tipo de banco	Ubicación	Superf. Há	Sustrato	Prof. (m)	Biomasa promedio (gr/m²)	Biomasa Máx. (gr/m ²)	Biomasa Mín. (gr/m²)	Densidad prom. (frondas/ m ²)	Densidad Máx. (frondas/ m ²)	Densidad Máx. (frondas/ m ²)	Fuente
	Punta Choros							3,5			Thiel & Vásquez 2000
	Playa Blanca		Rocoso	12					0,5	1	Buschmann et al. 2004b
Macrocystis	San Lorenzo		Rocoso	12					0,5	1,25	Buschmann et al. 2004b
integrifolia	Punta Choros		Rocoso	12					0,5	1	Buschmann et al. 2004b
	Península de Mejillones		Rocoso	2-14					0	0,6	Vega 2005
	Caleta Constitución			3					0,1	0,6	Vásquez et al. 2006

Figura 101. Praderas de *Macrocystis integrifolia* en Chile, extensión batilitológica y parámetros señalados como indicadores de agregación (Molinet et al., 2005)

3.1.2.5.4.3. Salinidad

Las variaciones en salinidad que se encuentran en el océano son consecuencia del origen de las masas de agua y su proximidad a desembocadura de cursos de aguas continentales. En general, la economía en el uso del agua en las algas marinas parece no presentar mayores desafíos de regulación u homeostasis, dado que estas especies han adaptado su fisiología y morfología para sobrevivir en el ambiente que habitan (Edding et al., 2006). Un análisis de las diferencias morfológicas de las algas y su posición en el hábitat que ocupan revela la existencia de una estrategia de costo/ beneficio en la que la planta adapta su funcionalidad y estructuras al ambiente que ocupa cada una de las especies (Littler & Littler, 1980). Si bien no existen antecedentes directos para las algas pardas, esta relación de compromiso se ha evidenciado en otras especies de algas como en el alga polimórfica Caulerpa, donde se ha observado aumentos en complejidad morfológica, condicionada por la disponibilidad de nutrientes en el ambiente (Gacia et al., 1996).

Por otra parte, los procesos reproductivos en muchas especies de algas dependen de las condiciones del ambiente. Factores como la desecación, el movimiento del agua, la luz y la temperatura pueden provocar en el alga la liberación de esporas. Santelices (2002), ha

encontrado que la salinidad puede afectar la poliespermia y viabilidad de los gametos, o el movimiento del agua provocar su dilución. La germinación de las esporas también puede necesitar de condiciones ambientales apropiadas en el caso de carpoesporas de Hypnea observadas en el laboratorio (Edding et al., 2006). Otro efecto potencial puede ser alteraciones en la tasa y eficiencia de la fotosíntesis.

3.1.2.5.4.4. Nutrientes

Los nutrientes son elementos fundamentales para el crecimiento de las algas. Estos presentan diferentes denominaciones de acuerdo a su concentración, siendo denominados macronutrientes aquellos nutrientes que se encuentran en el agua de mar en concentraciones superiores a 0, 02 mmol Kg⁻¹. Por otra parte, los micronutrientes se encuentran en concentraciones desde 0,5 x 10-6 mmol Kg⁻¹ (Figura 102).

Elemento	Concentración en el agua	promedio de Mar	Concentración en materia seca		
	(mmM Kg ⁻¹)	(µg g ⁻¹)	Promedio y rango (µg g ⁻¹)		
Macronutrientes					
н	105.000	10.500	49.500	(22.000 - 72.000)	
Mg	53,2	1.293	7.300	(1.900 – 66.000)	
S	28,2	904	19.400	(4.500 - 8.200)	
к	10,2	399	41.100	(30.000 - 82.000)	
Ca	10,3	413	14.300	(2.000 - 360.000)	
С	2,3	27,6	274.000	(140.000 – 460.000)	
В	0,42	4,5	184	(15 – 910)	
Ν	0,03	0,42	23.000	(500 - 65.000)	
Р	0,002	0,071	2.800	(300 – 12.000)	
Micronutrientes					
Zn	6 x 10 ⁻⁶	0,0004	90	(2 – 680)	
Fe	1 x 10 ⁻⁶	0,00006	300	(90 – 1.500)	
Cu	4 x 10 ⁻⁶	0,0002	15	(0,6 - 80)	
Mn	0,5 x 10 ⁻⁶	0,00003	50	(4 - 240)	

Figura 102. Concentración de elementos esenciales en el agua de mar y en algas (Edding et al., 2006)

La captación de estos iones desde el mar por las células de las algas es dependiente de sus concentraciones, del movimiento del agua, la temperatura, la salinidad y también de la disponibilidad de estos nutrientes en los tejidos de las algas (Edding et al., 2006). Si bien las algas tienen la capacidad de almacenamiento de nutrientes a nivel celular, en los mares templados existe fluctuación en la disponibilidad de nutrientes, por lo que pueden llegar a ser limitantes para el desarrollo y funcionamiento fisiológico, limitando el crecimiento de las algas (Edding et al., 2006). Esta situación se presenta habitualmente a fines del verano cuando el aporte de nutrientes de las masas de agua es pobre, lo que puede reflejarse en distintos procesos como el crecimiento y la fertilidad (Murúa, 2010).

3.1.2.5.4.5. El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

Los efectos de eventos El Niño sobre las comunidades litorales en el norte del país están ampliamente documentados a partir de la ocurrencia del Niño de 1982/83 (i.e., en Soto, 1985; Tomicic, 1985; Arntz, 1986). Se han descrito fuertes desprendimientos de algas en asociación con la ocurrencia del fenómeno El Niño, que además de alterar las condiciones físico-químicas de las algas, provoca un impacto ecológico de gran magnitud, cuyos procesos de recuperación se estiman en un tiempo no inferior a los diez años (Vásquez, 1999). Los antecedentes disponibles señalan que las algas laminariales prácticamente desaparecieron durante dicho evento, en especial Lessonia nigrescens y Macrocystis integrifolia producto de sus niveles de emersión, mientras que Lessonia trabeculata presentó una menor tasa de mortalidad. Producto de la desaparición casi absoluta de estas algas se generaron distintas hipótesis respecto a la dinámica esperada para el repoblamiento natural de estas algas, postulándose que el repoblamiento debería ser gradual de sur a norte a partir de poblaciones al sur del área de impacto, y sobre la base de "poblaciones aisladas" (individuos) que sobrevivieron al impacto (González et al., 2002). Sin embargo, posterior al año 1983 se pudo observar una mayor recuperación al norte de Iquique de las poblaciones de Lessonia nigrescens, con una recuperación completa para fines de la década de 1990 en sectores como Mejillones y caleta Buena en Pisagua. De igual forma, sectores al sur experimentaron una recuperación desde puntos en los que se observó sobrevivencia de *Lessonia*. Como resultado de este proceso de recuperación desde puntos fuente de propágulos, a fines de la década de 1990 la recuperación era incompleta y circunscrita a sitios focalizados del litoral.

Durante el evento El Niño de 1997-1998 la población de Lessonia nigrescens en Mejillones del Norte presentó una mortalidad del 61,4% (Oliva, 1988). Sin embargo, de la fracción presente sólo el 1,3% representaba plantas normales y el 16,9% algas con menos del 50% de estipes cortados, lo que permitió proyectar que sólo el 18% de las plantas sobrevivientes a marzo persistirían en meses sucesivos, siendo corroborado posteriormente (Oliva, 1988). Estimaciones de abundancia poblacional realizadas entre Iquique y Mejillones sugieren que existiría un segundo componente, adicional a la onda cálida que se proyecta desde el norte (González et al., 2002). Así, en el área aledaña al río Loa existe normalmente una lengua cálida que se proyecta a la costa con un comportamiento estacional, ello sugiere que durante un Niño los primeros impactos se evidenciarían por el norte en Arica y por el sur en el sector Loa – Tocopilla, lo que se sustenta por la cantidad de materia algal varada en el litoral de Arica - Mejillones en días posteriores al impacto de la onda cálida (González et al., 2002). Un estudio de los factores biológicos que potencialmente estarían afectando la velocidad de preinstalación de los huirales en la zona norte de Chile determinó que la presencia de algas Corallinaceae spp incrustantes inhibe la colonización de Lessonia nigrescens en presencia de herbívoros, siendo la muda del epitalo de las Corallinaceae spp la causa probable de esta inhibición. Por otra parte existe una presencia constante de herbívoros como chitones y erizos que estarían alimentándose de Corallinaceas y de reclutas de Lessonia nigrescens, impidiendo la recuperación de las praderas (Camus, 1994a,b).

Se han propuesto dos posibles rutas para el reclutamiento de *Lessonia nigrescens*, una en la que recluta sobre *Corallinaceas* incrustantes, lo que implica una baja velocidad de colonización posiblemente reforzada por la acción de los herbívoros (Camus, 1994b). Sólo aquellas pocas plantas que puedan colonizar el substrato y ser capaces de escapar a la herbivoría por tamaño podrán estimular la colonización del sector por parte de sus propios propágulos, a través de un efecto de fuente local. La segunda ruta sería el reclutamiento

sobre frondas erectas de C. officinalis, seguido de un crecimiento y sobrecrecimiento de la planta C. officinalis y una posterior muerte. Dada la estrecha relación de factores bióticos y abióticos en la respuesta frente a los procesos de extinción sufridos por las poblaciones de Lessonia nigrescens de la zona norte de Chile, se ha sugerido que se debe tener en cuenta que este fenómeno es parte integral del sistema, lo que lo diferencia de las pérdidas en biodiversidad causadas por fenómenos de origen antrópico (cambio global, fragmentación de hábitat) (Camus, 1994). Además, se ha sugerido que las incursiones de Lessonia trabeculata como parches en los huirales intermareales de Lessonia nigrescens, pueden tener relación con el fenómeno de El Niño 1982-1983 (Camus et al., 1991). Por otra parte, en el caso de *Macrocystis integrifolia*, las poblaciones se recuperaron exitosamente después del evento de 1982 -1983, colapsando nuevamente en El Niño de 1997 - 1998. Sin embargo, dos años después de su desaparición masiva en el sector Mejillones - río Loa se observó un desarrollo considerable de sus praderas a dos años de su desaparición masiva. Esto entrega una estimación de la tasa de recuperación para esta especie. Las praderas naturales de algas pardas se caracterizan por albergar un gran número de especies, al igual que por su rol como áreas de reclutamiento y desove de numerosas pesquerías bentónicas de enorme valor socio-económico, incluyendo el loco, el erizo y las lapas. Por ello, se ha sugerido que este tipo de perturbaciones oceanográficas pueden tener un grave impacto en las poblaciones produciendo un efecto en cascada sobre la estructura y organización de las comunidades marinas intermareales y submareales (Vásquez, 1989; 1995; 1999; Vásquez & Santelices, 1990; Vega, 2005; Vega et al., 2005).

3.1.2.5.4.6. Resumen de procesos abióticos y bióticos relevantes para el hábitat de algas pardas.

La revisión bibliográfica identifica aquellas variables y los procesos (abióticos y bióticos) que afectan a las algas pardas en su hábitat natural. Entre ellos se incluyen variables como la temperatura, irradiancia, salinidad, profundidad y tipo de sustrato. Entre los procesos relevantes se destaca la variación estacional, intranual e interdecadal, como en el caso de eventos El Niño. Sumado a ellos, se debe considerar la incidencia de eventos de dispersión

y transporte de propágulos, los que usualmente se consideran como relativamente acotados. Esto sustenta los patrones de recuperación descritos para *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis integrifolia* después de eventos de extinción local. En la Figura 103 se resumen la extensión y duración característica de los fenómenos y procesos ambientales relevantes para las macroalgas pardas.

Al respecto, es importante señalar la importante heterogeneidad de escalas que afectan la distribución y dinámica de estas especies. Dada la complejidad y gran número de factores y procesos, se evidencia que estas especies enfrentan ambientes altamente variables y heterogéneos, con los impactos antrópicos superponiéndose a la variabilidad propia de estos sistemas.



Figura 103. Diagrama de Stommel resumiendo las escalas espaciales y temporales de los procesos ambientales relevantes para las macroalgas pardas (Modificado de Vance, 2007).

Por otra parte, usando como base la información biológica analizada, es posible plantear un modelo conceptual mediante un diagrama de Stommel, que resuma las escalas de espacio y tiempo relevantes para los procesos bióticos más importantes en el ciclo vital y dinámica poblacional de estas especies (Figura 104).



Figura 104. Diagrama de Stommel resumiendo las escalas espaciales y temporales de los procesos biológicos y de ciclo vital de las macroalgas pardas (Elaboración propia).

3.1.3. Recolección de información pesquera y ambiental

3.1.3.1. Información pesquera

La información pesquera solicitada al Fondo de Investigación Pesquera, consiste en cruceros de Reclutamiento, Evaluación de stock desovante, estudios de dinámica reproductiva, monitoreo de condiciones bio-oceanográficas y biológicas de las especies en estudio. Se reunió información a través de Cruceros de Reclutamiento (Figura 105) y de Evaluación de Stock desovante (Figura 106) para el recurso Anchoveta y jurel (Figura 107) a través del Fondo de Investigación Pesquera (FIP), los cuales se encuentran ingresados en la base de datos de EndNote, al igual que las referencias de los informe FIP para los recurso loco (Figura 108),chorito

Author	Year	h Title	Journal
Stotz	2007	Criterios de Explotación de Recursos Bentónicos Secundarios en Áreas de Manejo	INFORME FINAL PROYECTO FIP 2005-42
Ariz A.	2009	Plan de Manejo de las Pesquerías Bentónicas de la Zona Común de Extracción de Ancud, X Región	Informe Final Proyecto FIP Nº 2006-23
Eigu	m o 1	(0) y along mandag (Figure 110)	

Figura 109) y algas pardas (Figura 110).

	0	Author	Year	Title	Type of Work
		Castillo, Jorge	1996	Evaluación hidroacústica de los recursos sardina común y anchoveta en la zona centro sur	Informe Final Proyecto FIP-IT/ 95-08
		Cubillos, Luis	1996	Reproducción y reclutamiento de sardina común y anchoveta en la zona centro sur	Informe final Proyecto FIP 94-38
		Núñez, Sergio	1996	Condiciones oceanográficas que inciden en el reclutamiento de los recursos anchoveta y sardina común en la VIII región	Informe Final Proyecto FIP 95 -11
		Cubillos, Luis	1998	Evaluación Indirecta del Stock de Sardina común y anchoveta en la zona centro sur	Informe Final Proyecto FIP 96-10
	0	Barría, Patricio	1999	Evaluación indirecta y análisis de variabilidad del crecimiento de sardina común y anchoveta en la zona Centro-Sur	FIP 97-10 Informe Final
		Castillo, Jorge	2000	Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro sur	Informe Final Proyecto FIP-IT/ 99-13
		Castillo, Jorge	2001	Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro sur , año 2000	Informe Final Proyecto FIP 2000-9
		Castillo, Jorge	2003	Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2002	INFORME FINAL FIP Nº 2002-13
		Castillo, Jorge	2003	Evaluación hidracústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur,año 2002	INFORME FINAL FIP Nº 2001-13
		Castillo, Jorge	2004	Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2003	FIP N° 2003-08 Informe Final
		Castillo, Jorge	2005	Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004	PROYECTO FIP Nº 2004-05 Informe Final
		Castillo, Jorge	2009	Evaluación Hidroacústica del Reclutamiento de anchoveta y sardina común entre V y X Regiones, año 2008	FIP N° 2007-04 Informe Final
		Castillo, Jorge	2009	Evaluación Hidroacústica del Reclutamiento de Anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2009. FIP Nº 2008-03	Informe Final FIP 2008-03
		Castro, Leona	2009	Monitoreo de las Condiciones Bio-Oceanográficas en las VIII y IX Regiones, Año 2007	PROYECTOFIPNº2007-10 Informe Final
		Castillo, Jorge	2010	Evaluación Hidroacústica del Reclutamiento de Anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2010. FIP Nº 2009-04	Informe Final FIP 2009-04
		Hidalgo, Pam	2011	Monitoreo de las Condiciones Bio-Oceanográficas en las VIII y IX Regiones, año 2009	Informe Final FIP Nº 2009-39
		Castillo, Jorge	2012	Evaluación Hidroacústica del Reclutamiento de anchoveta y sardina común V y X, año 2012	FIP N° 2011-07, Informe Final
		Castillo, Jorge	2012	Evaluación Hidroacústica del Reclutamiento anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2011	FIP 2010-04 Informe Final
		Castillo, Jorge	2013	Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2013	FIP N° 2012-12 / Informe Final
		Saavedra, Ál	2014	Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2014	FIP 2013-05 Informe Final
- 1					

Figura 105. Cruceros de Reclutamiento de Anchoveta en la base bibliográfica EndNote.

Author	Year	Title	Type of Work
Alegría, Verónica	1995	Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona Norte (Regiones I y II). FIP Nº 93-17	informe final Proyecto FIP-IT/ 93-17
Arcos, Dagoberto	1995	Estudio Biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona centro-sur, V a IX Regiones	Informe Final Proyecto FIP-IT/ 93-18
Galleguillos, Ric	1995	Unidades de stock en los recursos Sardina común y anchoveta de la zona Centro sur	Informe Final Proyecto FIP 94-20
Cubillos, Luis An	1998	Evaluación Indirecta del Stock de Sardina común y anchoveta en la zona centro sur	Informe Final Proyecto FIP 96-10
Sepúlveda, Aqui	2000	Antecedentes biológicos del stock desovante de anchoveta y sardina común en la V a IX Regiones	Informe Final Proyecto FIP 97-04
Castillo, Jorge	2002	Evaluación hidroacústica del stock desovante de anchoveta y sardina común, centro-sur, 2001. FIP N° 2001-14	INFORME FINAL FIP N° 2001-14
Cubillos, Luis An	2003	Evaluación del Stock desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, Año 2002	INFORME Final Proyecto FIP 2002-14
Bernal, Claudio	2004	Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2003	FIP Nº 2003-06 Informe Final
Cubillos, Santan	2005	Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y la X Regiones, año 2004	FIP 2004-03 Informe Final
Cubillos, Santan	2006	Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2005	FIP Nº 2005-02 Informe Final
Cubillos, Luis; Ca	2008	Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2007	FIP Nº 2007-06
Cubillos, Luis	2009	Identificación de indicadores de dinámica poblacional y dinámica de la flota que opera sobre sardina común y anchoveta entre la IX y X región. FIP Nº 2007-25	Informe Final FIP 2007-25
Cubillos, Luis	2009	Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2008. FIP 2008-09	Informe Final FIP 2008-09
Cubillos, Santan	2009	Dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común, zona centro-sur año 2006	FIP Nº 2006-13 Informe Final
Cubillos, Luis	2010	Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina en la zona centro-sur, año 2009. FIP 2009-08	Informe Final FIP 2009-08
Cubillos, Luis; Ca	2011	Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010	FIP 2010-02 Informe Final
Cubillos, Luis; Ca	2013	Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2012	FIP 2012-09 Informe Final
Saavedra, Álvaro	2014	Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2014	FIP 2013-05 Informe Final
Cubillos, Luis	2015	Evaluación del stock desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2013. FIP Nº 2013-07	Informe Final FIP 2013-07

Figura 106. Cruceros de Evaluación de stock desovante de anchoveta en la base EndNote

0	Author	Year	Title	Type of Work
۲	Serra, Rodolfo	2014	Estructura poblacional del jurel. FIP N° 2010-18	Informe Final FIP N° 2010-18
	Hidalgo, Pamela	2011	Monitoreo de las Condiciones Bio-Oceanográficas en las VIII y IX Regiones, año 2009	Informe Final FIP Nº 2009-39
	Serra, Rodolfo	2010	Estudio de migración de jurel en Chile (Fase I), 2007. FIP Nº 2007-27	Informe Final FIP N° 2007-27
	Córdova, José	2007	Evaluación hidroacústica del jurel en la región oceánica de la I y II Regiones	Informe Final FIP 2006-08
	Braun, Mauricio	2007	Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas entre la V y IV Regiones, año 1996	FIP 2006-01 Informe Final
	Sepúlveda, Aqui	2006	Condición Biológica del Jurel en Alta mar 2006	Informe Final Proyecto FIP 2006-05
	Córdova, José	2005	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, invierno, año 2004	INFORME FINAL FIP N° 2004-06
	Córdova, José	2004	Evaluación hidroacústica del recurso jurel entre la V y X Regiones, año 2003	INFORME FINAL FIP N° 2003-02
	Cubillos, Luis An	2003	Condición Biológica del Jurel en alta mar, año 2001	INFORME FINAL FIP 2001-12
	Córdova, José	2003	Evaluación hidroacústicade jurel en la ZEE de Chile, año 2002	INFORME FINAL FIP N° 2002-02
	Barbieri, María	2003	Pesca de Investigación Determinación de la distribución espacial de jurel entre la V y X regiones Otoño e invierno 2003	
	Cubillos, Luis	2002	Condición Biológica del Jurel en alta mar, Año 2000	INFORME FINAL FIP 2000-10
	Córdova, José	2002	Evaluación Hidroacústica del Jurel en la ZEE de Chile , año 2001	Informe Final proyeto FIP 2001-02
	Sepúlveda, Aqui	2001	Condiciones Biológicas del jurel en alta mar	Informe Técnico FIP 99-14
	Córdova, José	2001	Evaluación Hidroacústica del Jurel en la ZEE de Chile , año 2000	Informe Final proyeto FIP 2000-03
	Barria, Patricio	2001	Monitoreo de la captura de jurel, 1999	Informe Final Proyecto FIP-IT /99-02
	Barria, Patricio	2001	Monitoreo de la captura de jurel, año 2000	Informe Final Proyecto FIP 2000-02
	Serra, Rodolfo	1999	Bases biológicas para prevenir la sobreexplotación en el recurso jurel	Informe Final Proyecto FIP-IT/ 96-16
	Córdova, José	1999	Evaluación Hidroacústica del Jurel en la ZEE de Chile	Informe Final proyeto FIP 98-11
	Barría, Patricio	1999	Monitoreo de la captura de jurel en la zona centro-sur	Informe Final Proyecto FIP 98-01
	Sepúlveda, Aqui	1998	Migración del Jurel desde y hacia la ZEE de Chile central	Informe Final Proyecto FIP-IT / 96-15
	Peña, Héctor	1998	Dinámica espacial y temporal de las zonas de pesca del jurel en Chile centro-sur y su relación con procesos ambientales	FIP 97-06 INFORME FINAL
	Cubillos, Luis	1998	Validación de los métodos aplicados en la determinación de la edad y el crecimiento, y determinación de la edad de jurel en la zona centro sur	Informe Final Proyecto FIP-IT / 95-10
	Córdova, José	1998	Evaluación Hidroacústica del recurso Jurel en las Regiones V a IX	Informe Final Proyecto FIP- IT / 96-13
	Barbieri, Belloli	1998	Análisis de la estructura del stock jurel fuera de las aguas jurisdicionales	Informe Final Proyecto FIP- IT/ 97-05B
	Böhm, Gabriela;	1996	Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca de las unidades de pesqueria de jurel de la zona centro-sur y norte	Informe Final Proyecto FIP-IT/ 93-22
	Arcos, Dagoberto	1996	Evaluación del stock de jurel a nivel subregional	Informe Final Proyecto FIP-IT/ 95-09
0	Arancibia,Hugo	1996	Unidades de stock en el recurso jurel de la I a XI Regiones	Informe Final Proyecto FIP-IT/ 94-19
	Quiñones, Renato	1995	Evaluación Hidroacústica del stock de jurel en la zona centro sur, V a IX regiones	InformeFinal Proyecto FIP-IT/94-12
	Arcos, Dagoberto	1995	Estudio Biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona centro-sur, V a IX Regiones	Informe Final Proyecto FIP-IT/ 93-18
0	Alegría, Verónica	1995	Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona Norte (Regiones I y II). FIP N° 93-17	informe final Proyecto FIP-IT/ 93-17
	Serra, Rodolfo	1994	Evaluación directa del stock de jurel en la zona centro sur	Informe final proyecto FIP 93-02

Figura 107. Informes FIP del recurso jurel ingresadas a la base de datos EndNote.

Author	Year	A Title	lournal
Robotham V.	1994	Monitoreo de la pesquería y evaluación indirecta del stock de loco (I a XII Regiones)	Informe Final Proyecto FIP Nº 93-07
Robotham V.	1995	Evaluación de la pesquería y del stock de loco a nivel nacional	Informe Final Proyecto FIP Nº 94-07
Robotham V.	1996	Evaluación indirecta del stock del recurso loco a nivel nacional	Informe Final Proyecto FIP Nº 95-22B
Robotham V.	1996	Monitoreo y análisis de la pesquería del recurso loco a nivel nacional	Informe Final Proyecto FIP Nº 95-22B
Bore R.	1998	Distribución espacial de los recursos pesqueros existentes en la zona de reserva artesanal de la V y VIII Región	Informe Final Proyecto FIP Nº 96-50
Young U.	1998	Monitoreo de la pesquería del recurso loco a nivel nacional, 1997	Informe Final Proyecto FIP Nº 97-26
YOUNG U.	1999	Monitoreo de la pesquería del recurso loco	Informe Final Proyecto FIP Nº 98-04
Stotz Uslar	2000	Formulación de una metodología para el estudio de edad y crecimiento en el recurso loco	Informe Final Proyecto FIP Nº 97-36
TAPIA J.	2003	Ordenación espacio temporal de la actividad extractiva artesanal entre la I y IV Regiones	INFORME FINAL Proyecto FIP 2001-25
GONZÁLEZ Y.	2005	Caracterización ecológica y pesquera del área de reserva artesanal entre la I y II Regiones	INFORME FINAL FIP N° 2003-22
Stotz	2006	DISEÑO DE PLAN PILOTO DE ORDENAMIENTO ESPACIAL PARA PESQUERÍAS BENTÓNICAS EN LA IV REGIÓN	INFORME FINAL PROYECTO FIP 2003-15
Melo Fuentes	2007	CARACTERIZACION DEL FONDO MARINO ENTRE LA III Y X REGIONES	INFORME FINAL Proyecto FIP No 2005-61
Sobenes V.	2007	DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SEGUIMIENTO DE VARIABLES DE OPERACIÓN Y SOCIOECONÓMICAS DEL SECTOR PESQUERO ARTESA	Informe Final Proyecto FIP Nº 2005-32
Stotz Uslar	2007	Criterios de Explotación de Recursos Bentónicos Secundarios en Áreas de Manejo	INFORME FINAL PROYECTO FIP 2005-42
Gajardo G.	2008	Caracterización Genética de los Principales Recursos Pesqueros de Chile	Informe Final Proyecto FIP Nº 2006-52
Gaymer Garcia	2008	EVALUACION DE LINEA BASE DE LAS RESERVAS MARINAS "ISLA CHAÑARAL" E "ISLA CHOROS- DAMAS"	INFORME FINAL PROYECTO FIP 2006-56
Espinoza Alvarado	2010	Regularización cartográfica de áreas de manejo decretadas a nivel nacional	Informe Final Proyecto FIP Nº 2008-29
Ariz Abarca	2012	Evaluación del Impacto del Terremoto y Tsunami sobre Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) Continentales, en la Región del Bio Bio	Informe Final Proyecto FIP Nº 2010-19

Figura 108. Informes FIP del recurso loco ingresadas a la base de datos EndNote.

Author	Year 🔺	Title	Journal
Stotz	2007	Criterios de Explotación de Recursos Bentónicos Secundarios en Áreas de Manejo	INFORME FINAL PROYECTO FIP 2005-42
Ariz A.	2009	Plan de Manejo de las Pesquerías Bentónicas de la Zona Común de Extracción de Ancud, X Región	Informe Final Proyecto FIP Nº 2006-23

Figura 109. Informes FIP del recurso chorito ingresadas a la base de datos EndNote.

Author	Year	▲ Title	Journal
GONZÁLEZ	2002	Estrategias de explotación Sustentable Algas Pardas	INFORME FINAL PROYECTO FIP Nº 2000-19
ÁVILA	2005	Evaluación y manejo de praderas de feófitas en la Provincia de Arauco	INFORME FINAL PROYECTO FIP N° 2003-19
Mansilla	2007	BASES BIOLÓGICAS PARA EL MANEJO DE MACROALGAS PARDAS EN LA XII REGIÓN	INFORME FINAL PROYECTO FIP Nº 2005-44
Molinet	2007	VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE BANCOS NATURALES DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS Y PRADERAS DE ALGAS	PRE-INFORME FINAL PROYECTO FIP Nº 2005-14
Vásquez	2008	DIAGNÓSTICO BIOLÓGICO PESQUERO DEL RECURSO ALGAS PARDAS EN LA V Y VI REGIÓN, BASES PARA LA FORMULACIÓN DE UN PLAN DE ADMINISTRACIÓN	INFORME FINAL PROYECTO FIP No 2006-25
Vásquez	2008	BASES ECOLÓGICAS Y EVALUACIÓN DE USOS ALTERNATIVOS PARA EL MANEJO DE PRADERAS DE ALGAS PARDAS DE LA III Y IV REGIONES	INFORME FINAL PROYECTO FIP No 2005-22
Vásquez	2010	EVALUACIÓN DE LA BIOMASA DE PRADERAS NATURALES Y PROSPECCIÓN DE POTENCIALES LUGARES DE REPOBLAMIENTO DE ALGAS PARDAS EN LA COST	INFORME FINAL PROYECTO FIP No 2008-38

Figura 110. Informes FIP del recurso algas pardas ingresadas a la base de datos EndNote.

La información pesquera solicitada al FIP, fue entregada en formato .dbf y .xls. A continuación se indican los Proyectos FIP y el contenido de sus bases de datos, para aquellos proyectos asociados a especies pelágicas. En el caso de las especies bentónicas, la identificación del contenido y temas de interés se encuentran en desarrollo.

FIP 2001-12 Cubillos, L.A., Condición Biológica del Jurel en alta mar, año 2001.
 2003.

Bitácora con los registros de ecotrazos del crucero.

Bitácora con los registros de clorofila total (mg/l)

Bitácora con todos los datos de los lances de plancton y el número de huevos y larvas de jurel encontrados

Planilla con la distribución de frecuencia de tallas encontrada en cada lance de pesca

Datos biológicos de las muestras de jurel: Peso (g), LH (cm), sexo, EMS

Datos de fecundidad parcial de hembras de jurel

Análisis del contenido estomacal de jurel

Recuento de los estadios de desarrollo de jurel identificados en cada lance de plancton Planilla con los datos de la condición reproductiva de hembras (EMS microscópico, IGS)

• FIP 2006-05 Sepúlveda, A., Condición Biológica del Jurel en Alta mar 2006.

Datos biológicos de las muestras de jurel: Peso (g), LH (cm), sexo, EMS Bitácora con los datos oceanográficos (Temperatura, Salinidad, Densidad y Oxígeno) Planilla con la lectura de los anillos de crecimiento (otolitos). Recuento de los estadios de desarrollo de jurel identificados en cada lance de plancton Análisis del contenido estomacal de jurel Datos de fecundidad parcial de hembras de jurel Planilla con la distribución de frecuencia de tallas encontrada en cada lance de pesca Histología de las gónadas de hembras de jurel Bitácora con todos los datos de los lances de plancton y el número de huevos y larvas de jurel encontrados

FIP 2006-13 Cubillos, S.L., *Dinámica reproductiva de anchoveta y sardina común, zona centro-sur año 2006.*

Datos biológicos macroscópicos zona sur Datos biológicos macroscópicos zona norte Fecundidad Parcial Hembras Maduras Sep De Anchoveta Datos biológicos microscópicos

FIP 2007-06 Cubillos, L., L. Castro, & G. Claramunt, *Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2007.*

Crucero De Huevos De Anchoveta Fecundidad Parcial Hembras Maduras De Anchoveta Oceanografia Proporcion Sexual En Peso Anchoveta

FIP 2010-02 Cubillos, L., L. Castro, & G. Claramunt, Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010.
Captura, especie dominante
Estado de desarrollo

Longitud Peso Sexo

Adicionalmente, se obtiene información del **Programa de Recolección y Almacenamiento de Datos Pesqueros** del Instituto de Fomento Pesquero que monitorea los principales recursos pesqueros de Chile. El análisis de los datos operacionales permite la evaluación de la distribución espacio-temporal de las capturas totales de las especies objetivo por zona de pesca, junto con el esfuerzo de pesca y los rendimientos o captura por unidad de esfuerzo (CPUE).

3.1.3.1.1. Jurel frente a Chile

3.1.3.1.1.1. Huevos

La información recolectada de huevos de jurel representa registros diarios georreferenciados de abundancia (N°Huevos/10 m²) observada en cruceros a bordo de naves pesqueras durante noviembre de 2001 y 2006. La base datos espacio-temporal se presenta en formato de planillas Excel (Figura 111) y consiste en datos diarios de la posición geográfica (latitud, longitud) de la captura de huevos, número de huevos de jurel por cada 10 m². La base datos espacio-temporal de huevos de jurel contiene 739 registros.

PAM	LANCE	DIA	MES	AÑO	LATITUD	LONGITUD	TSM	NHJ/10M2
Tricahue	1	19	11	2001	3242	7500	16	531
Tricahue	3	19	11	2001	3242	7543	16	35
Tricahue	4	19	11	2001	3242	7603	16	71
Tricahue	5	19	11	2001	3242	7625	17	71
Tricahue	6	19	11	2001	3242	7646	17	283
Tricahue	7	19	11	2001	3242	7708	17	106
Tricahue	8	19	11	2001	3242	7730	18	71
Tricahue	24	21	11	2001	3242	8312	17	35
Tricahue	25	21	11	2001	3242	8333	17	71
Tricahue	26	21	11	2001	3242	8354	17	318
Tricahue	27	21	11	2001	3242	8416	17	778

Figura 111. Ejemplo de base de datos espacio-temporal de jurel en formato planilla Excel.

Con la información recolectada de abundancia (N° de huevos / 10 m^2) de huevos de jurel frente a Chile durante noviembre de 2001 y 2006, se generan mapas de distribución en el SIG como se muestra en la Figura 112. Se observa una disminución en la abundancia de huevos entre 2001 y 2006.



Figura 112. Abundancia (N° huevos / 10 m²) de huevos de jurel en la zona centro-sur durante noviembre de a) 2001 y b) 2006.

3.1.3.1.1.2. Capturas

Con la información pesquera recolectada durante los primeros meses del proyecto se construyen, actualizan y validan las bases de datos pesqueras espacio-temporales de jurel frente a Chile. La investigación se limita al período 2001-2012, dado que ahí fueron establecidas las cuotas individuales de pesca (CIP) por el gobierno chileno para regular el

sector pesquero de recursos pelágicos pequeños. Las CIP cambiaron la información pesquera operacional y niveles de esfuerzo pesquero por lo cual se selecciona este período como representativo del régimen actual.

La información representa registros mensuales (2001-2012) georreferenciados de captura (ton), esfuerzo y CPUE de Jurel en Chile. La base datos pesquera espacio-temporal se presenta en formato de planillas Excel (Figura 113), las cuadrículas de pesca tienen una resolución espacial de 10' de latitud x 10' de longitud y consisten en datos mensuales de la posición geográfica, capturas totales (ton) y esfuerzo de pesca (capacidad de bodega acumulada) por cuadrícula con pesca. La base datos espacio-temporal de jurel contiene 10965 registros de pesca.

id	year	mes	season	long	lat	cua	captura	capbod
1343	2001	1	1	-70.75	-18.75	34	29	389.44
1344	2001	1	1	-70.5833333	-18.9166667	40	19	419.39
1345	2001	1	1	-70.4166667	-19.0833333	52	61	1967.1
1346	2001	1	1	-70.5833333	-20.0833333	113	21	490
1347	2001	1	1	-70.4166667	-20.75	150	32	763.32
1348	2001	1	1	-70.4166667	-20.9166667	159	23	789.58
1349	2001	1	1	-70.25	-21.0833333	172	62	2496.17
1350	2001	1	1	-70.4166667	-21.0833333	173	190	6696.16
1351	2001	1	1	-70.9166667	-21.0833333	176	10	372.9
1352	2001	1	1	-70.25	-21.25	181	10	490
1353	2001	1	1	-70.4166667	-21.25	182	108	1466.62
1354	2001	1	1	-70.4166667	-22.25	243	457	2690
1355	2001	1	1	-70.5833333	-22.25	244	43	373.88
1356	2001	1	1	-70.4166667	-22.4166667	251	266	1608.13

Figura 113. Ejemplo de base de datos espacio-temporal de jurel en formato planilla Excel.

A partir de esta base de datos, se calculó la CPUE mediante la relación de Captura / Esfuerzo y se utiliza como un índice de abundancia relativa. Para el jurel, la CPUE se calculó como la captura total (ton) por capacidad de bodega (100 m³) en una cuadrícula de pesca de 10 'x 10', integrada en un mes de actividad pesquera. Con la base datos en Excel se crean archivos de texto (ASCII) mensuales por año del tipo XYZ (X: longitud, Y: latitud y Z: número de la cuadrícula de pesca) los cuales son importados al SIG IDRISI Selva con la función XYZIDRIS que permite importar archivos ASCII. Se programan macro comandos en lenguaje IDRISI para automatizar la importación y espacialización de los datos dado el 231 volumen de información, por ejemplo para importar y generar mapa con los datos de enero a marzo de 2001 el IDRISI command macro es:

xyzidris x 1 1 2001-01-jurel.txt 2001-01-jurel latlong deg 1.0 xyzidris x 1 1 2001-02-jurel.txt 2001-03-jurel latlong deg 1.0 COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rst 2001-01-jurel.rst COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rst 2001-02-jurel.rst COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rst 2001-03-jurel.rst COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rst 2001-03-jurel.rst COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rdc 2001-03-jurel.rdc COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rdc 2001-02-jurel.rdc COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rdc 2001-02-jurel.rdc COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rdc 2001-03-jurel.rdc COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rdc 2001-03-jurel.rdc COPY X C:\Users\Claudio\Documents\Proyecto-FONDEF2013\Imag-Jurel\base-jurel.rdc 2001-03-jurel.rdc rastervector x 1 1 2001-01-jurel 2001-01-jurel 1 rastervector x 1 1 2001-02-jurel 2001-02-jurel 1 rastervector x 1 1 2001-03-jurel 2001-03-jurel 1

Como resultado de la importación y espacialización de los datos se obtienen imágenes raster mensuales de la captura, esfuerzo y CPUE. A modo de ejemplo, en la Figura 114 se muestra la distribución espacial de la captura, esfuerzo pesquero y CPUE de jurel durante enero 2001 generado con el SIG IDRISI.



Figura 114. Ejemplo de la distribución espacial de la captura, esfuerzo pesquero y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de jurel durante enero 2001 generado con el SIG IDRISI.

En la Figura 115 se muestra la distribución espacial de la CPUE promedio de jurel para el período 2001-2011. Como señaló Bigelow et al. (1999), la CPUE representa el "éxito" de la pesca (Ricker, 1975) y se utiliza sobre todo para investigar las tendencias en la abundancia de recursos. Sin embargo, además de su relación con la abundancia, también se ve afectada por factores tales como el grado de dispersión de los recursos y la estrategia de pesca (He et al., 1997). Por lo tanto, este índice puede ser considerado una medida de la abundancia relativa aparente (Marr, 1951) o una cantidad relativa al número de peces de una población, como afectada por la disponibilidad, capturada por unidad de esfuerzo.



Figura 115. Distribución espacial de la CPUE (ton/100 m³) promedio de jurel para el período 2001-2011.

3.1.3.1.2. Anchoveta zona centro-sur

3.1.3.1.2.1. Huevos

La información recolectada de huevos de anchoveta representa registros diarios georreferenciados de abundancia (N°Huevos/0.05 m²) observada en cruceros MPDH (Método de la Producción Diaria de Huevos) a bordo de naves pesqueras durante agosto y noviembre de 2002 hasta 2012 (11 años). La base datos espacio-temporal se presenta en formato de planillas Excel (Figura 116) y consiste en datos diarios (día, mes, año) de la posición geográfica (latitud, longitud) de los lances de captura de huevos, número de huevos de anchoveta por cada 0.05 m². La base datos espacio-temporal de huevos de anchoveta contiene 739 registros.

Dia	Mes	Year	Angulo	Cable	Ecosonda	Time	Lat	Long	Temp	Depth	Efarea	I.	Ш	III	IV	V	١	/1	VII	VIII	IX	Х	Х	De	st Toter	zgs
18	8	2002	0	70	106	18.9833333	-33	-71.6333333	12.4	106	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	5	71	124	19.6333333	-33	-71.6666667	12.5	124	0.05019099	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	0	70	140	19.9666667	-33	-71.7166667	12.4	140	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	0	70	155	20.4833333	-33	-71.75	12.4	155	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	0	70	286	20.8166667	-33	-71.7833333	12.4	286	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C	- 1	D	0	0	0
18	8	2002	0	70	530	21.4333333	-33	-71.8333333	12.2	530	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	0	70	102	17.5	-33.1666667	-71.7333333	12	102	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	0	73	127	16.8833333	-33.1666667	-71.7666667	12.5	127	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	0	70	130	16.5	-33.1666667	-71.8	12	130	0.05	0)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	0	70	200	15.8333333	-33.1666667	-71.85	12.5	200	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C	- 1	D	0	0	0
18	8	2002	15	74	482	15.1333333	-33.1666667	-71.8833333	12.5	482	0.05176381	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	0	70	727	14.5833333	-33.1666667	-71.9333333	12.5	727	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	0	50	79	9.8	-33.3333333	-71.6833333	12.2	79	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C	- 1	D	0	0	0
18	8	2002	0	70	100	10.25	-33.3333333	-71.7166667	12.3	100	0.05	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	15	70	121	10.75	-33.3333333	-71.75	12.7	121	0.05176381	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	15	74	130	11.15	-33.3333333	-71.8	13	130	0.05176381	C)	0	0	0	0	0	0	0	C		D	0	0	0
18	8	2002	5	71	144	11.7166667	-33.3333333	-71.8333333	12.5	144	0.05019099	C)	0	0	0	0	0	0	0	C	(D	0	0	0

Figura 116. Ejemplo de base de datos espacio-temporal de anchoveta en formato planilla Excel. NHJ: Número de huevos de anchoveta.

Con la información recolectada de abundancia (N° de huevos / 0.05 m^2) de huevos de anchoveta frente a Chile durante noviembre de 2001 y 2006, se generan mapas de distribución en el SIG como se muestra en la Figura 117.



Figura 117. Abundancia total de huevos de anchoveta en la zona centro-sur.

3.1.3.1.2.2. Capturas

Se construyen, actualizan y validan las bases de datos pesqueras espacio-temporales de anchoveta en la zona centro-sur de Chile. La investigación se limita al período 2001-2012, dado que ahí fueron establecidas las cuotas individuales de pesca (CIP) por el Gobierno chileno para regular el sector pesquero de recursos pelágicos pequeños. Las CIP cambiaron la información pesquera operacional y niveles de esfuerzo pesquero por lo cual se selecciona este período como representativo del régimen actual.

La información representa registros mensuales (2001-2012) georreferenciados de captura (ton), esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo CPUE de anchoveta en la zona centro-sur de Chile. La base datos pesquera espacio-temporal se presenta en formato de planillas

Excel (Figura 118), las cuadrículas de pesca tienen una resolución espacial de 10' de latitud x 10' de longitud y consisten en datos mensuales de la posición geográfica, capturas totales (ton) y esfuerzo de pesca (capacidad de bodega acumulada) por cuadrícula con pesca. La base datos espacio-temporal de jurel contiene 2397 registros de pesca.

year	mes	long2	lat2	cua	сарсиа	capbodg
2001	1	-73.4166667	-39.9166667	1341	14	85.2
2001	2	-71.75	-33.5833333	974	3	17
2001	2	-71.75	-33.75	985	4	18
2001	3	-71.75	-33.5833333	974	31	18
2001	3	-71.75	-33.75	985	1370	5501.415
2001	3	-72.9166667	-36.25	1154	31	74.9
2001	3	-72.9166667	-36.4166667	1161	223	394.05
2001	3	-72.9166667	-36.5833333	1173	320	971.805
2001	3	-73.0833333	-36.5833333	1174	92	170.9
2001	3	-73.25	-36.75	1181	32	79.97
2001	4	-71.75	-33.5833333	974	24	126.355
2001	4	-71.75	-33.75	985	788	4034.255

Figura 118. Ejemplo de base de datos espacio-temporal de anchoveta en formato Excel.

Se estimó el índice de abundancia relativa CPUE mediante la relación de Captura / Esfuerzo. Para la anchoveta, la CPUE se calculó como la captura total (ton) por capacidad de bodega (100 m³) en una cuadrícula de pesca de 10' x 10', integrada en un mes de actividad pesquera. Con la base datos en Excel se crean archivos de texto (ASCII) mensuales por año del tipo XYZ (X: longitud, Y: latitud y Z: número de la cuadrícula de pesca) los cuales son importados al SIG IDRISI Selva con la funciones XYZIDRIS, COPY y RASTERVECTOR.

Como resultado de la importación y espacialización de los datos se obtienen imágenes raster mensuales de la captura, esfuerzo y CPUE. A modo de ejemplo, en la Figura 119 se muestra la distribución espacial de la captura, esfuerzo pesquero y CPUE de anchoveta durante febrero 2003 generado con el SIG IDRISI.



Figura 119. Ejemplo de la distribución espacial de la captura, esfuerzo pesquero y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de anchoveta durante febrero 2003 generado con el SIG IDRISI.

En la Figura 120 se muestra la distribución espacial de la CPUE promedio de anchoveta para el período 2001-2011 en la zona centro-sur de Chile.



Figura 120. Distribución espacial de la CPUE (ton/100 m³) promedio de anchoveta para el período 2001-2011.

3.1.3.2. Información ambiental

3.1.3.2.1. Base datos ambientales proyectos

• FIP 2007-06 Cubillos, L., L. Castro, & G. Claramunt, Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2007.

Oceanografía

 FIP 2007-10 Castro, L., Monitoreo de las Condiciones Bio-Oceanográficas en las VIII y IX Regiones, Año 2007. Presión Temperatura Salinidad Densidad Oxígeno

• **FIP 2010-02** Cubillos, L., L. Castro, & G. Claramunt, *Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010.*

Presión Temperatura Salinidad Densidad Oxígeno Conductividad

3.1.3.2.2. Información ambiental satelital

Se construyeron, actualizaron y validaron las bases de datos ambientales espaciotemporales (1980-2011) de imágenes satelitales mensuales del tipo raster (imágenes) o matrices georreferenciadas procesadas en formato SIG (Figura 121). La información ambiental satelital, resolución espacial y período de estudio son los siguientes: i) temperatura superficial del mar (TSM) de satélites NOAA y MODIS (4x4 km), ii) concentración de clorofila *a* (CLOA) combinado de satélites SeaWiFS, MODIS (4x4 km), iii) vientos obtenidos de intercalibrado CCMP L4 (satélites SSM/I, SSMIS, AMSR-E, TRMM TMI, QuikSCAT, SeaWinds, WindSat), y iv) anomalía de la altura del mar derivado de la integración de satélites Topex/Poseidon, Jason, ERS y ENVISAT (25x25 km).



Figura 121. Ejemplo de imágenes satelitales promedios mensuales (marzo 2009) de: a) temperatura superficial del mar, b) concentración de clorofila *a*, c) viento superficial del mar y d) anomalía del nivel del mar y corrientes geostróficas.

3.2 Objetivo específico ii) Caracterizar y elaborar un modelo conceptual de hábitat esencial asociado a cada uno de los recursos pesqueros de interés en sus distintas etapas de vida y sus conectividades.

3.2.1. Modelo conceptual del hábitat esencial del jurel frente a Chile

Se consideraron tres aspectos o planos para la elaboración del modelo conceptual de la pesquería del jurel: los aspectos biológicos, físico-ambiente y la pesquería. Los dos primeros permiten identificar el hábitat del recurso, geográfica y estacionalmente (mapa hábitat), por cada uno de los estadios de su desarrollo, además de incorporar variables tanto físicas como ambientales que influyen en estas etapas. El aspecto pesquería se refiere a la flota que opera en el jurel, el esfuerzo pesquero y al manejo y gestión que se realiza en la unidad de pesquería del recurso (Figura 122).

La descripción del hábitat se basa en el conocimiento generado con la revisión bibliográfica por recurso (capítulo 3.1.2. Revisión bibliográfica) y adicionalmente con la recolección y análisis de la información pesquera (huevos y capturas) y ambiental del proyecto (capítulo 3.1.3. Recolección de información ambiental y pesquera), se generan las matrices con niveles de información de hábitat esencial para el jurel frente a Chile (Tabla 16). Estas matrices de descripción de hábitat serán utilizadas para elaborar los modelos conceptuales que actualmente están en proceso.



Figura 122. Esquema de elaboración modelo conceptual de la pesquería pelágica Centro-Sur

3.2.1.1. Descripción del hábitat esencial por etapa de vida

3.2.1.1.1 Huevos y larvas

Las principales áreas de abundancia, de huevos y larvas, están comprendidas entre 32° - 39° S y los 74° y al oeste de los 86° W, con temperatura superficial del mar entre los 12.5-17°C y sobre los 16°C al norte de los 35°S, asociadas a índices de turbulencia entre 50-200 m³/s³; energía cinética < 50 cm²/s², vientos de 4 - 8 m/s (Tabla 16), con rotación anticiclónica, de intensidades más bajas hacia NW, presencia de meandros y remolinos de mesoescala al interior del área de desove, al oeste de los 80°W (Sepúlveda et al., 2009).

La extensión y localización de los núcleos de desove en esta área, son principalmente modulados por la distribución de masas de agua con temperaturas características de entre 15 y 18 °C, las que manifiestan desplazamientos latitudinales interanuales según se registren períodos fríos o cálidos en este sistema o bien por la intensificación o no de la Corriente de Deriva del Oeste, la cual puede constituirse en una barrera oceanográfica para la distribución de larvas de jurel (Sepúlveda et al., 2009).

Los huevos de jurel se encuentran en el estrato de 0-25 m, en donde se evidencia (primeros 100 m) la presencia de las Aguas Subantárticas (ASAA), con índices termosalinos entre 33.8 y 34.2 psu; agua de mezcla entre la ASAA y Aguas Superficiales Suptropicales (ASST) (15-19°C; 34.45-34.9 psu). Subsuperficialmente, se ha detectado la incipiente presencia de Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS) con salinidades superiores a 34.4 psu y temperaturas de 8-10.5 °C (Sepúlveda et al., 2008b).

El jurel al momento del desove forma agregaciones dispersas de muy baja densidad (Sepúlveda et al., 2009), los cuales estarían conformados por grupos de edad mayores a V y su alimentación estaría centrada particularmente en eufáusidos, crustáceos, larvas bivalvos, huevos crustáceos, copépodos, mictófidos, salpas, ostrácodos y gastrópodos (Córdova, 2003; Sepúlveda et al., 2008a; Sepúlveda et al., 2009).

3.2.1.1.2. Juveniles y adultos

En cuanto a los juveniles y adultos, la distribución demográfica diferencial, se hace evidente, al observar que las tallas de jurel de Arica- Antofagasta incluyen casi exclusivamente el segmento de ejemplares menores, con modas principales entre 15-22 cm LH, especialmente entre los meses de marzo y mayo. En tanto, en Caldera- Coquimbo, las tallas son intermedias (aproximadamente 30 cm) y en la zona Centro-Sur (San Antonio-

Chiloé) los jureles recorren tallas mayores y presentan el contingente exclusivo de longitudes sobre la talla de 41 cm. (ver sección 3.1.2.1.4 Tallas).

En la zona Arica-Antofagasta, la estructura de edad está conformada por los GE menores a IV años (25 cm) y la revisión de la talla de media de madurez de jurel de esta zona, señala que se alcanza los 23,2 cm LH. La presencia histórica de jurel de moda en 27 cm (GE IV-V) que ha sido detectada en la zona de San Antonio y secundariamente en Talcahuano durante enero-marzo en los últimos años (2008 - 2014), confirma el ingreso o inmigración por el límite norte de la zona Centro-Sur y que se detecta en zonas aledañas desplazándose hacia el sur, donde es posible encontrar GE II al XVIII, siendo los mayoritarios, el VII y VI.

En la zona norte, entre la XV-III Región, el jurel se ha encontrado distribuido principalmente en cinco puntos focales: (20° 48'S-28°50'S) 20°48'S (entre 5 – 20 mn de la costa), 22°S-22°35'S (desde 5 – 25 mn de la costa), frente Taltal (5-15 mn), Chañaral- Pta. Obispo (1-25 mn), Taltal al norte de Caldera (55-70 mn de la costa), presentando las mayores agregaciones entre 10 y 40 m. La principal dieta está conformada por copépodos, eufáusidos y mictófidos (Tabla 16). Las condiciones oceanográficas observadas en esta zona indican la presencia de las masas de agua: Aguas Subtropicales (AST, ligadas al sector costero), Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS), Aguas Subantártica (ASAA); Aguas Intermedias Antárticas (AIA), dependiendo de la condición del proceso ENOS presente en la zona intertropical y de la presencia de giros anticiclónicos o escala ciclónica de mesoescala. El rango de temperatura donde se distribuye el recurso es de 12.5°C hasta 23°C, con rangos preferenciales entre 15° -19,9°C. En cuanto a la salinidad presenta valores entre 33.8 -34.89 psu (Tabla 16).

La zona Centro Sur, es la principal zona pesquera, abarca desde los 32°-42°S y hasta los 85°W, siendo las principales áreas Talcahuano, seguido por Valdivia-Corral y finalmente San Antonio. La estructura de edad está constituida por diecisiete grupos (II-XVIII), donde a diferencia de la zona norte, los principales GE son V, VI y VII (Ver sección 3.1.2.1.5 Edad por macrozona (2001-2012) Los ejemplares menores de 26 cm (BTML) corresponden

a alrededor del 2% de la captura. Respecto a la composición de la dieta, los copépodos, quetognatos, ostrácodos, eufáusidos, peces linterna y salpas forman los grupos de preferencia del jurel (Tabla 16).

En esta zona (Centro – Sur) el recurso se encuentra entre los 30 - 170 m de profundidad, siendo en el sector oceánico donde se presenta en mayores profundidades (200 m). Análisis de los diagramas TS revelan, la presencia de tres masas de agua; Aguas Subantártica (ASAA); Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS) y Aguas Intermedias Antárticas (AIA), asociando al recurso con temperaturas de 10 a 15° C, salinidades que van de 33,9 a 34,2 psu y en preferencias por el estrato con valores de oxígeno entre 5 a 7 ml L⁻¹.Los rangos de clorofila se encuentran entre 0.5 - 6.5 mg/m³ (Tabla 16), asociado a remolinos ciclónicos y anticiclónicos de variable intensidad

3.2.1.2. Tabla de hábitat del jurel

Para organizar la información disponible por estadio, se elabora una tabla de hábitat del recurso (Tabla 16) con las principales variables que influyen a lo largo de la vida del jurel, permitiendo visualizar el nivel de información disponible que será clave en la elaboración del mapa conceptual del hábitat.

El análisis preliminar de la información pesquera (huevos y capturas) y ambiental consiste en establecer relaciones entre la distribución de los recursos y cada factor ambiental de hábitat el cual es convertido a curvas de aptitud de hábitat. Considerando la información recolectada de datos de huevos de jurel (2001 y 2006) se estima el rango de aptitud de temperatura superficial del mar el cual se muestra en la Figura 123.



Figura 123. Rango de temperatura superficial de las capturas de huevos de jurel frente a Chile (Elaboración propia proyecto FIP 2014-25)

Al considerar la información recolectada de datos de captura de jurel (2001 a 2011) se estiman los rangos de aptitud de la temperatura superficial del mar y concentración de clorofila *a* los cuales se muestran en la Figura 124.



Figura 124. Rango de temperatura superficial (superior) y concentración de clorofila *a* (inferior) de las capturas de jurel frente a Chile (Elaboración propia proyecto FIP 2014-25)
Se definen los niveles de información de hábitat esencial para el jurel frente a Chile los cuales se muestran en la Tabla 16, incorporando los rangos de aptitud generados en el proyecto.

Tabla 16. Niveles de información de hábitat esencial para el jurel frente a Chile.

Nivel	Huevos	Larvas	Juveniles	Adultos
Hábitat/Estadios				
Jurel				
Longitud o edad			< 2 años,	> 2 años,
			menor a	mayor a
			23 cm LH ⁽¹⁾	$23 \text{ cm LH}^{(1)}$
Dieta			eufáusidos,	eufáusidos ^(4,5,7,20) ;
			copépodos ^(2,3) ;	quetognatos, peces
			larvas de	linterna ⁽⁴⁾ ;
	Vitelo		eufáusidos ⁽²⁾ ;	salpas,
			vinciguerria ⁽⁷⁾	copépodos ^(4,5) ;
				vinciguerria,
				anchoveta ⁽⁷⁾ ; larvas
				bivalvos, huevos de
				crustáceos,
				heterópodos,
				mictófidos ⁽⁵⁾
Estacionalidad	Primavera ^(10,21)	Invierno-	Verano-	Verano ⁽²⁴⁾ ,
	Verano ^(1,10)	Primavera	Otoño	Otoño-Invierno ⁽²⁶⁾
		con mayor		
		abundancia		
		en		
		Primavera ⁽⁶⁾		
Distribución	32 - 39°S ⁽⁸⁾	20° - 22°S /	norte de los	1° 38'S - 55°S ⁽¹⁷⁾
Geográfica	74- 92°W ^(8,11)	70°42′W ⁽⁶⁾	30°S ^(15,28)	78°-160°W ⁽¹⁸⁾
			20° 48'S -	
	33°-38°S /	35°-37°S /	hasta 70 mn	Zona Centro-Sur: sur de
	75-92°W ⁽³⁾	$>88^{\circ}-92^{\circ}W^{(9)}$	costa ⁽³⁾	los 30°S hasta 41°S (23)
				$34^{\circ} - 41^{\circ}S^{(12,13)}$
	0.07(5.26)	0.70(0)	10, 10(3)	12/°-165°W ⁽¹²⁾
Columna de	0-25(5,20)	0-50(9)	$10-40^{(3)}$ /	16-17/(23),
agua			hasta 100 ^(2,14)	hasta > 200
(profundidad m)	1 < 10(10.11)	14.02 c(13)	15 15 0(2)	$\frac{\text{Oceanico}^{(24)}}{10,10}$
Temperatura	10-19(10,11)	14-23.6(13)	$15 - 15 \cdot 9^{(2)}$	$10-16^{(10)}$
$(^{\circ}\mathbf{C})$		22.0	18-19.9 (14)	23(50)
Salinidad (psu)	22.0 25 c(13)	35.8 - 25.6(13)	$54.5 - 54.8^{(2)}$	$220 240^{(4)}$
0 (17)	<u> 33.8 - 33.0⁽¹³⁾</u>	33.6(13)	34.8 - 34.89(14)	55.9 - 34.2
Oxigeno (ml/L)	5.0 < 0(13)	50 < 0(13)	4050(2)	5.0-7(7)
	$5.0 - 6.0^{(13)}$	5.0 - 6.0(13)	4.0-5.0(2)	$0.0 - 1.0^{(22)}$
Clorofila	72.3(21)		$0.2 - 0.35^{(2)}$	0.12-6.5(30)
***	$75 - 100^{(27)} (ng/L)$	2 -(10)	(mg/m ²)	(mg/m^2)
Vientos (m/s)	$4 - 8^{(11,29)}$	$< 3.5^{(19)}$		$3.6 - 17^{(22)}$

⁽¹⁾(Leal et al., 2013); ⁽²⁾(Córdova et al., 2014); ⁽³⁾(Córdova et al., 2012); ⁽⁴⁾(Córdova et al., 2010); ⁽⁵⁾(Sepúlveda et al., 2004); ⁽⁶⁾(Palma et al., 1998); ⁽⁷⁾(Medina & Arancibia, 2002); ⁽⁸⁾(Cubillos et al., 2008); ⁽⁹⁾(Sepúlveda et al., 2008a); ⁽¹⁰⁾(Cubillos et al., 2004); ⁽¹¹⁾(Núñez et al., 2004); ⁽¹²⁾(Bailey, 1989); ⁽¹³⁾(Grechina et al., 1998); ⁽¹⁴⁾(Córdova et al., 2007); ⁽¹⁵⁾(Cubillos & Arcos, 2002); ⁽¹⁶⁾(Córdova et al., 2005); ⁽¹⁷⁾(Aracena et al., 1998); ⁽¹⁸⁾(Grechina, 1998); ⁽¹⁹⁾(Sepúlveda et al., 2008b); ⁽²⁰⁾(Miranda et al., 1998); ⁽²¹⁾(Barbieri et al., 2005); ⁽¹⁷⁾(Aracena et al., 2005); ⁽¹²⁾(Córdova et al., 2013); ⁽²³⁾(Arcos et al., 2004); ⁽²⁴⁾(Barbieri et al., 1998); ⁽²⁵⁾(Barbieri et al., 2004); ⁽²⁶⁾(Sepúlveda et al., 2009); ⁽²⁷⁾(Cubillos, 2002); ⁽²⁸⁾(Vásquez et al., 2013); ⁽²⁹⁾(Núñez et al., 2008); ⁽³⁰⁾Elaboración Proyecto FIP 2014-25.

Sobre la base de los antecedentes e información recopilada y al conocimiento del equipo científico del presente proyecto; se estimó el nivel de importancia del hábitat esencial para los distintos estadios del recurso jurel (

Tabla 17), incluyendo las principales variables ambientales y categorizándolas, según etapa de vida, en nivel de importancia, donde:

- Muy importante 5
- Importante 4
- Relativa 3
- Regular 2
- Menor 1

Tabla 17. Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) por etapa de vida para el recurso jurel.

Nivel HE Etapa	Dieta	Localización	Masas de agua	Geostrófic as	T°	Clo	Salinidad	O2	Vientos	Surgencia
Huevos	1	5	3	4	5	1	3	1	5	1
Larvas:	4	5	3	5	4	3	2	3	5	2
sin capacidad natatoria										
con capacidad natatoria	4	5	3	4	4	3	2	3	4	3
Juveniles	5	5	4	3	3	3	2	4	3	3
Adultos	5	2	3	3	2	4	2	4	2	4

En general se observa la importancia de la localización en los distintos estadios por ser un recurso migratorio que busca las mejores condiciones para su desarrollo, asociado en gran medida con lo que son las masas de agua (que se definen por temperatura y salinidad). Otra variable importante es la dieta, que a excepción de los huevos (alimenta de vítelo) está asociado fuertemente con el oxígeno puesto que su dieta (en su mayoría copépodos) se ve muy afectado por esta variable, por lo tanto la clorofila (que se asocia con la surgencia) pasa a ser una variable por defecto. En los estadios mayores el jurel necesita el oxígeno para desarrollar su capacidad natatoria. La geostróficas, junto con los vientos, se observa como importante principalmente en los primeros estadios, ya que cualquier movimiento del mar los va a afectar en el éxito de sus desplazamientos hacia la zona de crianza.

3.2.1.3. Mapa conceptual del hábitat del jurel

La información de la estructura de edad de las capturas históricas de jurel evidencia una segregación espacial de la fracción juvenil, respecto al stock desovante, con un área principal de crianza en la zona norte de Chile, desde donde el jurel se desplazaría en forma progresiva. Estos datos se han podido obtener de los lances de pesca georreferenciados que posee IFOP los que hacen posible visualizar la distribución geográfica del recurso (Figura 125).



Figura 125. Lances con pesca del jurel georreferenciados entre 2001-2012. (Datos proporcionados por IFOP)

El jurel realizaría un desove principalmente oceánico hacia el verano (entre septiembrediciembre), cuyo *peak* es noviembre, mes en el que el índice reproductivo disminuye fuertemente, distribuyéndose en forma más desagregada y profunda en aguas oceánicas oligotróficas, en una extensa área frente a Chile Norte y Central, tanto fuera como dentro de la ZEE. A partir de noviembre, un fracción del stock tomaría un rumbo Oeste aprovechando las corrientes imperantes y otra fracción iniciaría un desplazamiento Este y Sur-Este, acercándose primero a la costa Norte de la III-IV Región (noviembre) y luego a la Centro-Sur por el norte (diciembre-enero), siguiendo hacia el Sur en forma progresiva entre febrero-mayo (VI-VII-VIII-IX Región) y a menos de las 100 millas de la costa, donde encuentra mayor oferta alimenticia (vientos, surgencias, mayor luz solar, más fitoplancton y zooplancton) y llegando a incursionar hasta la XI Región de Aysén (Figura 126). La estructura del stock visualizada a través de las capturas nacionales e internacionales, sugiere una estratificación latitudinal por tamaños, donde los ejemplares tienden a distribuirse más hacia el sur a medida que crecen, buscando aguas más frías y con mayor cantidad de alimento, pero volviendo cada año a las áreas reproductivas situadas más al Nor-Oeste.

Al acercarse el invierno, el jurel inicia su salida hacia el oeste y sur-oeste entre el 37-42°S, alejándose de la costa hacia zonas más oceánicas fuera de la ZEEc, para luego desplazarse entre julio-agosto con rumbo nor-oeste y norte hacia menores latitudes y mayor temperatura para reproducirse, probablemente aprovechando la rama oceánica de la Corriente Humboldt que va en sentido W-NW (1-2 nudos) (Figura 126).



Figura 126. Mapa conceptual del hábitat esencial del jurel. (Modificado de Arcos et al, 2001; Vásquez et al, 2013)

3.2.1.4. Modelo conceptual espacio temporal del jurel

El modelo conceptual del jurel considera las fases del ciclo de vida (huevo-larva, juvenil, adultos) y las áreas de distribución (zonas de desove, crianza y alimentación) de la pesquería chilena. Se estudiaron los datos para determinar qué elementos incluyen, sus escalas, y el nivel de interacción entre estos. Este análisis permitió estructurar el modelo, definir sus escalas temporales y espaciales, e incorporar forzamientos del sistema. Luego se asoció la dinámica de la población y de la comunidad con la pesca y el medio ambiente. El modelo abarca tres planos: (1) el entorno físico-ambiente, (2) biológico, y (3) el pesquero. El entorno físico-ambiente incluye forzamientos asociados con combinaciones espacio-temporales: ciclo de ENOS (escala interanual Océano Pacífico), el ciclo de la radiación solar anual y fenómenos de mesoescala (escala estacional-pacífico Sur Este (PSE), pesca intraestacional (escala local pesquería) (Figura 127)

El plano biología incluye tres grupos de elementos que abarcan los procesos susceptibles de ser afectados por los forzamientos del medio físico: stock, el circuito migratorio, y la alimentación. Por último, en el plano de la pesca, dos grandes grupos de elementos se identifican cuyos límites espacio-temporales son más complejos pero presenta una organización establecida; las escalas interanuales- Océano Pacífico y de plano local-PSE consisten en la economía, las actividades de la flota (esfuerzo pesquero), la administración de recursos, y los aspectos sociales (por ejemplo, empleo), mientras que la escala de la zona intraestacional - pesquería se compone principalmente del esfuerzo pesquero en términos de los viajes de pesca.

El ciclo anual de la circulación y de la radiación solar en el PSE (escala estacional) afecta a la duración y distribución espacial de desove, la disponibilidad y la vulnerabilidad de los juveniles y los adultos en sus áreas de distribución. En el área de alimentación, asociada en parte con un área donde afloran aguas frías, los aumentos de productividad en los niveles tróficos intermedios y altos que proporcionan alimento para peces.

El modelo relaciona los efectos de las estructuras de mesoescala (por ejemplo, remolinos oceánicos, frentes de surgencia) a escala intraestacional con la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los ejemplares juveniles y adultos en la crianza y la alimentación de las zonas. Remolinos generan el afloramiento de aguas ricas en nutrientes en sus centros y esto, a su vez, aumenta la producción biológica, transporte y acumulación de biomasa, y el mantenimiento de los niveles tróficos lejos de la costa, incluyendo la disponibilidad de alimentos para especies como el jurel.

El modelo indica que los fenómenos ambientales en diversas escalas (interdecadal, interanual, estacional, intraestacional) en el Océano Pacífico afectan los procesos biológicos del jurel en sus diferentes fases de desarrollo y de la comunidad ecológica en sus diferentes zonas asociadas (Figura 127).

En la escala interdecadal, los eventos El Viejo - La Vieja se manifiestan con períodos climáticos de calentamiento y enfriamiento respectivamente, que afectaría la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de huevos y larvas (áreas desove), juveniles y adultos en las áreas de alimentación (donde la pesca se lleva a cabo).

En la escala interanual, los eventos ENOS se manifiestan en anomalías de TSM, con positivo (El Niño) y negativo (La Niña), que afecta a: (a) la duración y distribución espacial de desove; (b) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los juveniles; (c) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los adultos en las áreas de alimentación.

En la escala estacional, el ciclo anual de la radiación solar se manifiesta a través de cambios en la distribución de las isotermas de SST; el desplazamiento del anticiclón del Pacífico (AP), la circulación oceánica (CO) y el frente Sub tropical (FST); y la intensidad de surgencia, afectando a la: (a) la duración y la distribución espacial de desove; (b) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los juveniles; y (c) de los adultos, que afectan a aspectos económicos, de inversión y el esfuerzo acumulado; y (d) la composición, abundancia y distribución de la comunidad. El esfuerzo de pesca, la pesca ilegal afecta a la abundancia de adultos en el área de alimentación. Por último, la geomorfología de la cuenca del Pacífico frente a Chile influiría en el circuito migratorio.

En la escala intra-estacional, frentes de surgencia y las estructuras de mesoescala (por ejemplo, remolinos, filamentos), afectaría: (a) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los huevos y larvas; (b) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los adultos; (c) la composición, abundancia y distribución de la comunidad de las especies; y (d) la distribución de la flota, que afecta a los costos y los precios.

Finalmente en la proyección, el cambio climático que afectaría a lo global, aún no es posible predecir con certeza cómo se comportaría la pesquería del jurel, sin embargo hay esfuerzos en estudios de pronósticos con distintos escenarios de aumento de CO_2 (Yáñez et al., 2013; Silva et al., 2015) y que analizan los impactos del cambio climático en pesquerías (Yáñez et al., 2012; 2014).



Figura 127. Modelo conceptual espacio temporal (4x4) de la pesquería del jurel.

3.2.2. Modelo conceptual del hábitat esencial de anchoveta en la zona centro-sur

Al igual que para el recurso jurel, se consideraron tres aspectos o planos para la elaboración del modelo conceptual de la pesquería de anchoveta Centro - Sur: los aspectos biológicos, físico-ambiente y la pesquería (Ver Figura 122)

3.2.2.1. Descripción del hábitat esencial por etapa de vida

La pesquería de la anchoveta Centro-Sur, considera el espacio marítimo entre los 32°10' y 47°00'S, su distribución es fuertemente costera y es influenciada por el Sistema de Corriente de Humboldt (SCH) producto de la bifurcación de las corrientes zonales que enfrentan el continente entre los 35°S y 45°S. Corrientes conducidas por el giro subtropical y los vientos forzados por el anticiclón del Pacifico Sur y su movimiento estacional.

La anchoveta Centro-Sur que habita los sistemas de surgencia costera es especialmente sensible a la variabilidad del ambiente en todas las etapas de su ciclo vital. Tanto es así que a la fecha, la información sobre la relación entre la variabilidad ambiental y su impacto sobre pequeños pelágicos en la zona centro-sur es dispersa, lo que dificulta esbozar un modelo conceptual de manejo ambientalmente explícito (Parada et al., 2013). Por lo tanto lo que se hará será una descripción de la zona en general donde habita la anchoveta.

La costa central se extiende entre aproximadamente 34,5 ° S y 41,5 ° S. esta zona se caracteriza por una plataforma continental más ancha y somera de Chile, el cambio de orientación de la costa al norte de los 37,2°S y la presencia de un sistema de tres bahías abiertas al norte: bahía Coliumo (36°32'S), bahía de Concepción (36°40'S) y el Golfo de Arauco (37°10'S) (Parada et al., 2001). Por otro lado, numerosos ríos contribuyen con intensas descargas estacionales de agua dulce a la zona costera (ríos Itata (36°23'S), Biobío (36°49'S) y Valdivia (39°50'S) entre los más importantes). Desde el punto de vista geomorfológico, esta zona es más dura en términos de impacto de las olas y muestra playas y campos de dunas extensa con bahías protegidas.

La alta productividad oceánica de esta zona está modulada por numerosos centros de surgencia estacional que producen el ascenso de aguas frías ricas en nutrientes asociadas al Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Al norte de los 40°S, la forma de la costa y de la plataforma continental permiten que el viento hacia el Ecuador induzca diversos focos estacionales de surgencia costera (Figura 128), siendo los principales ubicados en: punta Topocalma (34,14°S), punta Nugurne (35,97°S), punta Lavapié (37,2°S) y Punta Galera (40°S), de los cuales los tres primeros eventualmente pueden llegar a actuar como un megacentro de surgencia (Letelier, 2010), limitados al sur por punta Galera (40°00'S) y al norte por Punta Curaumilla (33°06'S).

Topográficamente, existe un quiebre en Punta Lavapié (37,2°S), que separa la zona y representa un cambio en la orientación de la costa y es foco importante de surgencia, representa la zona de menor ancho de la plataforma continental a partir de la cual se desprende el jet costero y la lengua de surgencia hacia el noroeste (Figura 128).



Figura 128. Principales focos de surgencia en la zona centro sur. (se indican con círculo azul).

Al norte de punta Lavapié se han observado lenguas de surgencia y filamentos de más de 200 km de extensión y la presencia de remolinos ciclónicos y anticiclónicos que se originan

aproximadamente en el borde de la plataforma continental (Correa-Ramírez et al., 2007; Letelier, 2010), corrientes de meandros y frentes que podrían actuar como mecanismos de retención, enriquecimiento y concentración o como mecanismos de exportación o retención, reforzando el área donde la anchoveta se distribuye y desova. Al sur de Punta Lavapié, la variabilidad espacial y temporal de las corrientes, el viento y el aporte de agua dulce proveniente de importantes ríos y fiordos junto con la estructura de la plataforma continental y la forma de la costa definen las condiciones ambientales de la zona de desove y de pesca de la anchoveta en el centro sur de Chile (Alvarado, 2015, datos no publicados).

Las condiciones ambientales de la zona centro-sur cambian estacionalmente e interanualmente por lo que la biología del recurso podría presentar patrones temporales asociados a la variabilidad ambiental de la zona incluso a pesar de la lejanía con la zona ecuatorial. Este efecto es estudiado mediante el análisis de series de tiempo del (Índice gónado-somático (IGS) y Factor de Condición (FC), los cuales en la anchoveta han mostrado fluctuaciones a través de los años, pero que cambian año a año, con un rango entre 0,5 y 1,2 en el IGS y de 0,6 a 0,75 en el FC (Aranis et al., 2013)

3.2.2.2. Tabla de hábitat de la anchoveta Centro - Sur

Se definen los niveles de información de hábitat esencial para la anchoveta de la zona centro-sur de Chile los cuales se muestran en la Tabla 18. El análisis preliminar de la información pesquera (huevos y capturas) y ambiental consiste en establecer relaciones entre la distribución de los recursos y cada factor ambiental de hábitat el cual es convertido a curvas de aptitud de hábitat. Considerando la información recolectada de datos de huevos de anchoveta (2001 a 2011) se estima el rango de aptitud de temperatura superficial del mar el cual se muestra en la Figura 129.



Figura 129. Rango de temperatura superficial de las capturas de huevos de anchoveta frente a Chile.

Al considerar la información recolectada de datos de captura de anchoveta (2001 a 2011) se estiman los rangos de aptitud de la temperatura superficial del mar y concentración de clorofila *a* los cuales se muestran en la Figura 130.



Figura 130. Rango de temperatura superficial y concentración de clorofila *a* de las capturas de anchoveta en la zona centro-sur de Chile.

Al hacer un análisis estacional de los rangos de aptitud de hábitat de anchoveta se obtiene que para la temperatura superficial del mar, concentración de clorofila *a* y la distancia de la costa existe una gran variabilidad espacio-temporal (Figura 131).



Figura 131. Variabilidad estacional de los rangos de aptitud de hábitat de la temperatura superficial, concentración de clorofila *a* y distancia a la costa para la anchoveta en la zona centro-sur de Chile.

Se definen los niveles de información de hábitat esencial para la anchoveta de la zona centro-sur de Chile los cuales se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Niveles de información de hábitat esencial para la anchoveta Centro - Sur.

Nivel Hábitat /				
Estadios				
Anchoveta	Huevos	Larvas	Juveniles	Adultos
			120-150 días ⁽¹³⁾	
Duración o edad	3-4 días ⁽¹³⁾	30-50 días ⁽¹³⁾	< 10 cm LT	> 150 días ⁽¹³⁾
		nauplios, copepoditos ^(1,2,8,9) ;		copépodos, eufáusidos ^(11,12) ;
		huevos copépodos,		diatomeas ^(11,12,21)
Dieta	Vitelo	dinoflagelados ^(8,9) ;		; huevos de
		larvas moluscos ⁽⁹⁾		invertebrados ⁽¹¹⁾ ;
				huevos de
				peces ⁽¹²⁾
	Invierno,		Primavera ^(3,9) ;	1
Estacionalidad	Primavera ^(4,20) ;	Primavera – Otoño –	Verano,	Verano, Otoño ⁽³⁾ -
	Principio Verano ⁽⁶⁾	Invierno ⁽⁵⁾	Invierno ⁽³⁾	Invierno
Distribución	35° 30'-39°40'S ⁽⁴⁾ ;			
Geográfica	34° 30' -37°10'S,			
	38° - 39°S ⁽³⁾	36°30' - 40°S ⁽²³⁾	34°30'-37°10'S ⁽³⁾	38°20'S - 40°S ⁽³⁾
	41° 20'S ^(7,19)		34°30'-38°11'S ⁽²⁵⁾	
Columna de agua	10(4)	$0 - 45^{(1)}$		
(profundidad m)	$0 - 40^{(23)}$	$0 - 40^{(23)}$		$0-50^{(3,10)}$
Temperatura (°C)	10.75 - 11.5 ⁽⁴⁾	10.5 - 13.5 ⁽²³⁾	9-15(25)	9.3 - 18 ^(17,18)
	32 - 34.5 ⁽⁴⁾			
Salinidad (psu)	32-34 ⁽⁵⁾	$30 - 34^{(5)}$	33 - 33.6 ⁽²⁵⁾	30 - 34.65 ^(15,16)
Oxígeno (ml/L)	$5.5 - 6^{(22)}$	$6 - 8^{(23)}$	3.5 - 6.5 ⁽²⁵⁾	4.5 - 5.0 ^(11,12)
	$4 - 10^{(7)}$	6.61-10.36 ⁽²⁴⁾ *		
Clorofila (mg/m ³)	4.46 ⁽¹⁰⁾	1.03-1.00 ⁽²⁴⁾ **		0.5 - 13.6 ⁽¹⁸⁾
		6 ⁽²⁴⁾ *		
Vientos (m/s)	3(22)	3-11 ⁽²⁴⁾ **		$5.0 - 10^{(12,14)}$

¹(Landaeta et al., 2014); ² (Yañez-Rubio et al., 2011); ³(Cubillos et al., 2009); ⁴ (Cubillos et al., 2011); ⁵(Soto-Mendoza et al., 2010); ⁶(Llanos-Rivera &Castro, 2004); ⁷(Cubillos et al., 2013) ; ⁸(Hernández & Castro, 2000); ⁹(Llanos et al., 1996); ¹⁰(Castillo et al., 1996); ¹¹(Castillo et al., 2010); ¹²(Saavedra et al., 2014); ¹³(*Com. Pers.* Guido Plaza P).; ¹⁴(Castillo et al., 2012); ¹⁵(Castillo et al., 2002); ¹⁶(Castillo et al., 2003); ¹⁷(Silva et al., 2012); ¹⁸(Elaboración Proyecto FIP 2014-25); ¹⁹(Cubillos et al., 2015); ²⁰(Cubillos et al., 1999); ²¹(Arrizaga et al., 1993); ²²(Hidalgo et al., 2011); ²³(Castro et al., 1997); ²⁴(Núñez et al., 1996); ²⁵(Castillo et al., 2003a); *Verano **Invierno Sobre la base de los antecedentes e información recopilada y al conocimiento del equipo científico del presente proyecto; se estimó el nivel de importancia del hábitat esencial para los distintos estadios del recurso anchoveta (

Tabla 19), incluyendo las principales variables ambientales y categorizándolas, según etapa de vida, en nivel de importancia, donde:

Muy importante

5

- Importante 4
- Relativa 3
- Regular 2
- Menor 1

Tabla 19. Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) por etapa de vida para el recurso anchoveta.

Nivel HE Etapa	Dieta	Localización	Masas de agua	Geostrófic as	T⁰	Clo	Salinidad	02	Vientos	Surgencia
Huevos	1	5	4	3	4	1	4	4	4	5
Larvas	5	5	4	3	4	4	4	5	4	5
Juveniles	5	4	3	2	4	4	3	5	3	4
Adultos	5	3	3	2	5	3	3	5	3	4

En general se observa la importancia de la dieta asociada fuertemente a la surgencia, a los vientos, a la localización y por ende a las masas de agua (asociadas a su vez con la temperatura y la salinidad), en los distintos estadios, esto por ser un recurso netamente costero que realiza su ciclo de vida asociado a los centros de surgencia de la zona centrosur. El oxígeno es otra variable de importancia debido a que su dieta es afectada por ella (copepoditos, eufáusidos, copépodos). Por lo tanto todas estas variables en los distintos estadios (excepto la dieta en huevos, por alimentarse del vitelo), son de importancia al ser un recurso que se desarrolla en una zona de alta variabilidad ambiental y también las interacciones que existen entre ellas, las que serán consultadas a expertos en incluidas en esta evaluación con posterioridad.

3.2.2.3. Mapa conceptual del hábitat de la anchoveta Centro-Sur

La estrategia reproductiva de la anchoveta de desovar a fines de invierno, estaría relacionada con condiciones oceanográficas de la zona Centro-Sur, en las cuales se produce una retención y concentración de los huevos y larvas cerca de la costa, ayudado por la acción de los vientos del norte. A partir del término del invierno y comienzo de primavera, cuando comienza la acción de los vientos del SW que generan procesos de "surgencias" de aguas profundas, ricas en nutrientes, proporcionando las condiciones óptimas para el desarrollo de fitoplancton, que constituye el alimento de esas especies. Estos procesos de upwelling se intensifican hacia los meses de verano, permitiendo asegurar la alimentación de las anchovetas.

A pesar de la alta variabilidad (diaria, intraestacional, estacional) que ya se ha expuesto, se ha podido realizar un mapa de hábitat por ciclo de vida del recurso, identificando los sectores espacial y temporalmente, a continuación su descripción (Figura 132):

- a) Se identifica el sector entre 38°20'S y 40° S como la principal área de desove. Esta área presenta la mayor abundancia de huevos durante el máximo de desove principal, no obstante, se identifica al Golfo de Arauco, la desembocadura del Río Itata, y Constitución, como los núcleos de desove de mayor importancia en este estrato geográfico.
- b) El sistema de bahías de la zona centro-sur al norte del Golfo de Arauco (37º10'S) constituyen áreas de crianza, donde prerreclutas y reclutas menores a seis meses de edad crecen y se desarrollan. Esto es, durante una ventana temporal que va entre el desove y el reclutamiento (julio a diciembre). En enero, los ejemplares han

reclutado con una talla promedio de entre 6 y 7 cm, principalmente al norte del Golfo de Arauco.

- c) Entre abril y junio, los juveniles originados durante el desove del año anterior comienzan a ser pre-adultos y los adultos comienzan una migración activa para congregarse en agregaciones pre-reproductivas.
- d) Entre enero-marzo, los adultos (> 11 cm, y de más de un año de edad), tienden a distribuirse preferentemente hacia Carranza (desembocadura del Río Itata) y preferentemente al sur de los 38°20'S (sur de la Isla Mocha a Corral). Durante la transición invierno-primavera (julio-septiembre), la fracción adulta ingresaría a la región más costera (sistemas de bahías) para reproducirse (Figura 132).



Figura 132. Mapa conceptual del hábitat esencial de la anchoveta Centro-Sur. (Modificado de Cubillos et al., 2009)

3.2.2.4. Modelo conceptual espacio temporal de la anchoveta Centro-Sur

Al igual que el modelo conceptual del jurel, este modelo considera las fases del ciclo de vida (huevo-larva, juvenil-adultos) y las áreas de distribución (zonas de desove, crianza y alimentación) de la pesquería, abarcando tres planos: (1) el entorno físico-ambiente, (2) biológico, y (3) el pesquero, y cuatro escalas, tanto de tiempo (intraestacional-estacional-interanual e interdecadal) como de espacio (área pesquería-Pacífico Sureste-Océano Pacífico y la Global).

En la escala intra-estacional, frentes de surgencia y las estructuras de sub y mesoescala (por ejemplo, remolinos, filamentos), afectaría: (a) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los huevos y larvas (retención); (b) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los reclutas y adultos; (c) la composición, abundancia y distribución de la comunidad de las especies; y (d) la distribución de la flota (con marcados meses de pesca), que afecta a los costos y los precios.

En la escala estacional, el ciclo anual de la radiación solar se manifiesta a través de cambios en la distribución de las isotermas de SST; el desplazamiento del anticiclón del Pacífico, la circulación oceánica y el frente Sub tropical; y la intensidad de surgencia, afectando a la: (a) la duración y la distribución espacial de desove; (b) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los reclutas y juveniles; y (c) de los adultos, que afectan a aspectos económicos, de inversión y el esfuerzo acumulado; y (d) la composición, abundancia y distribución de la comunidad. El esfuerzo de pesca, la pesca y los subreportes afecta a la abundancia de adultos en el área de alimentación. Por último, la geomorfología de la cuenca del Pacífico (plataforma continental) influiría en las surgencias que proporcionan la alimentación.

En la escala interanual, los eventos ENOS se manifiestan en anomalías de TSM, con positivo (El Niño) y negativo (La Niña), que afectaría a: (a) la duración y distribución espacial de desove; (b) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los reclutas; (c) la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de los adultos en las

áreas de alimentación de especies como la sardina que podría afectar en menos medida a la anchoveta (El Niño).

En la escala interdecadal, los eventos de cambio de régimen (cálido-frío) afectaría la distribución espacial, la disponibilidad y vulnerabilidad de huevos y larvas, prereclutas y adultos en las áreas de alimentación provocando una contracción del recurso.

Finalmente en la proyección, el cambio climático que afectaría a todo el globo, aún no es posible predecir con certeza cómo se comportará la pesquería de la anchoveta (Figura 133).



Figura 133. Modelo conceptual espacio temporal (4x4) de la pesquería de la anchoveta Centro - Sur

3.2.3. Modelo conceptual Loco frente a Chile

En esta sección se describe el análisis de la información disponible sobre el entorno ambiental, biológico, ecológico y pesquero realizado en la revisión bibliográfica del Capítulo 3 sección 1.2.3 (especie *Concholepas concholepas*) con el objetivo de establecer un modelo conceptual que incorpore los procesos definidos en cuatro escalas espaciales (Global, Océano pacifico, Pacífico suroriental y área de la pesquería bentónica) y temporales (interdecadal, interanual, estacional e intra-estacional), que influencian la distribución geográfica, historia de vida, dispersión y conectividad poblacional del recurso Loco.

Para la elaboración de este modelo conceptual se consideró: a) los aspectos biológicos, b) físico-ambientales y la pesquería. Los dos primeros permiten identificar el hábitat del recurso en términos geográficos y estacionales, generando mapa de hábitat para cada estadios de desarrollo (Larva encapsulada, larva competente, juvenil, adulto), además de incorporar variables ambientales que influyen en estas etapas. En relación a la pesquería, este aspecto se refiere a la producción de áreas de manejo, esfuerzo pesquero, y el manejo y gestión que realizan las unidades que regulan la extracción del Loco (Figura 134).



Figura 134. Esquema de elaboración modelo conceptual del recurso Loco Concholepas concholepas.

3.2.3.1. Descripción del hábitat esencial por etapa de vida

Respecto a la distribución de los estadios de larvas encapsuladas, juveniles y adultos del ciclo de vida del recurso Loco *(Concholepas concholepas, Bruguiere 1789; Gastrópoda, Muricidade), estos se superponen espacialmente a través de todo su rango de distribución geográfica, encontrándose asociados principalmente a hábitats rocosos expuestos al oleaje.*

Por otra parte, la etapa larval de fase dispersora (larva véliger y competente) ocurre en la columna de agua, cuya extensión podría estar determinada por la interacción entre la amplitud de la plataforma continental (e.g., isobata de 60 m) y la ocurrencia de la surgencia inducida por el viento y otros procesos costeros (frentes, corrientes a lo largo y a través de la plataforma). Así, esta consideración determina la presencia de 2 tipos de hábitats esenciales en el ciclo de vida del Loco: 1) hábitat bentónico de fondos rocosos; 2) hábitat nerítico en el océano costero.

3.2.3.1.1. Larvas encapsuladas y recién eclosionadas

En un estudio a escala biogeográfica (abarcando ca. 2500 km), Fernández et al. 2007, estudiaron la variabilidad espacial en el desarrollo intra-capsular de larvas de loco en 14 sitios desde los 20°S (Iquique) hasta los 42°S (Ancud) (Figura 135). Este estudio determinó que el número de larvas (embriones) encapsuladas por unidad de área presentaba un patrón latitudinal, caracterizado por un mayor número de larvas/embriones por unidad de área hacia mayores latitudes, pero con un notorio quiebre a los 29-30°S (Coquimbo). Este patrón en la densidad de larvas por capsula está correlacionado negativamente con la temperatura media en el sitio durante el tiempo de desarrollo intra-capsular C. concholepas (Figura 32). Otra variable que ha sido señalada como potencial responsable de este patrón de empaquetamiento de las capsulas de loco sería la concentración de oxígeno, pero que solo afectaría en el hábitat submareal. Fuenzalida et al. 2009, actualizó la extensión de la zona de mínima de oxígeno (OMZ) en la costa de Chile-Perú indicando que a los 30°S existe un choque de masas de agua intermedia antárticas (ricas en oxigeno) con OMZ la cual en esta latitudes es estrecha, cercana a la costa y localizada a profundidades entre a 150 – 200 mts. Además, para explicar este patrón biológico, Fernández et al. 2007 discuten el rol del quiebre en procesos ambientales detectados a los 30°S. Por ejemplo, el cambio en stress del viento (Hormazábal et al., 2004), el cambio en la estacionalidad de la concentración de clorofila: 18 a 29°S mayor en invierno e inicio de primavera ($< 1.0 \text{ mg m}^{-3}$), mientras que desde los 30 a 40°S las máximas concentraciones $(1.0 - 2.0 \text{ mg m}^{-3})$ ocurren durante el verano (Thomas et al. 2001). Sin embargo, Yuras et al. (2005) discuten este patrón de

distribución de la clorofila, indicando que entre los 18 y 29°S existe una estrecha banda costera (20 km) con concentraciones de clorofila de 5 mg m⁻³; hacia el sur de los 30°S la banda costera presentando la isolínea de concentraciones de clorofila de 5 mg m⁻³ localizada 200 km costa afuera.

Se ha descrito que en la costa de Chile central (30 y 33°S) las capsulas son depositadas entre los 0 y 40 m de profundidad (Stotz 1997, Manriquez & Castilla, 2001). Durante esta fase de desarrollo las larvas alcanzan tamaños entre $240 - 260 \mu m$ (DiSalvo, 1988; Vargas et al., 2006) (Tabla 20). La estacionalidad de estas posturas de capsulas con larvas ocurre desde febrero a julio de cada año (Manriquez et al., 2014b; Stotz 1997). La duración máxima del desarrollo intra-capsular es variable, siendo de mayor duración (70 d) en la zona de Valdivia (39°S) respecto por ejemplo a localidades de Antofagasta (50 d, 23°S) y Chile central (48 d, 33°S) (Manriquez et al. 2014b) (Figura 135).

Site	Lat. (°S)	MWT	——— No. capsules ———				
		(±SE)	Early stage	Late stage	Total		
	000501	40.54 (0.04)	10	-			
Iquique	20°53'	16.51 (0.81)	18	5	23		
Punta Chacaya	22°58′	15.58 (0.61)	15	5	20		
Juan Lopez	23°28′	15.42 (0.47)	14	5	19		
Radison	23°40′	14.19 (0.19)	14	11	25		
El Way	23°42′	14.22 (0.54)	4	5	9		
Huasco	28°24'	13.48 (0.63)	9	20	29		
Punta Choros	29°15′	13.75 (1.16)	58	nc	58		
Temblador	29°28′	13.33 (0.45)	7	7	14		
Caleta Hornos	29°39'	11.52 (0.25)	nc	34	34		
Totoralillo	30°03′	13.49 (0.67)	24	6	30		
Montemar	32°57′	13.24 (0.19)	8	6	14		
El Quisco	33°23′	12.61 (0.32)	nc	16	16		
Concepción	36°48′	12.01 (0.32)	13	nc	15		
Ancud	42°02′	10.50 (0.34)	nc	17	17		

Figura 135. Gradiente latitudinal en abundancia de capsulas de C. concholepas

Una vez que eclosionan, las larvas véliger se alimentan de dinoflagelados heterotróficos y pico-plancton (Vargas et al. 2006, Stotz, 1997, Vargas et al. 2013), con tasas de consumo de 0.4 a 0.8 mg/L de clorofila (Vargas et al. 2006, 2013). Entre las variables ambientales que se han asociado a este tiempo de desarrollo, las temperatura ha fluctuado entre 11.4 a

16°C para el rango latitudinal entre el norte y sur de Chile (20 a 40°S, e.g., Fernández et al. 2007, DiSalvo 1988, Manríquez et al. 2014a), lo que más bien corresponde a la fluctuación natural del gradiente en temperatura de la costa Chilena entre esas latitudes (e.g., Ramajo et al. 2013, 2015). Así mismo, respecto a los rangos de salinidad se ha sugerido que se logra un mejor desarrollo a salinidades altas (>25 psu) con óptimos que toman valores entre 28 y 30 psu en el norte de Chile (30°S, Gallardo et al. 1994) y entre 31 - y 32 psu en la costa de Valdivia (39°S, Manriquez et al. 2014) con rangos de valores de salinidad relativamente frecuentes para ambas latitudes. Respecto a variables climáticas asociadas a la acidificación del océano, el pH que ha sido medido en condiciones experimentales donde se han incubado estas larvas ha sido cercano a 7.9 unidades con niveles de presión parcial de dióxido de carbono, pCO2 entre 365 a 398 µatm (Manríquez et al. 2014b) (Tabla 20).

Otros parámetros físicos relevantes tales como trasporte de Ekman, velocidad y dirección de la corriente, la velocidad de vientos dominantes, y la concentración de oxígeno, no han sido registrados simultáneamente para estudios enfocados en esta etapa larval de *C. concholepas* (Tabla 20). Probablemente, la ausencia de estas variables puede reflejar que el desarrollo intracapsular y eclosión de larvas véliger está más determinado por variabilidad local en fuerza de oleaje, en áreas expuestas y altamente oxigenadas, y no por variables de meso-escala como las mencionadas anteriormente.

3.2.3.1.2. Larva competente

Las larvas competentes de *C. concholepas* representan la fase de mayor importancia en la dispersión de la especie, periodo en el cual alcanza un tamaño entre 1600 y 1900 μ m (Disalvo 1988, Vargas et al. 2006), presentando periodos de duración variable latitudinalmente. Así, por ejemplo, esta etapa tiene entre 3 y 4 meses de duración en el norte y centro de Chile (30 y 39°S, respectivamente) (Vargas et al. 2006, Stotz 1997, Moreno et al. 1993). Durante este periodo la dieta de esta larva está dominada por diatomeas y protozoos heterotróficos con una tasa de filtración de 2.6 – 3.0 mg/L de clorofila (Vargas et al. 2006) (Tabla 20).

Dado el largo tiempo de desarrollo larval, la presencia de esta etapa larval en el plancton presenta una amplia ventana temporal desde otoño-verano, específicamente desde fines de Junio a febrero (Poulin et al. 2002a,b) y ha sido registra a diferentes profundidades dado que presentan un comportamiento con migración vertical diurna (Poulin et al. 2002a,b). Usando esta información, Garavelli et al (2015), han modelado la distribución de larvas competentes entre los 0 y 60 m de profundidad entre los 16 y 38°S (Tabla 20).

En este contexto, la variabilidad ambiental es crucial para comprender la dinámica de dispersión de esta especie. Así, se ha descrito que durante el periodo de ocurrencia de larvas competentes, el transporte de Ekman registrado en la costa de Chile central (33°S) fluctuó entre -300 (transporte costa adentro) y 1200 m3 s-1 km-1 (transporte costa afuera) (Poulin et al. 2002a). Así mismo, se ha sugerido que entre los 16 y 38°S, la velocidad de la corriente fluctuó entre 0.1 y 0.15 m/s a profundidades de hasta 60 m (Garavelli et al. 2014) y que la variabilidad natural en temperatura y salinidad, por ejemplo a los 33°S fluctúan entre 10.5 y 14.5°C y 34.2 34.3 psu (Poulin et al. 2002b), mientras que más al sur (44°S) puede la temperatura fluctuar entre 8 – 15°C (Molinet et al. 2005). Lo cual refleja también el gradiente natural en temperatura que afecta a la costa de Chile. Poulin et al. 2002a, también registraron valores de concentración de oxígeno entre 5 – 6.5 ml/L a los 33°S. Finalmente, los mismos autores reportaron ocurrencia de larvas competentes a valores de velocidad del viento menores a 10 km/h (Tabla 20).

3.2.3.1.3. Juveniles y adultos

En cuanto a los juveniles y adultos, a lo largo de la costa de Chile, ambos estadios comparten el mismo hábitat bentónico intermareal y submareal entre los 0 y 40 m de profundidad (Stotz 1997, Martínez & Navarrete 2002). El tamaño de los recién asentados es mayor a 1.5 - 1.9 mm de longitud peristomal (Stotz 1997, Moreno et al. 1993, Poulin et al 2002b, Manriquez et al. 2009, Manríquez et al. 2014b), alimentándose principalmente de pequeños invertebrados tales como cirripedios y mitílidos recién asentados (Manriquez et al. 2009). La ventana de asentamiento está asociado a periodo de primavera verano pero se

han registrado asentados entre junio y febrero (i.e., 30, 33 y 39°S, Stotz 1997, Moreno et al. 1993, Martínez & Navarrete 2002, respectivamente) (Tabla 20).

Estudios de campo han resumido la variabilidad ambiental a las que estarían expuestos los juveniles de C. concholepas a lo largo de la costa de Chile, y en particular a los 23°, 33° y 39°S, con valores de temperatura superficial del mar de 18.7, 15.4 y 13.6°C y salinidades entre 34.5, 34.4 y 32.8 psu a las respectivas latitudes (Lardies et al. 2014, Ramajo et al. 2013, 2015). Ambos patrones refleja también la variabilidad del gradiente natural en temperatura que existe en la costa de Chile (e.g., Dávila et al. 2002). En relación a otras variables como la concentración de oxígeno, no existen estudios que hayan caracterizado esta variable ambiental en asociación con asentados de C. concholepas. Sin embargo, existe registro de la tasa de consumo de estos individuos, la cual fluctuó entre 0.17 y 0.23 (Lardies et al. 2014) y 0.2 - 0.6 mg/L (Manriquez et al. 2014a). Finalmente, para variables climáticas asociadas a la acidificación del océano, se ha descrito que el pH es más bajo en el norte (7.6 a los 33°S, Lardies et al. 2014, Ramajo et al. 2013, 2015) y entre 7.9 y 8.1 en la zona de Valdivia (39°S, Manriquez et al. 2013). Los mismos autores reportan la consecuente variabilidad de presión parcial de dióxido de carbono (pCO2) con valores de 329 uatm a 23°S, un incremento a 752 uatm en la zona de surgencia a los 33°S) y cercano a 387 uatm a los 39°S (Manriquez et al. 2013, Lardies et al. 2014, Ramajo et al. 2013, 2015) (Tabla 20).

Se postula que los adultos de *C. concholepas* pueden alcanzar la madurez a los 2 años y con tamaños mayores a 4 cm de longitud peristomal (Stotz 1997). Dado su tiempo de vida, a lo largo de la costa de Chile podemos encontrar individuos de esa talla durante todo el año y distribuidos entre los 0 y 40 m de profundidad (Stotz 1997, Figura 136). Su alimentación dependerá de la disponibilidad de presas en su hábitat, pero en general se sostiene que se alimentan de cirripedios, mitílidos y piures (Stotz et al. 2003, Castilla & Fernández 1998). Así, es posible sostener que *C. concholepas* es una especie característica de ambiente bentónicos rocosos y expuestos (Fernández et al. 2007), el cual presenta una amplia distribución latitudinal desde Perú (ca. 6°S) hasta el Cabo de Hornos en Chile (ca. 55°S), e incluyendo el archipiélago de Juan Fernández (Cárdenas et al. 2008). Esta distribución latitudinal a lo largo de la costa de Chile–Perú implica que durante su ciclo de vida, *C*.

concholepas está expuesto a una amplia variabilidad ambiental determinada por la influenciada de procesos que operan a diferentes escalas espaciales y temporales (Martínez et al. 2001, Fernández et al. 2007, Manriquez et al. 2012, Ramajo et al. 2015). En consecuencia, es también posible sostener que la variabilidad natural dominante en la costa de Chile y en particular en rango latitudinal y distribución vertical del Loco son claves para comprender sus patrones de distribución, crecimiento y reproducción en la etapa adulta. Aun así, existen pocos estudios en que simultáneamente se haya registrado abundancia poblacional de locos y los parámetros ambientales. Por lo tanto, la disponibilidad de información ambiental a lo largo de su rango de distribución viene a representar un insumo importante que debemos colectar para la implementar el modelo de distribución y sus proyecciones en escenarios climáticos.

En cuanto a los juveniles y adultos, a lo largo de la costa de Chile, ambos estadios comparten el mismo hábitat bentónico intermareal y submareal entre los 0 y 40 m de profundidad (Stotz 1997, Martínez & Navarrete 2002). El tamaño de los recién asentados es mayor a 1.5 – 1.9 mm de longitud peristomal (Stotz 1997, Moreno et al. 1993, Poulin et al 2002b, Manriquez et al. 2009, Manríquez et al. 2014b), alimentándose principalmente de pequeños invertebrados tales como cirripedios y mitílidos recién asentados (Manriquez et al. 2009). La ventana de asentamiento está asociado a periodo de primavera verano pero se han registrado asentados entre junio y febrero (i.e., 30, 33 y 39°S, Stotz 1997, Moreno et al. 1993, Martínez & Navarrete 2002, respectivamente) (Tabla 20)

Estudios de campo han resumido la variabilidad ambiental a las que estarían expuestos los juveniles de *C. concholepas* a lo largo de la costa de Chile, y en particular a los 23°, 33° y 39°S, con valores de temperatura superficial del mar de 18.7, 15.4 y 13.6°C y salinidades entre 34.5, 34.4 y 32.8 psu a las respectivas latitudes (Lardies et al. 2014, Ramajo et al. 2013, 2015). Ambos patrones reflejan también la variabilidad del gradiente natural en temperatura que existe en la costa de Chile (e.g., Dávila et al. 2002). En relación a otras variables como la concentración de oxígeno, no existen estudios que hayan caracterizado esta variable ambiental en asociación con asentados de C. concholepas. Sin embargo, existe registro de la tasa de consumo de estos individuos, la cual fluctuó entre 0.17 y 0.23 (Lardies

et al. 2014) y 0.2 - 0.6 mg/L (Manríquez et al. 2014a). Finalmente, para variables climáticas asociadas a la acidificación del océano, se ha descrito que el pH es más bajo en el norte (7.6 a los 33°S, Lardies et al. 2014, Ramajo et al. 2012, 2015) y entre 7.9 y 8.1 en la zona de Valdivia (39°S, Manriquez et al. 2013). Los mismos autores reportan la consecuente variabilidad de presión parcial de dióxido de carbono (pCO2) con valores de 329 µatm a 23°S, un incremento a 752 µatm en la zona de surgencia a los 33°S) y cercano a 387 µatm a los 39°S (Manríquez et al. 2013, Lardies et al. 2014, Ramajo et al. 2013, 2015) (Tabla 20).

Se postula que los adultos de C. concholepas pueden alcanzar la madurez a los 2 años y con tamaños mayores a 4 cm de longitud peristomal (Stotz 1997). Dado su tiempo de vida, a lo largo de la costa de Chile podemos encontrar individuos de esa talla durante todo el año y distribuidos entre los 0 y 40 m de profundidad (Stotz 1997, Figura 136). Su alimentación dependerá de la disponibilidad de presas en su hábitat, pero en general se sostiene que se alimentan de cirripedios, mitílidos y piures (Stotz et al. 2003, Castilla & Fernández 1998). Así, es posible sostener que C. concholepas es una especie característica de ambiente bentónicos rocosos y expuestos (Fernández et al. 2007), el cual presenta una amplia distribución latitudinal desde Perú (ca. 6°S) hasta el Cabo de Hornos en Chile (ca. 55°S), e incluyendo el archipiélago de Juan Fernández (Cárdenas et al. 2008). Esta distribución latitudinal a lo largo de la costa de Chile-Perú implica que durante su ciclo de vida, C. concholepas está expuesto a una amplia variabilidad ambiental determinada por la influenciada de procesos que operan a diferentes escalas espaciales y temporales (Martínez et al. 2001, Fernández et al. 2007, Manríquez et al. 2012, Ramajo et al. 2014). En consecuencia, es también posible sostener que la variabilidad natural dominante en la costa de Chile y en particular en rango latitudinal y distribución vertical del Loco son claves para comprender sus patrones de distribución, crecimiento y reproducción en la etapa adulta. Aun así, existen pocos estudios en que simultáneamente se haya registrado abundancia poblacional de locos y los parámetros ambientales. Por lo tanto, la disponibilidad de información ambiental a lo largo de su rango de distribución viene a representar un insumo importante que debemos colectar para la implementar el modelo de distribución y sus proyecciones en escenarios climáticos.



Figura 136. Estructura de Tallas de *C. concholepas* (áreas de manejo columnas y áreas de libre acceso, línea y puntos) registrados en la costa de la III y IV regiones de Chile (FIP 2002-16).

3.2.3.2. Tabla de hábitat del loco

Para organizar la información disponible por estado ontogénico del recurso *C. concholepas* se elaboró una tabla de hábitat del recurso (Tabla 20) con variables relevante a lo largo del ciclo de vida del recurso, esta recopilación por estadio y variable permite identificar el nivel de información disponible que será clave en la elaboración del mapa conceptual del hábitat.

Nivel Hábitat / Estadios	Larva encapsulada y		Asentados y	
loco	recién eclosionadas	Larva competente en fase dispersora	juveniles	Adultos
	240 - 260 μm ^(1, 2)	< 1600–1900 um ^(1,2)		
Longitud o edad	45 – 50 d a 23°S ⁽³⁾ 45– 48 d a 33°S ⁽³⁾ 65– 70 d a 39°S ⁽³⁾	3–4 meses a 30°S ^(2, 4) 3–4 meses a 39°S ⁽⁵⁾ 6–12 meses a 41°S ⁽⁶⁾	>1.5 -1.9 mmLP ^(3, 4, 5, 7, 8)	> 2 años > 4 cm LP ⁽⁴⁾
Dieta	Eclosionada: Dinoflagelados heterotróficos y picoplancton ^(2,4, 9)	Diatomeas y Protozoos heterotróficos ⁽³⁾	Cirripedios, mitílidos ⁽⁸⁾	Cirripedios, mitílidos, Pyure ^(10, 11)
Estacionalidad	Febrero – Julio ^(3, 4)	Junio – Febrero ^(7, 12)	Junio – Febrero ^(4, 5, 13)	Todo el año ⁽⁴⁾
Distribución Geográfica		6°S – 55°S ⁽¹⁴⁾ ; Resolución Longitudinal 16°	S-38°S: 78°W hasta la costa ⁽¹⁵⁾	
Columna de agua (profundidad en m)	$0-40$ a 30°S $^{(4)}y$ a 33°S $^{(16)}$	$\begin{array}{c} 0\text{-15 con DVM}^{(7,\ 12)} \\ 0-60 \ \text{entre los} \ 16 \ y \ 38^\circ S^{(15)} \end{array}$	$\begin{array}{c} 0 - 1^{(13)} \\ 0 - 40^{(17)} \\ 0 - 60 \ m^{(15)} \end{array}$	$0 - 40 \text{ m}^{(4)}$
Transporte de Ekman (m ³ s ⁻¹ km ⁻¹)	-	Onshore: -300; Off-shore: 1200 a 33° Sur ⁽¹²⁾	-	-
Velocidad (m/s)	-	$\begin{array}{c} 0.1 - 0.15 \; (\; 0 - 20 \; m) \\ 0 - 0.1 \; (20 \; a \; 60 \; m) \\ \text{entre} \; 16 - 38^\circ \; \text{Sur}^{(15)} \end{array}$	-	-
Temperatura (°C)	$16^{(1)} \\ 13.5 - 14.5^{(18)} \\ 10 - 16 \text{ entre } 20 - 42^{\circ}\text{S}^{(19)} \\ 11.4 - 12.6 \text{ a } 39^{\circ}\text{S}^{(20)}$	10.5 – 14.5 a 33°S ⁽⁷⁾ 8 – 15 a 44° S ⁽⁶⁾	18.7 a 23° S; 15.4 a 33°S; 13.6 a 39°S ^(21, 22, 23)	
Salinidad (psu)	>25, óptimo 28 – 30 a 30°S ⁽²⁴⁾ 31.1 – 32.3 a 39°S ⁽²⁰⁾	34.2 - 34.35 a 33°S ⁽¹²⁾	34.5 a 23°S; 34.4 a 33°S; 32.8 a 39°S ^(21, 22, 23)	-
Oxígeno (ml/L)	-	$5.0 - 6.5 \text{ a } 33^{\circ} \text{S}^{(12)*}$	0.17 a 39°S; 0.23 a 23°S ^{(21)**} 0.2 – 0.6 a 39°S ^{(25)**}	0.57 – 0.72 mlO2/h (39°S ^{(26)**}
Clorofila (mg/L)	0.8-0.4 (2, 9)**	2.6 - 3.0 (2)**	-	-
pH (acidificación)	7.9 a 39°S ⁽³⁾	-	7.6 a 33°S 7.8 a 39°S (21, 22, 23) 8.1 ^a 39°S ⁽²⁵⁾	
pCO ₂ (uatm)	365 - 398 ⁽³⁾	-	329 a 23°S; 752 a 33°S, 371 a 39°S ^(21, 22, 23) 387 a 39°S ⁽²⁵⁾	-
Vientos (km/h)	-	<10 km/h; Componente norte-sur a 33°S ⁽¹²⁾	_	-

Tabla 20. Nivel de hábitat por estado ontogénico de Concholepas concholepas (Loco)

⁽¹⁾Disalvo 1988; ⁽²⁾Vargas et al. 2006; ⁽³⁾ Manríquez et al. 2014b; ⁽⁴⁾Stotz, 1997; ⁽⁵⁾ Moreno et al. 1993; ⁽⁶⁾Molinet et al. 2005; ⁽⁷⁾Poulin et al. 2002b; ⁽⁸⁾ Manriquez et al. 2009; ⁽⁹⁾ Vargas et al. 2013; ⁽¹⁰⁾ Stotz et al. 2003; ⁽¹¹⁾ Castilla& Fernández 1998; ⁽¹²⁾ Poulin et al. 2002a; ⁽¹³⁾ Martinez& Navarrete 2002; ⁽¹⁴⁾ Cardenas et al 2008; ⁽¹⁵⁾Garavelli et al. 2014; ⁽¹⁶⁾ Manriquez& Castilla 2001; ⁽¹⁷⁾ Stotz et al 1991a; ⁽¹⁸⁾Castilla & Cancino 1976; ⁽¹⁹⁾ Fernandez et al. 2007; ⁽²⁰⁾ Manriquez et al. 2014: ⁽²¹⁾ Lardies et al. 2014; ⁽²²⁾ Ramajo et al. 2013; ⁽²³⁾ Ramajo et al. 2015; ⁽²⁴⁾Gallardo 1994; ⁽²⁵⁾Manriquez et al. 2013; ⁽²⁶⁾Navarro & Torrijos 1995.* = dato de campo; ** tasa de consumo.

Sobre la base de los antecedentes e información recopilada y al conocimiento del equipo científico del presente proyecto; se estimó el nivel de importancia del hábitat esencial para los distintos estadios del recurso loco (

Tabla 21), incluyendo las principales variables ambientales y categorizándolas, según etapa de vida, en nivel de importancia, donde:

Muy importante

5

3

- Importante 4
- Relativa
- Regular 2
- Menor 1

Tabla 21. Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) por etapa de vida para el recurso Loco.

Nivel HE Etapa	Dieta	Latitud	Masas de agua	Corrientes	T°	Cl-a	Salinidad	O ₂	Vientos	Surgencia
	3	4	4	3	4	4	3	4	3	3
Larva										
encapsulada/										
eclosionada										
	4	4	5	5	4	4	3	3	4	4
Larva										
Competente										
	3	5	4	2	3	2	2	3	2	3
Juveniles										
	3	2		2	3	2	2	3	2	3
Adultos										

En general, se observa un desacople en la importancia de diferentes factores ambientales a través de los estados ontogénicos, ya que para organismos de ciclo de vida complejo es esperable que ocurran grandes modificaciones en su plan de desarrollo debido a que diferentes estadios (larvas – adultos) exploran diferentes tipos de hábitats (pelágico – bentónico). Así, por ejemplo, las corrientes tiene importancia contrastante entre los estadios del hábitat bentónico (capsulas, juveniles y adultos) y del pelágico (larva competente), y en el caso de la clorofila, las larvas consumen fitoplancton mientras que los juveniles y adultos son carnívoros. Otras variables asociadas a acidificación del océano serán consultadas a expertos e incluidas en esta evaluación de vulnerabilidades del hábitat del Loco.

3.2.3.3. Mapa conceptual del hábitat del loco

En función de los antecedentes biológicos disponibles, la organización de la población de *Concholepas* concholepas a lo largo de la costa de Chile (Figura 137b) incluye el hábitat bentónico en el inter y submareal rocoso (~ 0 a 40 m de profundidad) y a lo largo de rango de distribución entre los 6°S y 55°S, en el cual los adultos crecen, maduran y se reproducen depositando capsulas ovígeras (DiSalvo, 1988, Stotz 1997, Manriquez & Castilla, 2001, Fernández et al. 2007). En este hábitat bentónico ocurre el desarrollo larval intra-capsular (~ 0 a 40 m profundidad, Stotz, 1997, Manriquez y Castilla, 2001), el cual tiene una duración variable latitudinalmente y alcanzando entre 45 a 70 días de norte (23°S) a sur (39°S) (Manriquez et al. 2014b). Luego de este tiempo de desarrollo intra-capsular ocurre una fase dispersora, cuya competencia para asentarse la logra en un periodo que también varía latitudinalmente y toma entre 3 a 4 meses en la costa del norte y centro de Chile (Stotz, 1997, Moreno et al., 1993) y se postula que entre 6 a 12 meses en la zona austral de Chile (Molinet et al. 2005). Durante este periodo de dispersión, la larva presenta un comportamiento con migración vertical diurna que le permite evitar el trasporte costa afuera de los procesos de surgencia costera (Poulin et al., 2002a). Así mismo, esta longitud del periodo de dispersión podría permitirle lograr una distancia de conectividad de varios cientos de kilómetros (Garavelli et al., 2014) (Figura 137b).

Todos estos procesos biológicos interactúan con los procesos ambientales físicos y químicos que dominan a lo largo de la distribución de *C. concholepas* en la costa de Chile. Entre estos es importante resaltar el rol de los sistemas de corrientes (Figura 137a: HC = C. de Humboldt; CHC = Corriente del cabo de Hornos, CCC = Corriente Costera de Chile) y los ecosistemas de surgencia (Thiel et al. 2007), el gradiente latitudinal en temperatura superficial del mar (Figura 135c; Ramajo et al. 2013, 2015, Lardies et al. 2014). Otros procesos que alteran la química del océano, tales como la descarga de plumas de ríos en la zona centro-sur de Chile afectando su salinidad y pH (Dávila et al. 2002, Pérez et al. 2015; Figura 135d) y finalmente el flujo de CO₂ el océano costero y que afecta su nivel de acidificación oceánica y que se intensifica en los principales centros de surgencia de la costa de Chile (Torres et al. 2011; Figura 135e).

Sobre la base de esta información biológica y ambiental se postula un modelo conceptual para abordar la organización espacial del hábitat esencial de los diferentes estadios ontogénicos de *C. concholepas* (Figura 137).



Figura 137. Modelo conceptual del hábitat esencial de *C. Concholepas* y principales procesos ambientales que afectan su ciclo de vida. Se suponen 5 subpoblaciones a lo largo de la costa de Chile, los círculos negros indican el desarrollo embrionario intra-capsular cuya duración es proporcional al área del círculo, las flechas indican la fase de dispersión; la flecha negra indica auto-reclutamiento (A) y su longitud es proporcional a la duración del Periodo de Dispersión Larval; las flechas rojas indican conectividad (C) entre poblaciones dado por dispersión larval interactuando con el flujo hidrodinámico dominante en la dirección sur-norte (flecha solida) o por eventuales reversiones en sentido contrario (flecha roja sementada).
3.2.3.4. Modelo conceptual espacio temporal del hábitat esencial del loco

El modelo conceptual del hábitat esencial del recurso *C. concholepas* (Loco) considera 4 fases principales de su ciclo de vida (larva encapsulada – larva competente, juvenil, adulto, Tabla 20) y su ocurrencia a través de todo el rango latitudinal de Chile y entre los 0 y 40 m de profundidad en hábitat bentónico rocoso y hasta aproximadamente 60 km costa afuera (ca. 78°W hasta la costa, e.g., Garavelli et al. 2014).

La información recopilada permitió identificar procesos, sus escalas espaciales y temporales y el nivel de interacción/sobre-posición entre estos procesos a través de las escalas. Como resultado de este ejercicio se estructuró un modelo que considera la ocurrencia de tres sub-sistemas o planos principales (Figura 138): 1) los forzantes ambientales, que incluye procesos físicos y químicos con diferentes combinaciones de escalas espacio-temporales. Por ejemplo, surgencia de frecuencia estacional que acopla regionalmente el sistema bento-oceánico; ciclo de ENOS con frecuencia interanual y a escala del Océano Pacífico. En el extremo superior de este plano ambiental se localizan las fluctuaciones asociadas a cambios climáticos globales. Mientras este plano incorpora hasta las escalas globales, los planos socio-ecológico de la pesquería del loco y su dinámica poblacional puede ser restringida espacialmente a la escala del Pacifico sur-este o costa de Chile.

En el plano del sistema socio-ecológico (Figura 138. Pesquería), se incluye el sistema de Áreas Marinas de Explotación de Recursos Bentónicos (AMERBs) o áreas de manejo que tienen una reducida escala espacial, pero se espera una operación que incluye tanto la escala diaria como hasta inter-década, así mismo las agencias encargadas de su gestión con escalas que operan en escalas interanual hasta decadal, ya que están sujetas a los planes y programas de los gobiernos de turno, también incluye las presiones de mercado que influencia la extracción del recursos producto, las cuales pueden están asociados a ciclos económicos de más largo plazo. En la escala superior de este plano socio-ecológico se representa al modelo económico imperante el cual define las proyecciones de crecimiento esperadas por diferentes escenarios climáticos (e.g., Escenario IS92a, "business as usual").

Finalmente, al centro de este modelo se presenta el plano correspondiente a la dinámica de la población (Figura 138, Límites biológicos). El plano biología incluye tres procesos biológicos críticos que se desarrollan a meso-escala espacial y escala temporal estacional (reproducción, alimentación) el cual se sobrepone a la escala del comportamiento (migraciones verticales y horizontales) de la especie en el estadio larval. La dispersión larval, ocurre a amplias escalas espaciales (incluso biogeográfica) pero con duración estacional. A escalas intermedias (Biogeográfica/estacional a inter-anual) los organismos deben realizar ajustes en su fisiología para enfrentar la variabilidad ambiental (estacionalidad, eventos ENOS) que opera en esas escalas. Estos periodos de exposición a variabilidad ambiental generan una respuesta de aclimatación y son la base para potenciales respuestas evolutivas de una especie biológica. Así, en el extremo superior de este plano se representa la evolución de la especie correspondiente a la escala de tiempo a la cual el recurso responde y se adapta a los cambios climáticos globales y que debe ser considerada en las proyecciones de crecimiento del sistema socio-ecológico y sostenibilidad de largo plazo.



Figura 138. Modelo conceptual espacio-temporal de la pesquería del recurso Concholepas concholepas (Loco).

Ambiente

Antropogénico

3.2.4. Modelo conceptual Chorito frente a Chile

En esta sección se resumen la información sobre el entorno ambiental, biológico, ecológico y pesquero realizado en la revisión bibliográfica del Capítulo 3 sección 3.1.2.4 (especie *Mytilus chilensis*) para establecer un modelo conceptual que incorpore procesos relevantes y que operen en cuatro escalas espaciales dominantes (Global, Océano pacifico, Pacífico suroriental y área de la pesquería bentónica) y cuatro escalas temporales (interdecadal, interanual, estacional e intra-estacional): sin embargo, dado que la distribución geográfica, historia de vida, dispersión y conectividad poblacional del recurso chorito.

Al igual que para las especies modelo descritas anteriormente, para la elaboración de este modelo conceptual del recurso chorito se consideró: a) los aspectos biológicos, b) físico-ambientales y la pesquería. Los dos primeros permiten identificar el hábitat del recurso, en términos geográficos y estacionales (mapa de hábitat), para cada uno de los estadios de desarrollo (Larva, larva competente, asentado o juvenil (semillas en el sistema acuicultor), y adultos) además de incorporar variables ambientales físico-químicas que influyen en estas etapas. En relación al plano de la pesquería de este recurso, este aspecto se refiere a la colecta de semillas y proceso de engorda en centros de cultivo y extracción en bancos naturales, y el manejo y gestión que realizan las unidades que regulan la extracción del chorito (Figura 139).



Figura 139. Esquema de elaboración modelo conceptual del recurso chorito (Mytilus chilensis)

3.2.4.1. Descripción del hábitat esencial por etapa de vida

3.2.4.1.1. Larvas

El desarrollo larval de *Mytilus chilensis* cuenta un una serie de estados ontogénicos sucesivos y de duración variable (Tabla 22). Por ejemplo, la larva trocófora aparece a entre 24 a 24 h post fecundación y tiene una longitud de 70 µm. Luego es seguida por una etapa véliger o larva D, que dura entre 2 y 10

días, en los cuales alcana un tamaño cercano a 90-116 μ m; la larva umbonada o veliconcha aparece a entre 10 y 11 días post fecundación, y alcanza una longitud entre 147 – 258 μ m; la etapa pedivéliger aparece entre los 26 y 29 días, alcanzado un tamaño entre 240 a 270 micras (Marilao, 2009, Lagos et al. 2012b, Toro et al. 2004). En general, la duración completa de esta fluctuaría entre 21 y 35 días (Marilao 2009, Lagos et al. 2012b, Toro & Sastre 1995, Toro et al. 2004, Toro et al. 2004)

Durante esta etapa larval, los individuos se alimentan de fitoplancton (Leiva et al. 2007), y estudios desarrollados en la zona de Chiloé, las larvas de *Mytilus* se asocian a valores de 0.93 - 9.03 mg/m3 de Clorofila en el agua (Tabla 22).

En términos de la estacionalidad, esta etapa larval del chorito ocurriría principalmente en primaveraverano (Octubre, noviembre y diciembre) (Marilao 2009, Winter et al 1983, Chaparro & Winter 1983, Avendaño et al. 2011). Mientras que en términos de distribución latitudinal ocuparía el rango de distribución de la especies, esto es desde los 37°S en Tirúa hasta los 56°S en tierra del fuego (Toro et al. 2006). Por otra parte, su mayor ocurrencia en la columna de agua ha sido descrita desde los 8 a 10 m de profundidad (Marilao 2009) (Tabla 22).

Dentro del rango de distribución de esta especie, la variabilidad en parámetros ambientales es altamente heterogénea en términos espaciales y temporales. En el caso de la temperatura, se ha reportado que el óptimo termal para esta etapa larval estaría asociada a valores de 9°C en la zona de Chiloé (Toro et al. 2012). Mientras que la salinidad presentaría valores entre 9 a 26 psu en la zona del seno de Reloncaví (40°S, Molinet et al. 2005), hasta 28.9 a 33 psu en el rango de distribución vertical de la especie en la zona de Chiloé (41°S, Marilao 2009) (Tabla 22).

Para esta etapa larval, no se han registrado estudios que asocien su distribución con parámetros ambientales como oxígeno, pH y acidificación del océano, o vientos locales y regionales y las velocidades de las corrientes resultantes (Tabla 22).

3.2.4.1.2. Larva competente

La larva competente o plantígrado aparece a los 30 días post fecundación y alcanza un tamaño de entre 280 a 300 micras (Marilao 2009), con lo cual el ciclo de desarrollo larval de *M. chilensis* tomaría entre 40 y 45 días (Toro et al. 2006, Marilao 2009). Durante esta etapa también se alimenta de fitoplancton (Leiva et al. 2007) y ha sido asociada a niveles de Clorofila que fluctúan entre 0.93 a 9.03 mg/m³ en la zona de Chiloé (41°S, Marilao 2009).

En términos de la estacionalidad, la información para la zona de Chiloé es controversial, ya que algunos estudio sostienen esta etapa larval es registrada en la columna de agua entre los meses de noviembre a enero (41°S, Ibarrola 2012) o bien incluyendo toda la estación de primavera-verano entre septiembre y marzo (Avendaño et al. 2011).

En términos espaciales, esta etapa larval obviamente se distribuye latitudinalmente siguiendo el rango de distribución de la especie (37 a 56°S, Toro et al. 2006). En términos verticales, en la zona de Chiloé se localizaría entre los 8 y 10 m de profundidad (Marilao 2009).

Esta distribución espacial y temporal de las larvas competentes ha sido asociada a la variabilidad ambiental. En el caso de la temperatura, en Chiloé (41°S) se ha registrado la presencia de larvas competentes a nivel superficial (entre 0 y 6 m) y con temperaturas entre 9 y 18°C y a mayores profundidades con temperaturas entre 11 y 12°C (Barría et al. 2012). Marilao 2009, registró temperaturas entre 17.4°C en superficie y 10.5°C en estratos más profundos (> 8 m). Por otra parte, los rangos de salinidad fluctúan entre 9 a 26 psu en la zona del Seno de Reloncaví (Molinet et al. 2005), mientras que en la zona de Chiloé, estas fluctúan entre 20 a 22 psu a nivel superficial (0 a 6 m) y 33 psu a nivel más profundo (> 7 m, Barría et al. 2012). Estos autores asociaron la llegada de larvas competentes a la zona costera durante viento Sur-Oeste (Barría et al. 2012).

Para esta etapa larval, tampoco se han registrado estudios que asocien su distribución con parámetros ambientales como oxígeno, pH y acidificación del océano (Tabla 22).

3.2.4.1.3. Asentados, juveniles o Semillas

Luego del periodo larval en la columna de agua las larvas competentes se asientan en el bentos. Estos juveniles recién asentados se desarrollan rápidamente hasta alcanzar un tamaño de 1 a 2 cms en el cual son considerados semillas para el sistema acuicultor. Por una parte, este desarrollo ocurre en semilleros (e.g., fiordo de Reloncaví, Estero Pitipalena y puerto Marín Balmaceda) desde aquí son trasladados a centros de engorda en Calbuco (seno de Reloncaví) y la zona del mar interior de Chiloé. Esta estrategia de movilidad afecta los patrones de dispersión larval, conectividad y estructura genética de estas poblaciones (Toro et al. 2006) (Tabla 22).

Durante este periodo, los juveniles ya se alimentan de las particular orgánicas presentes en el seston con valores de 1,5 mg/l POM en la zona de Yaldad (Velasco & Navarro 2005, Navarro et al. 2013). Su estacionalidad presenta una ventana que ha sido descrita entre enero y febrero en la zona de Chiloé (Marilao 2009), pero con una temporalidad de entre octubre y febrero para todo el sistema acuicultor (AmiChile 2015) (Tabla 22).

En términos espaciales, los juveniles siguen la distribución latitudinal de los adultos de la especie (37 a 56°S, Toro et al. 2006). En términos verticales, en la zona de Chiloé se localizaría entre los 0 y 10 m de profundidad (Barría et al. 2012), con máximos de abundancia a los 4 m (Marilao 2009) (Tabla 22).

La variabilidad ambiental del hábitat de los juveniles indica que mejores desempeños de estos se asocian a rangos de temperatura entre 10 y 15°C (Marambio et al. 2012) y entre 12 a 14°C en la zona de Yaldad (43°S, Navarro et al. 2013). Mientras que la salinidad fluctúa entre 9 a 26 psu en los 40°S (Molinet et al. 2005), 32 psu en la zona de Chiloé (42°S, Marambio et al. 2012), y 31 a 32 psu en la zona de Yaldad (Navarro et al. 2013) (Tabla 22).

Finalmente, se ha descrito el desempeño fisiológico de estos estadios juveniles de *M. chilensis* frente a parámetros asociados a la acidificación del océano, y en relación a esos se indica que para la zona de Yaldad los juveniles estarían experimentando rangos de pH de 8.1 y presión parcial de CO2 de 388 uatm (Navarro et al 2013, Duarte et al. 2014a,b) (Tabla 22).

3.2.4.1.3. Adultos

Se considera que un individuo de *M. chilensis* alcanza la madurez a un tamaño de 40 mm (Oyarzun et al. 2011) pero cuyo periodo puede ser variable y mayor a 10 meses y desde la perspectiva económica del sistema acuicultor, la talla comercial es de 50 mm (Amichile 2015) (Tabla 22).

En la etapa adulta los individuos dependen del seston disponible, el cual se asocia a valores entre 2,5, a 665 mg/l en la zona de Chiloé (42°S, Velasco & Navarro 2005, Ibarrola et al. 2012), valores de material particulado total (TPM) y porcentaje de materia orgánica particulada (POM) a de 3 a 14 mg/l y 20 a 25%, respectivamente (Navarro et al. 2005, Tabla 22).

Dado que el ciclo de vida del adulto supera la escala anual, dentro de su rango de distribución los individuos están presentes durante todo el año con un desove principal reportado para los meses de noviembre y diciembre (Chaparro & Winter 1983, Winter et al. 1983), o hasta marzo del año siguiente (Avendaño et al. 2011). El sistema acuicultor realiza la cosecha de estos individuos principalmente durante el periodo de noviembre a junio (AmiChile 2015). En términos verticales, las abundancias mayores de los bancos naturales se registran entre 0 y 10 m de profundidad (Molinet et al. 2005, Barría et al. 2012) (Tabla 22), esta profundidad que también usada en el sistema acuicultor.

La variabilidad ambiental impacta el desarrollo y fisiología de los adultos y se ha reportado que la temperatura en la zona del seno de Reloncaví y Chiloé fluctúa entre 9 a 16°C (Navarro et al. 2005, Barría et al. 2012). Además, se indica que temperaturas mayores de 15°C afectan positivamente el desarrollo gónado-somático o IGS (Ibarrola et al. 2012). Avendaño et al. 2011 indica que los mayores desoves ocurren a temperaturas mayores a 14 °C. Así el óptimo de temperatura de esta especie en la zona de Chiloé podría ser de 9°C (Toro et al. 2004). Finalmente, Navarro et al. 2005, para la zona de Yaldad indica que el viento sur domina la influencia en esta área (Tabla 22).

3.2.4.2. Tabla de hábitat del chorito

En la Tabla 22 se muestra el Nivel de hábitat por estado ontogénico de Mytilus chilensis (chorito).

Nivel Hábitat / Estadios Chorito	Larva	Larva competente	Asentado, juvenil (Semilla)	Adulto	
Longitud o edad (post fecundación)	Trocofora $24 - 48 h$; 70 um ⁽¹⁾ Veliger (larva D) 2 - 10 dias; 90 - 116 um ^(1,4) Veliconcha (umbonada) 8 - 11 d; 147 - 250 um; ^(1,4) Pediveliger 26 - 29 d; 240 - 270 um ^(1,4) 21 - 35 d ^(1, 34, 6)	Plantigrado 30 d ; 280 – 300 um (1) $40 - 45 d^{(1, 3, 4, 6)}$	Semilla 1 – 2 cm L Juvenil 10- 18 meses ⁽⁷⁾	40 mm ⁽⁸⁾ Talla comercial 50 mm ⁽⁷⁾	
Dieta	Fitoplancton ⁽⁹⁾	Fitoplancton ⁽⁹⁾ Seston ⁽¹⁰⁾		Seston ^(10, 11) Seston 2,53 – 665 mg/L a 42°S ⁽¹⁰⁾	
Estacionalidad	Octubre-Noviembre – Diciembre ^(1, 12, 13, 14)	Noviembre – Enero 41°S ⁽¹⁵⁾ Septiembre – Marzo a 41°S ⁽¹⁴⁾	Octubre – Febrero ⁽⁷⁾ Enero – Febrero ⁽¹⁾	Todo el año, desove en Noviembre – diciembre ^(12, 13) Noviembre – Marzo ⁽¹⁴⁾ Cosecha: Noviembre–Junio ⁽⁷⁾	
Distribución Geográfica	37°S a 56°S ⁽¹⁶⁾	-			
Columna agua (profundidad en m)	$8 - 10 \text{ a } 41^{\circ} \text{S}^{(1)}$	$8 - 10 \text{ a } 41^{\circ}\text{S}^{(1)}$	0 – 10 ^(15, 17) Máximo a 4 m ⁽¹⁾	0-10 ^(15, 17)	
Velocidad (m/s)	-	-	-	-	
Temperatura (°C)	Optimo 9 a 41°S ⁽⁵⁾	Superficial (0-6 m): 9 – 18°C; profundidad (>7 m) 11 – 12°C a 41°S ⁽¹⁵⁾ 10.5 – 17.4°C en los 8-10 m prof. y superficie respec. a 41°S ⁽¹⁾	$10 - 15 \ ^{\circ}C \ ^{(18)}$ $12 - 14 \ ^{\circ}C \ a \ 43 \ ^{\circ}S \ ^{(19)}$	9 – 16 a los 41°S ⁽²⁰⁾ >IGS a >15°C ⁽¹¹⁾ 10-15 °C ⁽¹⁸⁾ Desove a >14°C ⁽¹⁴⁾ Optimo 9 a 41°S ⁽⁴⁾	
Salinidad (psu)	9 – 26 a los 40°S ⁽¹⁷⁾ 28.9 – 33 en los 8-10 m prof. a 41°S ⁽¹⁾	9 – 26 a los 40°S ⁽¹⁷⁾ Superficial (0-6 m): 20 – 22; profundo (>7 m) 33 a 41°S ⁽¹⁵⁾	9 - 26 a 40°S ⁽¹⁷⁾ 32 a 42°S ⁽¹⁸⁾ 31 - 32 a 43°S ⁽¹⁹⁾	9 – 26 a los 40°S ⁽¹⁷⁾ 24 – 31 a 42°S ⁽²⁰⁾	
Oxígeno (ml/L)					
Clorofila – TPM – POM	Cl-a $0.93 - 9.03 \text{ mg} / \text{m}^3 \text{ a } 41^{\circ}\text{S}$	Cl-a $0.93 - 9.03$ mg /m ³ a 41°S ⁽¹⁾	1.5 mg/L a 43°S ⁽¹⁹⁾	3 – 14 mg/L TPM a 42°S ⁽²⁰⁾ 20 – 25 % POM a 42°S ⁽²⁰⁾ *9.8 – 75 mg/h a 42°S ⁽²⁰⁾	
pH (acidificación)	-	-	8.1 (19, 21, 22)	-	
pCO ₂ (µatm)	-	-	388 (19, 21, 22)	-	
Vientos	-	Viento Sur – Oeste a los 41°S $^{(15)}$		Viento Sur ⁽²⁰⁾	

Tabla 22. Nivel de hábitat por estado ontogénico de Mytilus chilensis (chorito).

⁽¹⁾ Marilao 2009; ⁽²⁾ Lagos et al. 2012b; ⁽³⁾ Toro & Sastre 1995; ⁽⁴⁾ Toro et al. 2004; ⁽⁵⁾ Toro et al. 2012; ⁽⁶⁾ Toro et al. 2006; ⁽⁷⁾ AmiChile 2015; ⁽⁸⁾ Oyarzun et al. 2011; ⁽⁹⁾ Leiva et al. 2007; ⁽¹⁰⁾ Velasco & Navarro 2005, ⁽¹¹⁾ Ibarrola et al. 2012; ⁽¹²⁾ Winter et al. 1984, ⁽¹³⁾ Chaparro & Winter 1983; ⁽¹⁴⁾ Avendaño et al. 2011; ⁽¹⁵⁾ Barría et al. 2012; ⁽¹⁶⁾ Toro et al. 2006; ⁽¹⁷⁾ Molinet et al. 2015; ⁽¹⁸⁾ Marambio et al. 2012; ⁽¹⁹⁾ Navarro et al. 2013; ⁽²⁰⁾ Navarro et al. 2005; ⁽²¹⁾ Duarte et al. 2014a; ⁽²²⁾ Duarte et al. 2014b; * datos de laboratorios.

Sobre la base de los antecedentes e información recopilada y al conocimiento del equipo científico del presente proyecto; se estimó el nivel de importancia del hábitat esencial para los distintos estadios del recurso chorito (

Tabla 23), incluyendo las principales variables ambientales y categorizándolas, según etapa de vida, en nivel de importancia, donde:

Muy importante

5

3

- Importante 4
- Relativa
- Regular 2
- Menor 1

Nivel HE Etapa	Dieta	Latitud	Masas de agua	Corrientes	T°	Cl-a	Salinidad	O ₂	Vientos	Acidificación
Larva (35 d)	5	5	5	5	5	5	3	5	5	?
Larva Competente (45 d)	5	5	5	5	5	5	3	5	5	?
Juveniles	5	5	4	3	5	3	3	5	5	5
Adultos	5	5	4	3	5	3	3	5	4	?

Tabla 23. Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) por etapa de vida para el recurso Chorito.

En general, se observa un el desacople en la importancia de diferentes factores ambientales a través de los estados ontogénicos, ya que para organismos de ciclo de vida complejo es esperable que ocurran grandes modificaciones en su plan de desarrollo debido a que diferentes estadios (larvas – adultos) exploran diferentes tipos de hábitats (pelágico – bentónico). Así mismo, similares respuestas se esperan para variables que pudieran estar acopladas a nivel local (vientos, corrientes), pero a escala regional o latitudinal las masas de agua son importantes en determinar variaciones en variables como temperatura y clorofila-a, las cuales tienen efectos directos sobre las poblaciones locales (e.g., Toro et al.2005, Barría et al. 2012). Se considera la acidificación del océano dada la existencia de estudios en juveniles.

3.2.4.3. Mapa conceptual del hábitat del chorito

En función de los antecedentes biológicos recopilados (Tabla 22 y capítulos anteriores), es posible sostener que la organización de la población de *Mytilus chilensis* (chorito) a lo largo de su actual rango de distribución latitudinal en la costa de Chile entre los 39°S y 55°S (Figura 140b) incluye el hábitat bentónico en el inter y submareal rocoso (ca. 0 a 10 m de profundidad, Molinet et al. 2015). En este hábitat los adultos crecen, maduran y se reproducen desovando en el periodo de primavera-verano (Chaparro & Winter 1983, Winter et al. 1984). El estadio larval representa la fase dispersora de esta especie, y se han descrito una serie de estados previos a lograr la competencia (larva trocófora, D, umbonada, pedivéliger), los cuales tiene una duración variable fluctuando entre 20 a 35 días (Marilao 2009). La larva competente se asienta en el bentos entre los 40-45 días post fecundación (Toro et al. 2006), su hábitat de asentamiento ocupa el espacio determinado por la distribución de los adultos (i.e., 0 a 10 m, Molinet et al. 2015). No existe información acerca de potencial variabilidad en el tiempo de duración larval, pero la dependencia termal del desarrollo de ectotermos sugiere que podría existir un desarrollo más lento hacia la zona más austral (e.g., Molinet et al 2005 para *C. concholepas*).

Todos estos procesos biológicos interactúan con los procesos ambientales físicos y químicos que dominan a lo largo de la distribución de *M. chilensis*. Entre estos es importante resaltar el rol de los sistemas de corrientes (Figura 140c) que fluyen a través de las isla fiordos y canales del Patagonia (Sievers & Silva 2006). Así mismo, como se detalló anteriormente la temperatura y la disponibilidad de alimento afectan el desarrollo de los diferentes estadios y determinan, por ejemplo, periodos de desove (Avendaño et al. 2011), por lo que considerar estas variables es crucial para establecer el modelo conceptual de hábitat de la especie. Sin embargo, la extensión del rango de distribución impone desafíos en términos de la disponibilidad de información ambiental relevante para este recurso.

Sobre la base de esta información biológica y ambiental se postula postular un modelo conceptual para abordar la organización espacial del hábitat esencial de los diferentes estadios ontogénicos de *Mytilus chilensis*, chorito (Figura 141).



Figura 140. Modelo conceptual para integrar el ciclo de vida de *M. chilensis* en su rango de actual distribución (a). Los círculos negros indican sub-poblaciones hipotéticas donde se desarrollan y maduran los individuos influenciados por la temperatura y disponibilidad de alimento (Núñez-Acuña et al 2012, b), aportando a la producción de larvas; las flechas indican la fase de dispersión; la flecha negra indica auto-reclutamiento (A); las flechas rojas indican conectividad (C) entre sub-poblaciones dado por dispersión larval interactuando con el flujo hidrodinámico dominante (detallados en c; Sievers & Silva 2006). Se supone una dirección sur-norte (flecha sólida) y con eventuales reversiones (flecha roja sementada). En la zona más austral, la conectividad en el sentido norte sur es menor (flecha segmentada en ambos sentidos debido a aislamiento por distancia y barreras oceanográficas (corriente de cabo de hornos), que limitaría el intercambio de individuos en esta región de la Patagonia.

3.2.4.4. Modelo conceptual espacio temporal del hábitat esencial del chorito

El modelo conceptual del hábitat esencial del recurso *Mytilus chilensis* (chorito) considera 4 fases principales de su ciclo de vida (etapa larval inicial y larva competente, juvenil, adulto, Tabla 22) y su distribución desde 37°S hasta los 56°S (Toro et al. 2006), distribuyéndose entre los 0 y 10 m de profundidad en hábitat bentónico rocoso (e.g., Molinet et al. 2015).

La información recopilada y descrita en este informe permitió la identificación de procesos, sus escalas espaciales y temporales y el nivel de interacción/sobre-posición entre estos procesos a través de estas escalas. Como resultado de este ejercicio se estructuró un modelo que considera la ocurrencia de tres sub-sistemas o planos principales (Figura 141): 1) En el plano de forzantes ambientales, se incluyen procesos físicos y químicos (acidificación) con diferentes combinaciones de escalas espacio-temporales (vientos y corrientes locales; corriente del cabo de hornos y vientos zonales). En el extremo superior de este plano de forzantes ambientales se localizan las fluctuaciones asociadas a cambios climáticos globales, escala que es también representada para el caso de la acidificación del océano, dadas sus proyecciones a escala de siglos. Mientras este plano incorpora hasta las escalas globales, los planos socio-ecológico de la pesquería del loco y su dinámica poblacional puede ser restringida espacialmente al sur de Chile (>37°S) (i.e., una escala menor al Pacifico Sur-Este). Este límite a la distribución espacial está representado por la línea segmentada horizontal de la Figura 141.

En el plano del sistema socio-ecológico (Figura 140; Pesquería), se incluye el sistema de la mitilicultura de choritos que operan a una reducida escala espacial (local o centro de cultivo), pero dependiendo de sus sostenibilidad es posible postular una operación que incluye tanto la escala diaria como hasta interdécada. Así mismo, estos centros y las agencias encargadas de su gestión (SERNAPESCA, IFOP) operan en escalas interanuales hasta decadal, ya que están sujetas a los planes y programas de los gobiernos. Este plano también incluye las presiones de mercado que influencia la producción del recurso y su consumo interno o exportaciones. Este tipo de forzantes pueden están asociados a ciclos económicos globales de más largo plazo. En la escala superior de este plano socio-ecológico se representa al modelo económico imperante el cual define las proyecciones de crecimiento esperadas por diferentes escenarios climáticos (e.g., Escenario IS92a, "business as usual"). Finalmente, al centro de este modelo se presenta el plano correspondiente a la dinámica de la población (Figura 141, Límites biológicos). El plano biología considera tres procesos críticos que se desarrollan a meso-escala espacial y escala temporal estacional (reproducción, alimentación) en este recurso., el se sobrepone a la escala del comportamiento (migraciones verticales y horizontales) que pudiese tener esta etapa larval, aunque se desconoce al respecto. Es esperable que la dispersión larval de esta especie ocurra también a amplias escalas espaciales (regional y biogeográfica) pero con duración estacional. A escalas espaciales y temporales intermedias (regional, estacional a inter-anual), el recurso chorito deben realizar ajustes fisiológicos para enfrentar la variabilidad ambiental estacional y por, ejemplo eventos de acidificación estuarina o por secuestro de CO_2 que ocurre en la región (Torres et al. 2011) y el cual se proyecta ocurrir a través de amplias escalas temporales. Estos periodos de exposición a variabilidad ambiental estacional promueven la aclimatación y son la base para potenciales respuestas evolutivas de una especie biológica. Así, como en el caso del modelo de *C. concholepas*, en el extremo superior de encontramos a la evolución de *M. chilensis*, que incluye escalas de tiempo a la cual el recurso responde y se adapta a los cambios del clima global.



Figura 141. Modelo conceptual espacio temporal de la pesquería del chorito (*Mytilus chilensis*). Los asteriscos indican que el sistema acuicultor en la zona de Chiloé, interactúa con los procesos de abundancia de adultos, disponibilidad de larvas y dispersión.

3.2.5. Modelo conceptual Algas pardas frente a Chile

En esta sección se describe el análisis de la información disponible sobre el entorno ambiental, biológico, ecológico y pesquero realizado en la revisión bibliográfica del Capítulo 3 sección 3.1.2.5 (recurso *algas pardas*) con el objetivo de establecer en forma un modelo conceptual que incorpore los procesos definidos en cuatro escalas espaciales (Global, Océano pacifico, Pacífico suroriental y área de la pesquería bentónica) y temporales (interdecadal, interanual, estacional e intra-estacional), que influencian la distribución geográfica, historia de vida, dispersión y conectividad poblacional del recurso algas pardas. Dada la información disponible, y los objetivos propuesto en el presente proyecto, se desarrolla el modelo conceptual para las tres especies distribuidas de forma dominante en la Macrozona norte, a saber el huiro negro o chascón, *Lessonia nigrescens*; el Huiro palo o varilla, *Lessonia trabeculata*; y *Macrocystis integrifolia* o "huiro pato, huiro canutillo o pito". Pese a las diferencias taxonómicas, genéticas y fisiológicas entre todas estas especies, se emplearon los antecedentes disponibles para generar un único modelo conceptual que permita sintetizar la información para el recurso macroalgas pardas.

Para la elaboración de este modelo conceptual se tomaron en cuenta: a) los aspectos biológicos, b) los aspectos físico-ambientales y c) la interacción entre el recurso y la pesquería. Los dos primeros elementos nos permiten identificar el hábitat del recurso, tanto geográfica como estacionalmente para cada uno de los estadios de su desarrollo en que se cuenta con información disponible, además de incorporar las variables tanto físicas como ambientales que influyen en estas etapas. Esta información biológica y ambiental puede entonces plasmarse en un mapa del hábitat esencial, que resume la expresión geográfica de los ejes de nicho grinelliano (ambiente abiótico) y eltoniano (ambiente biótico) (Soberón & Townsend-Peterson, 2005; Soberón 2010; Townsend-Peterson et al. 2011). Por otra parte, en lo que respecta a la pesquería se consideraron las áreas en las que se extrae el recurso macroalgas, considerando tanto el esfuerzo de pesca como las medidas de manejo y gestión del mismo (Figura 142).





3.2.5.1. Descripción del hábitat esencial por etapa de vida

Respecto a la distribución de los distintos estadios de las especies de macroalgas pardas consideradas en el presente estudio, cabe señalar que en general, las especies de algas pardas chilenas se caracterizan por presentar una distribución latitudinal diferenciada. Así, *Lessonia nigrescens* se distribuye a lo largo de toda la costa chilena, desde Arica a Cabo de Hornos (18°S-55°S), mientras que Lessonia trabeculata se distribuye desde Antofagasta a Puerto Montt (23°S-41°S). Por otra parte, *Macrocystis integrifolia* se distribuye desde Arica a Concepción (18°S-36°S). Así, la macrozona norte, correspondiente a los sectores costeros ubicados entre la XV y IV Regiones, se caracteriza por la presencia de estas tres especies de macroalgas pardas. En términos fitogeográficos, Lessonia nigrescens se distribuye en regiones aledañas a la circulación subantártica, incluyendo las Islas Malvinas, Islas Heard y Kuerguelen. Por otra parte, Lessonia trabeculata es una especie endémica de la costa de Chile, sin ningún otro punto de distribución registrado. En el caso de Macrocystis integrifolia, esta es una especie con una distribución amplia en las regiones templadas del océano Pacífico Oriental, tanto en el Norte de América como en el cono Sur de América. En Sudamérica su distribución geográfica se extiende desde Chile hasta la zona central y norte del Perú. En el caso de estas tres especies, todas se caracterizan por una alternancia de generaciones heteromórficas. La producción de esporas se lleva a cabo en estructuras presentes en las frondas del esporofito, llamadas soros. Estos órganos uniloculares están formados generalmente por una célula grande y esférica, donde se realiza la meiosis, la que forma 4 o más esporas haploides (siempre en múltiplos de 4) (Mansilla y Alveal 2004). La Figura 76 resume en un esquema general el ciclo de vida de las algas pardas laminariales, haciendo hincapié en las diferencias morfológicas y de tamaño entre las formas haploides y diploides.

En las algas pardas estudiadas, la fase dispersora corresponde a por una parte a las zooesporas, y por otra parte a los gametos masculinos y femeninos. Tanto los gametofitos como el cigoto fecundado se encuentran asociadas al sustrato. De igual manera, tanto los

esporofitos juveniles como los adultos desarrollan su ciclo de vida en asociación al sustrato rocoso (Santelices 1989; Hoffman y Santelices 1997). De esta forma, las tres especies que componen este recurso presentan un ciclo de vida complejo, en el que de forma similar a otros recursos como el loco, se determina la presencia de 2 tipos de hábitats esenciales en el ciclo de vida del recurso macroalgas pardas: 1) hábitat bentónico de fondos rocosos; 2) hábitat nerítico en el océano costero. A continuación se resumen los antecedentes respecto al hábitat esencial de los distintos estadios del ciclo de vida en estos recursos.

3.2.5.1.1. Fases microscópicas: zooesporas, gametos y gametofitos

Tal como se señaló anteriormente, todas las especies de macroalgas consideradas en este recurso se caracterizan por presentar un ciclo de vida complejo, con alternancia de estadios diploides (2N) y haploides (N). En el caso de las algas pardas laminariales, la planta macroscópica o huiro corresponde al esporofito (2N), mientras que el gametofito (N) está reducido a filamentos microscópicos. En el caso de *Lessonia nigrescens*, esta especie posee un ciclo de vida heteromórfico con dos fases de vida. La fase macroscópica correspondiente al esporofito haploide (N), puede vivir por varios años, incluso después del desprendimiento del disco de adhesión. Esta es la fase extraída con fines comerciales. La segunda fase de vida por otra parte, es microscópica, correspondiente al gametofito dioico diploide (2N). Luego de la fertilización se inicia el desarrollo del esporofito juvenil, los que eventualmente producen esporas a partir de esporangios uniloculares agrupados en soros de forma irregular, que se desarrollan en las láminas. Después de liberadas las esporas, la zona de los soros se necrosa lo que contribuye a que el extremo distal de las frondas se desgarre. Una vez asentadas las meioesporas dan origen a gametofitos microscópicos (Santelices, 1989).

Por otra parte, *Lessonia trabeculata* posee un ciclo de vida heteromórfico con dos fases de vida uno macroscópico, correspondiente al esporofito, y otro microscópico correspondiente al gametofito. Nuevamente, en esta especie los gametofitos son dioicos, y el esporofito corresponde a la fase de vida extraída comercialmente. Los soros esporangiales se disponen

en bandas longitudinales en ambas caras de la lámina, los cuales se observan como manchas en las esporofilas (Hoffman & Santelices, 1997). Los esporangios miden entre 30 y 40 pm de alto y 15 pm de diámetro; las parálisis miden entre 40 y 60 ptm de alto y 5-8 ptm de diámetro. Las embrioesporas mantenidas en cultivo germinan a las 24 horas, y forman gametofitos de tres o más células al cabo de 15 días (Hoffman & Santelices, 1997).

En el caso de *Macrocystis integrifolia*, esta especie también posee un ciclo de vida heteromórfico con dos fases de vida. La fase esporofítica es macroscópica, siendo objeto de extracción, mientras que la fase gametofítica es microscópica y se desarrolla adosada al esporofito macroscópico. Los gametofitos son dioicos. En el esporofito los esporangios uniloculares (30-60 cm de largo por 6-10 cm de diámetro) a menudo se diferencian en láminas situadas cerca de la base de las ramas (esporofilos), las que pueden estar provistas o no de neumatocistos. Parte de las esporas fijas originaran filamentos microscópicos masculinos y femeninos que formaran las estructuras sexuales, produciendo espermios y óvulos respectivamente. Luego de fecundado el ovulo desarrollara sobre sí mismo el esporofito juvenil (Hoffman & Santelices, 1997). El proceso de aparición de filamentos microscópicos que se encuentran sobre las rocas y la fecundación tiene una duración entre 20 y 30 días, dependiendo del fotoperiodo y la temperatura del agua de mar, desarrollándose posteriormente las plantas juveniles, las que se encuentran maduras en aproximadamente 12 meses (Hoffman & Santelices, 1997).

En general, tanto las etapas dispersoras microscópicas como las etapas microscópicas sésiles de estas especies de macroalgas no son fácilmente estudiadas, en virtud de sus tamaños y bajas densidades. Por ello, la aproximación más frecuente es la colecta y concentración de propágulos mediante filtración en muestras de agua, para posteriormente desarrollar su cultivo y así estudiar el desempeño de los gametofitos y cigoto (e.g. Hoffman y Santelices 1982; Santelices & Ojeda, 1984; Ávila et al. 1985). Una vez realizado el cultivo, es posible estimar abundancia de manera indirecta mediante la tasa de asentamiento y desarrollo de la siguiente fase del ciclo de vida. En estudios clásicos, Hoffman y Santelices (1982) y Hoffman et al. (1984) estudiaron los efectos de la intensidad luminosa y las concentraciones de nutrientes sobre las zooesporas, gametogénesis y los gametofitos de

L.nigrescens. Estos trabajos permitieron determinar el efecto de las concentraciones de nutrientes, específicamente nitrato y fosfato. En el caso de los gametofitos, las concentraciones óptimas permitieron el desarrollo de gametofitos fértiles, mientras que valores altos, como en el caso del nitrato, inhiben la gametogénesis (Hoffman y Santelices 1982). Posteriormente, Hoffman et al. (1984) determinaron que ambos nutrientes interactúan entre sí, determinando la morfología y fecundidad de los gametofitos, avalando la presunción que el desarrollo de los esporofitos se lleva a cabo bajo condiciones particulares. En un estudio complementario, Ávila et al. (1985) evaluaron los efectos de distintas combinaciones de temperatura, densidades de flujo fotónico y fotoperíodos sobre el desarrollo de meiosporas de Lessonia nigrescens Bory (Laminariales), provenientes de Pelancura (Chile central, 33°32'S-71°38'W). Un resultado importante, es que las distintas etapas de desarrollo presentaron rangos de tolerancia diferentes frente a los cambios en los factores abióticos evaluados. Así, mientras se observó que las meiosporas germinaron en forma relativamente independiente de las condiciones usadas, los gametofitos presentaron dos patrones de desarrollo según las condiciones utilizadas. Una forma corresponde a filamentos multicelulares que permanecen estériles durante períodos prolongados, mientras que la segunda forma corresponde a gametofitos de pocas células en los que rápidamente se diferencian estructuras reproductivas fértiles (Ávila et al 1985). Por otra parte, el proceso de fertilización ocurre en un rango restringido de condiciones. De esta forma, los esporofitos son morfológicamente normales en la mayoría de las condiciones ambientales en que se desarrollan, pero la tasa de crecimiento mayor se obtiene a 10 °C, con un fotoperíodo de 12 h, 50 µE m⁻²s⁻¹ y concentraciones medias de nutrientes (0,1 - 0,5 µmol P1⁻¹ y 10-50 µmol N 1⁻¹. Así, el desempeño óptimo se determina mediante interacciones entre los distintos factores ambientales, lo que debe tenerse en cuenta al momento de postular o evaluar la respuesta de este recurso frente a escenarios de cambios ambientales. Sin embargo, un factor que emerge es la importancia de la temperatura para los estadios microscópicos de las algas pardas.

En un estudio de la fenología reproductiva de *L. trabeculata*, Tala et al. (2004) evaluaron cambios estacionales de las características morfológicas y reproductivas de esporofitos macroscópicos y de gameotfitos reproductivos, al igual que se desarrollaron cultivos 304

comparativos de las esporas para evaluar diferencias estacionales en la viabilidad de las plantas que estas podrían generar. Los autores pudieron determinar que esta especie es perenne, con una presencia de tejidos reproductivos a lo largo del ciclo estacional. Sin embargo, se identificaron diferencias en la fenología reproductiva a lo largo del tiempo y entre poblaciones. En particular, el tamaño de las frondas presenta aumentos en primavera y verano, mientras que su potencial reproductivo (área y proporción de tejido reproductivo y la liberación de esporas) aumenta en otoño e invierno. De igual manera, el éxito de las zooesporas liberadas en primavera-verano fue menor que el de las zooesporas liberadas en otoño. Así, el desarrollo de ambas fases del ciclo de vida de *L. trabeculata* puede ser afectado por las condiciones locales, y sus cambios estacionales.

Tabla 24. Localidades de estudio empleadas para examinar la variabilidad fenológica de *Lessonia trabeculata* (Tala et al. 2004).

Localidad	Latitud	Longitud
Caleta Chungungo	29°26'S	71°16'W
Punta Lagunillas	30°06'S	71°16'W
Peninsula de Tongoy	30°15'S	71°15'W



Figura 143. Variación estacional de parámetros reproductivos en Lessonia trabeculata. Se ilustra la variación en la longitud (A), biomasa húmeda (B) y ancho (C) de las frondas de L. trabeculata en tres localidades: Lagunillas (rombos blancos), Tongoy (cuadrados blancos) y Chungungo (triangulos blancos). Se ilustra la media y barras de error corresponden a errores estándar. Fuente: Tala et al (2004).



Figura 144. Variación estacional de parámetros reproductivos en Lessonia trabeculata. Se ilustra la variación en el área reproductiva absoluta (A), biomasa reproductiva por fronda (B) y esporas liberadas por unidad de área (C) de las frondas de L. trabeculata en tres localidades: Lagunillas (rombos blancos), Tongoy (cuadrados blancos) y Chungungo (triangulos blancos). Se ilustra la media y barras de error corresponden a errores estándar. Fuente: Tala et al (2004).



Figura 145. Variación estacional de parámetros reproductivos en Lessonia trabeculata. Se ilustra la variación en la germinación de esporas (A y B), fertilidad de los gametofitos femeninos (C y D) y éxito reproductivo de las fases microscópicas, estimado mediante la formación de esporofitos (E y F) de las frondas de L. trabeculata en tres localidades: Lagunillas (rombos blancos), Tongoy (cuadrados blancos) y Chungungo (triangulos blancos). Un grupo de cultivos se mantuvo sin aireación (columna izquierda), y el otro se mantuvo con aireación (columna derecha). Se ilustra la media y barras de error corresponden a errores estándar. Fuente: Tala et al (2004).

Los autores indican que la estrategia de reproducción a lo largo del año puede explicarse como una adaptación al ambiente que ocupa esta especie, donde las formas macroscópicas 308 experimentan una alta tasa de mortalidad (Tala et al., 2004). Las nuevas plantas deben colonizar espacios abiertos en el sustrato rocoso, evitando depredación por herbívoros y competencia por otras algas. En este contexto, se ha sugerido en la literatura que el bajo costo de reproducción, comparado a otras algas Laminariales, podría explicar que esta especie pueda reproducirse a lo largo del año. Finalmente, el éxito de las fases microscópicas depende de las condiciones locales, siendo modulado por la variación estacional (Tala et al., 2004). El patrón reproductivo observado en L. trabeculata se asemeja a lo descrito para la variación estacional en algas de ambientes frios y templados, donde se observa un crecimiento máximo en primavera-verano, y una reproducción máxima en otoño (Tala et al., 2004). Por otra parte, los requerimientos de irradiancia y temperatura para la gametogénesis de Lessonia trabeculata han sido evaluados de forma experimental bajo condiciones controladas, observándose que el desarrollo de las fases microscópicas de esta especie presenta variaciones a nivel estacional y latitudinal, además de ser afectadas considerablemente por el efecto irradiancia-temperatura y su variación estacional (Murúa, 2010). En particular, la temperatura demostró ser el principal factor ambiental que modula las distintas variables reproductivas. En este mismo trabajo, se demuestra también un efecto similar sobre el porcentaje de germinación, observándose un efecto dominante de la temperatura y estación de origen del material reproductivo (Murúa 2010) (ver Figura 78 y Figura 79).

3.2.5.1.2. Dispersión de propagulos

Por otra parte, cabe señalar que el proceso de dispersión es esencial para el éxito reproductivo y persistencia poblacional el aquellas especies caracterizadas por un ciclo de vida complejo. Así, tanto para macroalgas como invertebrados, la duración y estrategias de vida de las fases dispersivas son un elemento clave para persistencia poblacional (Bobadilla y Santelices 2005). Dadas las dimensiones de los estadios dispersores de las macroalgas, existen pocos estudios que examinen los procesos de dispersión en estas fases. En un estudio empírico, Bobadilla & Santelices (2004), demostraron que era posible realizar colectas simultáneas y estratificadas a lo largo de la columna de agua, pudiendo así aislar

propagulos macroalgales, los que posteriormente se cultivaron bajo condiciones controladas en laboratorio. De esta forma, la técnica permitió a los autores estudiar el proceso de dispersión de propagulos a partir de fuentes parentales conocidas (Bobadilla y Santelices 2005). Los autores evaluaron este proceso en tres sitios de Chile central (Pichicuy, 32°21'S-71°30'W); Maitencillo 32°28'S-71°28'W y Las Salinas, 33°29'S-71°38'W). Contrario a lo esperado, se observó que las densidades de propágulos decaían como una función logarítmica de la distancia a la fuente en sólo 48% de las 258 curvas de dispersión estudiadas (Figura 146A). En todos los casos restantes, los autores clasificaron las distintas curvas de dispersión que no se ajustaban al modelo esperado en tres grupos arquetípicos. Así, se observaron o bien curvas unimodales, o bien curvas multimodales, con distintas distancias entre la(s) moda(s) y la fuente de propagulos (Figura 146 B a D; Bobadilla y Santelices 2005). Estos resultados sugieren que los propagulos macroalgales son liberados en pulsos, los que pueden ser transportados a distancias variables desde el sitio fuente (Bobadilla y Santelices 2005). Desde este punto de vista, la escala característica del decaimiento de las funciones de dispersión para los estadios microscópicos de las macroalgas pardas parecen ser del orden de 50-100 m (Bobadilla y Santelices 2005).



Figura 146. Curvas de dispersión observadas para propágulos de macroalgas en Chile Central. A) Ejemplo de una curva de dispersión logarítmica, de acuerdo a lo esperado por un proceso de dispersión análogo a la dispersión o sombra de semillas. B) Ejemplo de una curva de dispersión unimodal. C) Ejemplo de curva de dispersión bimodal. D) Ejemplo de curva de dispersión multimodal. Modificado de Bobadilla & Santelices (2005)

3.2.5.1.3. Juveniles y adultos

En cuanto a los juveniles y adultos, a lo largo de la costa de Chile, ambos estadios comparten el mismo hábitat bentónico intermareal (en el caso de *Lessonia nigrescens* y *Lessonia trabeculata*) y submareal (para *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis integrifolia*). La Tabla 15 resume estas características para las algas pardas de este recurso.

A lo largo del rango de distribución geográfico, las formas macroscópicas de estas algas se encuentran asociadas a sustratos rocosos expuestos. Dentro de estos hábitats, se ha documentado una importante variación espacial en la densidad, como por ejemplo el caso de *Lessonia nigrescens*, que disminuye de norte a sur (González et al., 2002). De igual forma, para esta especie, al examinar la variación temporal en la estructura de tallas

poblacionales de las poblaciones, se observa muestra una alta heterogeneidad entre localidades (González et al., 2002). Esta variabilidad se evidencia al estudiar la distribución de tallas mediante los discos adhesivos de las plantas (Figura 150), El análisis de esta información, permitió el cálculo de su talla critica (Lc) y de la fracción de reclutas poblacionales (< a 3 cm), encontrándose que las poblaciones extremas, localizadas en las Regiones I y IV, se caracterizan por un amplio rango de distribución de tallas, con mayores tallas medias poblacionales, a diferencia de las localidades de la II y III Regiones, donde la fracción del stock es comparativamente menor (Figura 94; González et al., 2002). Por otra parte, al examinar la relación media regional para las variables diámetro del disco y peso total de la planta, se observa que esta presenta una adecuada capacidad predictiva (Figura 95), permitiendo por ende la estimación de la estructura en peso de la población. Dicha estimación reveló una tendencia de aumento en la composición de peso norte – sur. De esta forma, las localidades de las Regiones I y II, registran sobre el 70% de individuos bajo los 8 kg, a diferencia de las poblaciones de las localidades de la IV Región, donde las plantas presentan un alto porcentaje de ejemplares por sobre los 12 kg. En el caso especial de Los Pozos y caleta Angosta, sobre el 80% de los individuos se distribuyen bajo los 8 kg, respondiendo a una población rejuvenecida, producto de la remoción directa de las plantas de mayor tamaño, permaneciendo las plantas de menor peso (González et al., 2002). Esto releva el efecto directo que tienen las estrategias de manejo y explotación en estas algas sobre la estructura demográfica, pudiendo repercutir directamente sobre la biomasa, abundancia y tasa de crecimiento poblacional a nivel local. Distintas estrategias de extracción pueden llevar a una pérdida de biomasa de reclutas, pudiendo eventualmente exacerbar el impacto de distintos forzantes ambientales como alzas en la temperatura o eventos ENOS.

3.2.5.1.4. Principales parámetros ambientales que afectan y definen el hábitat de las algas pardas norte de Chile

El análisis de la literatura mediante la revisión bibliográfica permitió relevar las principales variables que impactan y definen el hábitat de las algas pardas norte de Chile. Entre estas, una de las más importantes es la Temperatura del hábitat, tal como se ha ilustrado anteriormente para el caso de *Lessonia trabeculata* (Murúa, 2010). De igual manera, la irradiancia o disponibilidad de energía solar es de crucial importancia, determinando la cantidad de energía solar disponible para el proceso de fotosíntesis (Murúa, 2010). El patrón característico de penetración del espectro de luz visible define entonces un rango de profundidades en las cuales existe disponibilidad de energía para la realización del proceso de fotosíntesis, delimitando una restricción a la distribución batimétrica. Sin embargo, dada la importancia de la productividad y presencia de materia particulada en absorber la energía del espectro de luz visible, el patrón observado en terreno es dinámico, y depende fuertemente de la productividad y dinámica oceanográfica del área a estudiar. Esto define en parte el rango de profundidades a las que un organismo fotosintético puede desarrollarse de forma exitosa. Las restricciones batimétricas a la distribución de las algas pardas se evidencian en las profundidades descritas para las praderas de estas especies. La Figura 100 ilustra el patrón para *Lessonia nigrescens* y *Lessonia trabeculata*. A su vez, la Figura 101 resume la información para praderas históricas de *Macrocystis integrifolia* en Chile.

Otra variable relevante para las especies de algas pardas es la salinidad. En particular, los procesos reproductivos en muchas especies de algas dependen de las condiciones del ambiente. Factores como la desecación, el movimiento del agua, la luz y la temperatura pueden provocar en el alga la liberación de esporas. Santelices (2002) demostró que la salinidad puede afectar la poliespermia y viabilidad de los gametos, o el movimiento del agua provocar su dilución. Otro efecto potencial puede ser alteraciones en la tasa y eficiencia de la fotosíntesis. Las variaciones en salinidad que se encuentran en el océano son consecuencia del origen de las masas de agua y su proximidad a desembocadura de cursos de aguas continentales. En general, la economía en el uso del agua en las algas marinas parece no presentar mayores desafíos de regulación o homeostasis, dado que estas especies han adaptado su fisiología y morfología para sobrevivir en el ambiente que habitan (Edding et al. 2006). Un análisis de las diferencias morfológicas de las algas y su posición en el hábitat que ocupan revela la existencia de una estrategia de costo/ beneficio en la que la planta adapta su funcionalidad y estructuras al ambiente que ocupa cada una de las especies (Littler & Littler, 1980). Si bien no existen antecedentes directos para las algas pardas, esta relación de compromiso se ha evidenciado en otras especies de algas como en

el alga polimórfica Caulerpa, donde se ha observado aumentos en complejidad morfológica, condicionada por la disponibilidad de nutrientes en el ambiente (Gacia et al. 1996). Cabe señalar que la intrusión de aguas continentales o de fondos profundos, trae consigo cambios en el equilibrio químico, cambiando la disponibilidad de distintas especies en el sistema de los carbonatos. La consecuencia última de ello es la acidificación de las aguas.

En conjunto con estas variables fisicoquímicas, las macroalgas responden también a la incidencia de cambios en la concentración de nutrientes. Si bien las algas tienen la capacidad de almacenamiento de nutrientes a nivel celular, en los mares templados existe fluctuación en la disponibilidad de nutrientes, por lo que pueden llegar a ser limitantes para el desarrollo y funcionamiento fisiológico, limitando el crecimiento de las algas (Edding et al. 2006). Esta situación se presenta habitualmente a fines del verano cuando el aporte de nutrientes de las masas de agua es pobre, lo que puede reflejarse en distintos procesos como el crecimiento y la fertilidad (Murúa, 2010). Tal como se discutió en el caso de las fases microscópicas de las algas pardas, el asentamiento, desarrollo y fertilidad de los propágulos pueden verse fuertemente afectados por las concentraciones de nutrientes. Si bien las aproximaciones experimentales se han enfocado en los macronutrientes (aquellos nutrientes que se encuentran en el agua de mar en concentraciones superiores a 0, 02 mmol Kg⁻¹), existe potencial para el impacto de micronutrientes (aquellos que se encuentran en concentraciones desde 0,5 x 10-6 mmol Kg⁻¹).

En la naturaleza, sin embargo, todas estas variables no cambian de forma independiente, sino que suelen responder de forma concertada frente a eventos de mesoescala o de escala regional. Uno de estos eventos, que impacta fuertemente la diversidad y estructura de las comunidades marinas es El Niño/oscilación sur (ENOS). En Chile, los efectos del ENOS sobre las comunidades litorales en el norte del país están ampliamente documentados a partir de la ocurrencia del evento El Niño de 1982/83 (e.g. ver Soto, 1985; Tomicic, 1985, Arntz, 1986). A raiz de estos eventos se han descrito fuertes desprendimientos de algas en asociación con la ocurrencia del fenómeno del Niño, que además de alterar las condiciones

físico-químicas de las algas, provoca un impacto ecológico de gran magnitud, cuyos procesos de recuperación se estiman en un tiempo no inferior a los diez años (Vásquez, 1999). Los antecedentes disponibles señalan que las algas laminariales prácticamente desaparecieron durante dicho evento, en especial Lessonia nigrescens y Macrocystis integrifolia producto de sus niveles de emersión, mientras que Lessonia trabeculata presentó una menor tasa de mortalidad. Producto de la desaparición casi absoluta de estas algas se generaron distintas hipótesis respecto a la dinámica esperada para el repoblamiento natural de estas algas, postulándose que el repoblamiento debería ser gradual de sur a norte a partir de poblaciones al sur del área de impacto, y sobre la base de "poblaciones aisladas" o individuos que sobrevivieron al impacto (González et al. 2002). Sin embargo, posterior al año 1983 se pudo observar una mayor recuperación al norte de Iquique de las poblaciones de Lessonia nigrescens, con una recuperación completa para fines de la década de 1990 en sectores como Mejillones y caleta Buena en Pisagua. De igual forma, sectores al sur experimentaron una recuperación desde puntos en los que se observó sobrevivencia de Lessonia. Como resultado de este proceso de recuperación desde puntos fuente de propágulos, a fines de la década de 1990 la recuperación era incompleta y circunscrita a sitios focalizados del litoral.

Durante el evento del Niño de 1997-1998 la población de *Lessonia nigrescens* en Mejillones del Norte presentó una mortalidad del 61,4% (Oliva, 1988). Sin embargo, de la fracción presente solo el 1,3% representaba plantas normales y el 16,9% algas con menos del 50% de estipes cortados, lo que permitió proyectar que solo el 18% de las plantas sobrevivientes a marzo persistirían en meses sucesivos, siendo corroborado posteriormente (Oliva,1988). Estimaciones de abundancia poblacional realizadas entre Iquique y Mejillones sugieren que existiría un segundo componente, adicional a la onda calida que se proyecta desde el norte (González et al., 2002). Así, en el área aledaña al Río Loa existe normalmente una lengua cálida que se proyecta a la costa con un comportamiento estacional, ello sugiere que durante un Niño los primeros impactos se evidenciarían por el norte en Arica y por el sur en el sector Loa – Tocopilla, lo que se sustenta por la cantidad de materia algal varada en el litoral de Arica – Mejillones en días posteriores al impacto de la onda cálida (González et al., 2002). Un estudio de los factores biológicos que

315

potencialmente estarían afectando la velocidad de preinstalación de los huirales en la zona norte de Chile determinó que la presencia de algas *Corallinaceae* spp incrustantes inhibe la colonización de *Lessonia nigrescens* en presencia de herbívoros, siendo la muda del epitalo de las *Corallinaceae* spp la causa probable de esta inhibición. Por otra parte existe una presencia constante de herbívoros como chitones y erizos que estarían alimentándose de *corallinaceas* y de reclutas de *Lessonia nigrescens*, impidiendo la recuperación de las praderas (Camus, 1994a,b).

Se han propuesto dos posibles rutas para el reclutamiento de Lessonia nigrescens, una en la que recluta sobre corallinaceas incrustantes, lo que implica una baja velocidad de colonización posiblemente reforzada por la acción de los herbívoros (Camus, 1994b). Solo aquellas pocas plantas que puedan colonizar el substrato y ser capaces de escapar a la herbivoría por tamaño podrán estimular la colonización del sector por parte de sus propios propágulos, a través de un efecto de fuente local. La segunda ruta seria el reclutamiento sobre frondas erectas de C. officinalis, seguido de un crecimiento y sobrecrecimiento de la planta C. officinalis y una posterior muerte. Dada la estrecha relación de factores bióticos y abióticos en la respuesta frente a los procesos de extinción sufridos por las poblaciones de Lessonia nigrescens de la zona norte de Chile, se ha sugerido que se debe tener en cuenta que este fenómeno es parte integral del sistema, lo que lo diferencia de las pérdidas en biodiversidad causadas por fenómenos de origen antrópico (cambio global, fragmentación de hábitat) (Camus, 1994). Además, se ha sugerido que las incursiones de Lessonia trabeculata como parches en los huirales intermareales de Lessonia nigrescens, pueden tener relación con el fenómeno de El Niño 1982-1983 (Camus, 1991). Por otra parte, en el caso de Macrocystis integrifolia, las poblaciones se recuperaron exitosamente con éxito después del evento de 1982 -1983, colapsando nuevamente en El Niño de 1997 - 1998. Sin embargo, dos años después de su desaparición masiva en el sector Mejillones – Río Loa se observó un desarrollo considerable de sus praderas a dos años de su desaparición masiva. Esto entrega una estimación de la tasa de recuperación para esta especie. Las praderas naturales de algas pardas se caracterizan por albergar un gran número de especies, al igual que por su rol como áreas de reclutamiento y desove de numerosas pesquerías bentónicas de enorme valor socio-económico, incluyendo el loco, el erizo y las lapas. Por ello, se ha

sugerido que este tipo de perturbaciones oceanográficas pueden tener un grave impacto en las poblaciones produciendo un efecto en cascada sobre la estructura y organización de las comunidades marinas intermareales y submareales (Vásquez 1989, 1995, 1999; Vásquez & Santelices, 1990, Vega, 2005, Vega et al. 2005).

Un factor importante en la recuperación frente a este tipo de eventos de gran escala, es la capacidad de resiliencia o demográfica (y comunitaria) para retornar a estados poblacionales (o comunitarios) similares a los observados previamente a la perturbación. La resiliencia ecológica se refiere al grado o magnitud de cambio o perturbación que se requiere para transformar un sistema ecológico dado a un estado y funcionamiento distintos (Holling, 1973; Peterson et al., 1998). En este caso, un mecanismo importante es la resiliencia mediante dispersión, o acoplamiento mediante eventos de dispersión desde parches o poblaciones fuente, los que podrían eventualmente repoblar zonas impactadas. En el caso de las macroalgas pardas, la dispersión por parte de los estadios microscopicos puede complementarse por eventos de dispersión de gran escala de estructuras macroscópicas, donde plantas completas o fragmentos del dosel se desprenden, siendo arrastradas por el sistema de corrientes y los otros procesos oceanográficos costeros. Conforme a lo resumido por Martin (2011) estos eventos de dispersión incluyen la dispersión de propágulos discutida anteriormente, pero consideran también:

 i) Movimiento de plantas completas, cuyos discos de adhesión se han desprendido, o que han desprendido parte del sustrato rocoso, por lo que solo pueden desplazarse entre 10 y 100 m por año.

ii) Dispersión de algas o fragmentos a la deriva ("drifting"). Este fenómeno tendría una escala intermedia, abarcando entre 100 y 1000 m por año.

iii) Dispersión de gran escala, asociada al movimiento pasivo en ensambles de algas flotantes a la deriva. Si bien solo especies como *Macrocystis* cuentan con estructuras que asistan la dispersión por flotación a la deriva, a menudo es posible encontrar macroalgas pardas de distintas especies enredadas entre sí, pudiendo ser viable la dispersión a mayores escalas (100 a 5000 km)

En la Figura 147, se ilustran distintos mecanismos posibles de dispersión de algas pardas, conforme a lo resumido por Martin (2011).



Figura 147. Mecanismos potenciales de dispersión en macroalgas pardas. Los diferentes modos de dispersión incluyen la dispersión de propágulos (esporas y espermatozoides), que se asocia con el ciclo de vida y se extiende principalmente distancias entre 0-10m. No obstante, se han detectado esporas hasta 4 kilómetros aguas abajo de las poblaciones fuente. El segundo mecanismo corresponde a la saltación. Esta se ha demostrado Undaria pinnatifida donde la dispersión abarca escalas entre 10 y100m /año. De igual manera, la dispersión a la deriva de algas y fragmentos de algas podría generar eventos de dispersión del orden de 100 a 1000 m/año. Finalmente, el rafting de gametofitos y esporofitos conectados a dispositivos flotantes podría permitir la dispersión a distancias entre 100 y 5000 km (Thiel y Haye 2006). Posibles balsas para *Lessonia* son especies flotantes como *Macrocystis y Durvillaea antártida*, que tienen hábitats superpuestos con *Lessonia*.

Si se consideran todos los tipos de eventos posibles de dispersión para una especie en particular, junto con su frecuencia o probabilidad relativa, es posible definir una función o kernel de dispersión. Esta es una función estadística que resume la densidad de probabilidad para las distancias de dispersión entre dos individuos, usualmente un individuo parental y su descendiente. Estas funciones pueden tomar distintas formas (Ver Nathan et al. 2012), pero un punto que emerge de estudios empíricos y teóricos, es que en aquellos casos en que hay más de un mecanismo de dispersión presente, es esperable observar distribuciones de dispersión con colas alargadas (Tilman y Kareiva 1997; Nathan et al. 2012). Este concepto permite formalizar el acoplamiento espacial de las poblaciones de algas pardas a través de distintos eventos de dispersión, lo que se representa en el Mapa conceptual para este recurso. En el caso de los recursos analizados en el presente proyecto,
cabe señalar que solo se ha documentado dispersión por fisión en el caso del género *Macrocystis*, no siendo observada hasta el momento para *Lessonia*. Sin embargo, es plausible contemplar el transporte de frondas que puedan producir propágulos viables. En ese sentido, podría esperarse una función o kernel de dispersión leptocúrtico o de colas alargadas (Tilman y Kareiva 1997; Nathan et al. 2012).

3.2.5.2. Tabla de hábitat de algas pardas

A fin de poder organizar la información disponible para estas especies, considerando los distintos estadios, se elaboró una tabla de hábitat del recurso macroalgas pardas (Tabla 25), la que busca resumir las principales variables que influyen a lo largo de las distintas etapas del ciclo de vida de estas algas pardas. Esta tabla permite resumir el nivel de información disponible sobre las principales dimensiones del nicho Grinelliano (Townsend-Peterson et al 2011), lo que será clave en la elaboración del mapa conceptual del hábitat y una posterior etapa de modelamiento de distribución.

Nivel Hábitat /		Gametofitos	Esporofitos	Esporofitos		
Estadios Ciclo vital	Zooesporas	microscópicos	Juveniles	Âdultos		
Longitud o diámetro / edad	Microscópico	Microscópico /1 a 20-30 días ^(1,2)	27-30 días (1,2)	disco basal mayor a 10 cm/ > 6 meses $^{(1,2)}$		
Condiciones/Recursos	Temperatura Fotoperiodo Irradiancia Nutrientes Radiación UV	Sustrato Temperatura Fotoperiodo Irradiancia/intensidad Nutrientes Radiación UV Con específicos	Sustrato Temperatura Fotoperiodo Irradiancia Nutrientes Radiación UV Con específicos	Sustrato Temperatura Fotoperiodo Irradiancia Radiación UV		
Sustrato	columna de agua ^(1,2)	Rocoso ^(1,2)	Rocoso ^(1,2)	Rocoso ^(1,2)		
Exposición	-	expuesto y semi- expuesto denudado ^(1,2)	expuesto y semi- expuesto ^(1,2)	expuesto y semi-expuesto (1,2)		
Estacionalidad	Primavera – Verano ^(3,4)	Invierno-Primavera ^(3,4)	Reclutamiento Anual con máximos Invierno ^(3,4)	Primavera-Verano (Crecimiento/Productividad) ^(3,4)		
Distribución	L. nigrescens: 18°S-55°S ^(1,2,4,5,6,7)					
Geográfica	<i>L. trabeculata:</i>					
		18°S-41°S (12,4,5,6,7) <i>M. integrifolia:</i> 18°S-36°S (1,2,4,5,6,7)				
Columna de agua		L. nigrescens:				
(profundidad en m)			0-0,5 m ⁽¹	,2,5,6)		
	<i>;</i> ?		L. trabecu	<i>lata:</i>		
	0		$2-30 \text{ m}^{(1)}$	folia.		
			$2-14 \text{ m}^{(1)}$	2,5,6)		
Temperatura (°C)	15°C ^(3,4,5,12)	15°C ^(3,4,5,12)	15°C ^(3,4)	10.0 – 23°C ^(3,4)		
pH	7.5-8.5	7.5-8.5	-	-		
Irradiancia	0-100 <i>mE m</i> ⁻² <i>s</i>	$\begin{array}{c}{I} \\ 90mmol \ m^{-2} \ s^{-1} \\ 0-100mE \ m^{-2} \ s^{-1} \\ (8-12) \end{array}$	90mmol m ⁻² s ⁻¹ 5°C: 10-50Me m ⁻² s ⁻¹ 10°C: 10-100Me m ⁻² s ⁻ ₁ (8-12)	-		
	UVB:0-18 (kjm	-2)		UVB+UVA:0-20BED ₃₀₀ (kjm ⁻²)		
Radiación UV	(kjm ⁻²)	•		UVA: 0-50 BED ₃₀₀ (kjm ⁻²)		

Tabla 25. Nivel de hábitat por estadios del recurso macroalgas pardas

Fuentes: Elaboración propia a partir de información presente en ¹Santelices 1989; ²Hoffman & Santelices 1997; ³Edding et al. 1990; ⁴Tala et al 2004; ⁵Alveal 1995; ⁶Molinet et al. 2005; ⁷Vásquez et al. 2008; ⁸Hoffman & Santelices 1982; ⁹Ávila et al. 1985; ¹⁰Hoffman et al. 1985; ¹¹Gómez et al. 2007; ¹²Murúa 2010.

Sobre la base de los antecedentes e información recopilada y al conocimiento del equipo científico del presente proyecto; se estimó el nivel de importancia del hábitat esencial para los distintos estadios del recurso algas pardas (Tabla 26), incluyendo las principales variables ambientales y categorizándolas, según etapa de vida, en nivel de importancia, donde:

Muy importante

5

- Importante 4
- Relativa 3
- Regular 2
- Menor 1

Tabla 26. Nivel de importancia de hábitat esencial (HE) por etapa de vida para el recurso macroalgas pardas.

Nivel HE Etapa	Nutrientes	Latitud	Masas de agua	Corrientes	T⁰	UV	Salinidad	ENOS
Zooesporas	5	4	5		5	4	3	5
Gametofitos	5	4	5		5	4	3	5
Juveniles	3	4	2	2	5	2	3	5
Adultos	3	4	2	2	5	2	3	5

En general, se observa un desacople en la importancia de diferentes factores ambientales a través de los estados ontogenéticos, lo que es esperable para organismos de ciclo de vida complejo, particularmente si ocurren grandes modificaciones en su plan de desarrollo y fisiología a través de las distintas etapas (propágulos – adultos) y si estas exploran diferentes tipos de hábitats (pelágico – bentónico). Así, por ejemplo, las corrientes tienen importancia contrastante entre los estadios del hábitat bentónico (capsulas, juveniles y adultos) y del pelágico (larva competente), y de igual forma, en el caso de los nutrientes,

estos impactan más fuertemente la morfogénesis y fecundidad de estadios tempranos del ciclo de vida.

3.2.5.3. Mapa conceptual del hábitat de algas pardas

En función de los antecedentes biológicos recopilados (ver Tabla 25 y capítulos anteriores), es posible señalar que la organización de las poblaciones de macroalgas pardas a lo largo de sus rangos actuales de distribución latitudinal en la costa de Chile (Tabla 15) incluye el hábitat bentónico en el inter y submareal rocoso (Molinet et al., 2005). Los individuos adultos presentes en estos hábitats crecen, maduran y se reproducen a lo largo del año, con pulsos más altos estacionales. Tanto las zooesporas como los gametos corresponden a los propágulos de estas especies, abarcando escalas espaciales reducidas (Bobadilla y Santelices 2004, 2005; Martin, 2011). Dependiendo de las condiciones ambientales, pueden darse variaciones en la duración y morfología final de estos estadios, siendo óptimas las condiciones para temperaturas templadas, sugiriendo que regímenes térmicos cálidos pueden ser negativos para la persistencia de las especies.

De manera similar a lo observado para los otros recursos bentónicos, los procesos biológicos antes descritos interactúan con los procesos ambientales físicos y químicos que dominan a lo largo de la distribución de este recurso, determinando no solo forzamientos y variables ambientales como la temperatura, irradiancia, salinidad, pH, profundidad y tipo de sustrato entre otros. Entre los procesos relevantes se destaca la variación estacional, intranual e interdecadal, como en el caso de eventos de El Niño / Oscilación del Sur. Sumado a ellos, se debe considerar la incidencia de eventos de dispersión y transporte de propágulos, los que usualmente se consideran como relativamente acotados. Sin embargo, la incidencia de distintos fenómenos oceanográficos puede afectar el transporte potencial de material biológico de distintas dimensiones (propágulos, frondas, plantas, balsas multiespecíficas). Eventos de dispersión de pequeña escala son coherentes con los patrones de recuperación descritos para *Lessonia nigrescens y Macrocystis integrifolia* después de eventos de extinción local frente a eventos ENOS. En la Figura 148 se resume mediante un

diagrama de Stommel la extensión y duración característica de los fenómenos y procesos ambientales abióticos relevantes para las macroalgas pardas.



Figura 148. Diagrama de Stommel resumiendo las escalas espaciales y temporales de los principales procesos ambientales físicos, químicos y oceanográficos relevantes para las macroalgas pardas. Se destaca en color gris aquellos procesos y eventos relevantes para el transporte de distintas etapas del ciclo de vida. Modificado de Vance (2007).

De igual forma, es posible representar una estimación inicial de las escalas temporales y espaciales de los procesos biológicos que experimentan estas especies de macroalgas. Ello

se representa en la Figura 149, empleando un diagrama de Stommel, similar al ilustrado en la Figura 148.



Escalas temporales



Sobre la base de esta información biológica y ambiental se puede postular un modelo conceptual para abordar la organización espacial del hábitat esencial de los diferentes estadios ontogénicos de las macroalgas pardas (Figura 150).



Figura 150. Modelo conceptual para integrar el ciclo de vida de las especies de macroalgas pardas en su rango de distribución actual en la macrozona norte (a). Las poblaciones locales o parches a lo largo del gradiente latitudinal desarrollan su ciclo de vida conforme a lo descrito en el texto, presentando distribuciones parchosas a lo largo del territorio y sustrato. En aquellos puntos en que se observan círculos negros, estos indican sub-poblaciones hipotéticas donde se desarrollan y maduran los individuos influenciados por las variables ambientales (temperatura, pH, salinidad, disponibilidad de nutrientes y radiación, etc.) aportando a la producción de propágulos. b) Se representa mediante flechas azules las condiciones de transporte oceanográfico imperantes determinan el entorno de dispersión que enfrentan tanto los propágulos, como eventuales eventos de dispersión de mayor escala. c) La integración de los eventos reproductivos y demográficos de dispersión junto con el entorno de transporte oceanográfico da origen a una función o kernel de dispersión para cada especie. En este caso, este se representa mediante un kernel de dispersión leptocúrtico, reflejando el sesgo hacia el auto reclutamiento o dispersión localizada, aunque se considera el acoplamiento entre poblaciones o parches distintos. d) El entorno abiótico modula tanto la fenología y magnitud de los eventos reproductivos, como el crecimiento y sobrevivencia. Se representa aquí mediante el diagrama de variación estacional de temperatura superficial del mar. e) Eventos de mayor escala espacial y temporal, como ENOS pueden afectar de manera más drástica la sobrevivencia y reproducción de las poblaciones locales, con un mayor impacto hacia las poblaciones del norte del país.

3.2.5.3.2. Impactos de la pesquería sobre el recurso macroalgas pardas

El análisis cualitativo del stock de macroalgas pardas del género *Lessonia*, permitió identificar el creciente rol de la extracción como forzante demográfico en esta especie. En la Figura 151 se ilustra el modelo conceptual propuesto por Tala & Edding (2007).



Figura 151. Modelo cuantitativo semi-conceptual propuesto por Tala & Edding (2007) para dar cuenta de las distintas transiciones de la biomasa de las especies de *Lessonia*. Las flechas que van hacia el compartimiento de *Lessonia* indican aquellos factores que favorecen incrementos en biomasa. Por otra parte, aquellas flechas que salen desde el compartimento principal indican la pérdida y destino de la biomasa algal. B, biomasa seca por unidad de superficie; DOM, materia orgánica disuelta; P, la productividad anual neta; POM, materia orgánica particulada. Adaptado de Tala y Edding 2007.Esto se verificó posteriormente con el aumento paulatino de los desembarques de macroalgas pardas, con el establecimiento de una pesquería propiamente tal.

En la Figura 152 se ilustra la tendencia interanual en el desembarco de macroalgas pardas, tanto a nivel nacional como desde las áreas de manejo de recursos marinos bentónicos.



Figura 152. Tendencia temporal en el desembarque de algas pardas a nivel nacional. La figura ilustra la variación interanual en (a) Desembarque total a nivel nacional de algas pardas para el periodo 1991-2008; (b) Desembarque nacional de algas pardas desde áreas de manejo de recursos bentónicos para el periodo 2002-2008. Fuente de información estadística: IFOP, Sernapesca.

En este contexto, la estructura de tallas de las praderas de algas ha sido un criterio útil para detectar y dimensionar el efecto de las cosechas y las medidas administrativas regulatorias en praderas de algas pardas de la III y IV Región (Proyecto FIP No 2005-22). En este contexto, se considera aquellas praderas que presentan estructura de tallas con modas bajo la marca de clase de 17,5 cm de diámetro del disco de adhesión como praderas que están sometidas a explotación intensiva. En base a este criterio, se ha documentado como los signos de explotación en las praderas de *Lessonia nigrescens* tienden a intensificarse a medida que aumenta la accesibilidad al sector de evaluación (Vásquez et al., 2010). La Figura 93 ilustra como el desembarque de *Lessonia nigrescens* desde la XV a IV regiones se caracteriza por una estructura unimodal. Sin embargo, este patrón observado a nivel de los desembarques, puede no cumplirse en la medida que las distintas localidades experimenten presiones diferenciales de extracción.

Estos antecedentes relevan la importancia del acoplamiento socio-económico a la dinámica de este recurso, siendo probablemente un forzante dinámico tan poderoso como perturbaciones de gran escala como eventos ENOS.

3.2.5.4. Modelo conceptual espacio temporal del hábitat esencial de algas pardas

El modelo conceptual del hábitat esencial del recurso *macroalgas pardas* considera las 4 fases principales de su ciclo de vida (Zooesporas, Gametofitos, Juveniles y Adultos, ver Tabla 25). El modelo abarca todo el rango latitudinal de Chile y entre los 0 y 40 m de profundidad en hábitat bentónico rocoso.

La información recopilada permitió identificar procesos, sus escalas espaciales y temporales y el nivel de interacción/sobre-posición entre estos procesos a través de las escalas. Como resultado de este ejercicio, y de forma similar a los otros recursos bentónicos estudiados, se estructuró un modelo que considera la ocurrencia de tres sub-sistemas o planos principales (Figura 153): 1) los forzantes ambientales, que incluye procesos físicos y químicos con diferentes combinaciones de escalas espacio-temporales. Por ejemplo, surgencia de frecuencia estacional que acopla regionalmente el sistema bento-oceánico; ciclo de ENOS con frecuencia interanual y a escala del Océano Pacífico. En el extremo superior de este plano ambiental se localizan las fluctuaciones asociadas a cambios climáticos globales. Mientras este plano incorpora hasta las escalas globales, los planos socio-ecológico de la pesquería del loco y su dinámica poblacional puede ser restringida espacialmente a la escala del Pacifico sur-este o costa de Chile.

En el plano del sistema socio-ecológico (Figura 153. Pesquería), se incluye el sistema de Áreas Marinas de Explotación de Recursos Bentónicos (AMERBs) o áreas de manejo que tienen una reducida escala espacial, pero se espera presenten una operación que incluye tanto la escala diaria como hasta inter-decadal, así mismo las agencias encargadas de su gestión con escalas que operan en escalas interanual hasta decadal, ya que están sujetas a los planes y programas de los gobiernos de turno, también incluye las presiones de mercado que influencia la extracción del recursos producto, las cuales pueden están asociados a ciclos económicos de más largo plazo. Ello incluye tanto los programas de innovación tecnológica, de inversión en infraestructura pesquera, de repoblamiento y manejo, y medidas como vedas e implementación de cuotas de pesca. En la escala superior de este plano socio-ecológico se representa al modelo económico imperante el cual define las proyecciones de crecimiento esperadas por diferentes escenarios climáticos (e.g., Escenario IS92a, "business as usual").

Finalmente, al centro de este modelo se presenta el plano correspondiente a la dinámica de la población (Figura 153, Límites biológicos). El plano biología incluye tres procesos biológicos críticos que se desarrollan a meso-escala espacial y escala temporal estacional (reproducción, reclutamiento y crecimiento) el cual se superpone a la escala de la dispersión por distintos mecanismos (dispersión de propágulos, dispersión de plantas, dispersión de frondas). A escalas intermedias (Biogeográfica/estacional a inter-anual) los organismos deben realizar ajustes en su fisiología para enfrentar la variabilidad ambiental (estacionalidad, diferencias en irradiancia, pH, salinidad y eventos ENOS) que opera en esas escalas. Estos periodos de exposición a variabilidad ambiental generan una respuesta de aclimatación y son la base para potenciales respuestas evolutivas de una especie biológica. Así, en el extremo superior de este plano se representa la evolución de la especie correspondiente a la escala de tiempo a la cual el recurso responde y se adapta a los cambios climáticos globales y que debe ser considerada en las proyecciones de crecimiento del sistema socio-ecológico y sostenibilidad de largo plazo.



Figura 153. Modelo conceptual espacio-temporal de la pesquería del recurso macroalgas pardas.

3.3 Objetivo específico iii) *Establecer un modelo predictivo de la distribución del hábitat esencial para los recursos pesqueros considerados y su relación con el cambio climático.*

El cambio climático, es observado en forma concreta en el océano a través de la variación de sus condiciones físicas, como temperatura, viento, nivel del mar, etc. De esta manera, estaría afectando a los recursos en su ciclo de vida, tanto en su fisiología (estadios) como en la distribución de sus hábitats. La vinculación entre la variación de abundancia de recursos pesqueros y los cambios ambientales en diferentes escalas espacio-temporales abre la posibilidad de predecir las fluctuaciones en los desembarques, uno de los principales objetivos del manejo pesquero. Frente a un escenario de incertidumbre, la predicción de los desembarques es un aspecto básico que juega un papel central en el manejo del stock y en la toma de decisiones.

Los resultados entregados por los modelos ecosistémicos, permitirán generar criterios actualizados y nuevos sobre el impacto del cambio climático en los recursos pesqueros.

3.3.1. Modelos predictivos de jurel bajo escenarios de cambio climático

3.3.1.1. Distribución geográfica actual de jurel frente a Chile

En la Figura 154 se presenta la distribución actual de los huevos de jurel durante 2003-2008, los cuales se concentran en la zona centro-sur de Chile entre los paralelos 30°S y 39°S y de 74°W a 90°W. La información proviene de los proyectos de Monitoreo Reproductivo de sardina común y anchoveta zona centro sur llevados a cabo entre 2003 y 2008 por el Instituto de Fomento Pesquero. La información recolectada de huevos de jurel representa registros diarios georreferenciados de abundancia (N°Huevos/10 m²) observada en cruceros a bordo de naves pesqueras durante noviembre de 2003 y 2008.



Figura 154. Distribución de la abundancia (N° huevos / 10 m²) de huevos de jurel frente a la zona centrosur de Chile, durante noviembre 2003 y diciembre 2008.

En la Figura 155 se presenta la distribución espacial de las capturas de ejemplares adultos (flotas artesanal e industrial) de jurel durante 2001-2012, los cuales se concentran principalmente en el área costera y oceánica de la zona norte (18-25°S) y zona centro-sur (32-41°S) de Chile. La información proviene de los proyectos anuales (2001-2012) del programa Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales.



Figura 155. Distribución espacial de las capturas de adultos de jurel para el período 2001 y 2012.

3.3.1.2. Distribución actual y futura de variables ambientales

Para evaluar la distribución actual y futura de los huevos de jurel se utiliza como imagen actual y representativa la imagen de temperatura superficial del mar (TSM) del mes de noviembre de 2003 cuando se registró una considerable abundancia de huevos de jurel (Figura 156).



Figura 156. Distribución de la temperatura superficial del mar (TSM) actual (Noviembre 2003) para el área de huevos de jurel.

Para la distribución futura de la TSM, se utilizan imágenes obtenidas de la regionalización estadística de los modelos Ocean-Atmosphere Global Circulation Models (OAGCM) de acuerdo al modelo National Centre for Atmospheric Research (NCAR) Community Climate System Model 3.0 (CCSM3) y del escenario A2 de alta emisión de CO₂ del IPCC. A partir del modelo NCAR-CCSM3 se regionalizan las SST mediante el método estadístico Delta para mejorar la baja resolución (111 km) de las salidas OAGCM a una alta resolución (4 km) para visualizar las características oceánicas (es decir, los frentes de surgencia costera) a los que responden los recursos marinos. La imagen de TSM utilizada como

condición futura para los huevos de jurel corresponde al promedio de noviembre de 2051 a 2060 la que llamaremos noviembre 2055 (entendiéndose como el promedio del período 2051 a 2060) y que se observa en la Figura 157. Estas imágenes fueron generadas en el marco del Proyecto FONDEF D11I1137 "Sistema de pronósticos de pesquerías pelágicas chilenas frente a diversos escenarios del cambio climático" (www.clipesca.cl).



Figura 157. Distribución Futura de la Temperatura superficial del mar NCAR-CCSM3 A2 correspondiente a Noviembre 2055 (promedio Noviembre 2051 a 2060) para el área de huevos de jurel.

Para evaluar la distribución actual y futura de los adultos de jurel se utiliza como imágenes actuales y representativas del hábitat las imágenes correspondientes a la distribución de la TSM satelital MODIS promedio estacional para el período 2001-2010, las cuales se muestran en la Figura 158. Para la distribución futura de la TSM, se utilizan imágenes obtenidas del modelo global NCAR-CCSM3 para el escenario A2 de alta emisión de CO₂ del IPCC y regionalizadas a 4 km de resolución espacial. Las imágenes de TSM utilizadas como condición futura para los adultos de jurel corresponden al promedio estacional de 2051 a 2060 (Figura 159).



Figura 158. Distribución de la temperatura superficial del mar (TSM) actual (promedio estacional 2001-2010) para el área de adultos de jurel.



Figura 159. Distribución futura de la temperatura superficial del mar NCAR-CCSM3 A2 correspondiente al promedio estacional para el período 2051-2060 en el área de adultos de jurel.

Para evaluar la distribución actual y futura de los adultos de jurel se utilizan como imágenes actuales y representativas del hábitat las imágenes correspondientes a la distribución de la Cloa satelital MODIS promedio estacional para el período 2001-2010, las cuales se muestran en la Figura 160.



Figura 160. Distribución de la concentración de clorofila *a* actual (promedio estacional 2001-2010) para el área adultos de jurel.

Para la distribución futura de la concentración de clorofila *a* (Cloa) como proxy del alimento, se utilizan imágenes de predicción de clorofila obtenidas utilizando imágenes de Cloa y TSM históricas (2003-2013) y aplicando un modelo armónico y forzando con las TSM futuras NCAR-CCSM3. Estas imágenes de Cloa futura fueron generadas y obtenidas en el marco del Proyecto FONDECYT 1130782 "Climate change and small pelagic resources predictions in Chile". Las imágenes de Cloa utilizadas como condición futura para los adultos de jurel corresponden al promedio estacional de 2051 a 2060 (Figura 161,Figura 159).



Figura 161. Distribución de la concentración de clorofila *a* futura (promedio estacional período 2051-2060) para el área adultos de jurel.

3.3.1.3. Modelación de la distribución geográfica del hábitat esencial de jurel en base al método de máxima entropía (Maxent)

3.3.1.3.1. Modelo espacial del hábitat de huevos de jurel

La base de datos de entrada para la modelación Maxent corresponde al cruce de la base de datos espacio-temporal de huevos de jurel en formato planilla Excel (ver Figura 111) y la información satelital de TSM (ver Figura 121). Un ejemplo de la base de datos en formato CSV que se utiliza como entrada para Maxent se muestra en la Figura 162, la cual tiene 1939 registros.

	А	В	С	D
1	species	dd long	dd lat	tsm
2	jurelegg	-83.95	-34.017	16.2
3	jurelegg	-84.517	-33.333	17.8
4	jurelegg	-75.6	-36	16.1
5	jurelegg	-86.4	-33.333	17.5
6	jurelegg	-86.033	-33.317	17.6
7	jurelegg	-75.85	-36.667	15.2
8	jurelegg	-83.417	-33.35	17.2
9	jurelegg	-90.867	-34.017	17

Figura 162. Ejemplo de la base datos de huevos de jurel y TSM de entrada para Maxent.

Además, en la modelación Maxent se utilizan como datos ambientales de condición actual y futura las imágenes mostradas en la Figura 156 y Figura 157, respectivamente.

Las curvas respuesta muestran como la variable ambiental afecta la predicción Maxent. Las curvas muestran como la predicción logística cambia en función de la variación de cada variable ambiental, manteniendo fijas todas las otras variables en su valor promedio del muestreo. Las curvas de respuesta marginal que se muestran a continuación representan un modelo diferente, llamado modelo Maxent creado usando solamente la correspondiente variable. Estos gráficos reflejan la dependencia de la aptitud prevista tanto en la variable seleccionada y en las dependencias inducidos por las correlaciones entre la variable seleccionada y otras variables. Ellos pueden ser más fáciles de interpretar si hay fuertes correlaciones entre las variables. En la Figura 163 se muestra la curva respuesta que muestra como la TSM afecta la probabilidad de presencia de huevos de jurel.



Figura 163. Curvas de respuesta que muestra como la TSM afecta la probabilidad de presencia de huevos de jurel.

El modelo Maxent fue entrenado para un subconjunto de datos (75%) seleccionado internamente dentro de la prueba de validación automatizada de Maxent. Los valores del área bajo la curva (AUC) de entrenamiento (training) para el modelo de presencia de huevos de jurel ajustado son igual a 0.801 (desviación estándar de 0.007), mientras que el valor de AUC de prueba (test) mostraron un valor igual a 0.808 con una desviación estándar de 0.007. Los valores AUC se mantuvieron sobre 0.8 para este modelo, lo cual indica que el modelo tiene una "buena" predicción y desempeño.

3.3.1.3.1.1. Predicción actual y futura de la distribución de huevos de jurel

El modelo seleccionado fue forzado con la distribución actual (Noviembre 2003) y futura (promedio Noviembre 2051 a 2060) de la temperatura superficial del mar (TSM) para generar la predicción como probabilidad de ocurrencia del índice de aptitud de huevos de

jurel. En la Figura 164 se muestran los mapas de predicción del índice de aptitud de huevos de jurel para la condición actual y futura.



Figura 164. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de huevos de jurel para noviembre 2003-2008 (izquierda) y noviembre 2055 (derecha, promedio 2051-2060).

3.3.1.3.1.2. Mapas de hábitat esenciales de huevos de jurel

Los mapas de hábitat escenciales de huevos de jurel se obtienen al clasificar en ArcGIS las imágenes de predicción actual y futura de la distribución del indice de aptitud de hábitat. El indice de aptitud de hábitat se clasifica en 3 categorías de acuerdo a Gormley et al. (2013): 0 a 0.1 (No Apto), 0.1 a 0.5 (Menos Apto) y 0.5 a 1 (Más Apto). En la Figura 165 se muestran los mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (hsi) de huevos de jurel clasificado (Gormley et al., 2013) para noviembre 2003-2008 y noviembre 2055 (promedio 2051-2060). Se observa un desplazamiento hacia la costa y hacia el sur de las áreas de Más Aptitud para los huevos de jurel hacia noviembre de 2055 como producto del aumento de la TSM.



Figura 165. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de huevos de jurel clasificado (Gormley et al., 2013) para noviembre 2003-2008 (izquierda) y noviembre 2055 (derecha, promedio 2051-2060).

El área y porcentaje de pérdida del hábitat "Más Apto" para la ocurrencia de huevos de jurel para noviembre 2003-2008 y noviembre 2055 se muestra en la Tabla 27. Se observa una pérdida en el área de hábitat "más apto" de huevos de jurel que equivale a un 5% hacia el año 2055.

Tabla 27. Área y porcentaje de pérdida del hábitat "Más Apto" para la ocurrencia de huevos de jurel para noviembre 2003-2008 y noviembre 2055

	2003-2008	2055	
Zona	Área (km ²)	Área (km ²)	% Pérdida(-)/Ganancia(+)
Huevos de jurel	1618100	1544475	-5

3.3.1.3.1.3. Detección de cambios en la distribución de huevos de jurel

Se estiman los cambios espaciales y temporales hacia el año 2055 (es decir, promedio de 2051 a 2060) en el hábitat de los huevos de jurel en la zona marina frente a Chile al restar la

imagen de predicción del índice de aptitud de hábitat de huevos jurel de noviembre 2055 menos la imagen HSI para noviembre 2003-2008 (Figura 166). Al sur de los 38°S se observan los mayores cambios positivos en la aptitud de hábitat, evidenciando un desplazamiento hacia el sur del hábitat más idóneo de huevos de jurel. Por otro lado, al norte de los 35°S se evidencia una disminución o efecto negativo en el hábitat apto.



AUUUW 88'00'W 86'00'W 84'00'W 82'00'W 80'00'W 78'00'W 76'00'W 74'00'W 72'00'W 70'00'W

Figura 166. Cambio en la aptitud de hábitat (HSI) de huevos de jurel en la zona marina frente a Chile, noviembre 2003-08 y 2055, donde se observa un desplazamiento hacia el sur del hábitat más apto para los huevos y una disminución de su hábitat apto al norte de los 35°S.

3.3.1.3.2. Modelo espacial del hábitat de adultos de jurel

La base de datos de entrada para la modelación Maxent corresponde al cruce de la base de datos espacio-temporal de adultos de jurel en formato planilla Excel (ver Figura 113) y la información satelital de TSM y Clorofila a (Cloa) (ver Figura 121). Un ejemplo de la base de datos adultos de jurel-ambiente en formato CSV que se utiliza como entrada para Maxent se muestra en la Figura 167, la cual tiene 10160 registros.

	А	В	С	D	E
1	species	dd long	dd lat	cloa	tsm
2	jurel	-70.75	-18.75	1.1559132	23.2301388
3	jurel	-70.5833333	-18.9166667	2.4394414	22.6699238
4	jurel	-70.4166667	-19.0833333	2.7781467	21.163353
5	jurel	-70.5833333	-20.0833333	1.187791	23.0043697
6	jurel	-70.4166667	-20.75	2.7572916	20.5713177
7	jurel	-70.4166667	-20.9166667	1.8433297	21.171175
8	jurel	-70.25	-21.0833333	3.4654486	20.8641109
9	jurel	-70.4166667	-21.0833333	1.8138721	21.3917675
10	jurel	-70.9166667	-21.0833333	0.3925059	22.9223309

Figura 167. Ejemplo de la base datos de adultos para jurel, temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila *a* (Cloa) de entrada para la modelación con Maxent.

Además, en la modelación Maxent se utilizan como datos ambientales de condición actual y futura las imágenes mostradas en la Figura 158 y Figura 159, respectivamente. En la Figura 168 se muestran las curvas respuesta que muestra como la TSM y Cloa estacional (verano, otoño, invierno y primavera) afectan la probabilidad de presencia de adultos de jurel.



Figura 168. Curvas de respuesta estacional (verano, otoño, invierno, primavera) con Maxent que muestran cómo la temperatura superficial del mar (TSM) y la clorofila *a* (Cloa) afectan la probabilidad de presencia de adultos de jurel.

El análisis Jack-knife para estimar la contribución relativa (%) de la TSM y Cloa en el modelo Maxent de predicción de adultos de jurel por estación, indica que la variable que más contribuye es la Cloa para toda las estaciones del año, variando entre 82.4 en Invierno hasta 97.0% en Otoño (Tabla 28).

Estación	TSM	Clorofila a
Verano	7.5	92.5
Otoño	3.0	97.0
Invierno	17.6	82.4
Primavera	7.7	92.3

Tabla 28. Contribución relativa (%) de las variables ambientales al modelo Maxent por estación del año

El modelo Maxent fue entrenado para un subconjunto de datos (75%) seleccionado internamente dentro de la prueba de validación automatizada de Maxent. Los valores del área bajo la curva (AUC) de entrenamiento (*training*) y prueba (test) para el modelo de presencia de adultos de jurel por estación del año se muestran en la Tabla 29. Los valores AUC se mantuvieron sobre 0.9 para los modelo Maxent por estación, lo cual indica que el modelo tiene una "excelente" predicción y desempeño.

Tabla 29. Índices del Área bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés) de umbralesindependientes para el modelo de hábitat de adultos de jurel

	Test estadístico AUC promedio	
Modelo (Entrenamiento/Prueba)	Entrenamiento	Prueba
Verano (75/25%)	0.929 ±0.046	0.932 ±0.004
Otoño (75/25%)	0.912 ± 0.051	0.909 ± 0.005
Invierno (75/25%)	0.926 ± 0.077	0.916 ± 0.005
Primavera (75/25%)	0.916 ± 0.070	0.910 ± 0.005

3.3.1.3.2.1. Predicción actual y futura de la distribución de adultos de jurel

El modelo seleccionado fue forzado con la distribución actual 2005 (es decir promedio estacional 2001 a 2010) y futura 2055 (es decir promedio estacional 2051 a 2060) estacional de la temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila *a* (Cloa) para generar la predicción como probabilidad de ocurrencia del índice de aptitud de adultos de jurel por estación del año. En la Figura 169 se muestran los mapas estacionales de predicción del índice de aptitud de adultos (HSI) de jurel para la condición actual y futura. En la Figura 171 se muestra los mapas anuales de predicción actual (2005) y futura (2055) del HSI de adultos de jurel.

3.3.1.3.2.2. Mapas de hábitat esenciales de adultos de jurel

Los mapas de hábitat escenciales de adultos de jurel se obtienen al clasificar en ArcGIS las imágenes de predicción actual y futura de la distribución del indice de aptitud de hábitat. El indice de aptitud de hábitat se clasifica en 3 categorías de acuerdo a Gormley et al. (2013): 0 a 0.1 (No Apto), 0.1 a 0.5 (Menos Apto) y 0.5 a 1 (Más Apto). En la Figura 170 se muestran los mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (hsi) de adultos de jurel clasificado (Gormley et al., 2013) por estación para 2005 (es decir promedio estacional 2001 a 2010) y 2055 (es decir promedio estacional 2051 a 2060). Se observa una disminución en verano de las áreas de "Más Aptitud" para la zona centro-sur de los adultos de jurel hacia 2055. En otoño, invierno y primavera se observa aumento en las áreas de "Más aptitud". En la Figura 171 se muestra los mapas anuales de predicción actual (2005) y futura (2055) del HSI de adultos de jurel clasificados de acuerdo a Gormley et al. (2013), en los cuales se destaca el aumento en las áreas de "Más aptitud" hacia 2055 con respecto a 2005.



Figura 169. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de adultos de jurel estacional (verano, otoño, invierno y primavera) actual 2005 (es decir promedio estacional 2001 a 2010) y futura 2055 (es decir promedio estacional 2051 a 2060).



78:00 พ 74:00 พ 72:00 พ 70:00 พ 76:00 พ 76:00 พ 72:00 พ 70:00 พ 76:00 พ 74:00 พ 72:00 พ 70:00 พ 70:00 พ 72:00 พ 72:00 พ 70:00 พ

Figura 170. Mapas estacionales (verano, otoño, invierno y primavera) de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de adultos de jurel clasificados (Gormley et al., 2013) para 2005 (es decir promedio estacional 2001 a 2010) y 2055 (es decir promedio estacional 2051 a 2060).



76°0'0"W 74°0'0"W 72°0'0"W 70°0'0"W 76°0'0"W 74°0'0"W 72°0'0"W 70°0'0"W

Figura 171. Mapas de predicción anual del índice de aptitud de hábitat (HSI) para adultos de jurel: imagen superior izquierda actual (2005), derecha futura (2055), imagen inferior HSI clasificado según Gormley et al., 2013 izquierda actual (2005), derecha futura (2055).

El área y porcentaje de pérdida estacional y anual del hábitat "Más Apto" para la ocurrencia de adultos de jurel para 2005 y 2055 se muestra en la Tabla 30. Se observa una pérdida en el área de hábitat "más apto" de adultos de jurel que equivale a un 87% hacia el verano de 2055. En los demás meses y a nivel anual se observa una ganancia de hábitat "Más apto" que entre 28% (hacia Otoño 2055) y 427% (hacia Invierno 2055).

	2005	2055	
	Área (km ²)	Área (km ²)	% Pérdida(-)/Ganancia(+)
Verano	193325	25275	-87
Otoño	388500	497475	28
Invierno	95275	502250	427
Primavera	292475	649325	122
Anual	98575	478975	386

Tabla 30. Área y porcentaje de pérdida estacional y anual del hábitat "Más Apto" para la ocurrencia de adultos de jurel para 2005 y 2055.

3.3.1.3.2.3. Detección de cambios en la distribución de adultos de jurel

Se estiman los cambios espaciales y temporales hacia el año 2055 (es decir, promedio de 2051 a 2060) en el hábitat de los adultos de jurel en la zona marina frente a Chile al restar la imagen de predicción estacional del índice de aptitud de hábitat (HSI) de adultos jurel de 2055 menos la imagen HSI para 2005 (Figura 172). En general, se observan cambios positivos en el HSI de adultos de jurel en otoño, invierno y primavera, excepto algunas zonas costeras que muestran cambios negativos en el HSI como por ejemplo entre los 35°S y 38°S durante invierno. En la imagen de cambio anual se observan cambios positivos en casi toda el área marina en estudio (Figura 172).



Figura 172. Cambio estacional (verano, otoño, invierno, primavera, (imagen superior)) y anual (imagen inferior) en la aptitud de hábitat (HSI) de adultos de jurel entre 2055 y 2005.

3.3.1.4. Modelación de las capturas de jurel en base al método de redes neuronales artificiales (RNA)

Dado que los ecosistemas marinos se caracterizan por la presencia de altos niveles de estocasticidad y relaciones no-lineales (Murdoch, 1994; Stenseth et al., 2002), es necesario aplicar herramientas que describan este tipo de relaciones. Al respecto, las Redes Neuronales Artificiales (RNAs) se configuran como potentes estimadores de funciones complejas (Martín del Brío & Sanz-Molina, 2001). Estas se comportan mejor que los modelos lineales y poseen buena capacidad para generalizar al ingresar nuevos datos.

La modelación del pronóstico de capturas de los recursos pesqueros se realiza a partir de la aplicación de técnicas estadísticas lineales y no lineales sobre las bases de datos históricas de captura y variables ambientales. De esta manera, se estudiará el grado de relación entre las variables explicatorias, y la relación de estas (desfases) con la variable de salida (captura) para elaborar la bases de datos final, la cual será utilizada en la modelación. Respecto a la modelación, el 60% de los datos se utiliza en la etapa de calibración de la red (entrenamiento), 20% para la etapa de selección (verifica el aprendizaje de la red) y 20% para la etapa de prueba (validación del modelo), todos seleccionados aleatoriamente.

Una de las principales ventajas que ofrece esta técnica es que obtiene la estimación óptima del modelo, así como también el nivel de influencia de cada parámetro dentro de la variable de salida del modelo (Ratio). Estos modelos ecosistémicos contarán con una capacidad de predicción superior a las técnicas tradicionales y se utilizarán como técnicas de predicción a mediano y largo plazo.

Para la modelación de RNAs se consideran los datos mensuales observados del desembarque total, junto con el esfuerzo de pesca estándar y variables ambientales con desfases en el tiempo (escala mensual), desde 1973 al 2012. Estimados de los desembarques mensuales de jurel constituyen finalmente la variable de salida de los modelos.

3.3.1.4.1. Zona de estudio y período de estudio.

La zona de estudio comprende el área cubierta por la flota cerquera (artesanal e industrial) que opera en la zona centro-sur de Chile y que se extiende entre los 32°S y 42°S, desde la costa hasta más allá de las 200 mn de la zona económica exclusiva. La información mensual analizada considera datos ambientales y pesqueros del período 1973-2012.

3.3.1.4.2. Variables utilizadas.

Los desembarques (t) son obtenidos de los Anuarios Estadísticos de Pesca del SERNAPESCA (1978-2008) y del Servicio Agrícola y Ganadero (1973-1977). En tanto que estadísticas conjuntas del desembarque y esfuerzo de pesca de la flota cerquera industrial y artesanal son proporcionadas por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) (Figura 173 y Figura 174).



Figura 173. Capturas totales (t) de jurel nacional, período 1973-2012.



Figura 174. Esfuerzo de pesca (m³) de jurel nacional, período 1973-2012.

Los datos ambientales analizados corresponden a los promedios de doce variables registradas en estaciones meteorológicas y oceanográficas ubicadas en la costa de
Talcahuano (36°S-73°W) e informes elaborados por centros climáticos mundiales de libre disposición (www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices). Estas variables ambientales son: temperatura superficial del mar (TSM) de Talcahuano (Figura 175); nivel medio del mar (NMM) (Figura 176); TSM de satélites NOAA (TSM-NOAA)de las zonas de pesca de jurel (Figura 177); temperatura del aire (TA) (Figura 178); Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) (Figura 179); TSM en la Región Niño 1+2 (Figura 180); TSM en la Región Niño 3.4 (Figura 181); Índice de la Oscilación del Sur (IOS) (Figura 182), Índice de Lengua Fría (ILF) (Figura 183) y Oscilación Antártica (AAO) (Figura 184). En tanto que con la dirección y magnitud del viento de Carriel Sur (36°46'S-73°03'W) se estimaron el transporte de Ekman (TE; Bakun *et al.*, 1974) (Figura 185) y el índice de turbulencia (IT; Elsberry y Garwood, 1978) (Figura 186).



Figura 175. Temperatura superficial del mar (°C) (TSM) de Talcahuano, período 1973-2012.



Figura 176. Nivel medio del mar (m) (NMM), período 1973-2012.



Figura 177. Temperatura superficial del mar (°C) (TSM) de satélites NOAA, de las zonas de pesca de jurel, período 1973-2012.



Figura 178. Temperatura del aire (°C) (TA).



Figura 179. Oscilación decadal del Pacífico (ODP), período 1973-2012.



Figura 180. Temperatura superficial del mar (°C) (TSM) en la Región NIÑO 1+2, período 1973-2012.



Figura 181. Temperatura superficial del mar (°C) (TSM) en la Región NIÑO 3.4, período 1973-2012.



Figura 182. Índice de oscilación del sur (IOS), período 1973-2012.



Figura 183. Índice de lengua fría (ILF), período 1973-2012.



Figura 184. Oscilación antártica (OAA), período 1973-2012.



Figura 185. Transporte de Ekman (TE), período 1973-2012.



Figura 186. Índice de turbulencia (IT), período 1973-2012.

3.3.1.4.3. Análisis previo de los datos selección de variables y suavizamiento.

Las variables ambientales y pesqueras son analizadas para determinar aquellas que entrarán en los modelos de RNAs. El primer paso consiste en excluir del análisis las variables fuertemente correlacionadas, esto se realiza para reducir la dimensión del problema y evitar redundancia en el modelo. Luego se ejecuta un análisis de componentes principales para visualizar la representatividad de cada variable en los principales ejes (Naranjo et al., 2015), que de acuerdo con el criterio de Kaiser serán los que presenten un valor propio mayor que el promedio de los valores propios generados por todos los factores (Hair *et al.*, 1999).

Finalmente se realiza un análisis de correlación cruzada lineal y no lineal, para determinar los desfases entre las variables explicatorias y las capturas (J.C. Gutiérrez (*com. pers.*) utilizando el programa CORN que considera 22 funciones (Ver en Tabla 3).

3.3.1.4.3.1. Correlaciones entre variables.

En la Tabla 31 se observa que la TSM-NOAA de la zona de pesca de jurel tiene un alto valor de correlación (r) con la TA, TSM y NIÑO 1+2 (0,89, 0,72 y 0,75 respectivamente); lo mismo ocurre entre la TSM NIÑO 3.4 y las variables ILF (0,81) e IOS (0,67).

	ТА	TSM	TSM- NOAA*	NMM	IT	TE	ODP	TSM NIÑO 1+2	TSM NIÑO 3.4	IOS	ILF	AAO
ТА	1											
TSM	0.71	1										
TSM-NOAA*	0.89	0.72	1									
NMM	-0.08	0.00	0.03	1								
IT	0.19	0.10	0.16	0.12	1							
TE	0.52	0.40	0.47	-0.42	-0.36	1						
ODP	0.04	0.15	0.12	0.30	-0.02	-0.04	1					
TSM NIÑO 1+2	0.53	0.53	0.75	0.29	-0.02	0.16	0.29	1				
TSM NIÑO 3.4	-0.15	0.09	-0.01	0.44	-0.11	-0.20	0.46	0.43	1			
IOS	-0.03	-0.15	-0.05	-0.35	-0.02	0.02	-0.41	-0.21	-0.67	1		
ILF	0.03	0.19	0.03	0.31	0.05	0.00	0.45	0.33	0.81	-0.71	1	
AAO	0.00	-0.04	0.02	-0.04	-0.16	0.05	-0.11	0.01	-0.15	0.17	-0.20	1

Tabla 31. Matriz de correlación entre las variables ambientales para jurel.

*de la zona de pesca del jurel.

3.3.1.4.3.2. Análisis de componentes principales (ACP).

Con el ACP se generan doce factores que en su conjunto contienen el 100% de la varianza. De acuerdo con el criterio de Kaiser, para jurel se seleccionan los factores 1, 2, 3 y 4 que explican el 30,4%, 25,2%, 11,8% y 9,2% de la varianza respectivamente, es decir el 76% de la varianza total (Tabla 32).

Componente	Valor propio	% de la varianza	% acumulado
1	3,65	30,40	30,40
2	3,02	25,16	55,55
3	1,41	11,75	67,31
4	1,10	9,16	76,46

Tabla 32. Valores calculados a partir del Análisis de Componentes Principales de las variables ambientales.

La matriz de correlación de las variables ambientales con cada factor principal muestra los mayores valores de la TSM-NOAA, TA y TSM con el factor 1, la TSM NIÑO 3.4, ILF e IOS con el factor 2; en tanto que TE es el de mayor valor con el factor 3 y el AOO con el factor 4 (Tabla 33).

Tabla 33. Correlación entre variables ambientales con los principales factores para jurel.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
ТА	0,93	-0,09	-0,10	-0,10
TSMT	0,83	0,13	-0,11	-0,09
TSM-NOAA*	0 97	0,00	-0,02	0,04
NMM	0,03	0,48	0,63	0,25
IT	0,21	-0,17	0,69	-0,50
TE	0,47	-0,07	-0,79	-0,01
ODP	0,11	0,64	0,06	0,01
TSM NIÑO 1+2	0,73	-0,40	0,13	0,26
TSM NIÑO 3.4	-0,03	0,92	0,10	0,06
IOS	-0,04	-0,82	0,00	0,16
ILF	0,07	0,88	-0,01	-0,18
AAO	0 03	-0,21	0,00	0,82

*de la zona de pesca del jurel.

3.3.1.4.3.3. Correlaciones cruzadas.

La TSM-NOAA alcanza valores particularmente significativos de correlación cruzada a través de la función Cauchy con -2, -14, -26, -38, -50 y -62 meses (Figura 187). La TSM NIÑO 3.4 obtiene su valor máximo de correlación a -46 meses con la función hipérbola

rectangular II. Él IT no supera correlaciones significativas al igual que TE y AAO. El esfuerzo de pesca estándar (fe) alcanza valores significativos de correlación cruzada con la función hipérbola rectangular recíproca I a -0, -12, -24 y -36 meses.



Figura 187. Correlación no lineal entre los desembarques de jurel y variables ambientales y pesqueras (SST-NOAA: TSM de satélites NOAA; ET: Transporte de Ekman; IT: Índice de Turbulencia; SST NIÑO 3.4: TSM en la Región Niño 3.4; FE: Pesca Estándar).

3.3.1.4.3.4. Modelación con redes neuronales artificiales (RNA)

Después del tratamiento de datos inicial, la fase 1 define los modelos de RNA con sus respectivas variables de entrada y el tiempo de desfase correspondiente: SST-NOAA, SST NIÑO 3.4 y fe para jurel. Para jurel, el mejor modelo tiene una arquitectura 11:13:1 con un r^2 de 88% y E of 89% (Tabla 34). El error estándar es 34.75%, lo que indica que existe dispersión entre la serie de observados y estimados, mientras que la RMS es 39,790 t.

Tabla 34. Mejores modelos seleccionados para jurel: Fase 1.

					Índices	de error		
Especie	Arquitectura	Ν	Parámetros	r ²	RMS	%SEP	Е	PI
Jurel	11:13:1	13	156	0.88	39,790	34.75	0.88	0.89

La Tabla 35 muestra el análisis de sensibilidad que evalúa la importancia de cada variable en los mejores modelos de RNA identificados en la Fase 1 de jurel.

Tabla 35. Análisis de sensibilidad para jurel: Fase 1.

	Modelo jurel	
Ranking	Variable	Ratio
1	fe _(t-0)	3.07
2	SST-NOAA _(t-50)	2.97
3	SST-NOAA(t-14)	2.61
4	SST-NOAA(t-38)	2.11
5	fe _(t-12)	2.06
6	fe _(t-36)	1.76
7	SST-NOAA(t-2)	1.75
8	SST-NOAA(t-26)	1.53
9	SST-NOAA(t-62)	1.46
10	fe(t-24)	1.31
11	SST NIÑO 3.4(t-46)	0.95
12		
Median		1.76

Para simplificar los modelos, la fase 2 implica reducir el número de variables de entrada en los modelos sin perder un importante grado de ajuste. Las variables seleccionadas para reducir los modelos eran fe y SST-NOAA cuyas ratios en los modelos Fase 1 estaban por encima de la mediana (Tabla 35). El valor mediano de jurel es de 1.76, y las variables que

se incluirán son $fe_{(t-0)}$, SST-NOAA $_{(t-50)}$, SST-NOAA $_{(t-14)}$, SST-NOAA $_{(t-38)}$, $fe_{(t-12)}$ and $fe_{(t-36)}$. SST-NOAA y fe son de particular importancia en los modelos (Tabla **35**); el SST-NOAA se incluye para proyectar el uso de escenarios de temperatura del cambio climático del IPCC.

Tabla 36 muestra los mejores modelos seleccionados en la Fase 2 para el jurel. En comparación con los modelos de la fase 1, los índices de error muestran prácticamente ninguna variación, a excepción de un menor índice de persistencia. Por lo tanto, los modelos se han simplificado y sin perder ninguna capacidad de predicción (Figura 188).

Tabla 36. Mejores	modelos se	leccionados	para jurel:	Fase 2.
5			1 2	

				Índices de error				
Especie	Arquitectura	Ν	Parametros	r^2	RMS	%SEP	Е	PI
Jack mackerel	6:10:1	10	70	0.88	40,373	33.20	0.88	0.88

Tabla 37. Análisis de sensibilidad para jurel: Fase 2.

	Jack mackerel Mod	del
Ranking	Variable	Ratio
1	fe _(t-0)	2.23
2	SST-NOAA _(t-38)	1.68
3	fe _(t-36)	1.50
4	SST-NOAA(t-50)	1.37
5	fe _(t-12)	1.33
6	SST-NOAA _(t-14)	1.19



Figura 188. Desembarques (t) observados (línea roja) y estimados (línea azul) de jurel para modelos RNA reducido. La figura a la derecha muestra el grado de ajuste de la estimación de los desembarques.

Regionalización (downscaling) de la temperatura

Se estima una diferencia notable entre la NOAA-SST de jurel de 1973-2014 y las proyecciones de TSM bajo los escenarios A2 y 4xCO2 de cambio climático para el período 2015-2065. Un factor de corrección se obtiene calculando la diferencia entre los valores observados y proyectados de TSM, teniendo en cuenta los datos mensuales de 2013-2014 los resultados mostraron un factor de corrección de 0,2 para el jurel para el escenario de cambio climático A2 y 3,14 para escenario 4xCO2.

Las regresiones polinómicas de tercer grado, ajustadas a los datos de SST-NOAA para las zonas de pesca de jurel, muestran una tendencia al enfriamiento en los últimos años (Figura 189 y Figura 190). Este último estaría relacionado con la variabilidad a escala inter-decadal (Yáñez et al., 2001; Chávez et al., 2003; Alheit & Ñiquen, 2004). Esta disminución de TSM de 0,2°C por década podría haber comenzado a principios de los años 80 (Falvey & Garreaud, 2009). Para los pronósticos NCAR (A2) y IPSL (4xCO2) corregidos de TSM, las regresiones lineales fueron ajustadas, mostrando una tendencia positiva de jurel (Figura 189 y Figura 190).



Figura 189. Series de tiempo mensuales de SST NOAA (línea azul) y proyecciones para el escenario A2 del cambio climático (línea roja) para el área de pesca de jurel (período 1973-2014).



Figura 190. Series de tiempo mensuales de SST NOAA (línea azul) y proyecciones para el escenario 4xCO2 del cambio climático (línea roja) para el área de pesca de jurel (período 1973-2014).

Teniendo en cuenta la diferencia entre la regresión lineal ajustada (Figura 189 y Figura 190), la Tabla 38 muestra los aumentos en la TSM proyectada para las zonas de pesca de jurel. Además, se muestra una comparación entre los promedios proyectados mensual para 2056-2065 y 2005-2014 (Cheung et al., 2010; Merino et al., 2012; Silva et al., 2015). Los valores estimados para el escenario A2 representan cerca de dos veces los valores estimados para el escenario 4xCO2; las variaciones más altas de la zona de pesca de jurel se muestran cuando se comparan las medias mensuales de los períodos antes mencionados.

Tabla 38. Proyecciones de TSM	para zona de Pesca de	jurel período 2015-2065.
-------------------------------	-----------------------	--------------------------

Escenarios	Método	Jurel
42	Inicio y final de rectas ajustadas	1,2
A2	Diferencias entre 2056- 2065 y 2005-2014	2,36
4xCO ₂	Inicio y final de rectas ajustadas	0,62
	Diferencias entre 2056- 2015 y 2005-2014	1,53

Predicciones de desembarques de jurel

La Figura 191 muestra las proyecciones de desembarque de jurel para el período 2015-2065 en base a los escenarios de cambio climático A2 y 4xCO2 y tres proyecciones de esfuerzo pesquero considerando un promedio de 2010 a 2012, un aumento medio del 50%, y una disminución media del 50% del esfuerzo pesquero. El jurel muestra una alta variabilidad. En Tabla 39, basado en el escenario de cambio climático A2, los desembarques de jurel se incrementarían en un 13%; mientras que para el escenario de cambio climático 4xCO2 se mostró un aumento de un 8%. Al comparar las proyecciones de desembarques de 2056-2065 y 2005-2014, teniendo en cuenta los promedios de escenarios A2 y esfuerzos de pesca, los desembarques se incrementarían en un 92% para el jurel. Para el escenario de cambio climático 4xCO2 y promedio del esfuerzo de pesca, los desembarques de jurel muestran el mayor incremento del 228% (Tabla 40). Con promedios de esfuerzos de pesca disminuidos en un 50% los desembarques de jurel aumentarían. Una situación contraria se produce al utilizar promedios de esfuerzo pesquero aumentados en un 50%, para lo cual los desembarques de jurel disminuirían (Tabla 40).

Tabla 39. Variaciones de las proyecciones de los desembarques de jurel para cada escenario de esfuerzo de pesca y temperatura superficial del mar (TSM), comparación entre 2015 y 2065.

	Escenarios de esfuerzo de pesca				
Escenarios TSM	50%+	Media	50%-		
A2	9%	13%	17%		
4xCO ₂	16%	8%	13%		

Tabla 40. Variaciones de las proyecciones de los desembarques de jurel para cada escenario de esfuerzo de pesca y temperatura superficial del mar (TSM), comparación entre 2056-65 y 2005-2014.

	Escenarios esfuerzo de pesca				
Escenarios TSM	50%+	Mean	50%-		
A2	128%	92%	44%		
4xCO2	178%	228%	124%		



Figura 191. Pronóstico de desembarques (t) de jurel, período 2015-2065, aplicando 3 proyecciones de esfuerzo pesquero en 2 escenarios de cambio climático: (panel a) escenario A2, panel b) escenario 4XCO₂. Líneas en azul: aumento medio del 50% del esfuerzo pesquero, líneas en verde: disminución media del 50% de dicho esfuerzo.

3.3.2. Modelos predictivos de anchoveta bajo escenarios de cambio climático

3.3.2.1. Distribución geográfica actual de anchoveta en la zona centro-sur

En la Figura 192 se presenta la distribución actual de los huevos de anchoveta durante 2002-2012, los cuales se concentran en la zona centro-sur de Chile entre los paralelos 35° S y 41°S y desde la costa hasta 20 millas mar adentro. La información proviene de los proyectos de Monitoreo Reproductivo de sardina común y anchoveta zona centro sur llevados a cabo entre 2002 y 2012 por el Instituto de Fomento Pesquero. La información recolectada de huevos de anchoveta representa registros diarios georreferenciados de abundancia (N°Huevos/0.05 m²) observada en cruceros a bordo de naves pesqueras durante agosto y noviembre de 2002 hasta 2012 (11 años).



Figura 192. Distribución de la abundancia (N° huevos / 0.05 m²) de huevos de anchoveta zona centro-sur de Chile durante agosto y noviembre, período 2002-2012.

En la Figura 193 se presenta la distribución espacial de las capturas de ejemplares adultos (flotas artesanal e industrial) de anchoveta durante 2001-2012, los cuales se concentran focalizados principalmente en el área costera del 34°S, entre los 36° y 38°S y en los 40°S. La información proviene de los proyectos anuales (2001-2012) del programa Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales.



Figura 193. Distribución espacial de las capturas de adultos de anchoveta zona centro-sur de Chile, período 2001-2012.

3.3.2.2. Distribución actual y futura de variables ambientales

Para evaluar la distribución actual y futura de los huevos de anchoveta se utiliza como imagen actual y representativa las imágenes de temperatura superficial del mar (TSM) de los meses de agosto, septiembre y octubre de 2007 cuando se registró una considerable abundancia de huevos de anchoveta (Figura 194).



Figura 194. Distribución de la temperatura superficial del mar (TSM) considerada como actual (agosto, septiembre y octubre 2007) para evaluar la distribución del área huevos de anchoveta en la zona centrosur de Chile.

Para la distribución futura de la TSM, se utilizan imágenes obtenidas de la regionalización estadística de los modelos Ocean-Atmosphere Global Circulation Models (OAGCM) de acuerdo al modelo National Centre for Atmospheric Research (NCAR) Community Climate System Model 3.0 (CCSM3) y del escenario A2 de alta emisión de CO₂ del IPCC. A partir del modelo NCAR-CCSM3 se regionalizan las SST mediante el método estadístico Delta para mejorar la baja resolución (111 km) de las salidas OAGCM a una alta resolución (4 km) para visualizar las características oceánicas (es decir, los frentes de surgencia costera) a los que responden los recursos marinos. La imagen de TSM utilizada como condición futura para los huevos de anchoveta corresponde al promedio de agosto, septiembre y octubre de 2051 a 2060

las que llamaremos agosto 2055 (entendiéndose como el promedio del período 2051 a 2060) y que se observa en la Figura 195. Estas imágenes fueron generadas en el marco del Proyecto FONDEF D11I1137 "Sistema de pronósticos de pesquerías pelágicas chilenas frente a diversos escenarios del cambio climático" (www.clipesca.cl).



Figura 195. Distribución futura de la temperatura superficial del mar NCAR-CCSM3 A2 correspondiente a agosto, septiembre y octubre 2055 (entendiéndose como el promedio del período 2051 a 2060) en el área de distribución de huevos de anchoveta para la zona centro-sur de Chile.

Para la modelación espacial de adultos de anchoveta se utilizan las mismas variables e información ambiental de TSM y Clorofila estacionales actuales (datos recopilados entre 2001-2010) y futuro (proyectadas) aplicadas en jurel y mostradas en Figura 158, Figura 159, Figura 160 y Figura 161.

3.3.2.3. Modelación de la distribución geográfica del hábitat esencial de anchoveta en base al método de máxima entropía (Maxent)

3.3.2.3.1. Modelo espacial del hábitat de huevos de anchoveta

La base de datos de entrada para la modelación Maxent corresponde al cruce de la base de datos espacio-temporal de huevos de anchoveta en formato planilla Excel (ver Figura 116) y la información satelital de TSM (ver Figura 121). Un ejemplo de la base de datos en formato CSV que se utiliza como entrada para Maxent se muestra en la Figura 196, la cual tiene 1197 registros.

	А	В	С	D
1	species	dd long	dd lat	tsm
2	anchoegg	-73.89055	-41.3325833	11
3	anchoegg	-73.9312167	-41.3212167	11
4	anchoegg	-73.8854167	-41.313	11
5	anchoegg	-73.9494333	-41.2011	11.5
6	anchoegg	-73.9543333	-41.1669167	12
7	anchoegg	-73.9666667	-41.1666667	11.5
8	anchoegg	-73.9666667	-41	11.4
9	anchoegg	-73.9810833	-40.9508	11
10	anchoegg	-73.8901667	-40.9360833	11.5
11	anchoegg	-73.915	-40.84	9.5
12	anchoegg	-73.9178333	-40.83845	13

Figura 196. Ejemplo de la base datos de huevos de anchoveta centro-sur y temperatura superficial del mar de entrada para la modelación con Maxent.

Además, en la modelación Maxent se utilizan como datos ambientales de condición actual y futura las imágenes mostradas en la Figura 194 y Figura 195, respectivamente.

Las curvas respuesta muestran como la variable ambiental afecta la predicción Maxent. Las curvas muestran como la predicción logística cambia en función de la variación de cada variable ambiental, manteniendo fijas todas las otras variables en su valor promedio del muestreo. Las curvas de respuesta marginal que se muestran a continuación representan un modelo diferente, llamado modelo Maxent creado usando solamente la correspondiente

variable. Estos gráficos reflejan la dependencia de la aptitud prevista tanto en la variable seleccionada y en las dependencias inducidos por las correlaciones entre la variable seleccionada y otras variables. Ellos pueden ser más fáciles de interpretar si hay fuertes correlaciones entre las variables. En la Figura 197 se muestra la curva respuesta que muestra como la TSM afecta la probabilidad de presencia de huevos de anchoveta.



Response of anchoegg to tsm

Figura 197. Curvas de respuesta que muestra como la temperatura superficial del mar (tsm) afecta la probabilidad de presencia de huevos de anchoveta.

El modelo Maxent fue entrenado para un subconjunto de datos (75%) seleccionado internamente dentro de la prueba de validación automatizada de Maxent. Los valores del área bajo la curva (AUC) de entrenamiento (training) para el modelo de presencia de huevos de anchoveta ajustado son igual a 0.937 (desviación estándar de 0.009), mientras que el valor de AUC de prueba (test) mostraron un valor igual a 0.920 con una desviación estándar de 0.007. Los valores AUC se mantuvieron sobre 0.9 para este modelo, lo cual indica que el modelo tiene una "excelente" predicción y desempeño.

3.3.2.3.1.1. Predicción actual y futura de la distribución de huevos de anchoveta

El modelo seleccionado fue forzado con la distribución actual (agosto, septiembre y octubre 2007) y futura (agosto, septiembre y octubre 2055) de la temperatura superficial del mar (TSM) para generar la predicción como probabilidad de ocurrencia del índice de aptitud de huevos de anchoveta. En la Figura 198 se muestran los mapas de predicción del índice de aptitud de huevos de anchoveta para la condición actual y futura.



Figura 198. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de huevos de anchoveta zona centro-sur para una condición actual (imágenes superiores) (agosto, septiembre y octubre 2007) y futura (imágenes inferiores) (agosto, septiembre y octubre 2055).

3.3.2.3.1.2. Mapas de hábitat escenciales de huevos de anchoveta

En la Figura 199 se muestran los mapas de hábitat escenciales o predicción del índice de aptitud de hábitat (hsi) de huevos de anchoveta clasificados (Gormley et al., 2013) para agosto, septiembre y octubre de 2007 y 2055. Se observa una fuerte disminución de las áreas de Menos y Más Aptitud para los huevos de anchoveta hacia agosto, septiembre y octubre 2055 como producto del aumento de la TSM.



Figura 199. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de huevos de anchoveta clasificado según Gormley et al., 2013 para agosto, septiembre y octubre de 2007 (actual) y 2055 (futura).

Las áreas y porcentajes de pérdida del hábitat "Más Apto" para la ocurrencia de huevos de anchoveta para agosto, septiembre y octubre de 2007 y 2055 se muestran en la Tabla 41. Se observa una pérdida en el área de hábitat "Más apto" de huevos de anchoveta que equivale a un 30%, 93% y 95% de pérdida de hábitat hacia agosto, septiembre y octubre de 2055, respectivamente.

Tabla 41. Área y porcentaje de pérdida del hábitat "Más Apto" para la ocurrencia de huevos de anchoveta para agosto, septiembre y octubre de 2007 y 2055.

	2007	2055	
	Área (km ²)	Área (km ²)	% Pérdida(-)/Ganancia(+)
Agosto	500	350	-30
Septiembre	4925	325	-93
Octubre	4325	200	-95

3.3.2.3.1.3. Detección de cambios en la distribución de huevos de anchoveta

Se estiman los cambios espaciales y temporales hacia el año 2055 (es decir, promedio de 2051 a 2060) en el hábitat de los huevos de anchoveta en la zona marina frente a Chile al restar la imagen de predicción estacional del índice de aptitud de hábitat (HSI) de huevos de anchoveta de 2055 menos la imagen HSI para 2005 (Figura 200). En general, se observan cambios negativos en el HSI de huevos de anchoveta en la zona costera durante agosto, septiembre y octubre excepto algunas zonas costeras que muestran cambios positivos en el HSI como por ejemplo entre los 36°26'S y 37°13'°S durante octubre.



Figura 200. Cambio en el índice de aptitud de hábitat (HSI) para el área de huevos de anchoveta centro-sur entre agosto, septiembre y octubre de 2055 y 2005.

3.3.2.3.2. Modelo espacial del hábitat de adultos de anchoveta

La base de datos de entrada para la modelación Maxent corresponde al cruce de la base de datos espacio-temporal de adultos de anchoveta en formato planilla Excel (ver Figura 118) y la información satelital de TSM y Clorofila a (Cloa) (ver Figura 121). Un ejemplo de la base de datos adultos de anchoveta -ambiente en formato CSV que se utiliza como entrada para Maxent se muestra en la Figura 201, la cual tiene 1098 registros.

	А	В	С	D	E
1	species	dd long	dd lat	tsm	cloa
2	anchoa	-73.4166667	-41.9166667	10.5710621	0.4285403
3	anchoa	-73.75	-41.9166667	11.7430573	0.4397781
4	anchoa	-72.9166667	-41.9166667	10.3379269	0.4446104
5	anchoa	-73.4166667	-41.9166667	10.8727264	0.5222341
6	anchoa	-73.4166667	-41.9166667	10.9584961	0.5536418
7	anchoa	-72.75	-41.9166667	10.0184002	0.6193676
8	anchoa	-73.25	-41.9166667	10.6465073	0.6751445
9	anchoa	-73.4166667	-41.9166667	11.1467018	0.7689226
10	anchoa	-73.4166667	-41.9166667	10.5966406	0.8406528
11	anchoa	-73.75	-41.9166667	12.8858385	1.0508456

Figura 201. Ejemplo de la base datos de adultos de anchoveta centro-sur, temperatura superficial del mar (tsm) y clorofila *a* (Cloa) de entrada para la modelación con Maxent.

Además, en la modelación Maxent se utilizan como datos ambientales de condición actual y futura las imágenes mostradas en la Figura 158 y Figura 159, respectivamente. En la Figura 202 se muestran las curvas respuesta que muestra como la TSM y Cloa estacional (verano, otoño, invierno y primavera) afectan la probabilidad de presencia de adultos de anchoveta.



Figura 202. Curvas respuesta Maxent estacional (verano, otoño, invierno, primavera) que muestran como la temperatura superficial del mar (tsm) y la clorofila a (Cloa) afectan la probabilidad de presencia de adultos de anchoveta.

El análisis Jack-knife para estimar la contribución relativa (%) de la TSM y Cloa en el modelo Maxent de predicción de adultos de anchoveta por estación, indica que la variable que más contribuye es la TSM para toda las estaciones del año, variando entre 66.7% en Invierno hasta 79.9% en verano (Tabla 42)

Estación	TSM	Clorofila a
Verano	79.9	20.1
Otoño	76.1	23.9
Invierno	69.5	30.5
Primavera	66.7	33.3

Tabla 42. Contribución relativa (%) de las variables ambientales al modelo Maxent por estación del año

El modelo Maxent fue entrenado para un subconjunto de datos (75%) seleccionado internamente dentro de la prueba de validación automatizada de Maxent. Los valores del área bajo la curva (AUC) de entrenamiento (training) y prueba (test) para el modelo de presencia de adultos de anchoveta por estación del año se muestran en la Tabla 43. Los valores AUC se mantuvieron sobre 0.9 para los modelo Maxent por estación, lo cual indica que el modelo tiene una "excelente" predicción y desempeño.

Tabla 43. Índices del Área bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés) de umbralesindependientes para el modelo de hábitat de adultos de anchoveta.

	Test estadístico AUC promedio		
Modelo (Entrenamiento/Prueba)	Entrenamiento	Prueba	
Verano (75/25%)	0.985 ±0.044	0.987 ±0.005	
Otoño (75/25%)	0.965 ± 0.036	0.947 ± 0.017	
Invierno (75/25%)	0.912 ± 0.038	0.881 ±0.032	
Primavera (75/25%)	0.940 ± 0.061	0.921 ±0.024	

3.3.2.3.2.1. Predicción actual y futura de la distribución de adultos de anchoveta

El modelo seleccionado fue forzado con la distribución actual 2005 (es decir promedio estacional 2001 a 2010) y futura 2055 (es decir promedio estacional 2051 a 2060) estacional de la temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila *a* (Cloa) para generar la predicción como probabilidad de ocurrencia del índice de aptitud de adultos de anchoveta por estación del año. En la Figura 203 se muestran los mapas estacionales de predicción del índice de aptitud de adultos (HSI) de anchoveta para la condición actual y futura. En la Figura 205 se muestra los mapas anuales de predicción actual (2005) y futura (2055) del HSI de adultos de anchoveta.



Figura 203. Mapas estacionales (verano, otoño, invierno, primavera) de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) para adultos de anchoveta de la zona centro-sur de Chile, para la condición actual 2005 (panel superior) y futura 2055 (panel inferior).

3.3.2.3.2.2. Mapas de hábitat escenciales de adultos de anchoveta

En la Figura 204 se muestran los mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (hsi) de adultos de anchoveta clasificado (Gormley et al., 2013) por estación para 2005 (es decir promedio estacional 2001 a 2010) y 2055 (es decir promedio estacional 2051 a 2060). Se observa una disminución en todas las estaciones del año de las áreas de "Más Aptitud" para los adultos de anchoveta hacia 2055. En la Figura 205 se muestran los mapas anuales de predicción actual (2005) y futura (2055) del HSI de adultos de anchoveta clasificados de acuerdo a Gormley et al. (2013), en los cuales se destaca la disminución en las áreas de "Más aptitud" hacia 2055 con respecto a 2005.



Figura 204. Mapas estacionales (verano, otoño, invierno, primavera) de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) clasificados según Gormley et al., 2013 para adultos de anchoveta de la zona centro-sur: condición actual 2005 (panel superior), condición futura 2055 (panel inferior).



Figura 205. Mapas de predicción anual del índice de aptitud de hábitat (HSI) para adultos de anchoveta: imagen superior izquierda, actual (2005), derecha, futura (2055); imagen inferior HSI clasificado según Gormley et al., 2013 izquierda, actual (2005), derecha, futura (2055).

El área y porcentaje de pérdida estacional y anual del hábitat "Más Apto" para la ocurrencia de adultos de anchoveta para 2005 y 2055 se muestra en la Tabla 44. Se observa una pérdida en el área de hábitat "más apto" de adultos de anchoveta durante todo el año con mermas que van entre 62% en Invierno hasta 98% en Primavera. La pérdida anual alcanza un 97% de hábitat "Más apto".

	2005	2055	
	Área (km ²)	Área (km ²)	% Pérdida(-)/Ganancia(+)
Verano	6525	425	-93
Otoño	81500	11100	-86
Invierno	339375	127725	-62
Primavera	201400	3275	-98
Anual	68225	2075	-97

Tabla 44. Área y porcentaje de pérdida estacional y anual del hábitat "Más Apto" para la ocurrencia de adultos de anchoveta para 2005 y 2055.

3.3.2.3.2.3. Detección de cambios en la distribución de adultos de anchoveta

Se estiman los cambios espaciales y temporales hacia el año 2055 (es decir, promedio de 2051 a 2060) en el hábitat de los adultos de anchoveta en la zona marina costera al restar la imagen de predicción estacional del índice de aptitud de hábitat (HSI) de adultos de anchoveta de 2055 menos la imagen HSI para 2005 (Figura 206). En general, se observan cambios negativos en el HSI de adultos de anchoveta en las 4 estaciones del año, excepto algunas zonas costeras que muestran cambios positivos en el HSI de invierno como por ejemplo entre los 33°S y 34°S y entre los 39°S y 41°S.



Figura 206. Cambio estacional (verano, otoño, invierno, primavera) en la aptitud de hábitat (HSI) de adultos de anchoveta centro-sur entre 2055 y 2005.

3.3.2.4. Modelación de las capturas de anchoveta en base al método de redes neuronales artificiales (RNA)

Para la modelación de RNAs se consideran los datos mensuales observados del desembarque total, junto con el esfuerzo de pesca estándar y variables ambientales con desfases en el tiempo, desde 1983 al 2012. Estimados de los desembarques mensuales de anchoveta constituyen finalmente la variable de salida de los modelos.

3.3.2.4.1. Zona de estudio y período de estudio.

La zona de estudio comprende el área cubierta por la flota cerquera (artesanal e industrial) que opera en la zona centro-sur de Chile y que se extiende entre los 32°S y 42°S, desde la costa hasta las 60 mn. En tanto que la información mensual analizada considera datos ambientales y pesqueros del período 1983-2012.

3.3.2.4.2. Variables utilizadas.

Para anchoveta los desembarques (t) son obtenidos de los Anuarios Estadísticos de Pesca del Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA) (1983-2012). En tanto que estadísticas conjuntas del desembarque y esfuerzo de pesca de la flota cerquera, son proporcionadas por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) (Figura 207 y Figura 208).



Figura 207. Capturas (t) de anchoveta zona centro-sur de Chile, período 1983-2012.



Figura 208. Esfuerzo de pesca (m³) de anchoveta centro-sur de Chile, período 1983-2012.

Los datos ambientales analizados corresponden a los promedios de doce variables registradas en estaciones meteorológicas y oceanográficas ubicadas en la costa de Talcahuano (36°S - 73°W) e informes elaborados por centros climáticos mundiales de libre disposición (www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices). Las variables ambientales son: temperatura superficial del mar (TSM) de Talcahuano (Figura 175); nivel medio del mar (NMM) (Figura 176); temperatura del aire (TA) (Figura 178); Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) (Figura 179); TSM en la Región Niño 1+2 (Figura 180); TSM en la Región Niño 3.4 (Figura 181); Índice de la Oscilación del Sur (IOS) (Figura 182) e Índice de Lengua Fría (ILF) (Figura 183) y Oscilación Antártica (AAO) (Figura 184). En tanto que con la dirección y magnitud del viento de Carriel Sur (36°46'S- 73°03'W) se estimaron el transporte de Ekman (TE; Bakun *et al.*, 1974) (Figura 185) y el índice de turbulencia (IT; Elsberry y Garwood, 1978) (Figura 186). Para anchoveta se estima la TSM de satélites NOAA (TSM-NOAA) de las zonas de pesca (Figura 209).



Figura 209. Temperatura superficial del mar de satélites NOAA (TSM-NOAA), en la zona de pesca de la anchoveta, período 1983-2012.

3.3.2.4.3. Análisis previo de los datos, selección de variables y suavizamiento.

Las variables ambientales y pesqueras son analizadas para determinar aquellas que entrarán en los modelos de RNAs.

El primer paso consiste en excluir del análisis las variables fuertemente correlacionadas, con el objetivo de reducir la dimensión del problema y evitar redundancia en el modelo. Luego se realiza un análisis de componentes principales para visualizar la representatividad de cada variable en los principales ejes (Naranjo et al., 2015), que de acuerdo con el criterio de Kaisers serán los que presenten un valor propio mayor que el promedio de los valores propios generados por todos los factores (Hair *et al.*, 1999).

Finalmente se realiza un análisis de correlación cruzada lineal y no lineal, para determinar los desfases entre las variables explicatorias y las capturas (J.C. Gutiérrez (*com. pers.*) utilizando el programa CORN que considera 22 funciones, (Tabla 3).

3.3.2.4.3.1. Correlaciones entre variables.

En la Tabla **45** se observa que la TSM-NOAA de la zona de pesca de anchoveta tiene un alto valor de correlación (r) con la TA, TSM y NIÑO 1+2 (0,93, 0,69 y 0,67 respectivamente); lo mismo ocurre entre la TSM NIÑO 3.4 y las variables ILF (0,83) e IOS (0,66).

			TSM-					TSM	TSM			
	ТА	TSM	NOAA*	NMM	IT	TE	ODP	NIÑO 1+2	NIÑO 3.4	IOS	ILF	AAO
ТА	1											
TSM	0.68	1										
TSM-NOAA*	0.93	0.69	1									
NMM	-0.12	-0.01	-0.02	1								
IT	0.59	0.34	0.56	-0.45	1							
TE	0.34	0.13	0.32	0.15	-0.12	1						
ODP	0.01	0.18	0.13	0.26	-0.03	0.09	1					
TSM NIÑO 1+2	0.52	0.59	0.67	0.24	0.18	0.02	0.28	1				
TSM NIÑO 3.4	-0.23	0.06	-0.14	0.33	-0.21	-0.13	0.45	0.38	1			
IOS	0.02	-0.12	-0.01	-0.29	0.04	-0.09	-0.41	-0.18	-0.66	1		
ILF	-0.01	0.15	0.01	0.22	0.01	0.02	0.44	0.29	0.83	-0.72	1	
AAO	0.03	0	0.05	-0.08	0.08	-0.14	-0.12	-0.02	-0.18	0.14	-0.19	1

Tabla 45. Matriz de correlación entre las variables ambientales para anchoveta.

*de la zona de pesca de anchoveta.

3.3.2.4.3.2. Análisis de componentes principales (ACP).

Con el ACP se generan doce factores que en su conjunto contienen el 100% de la varianza. De acuerdo con el criterio de Kaiser, para anchoveta se seleccionan los factores 1, 2, 3 y 4 que explican el 29,4%, 26,2%, 11,2% y 8,8% de la varianza respectivamente, es decir el 76% de la varianza total (Tabla 46).

Tabla 46. Valores calculados a partir del ACP de las variables ambientales.

Componente	Componente Valor propio		% acumulado		
1	3,53	29,43	29,43		
2	3,14	26,21	55,63		
3	1,35	11,25	66,88		
4	1,06	8,84	75,72		

La matriz de correlación de las variables ambientales con cada factor principal muestra los mayores valores de la TSM-NOAA, TA y TSM con el factor 1, la TSM NIÑO 3.4, ILF e IOS con el factor 2, NMM e IT con el factor 3 y TE con el factor 4 (Tabla 47).

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
ТА	0,91	-0,12	-0,20	0,19
TSM	0,81	0,14	-0,06	-0,02
TSM-NOAA*	0,96	-0,05	-0,09	0,11
NMM	0,05	0,27	-0,83	0,04
IT	0,51	-0,03	-0,74	-0,08
TE	0,28	-0,12	0,30	0,76
ODP	0,17	0,59	0,19	0,08
TSM NIÑO 1+2	0,75	-0,35	0,21	-0,20
TSM NIÑO 3.4	-0,07	0,91	0,18	-0,11
IOS	-0,03	-0,81	-0,06	-0,14
ILF	0,05	0,90	-0,03	0,06
AAO	0,13	-0,28	0,12	-0,69

Tabla 47. Correlación entre variables ambientales y principales factores para anchoveta.

*de la zona de pesca de anchoveta.

3.3.2.4.3.3. Correlaciones cruzadas

La TSM-NOAA alcanza valores particularmente significativos de correlación cruzada a través de la función hipérbola rectangular II, con desfases de -2, -7, -14 y -19 meses (Figura 210). La TSM NIÑO 3.4 alcanza su valor máximo de correlación a través de la función hipérbola rectangular II, particularmente a -22 meses. Él IT logra correlaciones significativas con la función hipérbola rectangular II particularmente a -8 y -21 meses para. Para el NMM su valor máximo de correlación significativa se ubica en -21 meses con la función parábola. Él TE no alcanza valores significativos de correlación. El esfuerzo de pesca estándar (fe) muestra valores significativos de correlación cruzada con la función hipérbola rectangular recíproca I a 0 y -12 meses.

Dentro de los valores significativos antes mencionados hay otros que no fueron considerados para no producir efectos de redundancia en la modelación.



Figura 210. Correlación cruzada no lineal entre los desembarques de anchoveta y variables ambientales y pesqueras (SST-NOAA: TSM de satélites NOAA; ET: Transporte de Ekman; IT: Índice de Turbulencia; SST NIÑO 3.4: TSM en la Región Niño 3.4; FE: Pesca Estándar).
3.3.2.4.3.4. Modelación con redes neuronales artificiales (RNA)

Después del tratamiento de datos inicial, la fase 1 define los modelos de RNA con sus respectivas variables de entrada y el tiempo de desfase correspondiente: SST-NOAA, fe, MSL, TI y SST-NIÑO 3.4 y fe para anchoveta. Para anchoveta, el mejor modelo tiene una arquitectura 10:9:1 (10 nodos en la capa de entrada, 9 nodos en la capa oculta y 1 nodo en la capa de salida) con un r² de 90% y pi 0.92, indicando un buen grado de ajuste (Tabla **48**). Sin embargo, un ligero grado de dispersión entre la serie observada y estimada es evidente en los valores SEP% y RMS de 28% y 7,275 toneladas, respectivamente.

Tabla 48. Mejor modelo seleccionado para la anchoveta: Fase 1.

				Índice de error				
Especies	Arquitectura	Ν	Parametros	r ²	RMS	%SEP	Е	PI
Anchovy	10:9:1	9	99	0.90	7,275	28.06	0.89	0.92

La Tabla 49 muestra el análisis de sensibilidad que evalúa la importancia de cada variable en los mejores modelos de RNA identificados en la Fase 1 de anchoveta.

Tabla 49. Análisis de sensibilidad para adultos anchoveta: Fase 1.

	Modelo Anchoveta					
Ranking	Variable	Ratio				
1	fe _(t-0)	3.72				
2	SST-NOAA(t-14)	2.95				
3	SST-NOAA(t-7)	1.96				
4	SST-NOAA(t-2)	1.47				
5	MSL _(t-21)	1.44				
6	TI _(t-8)	1.27				
7	SST-NOAA(t-19)	1.24				
8	SST NIÑO 3.4(t-22)	1.15				
9	TI _(t-21)	1.05				
10	fe _(t-12)	1.02				
11						
12						
Mediana		1.36				

Para simplificar los modelos, la fase 2 implica reducir el número de variables de entrada en los modelos sin perder un importante grado de ajuste. Las variables seleccionadas para reducir los modelos eran fe y SST-NOAA cuyas ratios en los modelos Fase 1 estaban por encima de la mediana (Tabla **49**). Por lo tanto, el modelo de la anchoveta considera variables con ratios por encima de 1,36: fe_(t-0), SST-NOAA_(t-14), SST-NOAA_(t-7) y SST-NOAA_(t-2) (Tabla **49**); se incluye SST-NOAA para proyectar el uso de escenarios de temperatura del cambio climático del IPCC. MSL fue descartado para la anchoveta a pesar de dar un ratio por encima del valor de la mediana.

Tabla 50 muestra los mejores modelos seleccionados en la Fase 2 de la anchoveta. En comparación con los modelos de la Fase 1, la anchoveta muestra valores R^2 y RMS con diferencias mínimas a pesar de los aumentos en %SEP son más destacables dado que sugieren un poco más de dispersión entre los datos observados y estimados, mientras que los valores de PI indican una calidad similar de ajuste (Figura 211).





Figura 211. Desembarques (t) observados (línea roja) y estimados (línea azul) de anchoveta para modelos RNA reducido. La figura a la derecha muestra el grado de ajuste de la estimación de los desembarques.

Regionalización (downscaling) de la temperatura

Se observa una diferencia notable entre la NOAA-SST de anchoveta de 1980-2014 y las proyecciones de TSM bajo los escenarios A2 y 4xCO2 de cambio climático para el período 2015-2065. Un factor de corrección se obtiene calculando la diferencia entre los valores observados y proyectados de TSM, teniendo en cuenta los datos mensuales de 2013-2014 los resultados mostraron un factor de corrección de 1,02 para el anchoveta para el escenario de cambio climático A2 y 3,53 para escenario 4xCO2.

Las regresiones polinómicas de tercer grado, ajustadas a los datos de SST-NOAA para las zonas de pesca de anchoveta, muestran una tendencia al enfriamiento en los últimos años (Figura 212 y Figura 213). Este último estaría relacionado con la variabilidad a escala interdecadal (Yáñez et al., 2001; Chávez et al., 2003; Alheit & Ñiquen, 2004). Esta disminución de TSM de 0,2°C por década podría haber comenzado a principios de los años 80 (Falvey & Garreaud, 2009). Para los pronósticos NCAR (A2) y IPSL (4xCO2) corregidos de TSM, las regresiones lineales fueron ajustadas, mostrando una tendencia positiva de anchoveta (Figura 212 y Figura 213).



Figura 212. Series de tiempo mensuales de SST NOAA (línea azul) y proyecciones para el escenario A2 del cambio climático (línea roja) para el área de pesca de anchoveta centro-sur (período 1983-2014).



Figura 213. . Series de tiempo mensuales de SST NOAA (línea azul) y proyecciones para el escenario 4xCO2 del cambio climático (línea roja) para el área de pesca de anchoveta (período 1983-2014).

Teniendo en cuenta la diferencia entre la regresión lineal ajustada (Figura 212 y Figura 213), la Tabla 51 muestra los aumentos en la TSM proyectada para las zonas de pesca de anchoveta. Además, se muestra una comparación entre los promedios proyectados mensual para 2056-2065 y 2005-2014 (Cheung et al., 2010; Merino et al., 2012; Silva et al., 2015). Los valores estimados para el escenario A2 representan cerca de dos veces los valores estimados para el escenario 4xCO2; las variaciones más altas de la zona de pesca de anchoveta se muestran cuando se comparan las medias mensuales de los períodos antes mencionados.

Tabla 51. Análisis de sensibilidad para anchoveta: Fase 2.

	Modelo Anchoveta				
Ranking	Variable	Ratio			
1	fe _(t-0)	2.50			
2	SST-NOAA(t-14)	2.10			
3	SST-NOAA _(t-7)	1.14			
4	SST-NOAA _(t-2)	1.04			
5		1.44			
6		1.27			

Predicciones de desembarques de jurel

La Figura 214 muestra las proyecciones de desembarque de anchoveta para el período 2015-2065 en base a los escenarios de cambio climático A2 y 4xCO2 y tres proyecciones de esfuerzo pesquero considerando un promedio de 2010 a 2012, un aumento medio del 50%, y una disminución media del 50% del esfuerzo pesquero. Las proyecciones de anchoveta son menos pronunciadas que las tendencias de jurel, el escenario de cambio climático 4xCO2 mostró un aumento en 3% para anchoveta. Al comparar las proyecciones de desembarque 2056-2065 y 2005-2014, teniendo en cuenta los promedios de escenarios A2 y esfuerzos de pesca, los desembarques se incrementarían en un 40% para la anchoveta. Para el escenario de cambio climático 4xCO2 y esfuerzos de pesca promedios, los desembarques de anchoveta muestran una disminución del 11% (Tabla 54). Cuando los promedios del esfuerzo de pesca disminuyen en un 50%, los desembarques de anchoveta aumentarían. Situación contraria se produce al utilizar promedios de esfuerzo pesquero aumentó en un 50% los desembarques de jurel disminución (Tabla 54).

Tabla 52. Proyecciones de la temperatura superficial del mar (TSM) para el área de pesca de la anchoveta durante 2015-2065.

Escenarios	Método	Anchoveta
4.2	Inicio y final de rectas ajustadas	1,26
AZ	Diferencias entre 2056- 2065 y 2005-2014	1,59
1.00	Inicio y final de rectas ajustadas	0,58
4xCO ₂	Diferencias entre 2056- 2015 y 2005-2014	0,65

Tabla 53. Variaciones en las proyecciones del desembarque de anchoveta para cada escenario de esfuerzo de pesca y temperatura superficial del mar (TSM), comparación entre 2015 y 2065.

		Escenarios esfuerzo de pesca				
	Escenarios TSM	50%+	Media	50%-		
Anchoveta	A2	3%	-1%	-8%		
Anchoveta	4xCO ₂	2%	3%	8%		

Tabla 54. Variaciones en las proyecciones del desembarque de anchoveta para cada escenario de esfuerzo de pesca y temperatura superficial del mar (TSM), comparación entre 2056-2065 y 2005-2014.

		Escer	narios esfuerzo de	pesca
	Escenarios TSM	50%+	Media	50%-
Anchoveta	A2	96%	40%	-29%
Anchoveta	4xCO2	17%	-11%	-38%



Figura 214.Pronóstico de desembarques (t) de anchoveta, período 2015-2065, aplicando 3 proyecciones de esfuerzo pesquero en 2 escenarios de cambio climático: (panel a) escenario A2, panel b) escenario 4XCO₂. Líneas en azul: aumento medio del 50% del esfuerzo pesquero, líneas en verde: disminución media del 50% de dicho esfuerzo.

3.3.3. Modelos predictivos de *Concholepas concholepas* (loco) bajo escenarios de cambio climático

3.3.3.1. Distribución geográfica actual de loco en la zona de estudio

En las Figura 215 a Figura 217 se ilustra la distribución espacial de los distintos estadios del ciclo de vida de *C. concholepas* a lo largo de la costa chilena. Tal como se aprecia en la Figura 215, la información disponible para los adultos y juveniles de Loco a lo largo de la línea de costa es bastante extensa, abarcando un amplio territorio de forma densa.



Figura 215. Distribución espacial de individuos adultos y juveniles de Loco a lo largo de la línea de costa de Chile.

Por otra parte, en el caso de los reclutas y las cápsulas de Loco, la información disponible es más escasa, entregando una cobertura más reducida del territorio costero (Figura 216 y Figura 217).



Figura 216. Distribución espacial de reclutas de Loco a lo largo de la línea de costa de Chile



Figura 217. Distribución espacial de cápsulas de Loco en la línea de costa de Chile

Las diferencias entre los estadios de vida reflejan principalmente la mayor abundancia de información para estados adultos y juveniles con respecto a reclutas y cápsulas. Sin embargo, los tamaños muestrales disponibles permiten la realización del esfuerzo de modelación en base a Máxima Entropía, por lo que el presente estudio reporta dichos resultados. Para ello se utilizó información correspondiente a la Distribución actual y futura de un conjunto de variables ambientales, la que se detalla a continuación.

3.3.3.2. Distribución actual y futura de variables ambientales

A partir de la información recabada en la revisión bibliográfica, se pudo evidenciar que tanto para el Loco, como para los restantes recursos marinos bentónicos, existe un conjunto de variables ambientales que poseen importancia para los distintos estadios del ciclo vital de estos recursos. Por ello, se examinó el impacto e importancia de variables adicionales a la temperatura superficial del mar y la concentración superficial de clorofila en el mar. Estas variables se listan en la Tabla 55, donde se detallan sus unidades y fuentes de información

Variable	Unidades	Descriptor	Fuente
Batimetría	m	Profundidad del fondo marino	Modelo de relieve ETOPO 1.
Temperatura superficial del mar	°C	Media climatológica (2002-2009)	Aqua-Modis
Clorofila a	mg/m ³	Media climatológica (2002-2009)	Aqua-Modis
Salinidad superficial del mar	PPS	Interpolación de mediciones in situ	WOD 2009
pH superficial del mar	Escala total	Interpolación de mediciones in situ	WOD 2009
Nitrato	µmol/l	Interpolación de mediciones in situ	WOD 2009
Fosfato	µmol/l	Interpolación de mediciones in situ	WOD 2009
Silicato	µmol/l	Interpolación de mediciones in situ	WOD 2009
pCO2	μatm	Presión parcial de CO ₂ , estimado a partir de medias climatológicas (2002-2009) e interpolaciones in situ	Este proyecto. Cálculos realizados utilizando información contenida en Bio Oracle, fuentes primarias Aqua-Modis y WOD 2009
Omega _{Ar}	-	Estado de saturación de Aragonita, estimado a partir de medias climatológicas (2002-2009) e interpolaciones in situ	Este proyecto. Cálculos realizados utilizando información contenida en Bio Oracle, fuentes primarias Aqua-Modis y WOD 2009

Tabla 55. Variables fisicoquímicas empleadas en el presente estudio*.

*Todas las variables se obtuvieron a partir de la base de datos Bio-Oracle, o fueron calculadas empleando las ecuaciones documentadas en la literatura (Lee et al. 2006, Nisumaa et al. 2010; Gatusso & Hansson (Eds.) 2011)

En particular las Figura 218 a Figura 227 ilustran la distribución espacial superficial de las distintas variables fisicoquímicas y topográficas estudiadas.



Figura 218. Batimetría del fondo marino. Fuente: Modelo de relieve ETOPO 1.





Fuente: Bio Oracle (Tyberghein et al. 2011).





Fuente: Bio Oracle (Tyberghein et al. 2011).



Figura 221. Salinidad superficial en el mar. Promedio de observaciones in situ. Fuente: Bio Oracle (Tyberghein et al. 2011).



Figura 222. PH promedio superficial en el mar. Promedio de observaciones in situ. Fuente: Bio Oracle (Tyberghein et al. 2011).



Figura 223. Concentración promedio superficial de nitrato en el mar. Promedio de observaciones in situ. Fuente: Bio Oracle (Tyberghein et al. 2011).



Figura 224. Concentración promedio superficial de fosfato en el mar. Promedio de observaciones in situ. Fuente: Bio Oracle (Tyberghein et al. 2011).



Figura 225. Concentración promedio superficial de silicato en el mar. Promedio de observaciones in situ. Fuente: Bio Oracle (Tyberghein et al. 2011).



Figura 226. Presión parcial de CO₂ promedio en la superficie del mar. Cálculo realizado en base a Climatologías mensuales y Promedios interpolados a partir de observaciones in situ.



Figura 227. Indice de estado de saturación medio para aragonita en la superficie del mar.

La mayoría de las variables obtenidas a partir de interpolaciones espaciales (por ejemplo nutriente, salinidad y pH) presentan patrones dominados por la variación estacional. En el caso de la información obtenida mediante sensores remotos, como la temperatura y concentración de clorofila, se aprecia un patrón de variación que refleja la dinámica costera además de la variación latitudinal. Esta información permitió el ajuste de modelos de distribución en base a la información contemporánea o de línea base. A fin de poder realizar las proyecciones, se emplearon dos estrategias. Para aquellos recursos presentes en la macrozona norte (Macroalgas, loco), se utilizó como escenario de cambio climático la proyección realizada en base a las variaciones de temperatura superficial proyectadas por modelos globales de acuerdo a lo reportado por el modelo Community Climate System Model 3.0 (CCSM3) del National Centre for Atmospheric Research (NCAR). Esta proyección tomó como línea de referencia el escenario A2 de emisiones futuras de CO₂ reportadas por el IPCC. Los datos de temperatura superficial fueron regionalizados o proyectados a una resolución espacial mayor utilizando métodos de interpolación estadística. A su vez, la clorofila fue proyectada en base a un modelo de pronóstico basado en la SST. De esta forma, se obtuvo un escenario de cambio climático para estas dos variables. En las Figura 228 y Figura 229 se ilustran los campos proyectados para ambas variables para la zona centro-norte de Chile.



Figura 228. Temperatura superficial del mar. Escenario de cambio climático en base a ruta de emisiones A2 del IPCC. Interpolación regional en base al modelo CCSM3 del NCAR.



Figura 229. Concentración superficial de clorofila a en el mar. Escenario de cambio climático en base a ruta de emisiones A2 del IPCC. Interpolación regional en base al modelo CCSM3 del NCAR.

Como se puede apreciar en las Figura 228 y Figura 229, estas dos variables difieren de manera importante en su estructura espacial, con la clorofila entregando una señal de productividad mucho más asociada a la sección somera de la costa, mientras que la temperatura superficial se caracteriza por un patrón de variación más homogéneo y con variabilidad de mayor escala, principalmente latitudinal.

3.3.3.3. Modelación de la distribución geográfica del hábitat esencial de loco en base al método de máxima entropía (Maxent)

Dada la importancia de un conjunto de variables fisicoquímicas para los distintos estadios del ciclo de vida de este recurso, se construyeron dos modelos del hábitat esencial para cada etapa ontogenética. El primero, corresponde a un modelo que considera todas las variables ambientales descritas anteriormente. El segundo, corresponde a un modelo reducido, en el que solo se emplearon la batimetría, temperatura superficial del mar, y concentración de clorofila. Esto nos permitió determinar el peso o importancia relativa de la batimetría, con respecto a las variables fisicoquímicas tradicionales (temperatura, salinidad, pH) y la productividad y nutrientes (clorofila, nitrato, fosfato y silicato). Además, el modelo más complejo incluyó dos variables relacionadas al sistema de los Carbonatos, a saber, la presión parcial de dióxido de carbono pCO₂, y el estado de saturación del océano y sus eventuales presiones sobre la calcificación por parte de los distintos estadios del loco. En la Tabla 56 se resume brevemente la estructura de los modelos ajustados, considerando que variables son incluidas en cada uno de ellos.

Variable	Modelo completo (10 parámetros)	Modelo reducido (3 parámetros)
Batimetría	Х	Х
Temperatura superficial del mar	Х	Х
Clorofila a	х	Х
Salinidad superficial del mar	Х	
pH superficial del mar	Х	
Nitrato	Х	
Fosfato	Х	
Silicato	Х	
pCO2	Х	
Omega _{Ar}	х	

Tabla 56	. Estructura	de v	variables	consideradas	en	los	dos	modelos	ajustados	a los	distintos
estadios o	de loco.										

A continuación, en la Tabla 57 se reportan los resultados de bondad de ajuste obtenidos para los distintos modelos de hábitat esencial calculados para los distintos estadios de ciclo de vida del Loco.

Tabla 57. Valores de bondad de ajuste mediante AUC observados para los distintos modelos calculados para los distintos estados de ciclo de vida de Loco.*

Estadio	Modelo	completo	Modelo reducido		
	Calibración	Prueba	Calibración	Prueba	
Cápsulas	0.985	0.985	0.982	0.982	
Reclutas	0.991	0.991	0.979	0.979	
Adultos	0.969	0.967	0.950	0.950	

*Se indican los valores de AUC observados para los dos modelos de distribución (modelo completo y modelo reducido). Se reportan los resultados obtenidos para los conjuntos de calibración y evaluación o prueba en cada conjunto de datos a través de los distintos estadios de vida del loco.

Como puede apreciarse en la Tabla 57, los modelos ajustados se caracterizan por un muy buen ajuste AUC > 0.95), siendo capaces de discriminar de forma eficaz entre puntos del hábitat ocupados y aquellos no ocupados por los distintos estadios del loco. A continuación se reportan las principales características de los modelos de hábitat esencial ajustados, para cada uno de estos estadios

3.3.3.3.1. Modelo espacial del hábitat de cápsulas de loco

Curvas de respuesta

En Figura 230 a Figura 239 se ilustran las curvas de respuesta obtenidas para cada variable de estudio, en el ajuste del modelo completo para las cápsulas de Loco. Estas curvas corresponden a la variación en idoneidad ambiental considerando cada variable por separado sobre la base de paridad de datos ambientales y biológicos (ocurrencia de cápsulas).



Figura 230. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la batimetría.



Figura 231. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la temperatura superficial del mar.



Figura 232. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de clorofila.



Figura 233. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la salinidad superficial.



Figura 234. Curva de respuesta de las cápsulas de loco al pH superficial.



Figura 235. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de Nitrato.



Figura 236. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de Fosfato.



Figura 237. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de Silicato.



Figura 238. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la presión parcial de CO2.



Figura 239. Curva de respuesta de las cápsulas de loco al estado de saturación de Aragonita.

Como se aprecia en estas figuras, con la excepción de la curva de respuesta de las cápsulas de *C. concholepas* frente a la batimetría, la mayoría de las variables presentan respuestas acotadas a lo largo de los distintos gradientes ambientales. El grado de heterogeneidad y multimodalidad observado en cada curva puede reflejar el hecho que las observaciones obtenidas para las cápsulas no abarcan la totalidad del rango de valores que cada variable despliega en condiciones naturales (e.g., en el gradiente latitudinal de la costa de Chile), lo cual es el reflejo de patrones de muestreo heterogéneo y disperso a lo largo de los distintos gradientes ambientales.

En la Figura 240 se ilustra la proyección espacial del modelo ajustado para las cápsulas empleando la totalidad de las variables estudiadas (modelo completo). Ello tanto para el escenario actual (Figura 240a) como para el escenario de cambio climático (Figura 240b). Esta última corresponde a la presencia de cápsulas proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Para esta proyección, todas las 8 variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las Figura 218 y Figura 221 a Figura 227. La Figura 240b) indica una tendencia al desplazamiento del rango de distribución hacia el norte, con una disminución en la idoneidad ambiental para latitudes más al norte de los 35°S, y un aumento en la idoneidad para latitudes más al sur de este punto. Por otra parte, en Figura 241 a Figura 243 se ilustran las curvas de respuesta ajustadas al utilizar solamente Batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido). Estos resultados indican que la probabilidad de ocurrencia de cápsulas de C. Concholepas se asocia a profundidades someras, con temperaturas cuyos rangos fluctúan entre $12 - 16^{\circ}$ C y concentraciones de clorofila a entre 1 y 15 mg/m³).



Figura 240. Distribución de hábitat esencial de cápsulas de *C. concholepas* (Loco) para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de cápsulas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para las cápsulas de *C. concholepas* (Loco) empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es la misma en ambas figuras.



Figura 241. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la batimetría al ajustar modelo reducido.



Figura 242. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la temperatura al ajustar modelo reducido



Figura 243. Curva de respuesta de las cápsulas de loco a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido

De manera similar a lo observado en el caso del modelo completo, solo la respuesta frente a la batimetría es de tipo monótona, mientras que la respuesta a la temperatura y a la concentración de clorofila presenta una variación acotada, con una tendencia unimodal, aunque con un grado importante de heterogeneidad superpuesta. Nuevamente el grado de heterogeneidad y multimodalidad observado puede reflejar el hecho que las observaciones obtenidas para las cápsulas no abarcan la totalidad del rango de valores de cada variable ambiental, reflejado en un muestreo heterogéneo y disperso a lo largo de los distintos gradientes ambientales.

En la Figura 244 se ilustra la proyección espacial del modelo reducido para las cápsulas de Loco empleando solamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido). Ello tanto para el escenario actual (Figura 244a) como para el escenario de cambio climático (Figura 244b). Esta última corresponde a la presencia de cápsulas proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y

concentración de clorofila. Para esta proyección, se emplea la misma información de batimetría ilustrada en la Figura 218. En este modelo, se observa una respuesta de desplazamiento de la idoneidad ambiental mucho más marcada hacia la costa del centro del país, entre las latitudes 35° S y 40° S. Ello podría interpretarse como una variación en la calidad ambiental para las cápsulas de Loco. Sin embargo, estos resultados requieren de un mayor esfuerzo de muestreo para poder entregar asociaciones más robustas. De igual manera, se requieren estudios mayores en cuanto a la respuesta fisiológica frente a estas variables ambientales para este estado del desarrollo del Loco. Aun así, estos resultados indican variaciones en la idoneidad del hábitat esencial para el desarrollo intracapsular de *C. concholepas*.



Figura 244. Distribución de hábitat esencial de cápsulas de Loco para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia de cápsulas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para las cápsulas de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es similar para ambas figuras.

3.3.3.3.2. Modelo espacial del hábitat de reclutas de C. concholepas (loco)

Curvas de respuesta

En Figura 245 a Figura 254 se ilustran las curvas de respuesta obtenidas para cada variable de estudio, en el ajuste del modelo completo (con 10 variables) para los reclutas de Loco. Estas curvas corresponden a la variación en idoneidad ambiental considerando cada variable por separado.



Figura 245. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la batimetría.


Figura 246. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la temperatura superficial del mar.



Figura 247. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de clorofila.



Figura 248. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la salinidad superficial.



Figura 249. Curva de respuesta de los reclutas de loco al pH superficial.



Figura 250. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de Nitrato.



Figura 251. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de Fosfato.



Figura 252. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de Silicato.



Figura 253. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la presión parcial de CO₂.



Figura 254. Curva de respuesta de los reclutas de loco al estado de saturación de Aragonita.

A diferencia a lo observado para las cápsulas, todas las variables evidencian respuestas con umbrales superiores e inferiores de tolerancia, sin observarse respuestas graduales como lo observado para batimetría en el caso de las cápsulas. Por otra parte, y de manera similar a lo observado para las cápsulas, estas curvas de respuesta evidencian un importante grado de heterogeneidad y multimodalidad observado lo cual sugiere nuevamente que las observaciones obtenidas para el estadio de reclutas no abarcan la totalidad del soporte de valores de cada variable ambiental.

En la Figura 255 se ilustra la proyección espacial del modelo ajustado para los reclutas empleando la totalidad de las variables estudiadas (modelo completo). Ello tanto para el escenario actual (Figura 255a) como para el escenario de cambio climático (Figura 255b). De forma similar a lo ilustrado para las cápsulas, la proyección de cambio climático corresponde a la variación proyectada para la macro zona norte en base a los escenarios de cambio climático en temperatura y concentración de clorofila, manteniendo todas las 8 variables restantes en los valores correspondientes a las Figura 218 y Figura 221 a Figura

227. La Figura 255b) indica una tendencia al desplazamiento del rango de distribución hacia el norte, con un aumento en la idoneidad ambiental para latitudes más al norte de los 35°S, y una disminución en la idoneidad para latitudes más al sur de este punto. Patrón de probabilidades que es relativamente distinto a lo registrado en el estadio de larvas encapsuladas.

Por otra parte, en las Figura 256 a Figura 258 se ilustran las curvas de respuesta del estadio de reclutas de *C. concholepas* ajustadas al utilizar solamente Batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido). En este modelo reducido se aprecia claramente la respuesta monótona en idoneidad hacia batimetrías someras para los reclutas, junto con respuestas acotadas para temperatura y concentración de clorofila.



Figura 255. Distribución de hábitat esencial de reclutas de Loco para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de reclutas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para los reclutas de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color de la figura b) es la misma que la ilustrada en la figura a)



Figura 256. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la batimetría al ajustar modelo reducido.



Figura 257. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la temperatura al ajustar modelo reducido.



Figura 258. Curva de respuesta de los reclutas de loco a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido

De manera similar a lo observado en el caso del modelo completo, solo la respuesta frente a la batimetría presenta una cota superior, en lugar de ser de tipo monótona, mientras que la respuesta a la temperatura y a la concentración de clorofila presentan una variación acotada, con una tendencia unimodal, aunque con un grado importante de heterogeneidad superpuesta sobre esta tendencia. Nuevamente este grado de heterogeneidad y multimodalidad observado puede reflejar el hecho que las observaciones obtenidas para las cápsulas no abarcan la totalidad del soporte de valores de cada variable ambiental, entregando un muestreo heterogéneo y disperso a lo largo de los distintos gradientes ambientales.

En la Figura 259 se ilustra la proyección espacial del modelo reducido para los reclutas empleando solamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido), considerando tanto el escenario actual (Figura 259 a) como el escenario de cambio climático (Figura 259b). Para esta proyección, se emplea la misma información de

batimetría ilustrada en la Figura 218. En este modelo, se observa una respuesta mucho más marcada del aumento de superficie de idoneidad ambiental y con un desplazamiento hacia el centro del país, entre las latitudes 35°S y 40°S. Ello podría interpretarse como una eventual variación en la calidad ambiental para reclutas de Loco. Además, dado que este estadio presenta mayor esfuerzo de muestreo que las cápsulas, ello sugiere que el patrón observado debiese ser robusto frente a eventuales aumentos en el esfuerzo de muestreo de reclutas, pese a lo cual, estudios posteriores deben evaluar el impacto de un aumento en el esfuerzo de muestreo para poder entregar asociaciones más robustas. De igual manera a lo sugerido para las cápsulas, se requieren más estudios mecanicistas para poder dilucidar los mecanismos funcionales de la respuesta fisiológica frente a estas variables ambientales para este estado del desarrollo del Loco.



Figura 259. Distribución de hábitat esencial de reclutas de Loco para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia de reclutas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para los reclutas de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras

3.3.3.3. Modelo espacial del hábitat de adultos de *C. concholepas* (Loco) Curvas de respuesta

De forma similar a lo ilustrado para los estadios de larvas encapsuladas y reclutas de loco, en las Figura 260 a Figura 269 se ilustran las curvas de respuesta obtenidas para cada variable de estudio, en el ajuste del modelo completo (con 10 variables) para los adultos y juveniles de Loco. Cabe señalar que los datos obtenidos para Adultos fueron predominantes en las fuentes consultadas. Sin embargo, se optó por agrupar la información obtenida para juveniles, dado que no es posible distinguir diferencias en el hábitat esencial a partir de la información recopilada en la revisión bibliográfica para este recurso. Nuevamente, las curvas que se muestran a continuación corresponden a la variación en idoneidad ambiental cuando se representa la respuesta frente cada variable por separado, sin considerar el impacto de las otras variables presentes.



Figura 260. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la batimetría.



Figura 261. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la temperatura superficial del mar.



Figura 262. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la concentración de clorofila.



Figura 263. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la salinidad superficial.



Figura 264. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco al pH superficial.



Figura 265. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la concentración de Nitrato.



Figura 266. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la concentración de Fosfato.



Figura 267. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la concentración de Silicato.



Figura 268. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco a la presión parcial de CO2



Figura 269. Curva de respuesta de adultos y juveniles de loco al estado de saturación de Aragonita.

Para los adultos y juveniles de Loco, se observó una respuesta monótona frente a la batimetría, con las variables restantes evidenciando respuestas con umbrales acotados por límites superiores e inferiores de tolerancia. De manera similar a lo observado para las cápsulas y reclutas, estas curvas evidencian un importante grado de heterogeneidad y multimodalidad, pese a un tamaño muestra varios órdenes de magnitud superior. Ello sugiere, que esta variabilidad puede ser producto de las características propias del método empleado, y no necesariamente refleja el esfuerzo de muestreo a lo largo de los gradientes ambientales estudiados. Cabe destacar que para juveniles y adultos, las variables relativas al sistema de los carbonatos (pCO₂ y Omega_{Ar}) se caracterizan por presentar curvas de respuesta observadas son mucho más amplias que las de las cápsulas y reclutas. Ello sugiere respuestas contrastantes entre estados ontogenéticos, con una posible una mayor tolerancia de los individuos juveniles y adultos frente a estos gradientes ambientales. Un aspecto interesante es que la curva de respuesta frente al estado de saturación de la aragonita fluctúa en rangos en los cuales los organismos calcificadores están enfrentando stress fisiológico (1 < omega < 3, Fig. 269).

Por otra parte, al examinar la proyección espacial de este modelo, ilustrado en la Figura 270 se aprecia una distribución espacial relativamente amplia y acotada a la línea de costa. Esta distribución se observa tanto para el escenario actual (Figura 270 a) como para el escenario de proyección de cambio climático (Figura 270 b).



Figura 270. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de Loco para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de cápsulas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para los adultos y juveniles de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras.

Nuevamente, la proyección de cambio climático corresponde a la variación proyectada para la macro zona norte en base a los escenarios de cambio climático en temperatura y concentración de clorofila, manteniendo todas las 8 variables restantes en los valores correspondientes a las Figura 218 y Figura 221 a Figura 227, mientras que la escala de color es la misma que la ilustrada en la Figura 255 a). En este caso, y a diferencia de lo observado para las cápsulas y reclutas, a Figura 270 b) no indica mayores diferencias en cuanto a la extensión del hábitat esencial para este estadio ontogenético sino una amplia disponibilidad de hábitats idóneos a lo largo de la costa. Sin embargo, se aprecian aumentos en la extensión espacial de la idoneidad ambiental para los hábitats ubicado al sur de los 35°S.

Por otra parte, en Figura 271 a Figura 273 se ilustran las curvas de respuesta ajustadas al utilizar solamente Batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido). En este modelo reducido se aprecia claramente la respuesta monótona en idoneidad hacia batimetrías someras para los reclutas, junto con una respuesta acotada en el caso de la temperatura (8 – 18°C) pero que representa los rangos de variación a lo largo de la costa de Chile. Sin embargo, en el caso de la concentración de clorofila (Figura 273) se observa una respuesta mucho más amplia, indicando que los individuos experimentan un mayor rango de valores de clorofila, pero con una dominancia de valores entre 1 y 15 mg/m³)



Figura 271. Curva de respuesta de los adultos y juveniles de loco a la batimetría al ajustar modelo reducido.



Figura 272. Curva de respuesta de los adultos y juveniles de loco a la temperatura al ajustar modelo reducido



Figura 273. Curva de respuesta de los adultos y juveniles de loco a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido.

Finalmente, en la Figura 274 se ilustra la proyección espacial del modelo reducido para los adultos y juveniles de Loco.



Figura 274. Distribución de hábitat esencial de juveniles y adultos de Loco para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia de cápsulas. a) La Figura ilustra la presencia predicha para los reclutas de Loco empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color de la figura b) es la misma que la ilustrada en la figura a)

Este modelo emplea solamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido), considerando tanto el escenario actual (Figura 274 a) como el escenario de cambio climático (Figura 274 b). Para esta proyección, se emplea la misma información de batimetría ilustrada en la Figura 218. En este modelo, se observa una respuesta mucho más marcada de desplazamiento del máximo de idoneidad ambiental hacia el centro del país, entre las latitudes 35°S y 40°S, aunque el rango espacial al norte se mantiene presente frente al escenario de cambio climático. Ello podría interpretarse como una eventual resiliencia del rango geográfico para los adultos y juveniles de este recurso frente a oscilaciones climáticas de temperatura. Dado que este estadio presenta mayor esfuerzo de muestreo que las cápsulas y reclutas, ello sugiere que el patrón observado para adultos y juveniles es robusto.

Aunque con diferencias en la resolución y extensión espacial de los datos colectados para *C. concholepas* en sus tres estadios ontogénicos (adulto, recluta y capsulas), los modelos completos (10 parámetros) y reducidos (3 parámetros) permiten estimar la distribución espacial a lo largo de la costa de Chile (AUC > 0.95 en todos los casos). Las curvas de respuesta de cada estadio a la variabilidad ambiental reflejó la importancia relativa de la batimetría (disponibilidad de hábitat) mientras que otras variables presentan una alta heterogeneidad y multimodalidad. Aun así, es posible sugerir que las respuestas registradas caracterizan adecuadamente el rango de idoneidad ambiental de cada variable para cada estadio de *C. concholepas* sobre la cual es posible desarrollar una proyección predictiva, que en su forma reducida, supone una mayor importancia relativa de la batimetría, temperatura y clorofila superficial, bajo el supuesto que el resto de variables se mantendrán constantes. Es interesante destacar que los distintos estadios difieren en sus curvas de respuesta, particularmente en el modelo completo, donde los adultos presentan una mayor dependencia de la clorofila y una mayor tolerancia a mayores rangos de variación de pCO₂ y Omega_{Ar}

3.3.4. Modelos predictivos de chorito bajo escenarios de cambio climático

3.3.4.1. Distribución geográfica actual de *Mytilus chilensis* (chorito) en la zona de estudio

En la Figura 275 se ilustra la distribución espacial de los individuos adultos y juveniles de Chorito a lo largo de la costa chilena. Tal como se aprecia en la Figura 275, la información disponible para los adultos y juveniles de Chorito a lo largo de la línea de costa es bastante extensa, abarcando un amplio territorio, aunque la mayor concentración de información se encuentra en las latitudes al sur de los 40°S del país.



Figura 275. Distribución espacial de individuos adultos y juveniles de Chorito a lo largo de la línea de costa de Chile

3.3.4.2. Distribución actual y futura de variables ambientales

A partir de la información recabada en la revisión bibliográfica, se pudo evidenciar que para los recursos bentónicos estudiados, como el Loco, Chorito y macroalgas pardas, existe un amplio conjunto de variables ambientales que pueden afectar la habitabilidad del hábitat para los distintos estadios del ciclo vital de estos recursos. En el caos del Chorito, se

emplearon las mismas variables empleadas para los tres estadios del Loco, por lo que se refiere al lector a la Tabla 55 y Figura 218 a Figura 227 para la información correspondiente a las variables de estudio para elaboración de modelos de distribución y su distribución actual. Por ello, se utilizó como escenario alternativo un forzamiento uniforme del campo de temperatura superficial del mar, aumentando los valores observados actualmente para una anomalía de +2°C. Esto resultó en el campo de temperatura ilustrado en la Figura 276.



Figura 276. Temperatura superficial del mar. Escenario de cambio climático en base a un forzamiento uniforme para una anomalía de +2ºC.

En este escenario climático de aumento en temperatura superficial del mar, dado que corresponde a un forzamiento uniforme, no se consideraron variaciones espaciales en la concentración de clorofila. Por ello, se trabajó con el supuesto de que todas las variables ambientales restantes se mantienen en su valor medio actual. Si bien este supuesto es cuestionable, nos permite desarrollar una primera aproximación para evaluar el efecto de un estresor específico sobre la distribución espacial del hábitat esencial de este recurso, considerando el impacto más estudiado actualmente frente al efecto del cambio climático. Cabe destacar que para *M. chilensis* la información de distribución de estados ontogenética fue mucho más precaria que la disponible para el Loco. Por ello, se ha integrado la información disponible para Adultos y Juveniles, agrupando los datos de ambos estadios para efectos del modelamiento de hábitat esencial.

3.3.4.3. Modelación de la distribución geográfica del hábitat esencial de chorito en base al método de máxima entropía (Maxent)

Siguiendo la estrategia de implementación de modelos descrita anteriormente, en el caso del recurso Chorito se construyeron dos modelos del hábitat esencial. El primero, el modelo completo, corresponde a un modelo que considera todas las variables ambientales descritas anteriormente. El segundo, corresponde a un modelo reducido, en el que solo se emplearon la batimetría, temperatura superficial del mar, y concentración de clorofila. Esto nos permitió determinar el peso o importancia relativa de la batimetría, con respecto a las variables fisicoquímicas tradicionales (temperatura, salinidad, pH) y la productividad y nutrientes (clorofila, nitrato, fosfato y silicato). Además, el modelo complejo incluyó dos variables relacionadas al sistema de los carbonatos, a saber, la presión parcial de dióxido de carbono pCO₂, y el estado de saturación del océano y sus eventuales presiones sobre la calcificación por parte de los distintos estadios del loco. La estructura de los modelos ajustados se resume brevemente en la Tabla 56, la que indica que variables son incluidas en cada uno de los dos modelos estudiados para el chorito. Por otra parte, en la Tabla 58, se entregan los valores de bondad de ajuste estimados mediante AUC, para los

modelos ajustados a la distribución del hábitat esencial de chorito. Como se puede apreciar en la tabla, los modelos se caracterizan por un muy buen ajuste, siendo capaces de discriminar de forma eficaz entre puntos del hábitat ocupados y aquellos no ocupados por el chorito.

Tabla 58. Valores de bondad de ajuste mediante AUC observados para Adultos y Juveniles de chorito*.

Estado	Modelo completo		Modelo reducido	
	Calibración	Prueba	Calibración	Prueba
Adultos + Juveniles	0.992	0.991	0.988	0.983

*Se indican los valores de AUC observados para los dos modelos de distribución (modelo completo y modelo reducido). Se reportan los resultados obtenidos para los conjuntos de calibración y evaluación o prueba en cada conjunto de datos.

Dado el buen ajuste observado, es posible concluir que ambos modelos rescatan de forma adecuada la relación entre las variables ambientales y la presencia de este recurso. Por ello, a continuación se reportan las principales características de los modelos de hábitat esencial ajustados, para cada uno de estos dos modelos.

3.3.4.3.1. Modelo espacial del hábitat de adultos y juveniles de *M. chilensis* (chorito)

Curvas de respuesta

En Figura 227 a Figura 286 se ilustran las curvas de respuesta obtenidas para cada variable de estudio y la ocurrencia de juveniles y adultos de *M. Chilensis*, en el ajuste del modelo completo para los adultos y juveniles de chorito. Estas curvas corresponden a la variación en idoneidad ambiental considerando cada variable por separado.



Figura 277. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la batimetría.



Figura 278. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la temperatura superficial del mar.



Figura 279. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de clorofila.



Figura 280. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la salinidad superficial.



Figura 281. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito al pH superficial.



Figura 282. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de Nitrato.



Figura 283. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de Fosfato.



Figura 284. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de Silicato.



Figura 285. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la presión parcial de CO₂.



Figura 286. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito al estado de saturación de Aragonita.

Como se aprecia en estas figuras, con la excepción de la respuesta frente a la batimetría, la mayoría de las variables presentan respuestas acotadas a lo largo de los distintos gradientes ambientales, mientras que la batimetría presenta una respuesta monótona con aumento en la idoneidad de hábitat hacia profundidades más someras. La ocurrencia de choritos se asocia a rangos de temperatura superficial entre 6 y 16°C, mientras que la clorofila fluctúa entre 4 hasta 40 mg/m3, pero con una mayor variabilidad, lo cual refleja las condiciones de productividad en la zona donde se distribuye este recurso. Así mismo, llama la atención el menor grado de heterogeneidad observado en el resto de las curvas de respuesta, lo cual sugiere una mayor homogeneidad en las condiciones ambientales observadas en los puntos de presencia para esta especie.

En la Figura 287 se ilustra la proyección espacial del modelo ajustado para adultos y juveniles de chorito. Esta proyección corresponde al modelo completo, que utiliza la totalidad de las variables estudiadas. De forma similar a lo ilustrado para los estados de loco, se muestra tanto la proyección para el escenario actual (Figura 287a) como la proyección para el escenario de cambio climático (Figura 287b). Esta última corresponde a la presencia de individuos proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Para esta proyección, todas las 8 variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las Figura 218 y Figura 121 a Figura 227. La Figura 240 b) muestra que no se aprecian mayores variaciones en la estructura espacial del hábitat esencial de este recurso. Ello probablemente refleje el uso de una perturbación uniforme en una única variable, por lo que exploraciones futuras debiesen determinar el impacto de uso de escenarios de cambio climático equivalentes al utilizado para el recurso Loco.



Figura 287. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de chorito para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de adultos y juveniles de chorito. a) La Figura ilustra la presencia predicha para chorito empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras.
Por otra parte, en Figura 288 a Figura 290 se ilustran las curvas de respuesta ajustadas al utilizar solamente Batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido).



Figura 288. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la batimetría al ajustar modelo reducido.



Figura 289. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la temperatura al ajustar modelo reducido.



Figura 290. Curva de respuesta de adultos y juveniles de chorito a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido.

En este caso, solo se observó una respuesta unimodal para la temperatura, mientras que la batimetría presentó una respuesta monótona hacia profundidades someras, y la concentración de clorofila presentó un aumento y eventual saturación. Nuevamente, se observa un grado de heterogeneidad mucho menor en comparación con las curvas de respuesta ajustadas para los distintos estadios ontogenéticos de loco.

En la Figura 291 se ilustra la proyección espacial del modelo reducido para adultos y juveniles de chorito, empleando solamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido). De manera similar a los modelos reducidos anteriores, se ilustra tanto para el escenario actual (Figura 291 a) como el escenario de cambio climático basado en este caso en una perturbación uniforme del campo de temperatura superficial del mar (Figura 291 b). Para esta proyección, se emplea la misma información de batimetría ilustrada en la Figura 218. En este modelo, se observa una respuesta de desplazamiento de la idoneidad ambiental al sur de los 42°S de latitud, al igual que un aumento en el valor de idoneidad ambiental observado en el mar interior de Chiloé y el sector de los fiordos australes. Al igual que lo sugerido en el caso del Loco, se requiere corroborar los ajustes correlativos generados en el presente estudio con estudios empíricos que documenten la respuesta fisiológica de los individuos frente a variaciones ambientales.



Figura 291. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de chorito para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia. a) La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color de la figura b) es la misma que la ilustrada en la figura a)

Aunque con una alta heterogeneidad espacial, los datos colectados para *M. chilensis* integrando 2 estadios ontogénicos (adulto y juveniles), a través de los modelos completos (10 parámetros) y reducidos (3 parámetros) permiten estimar la distribución espacial a lo largo de la costa de Chile con una muy buena resolución (AUC > 0.98 en todos los casos). Las curvas de respuesta de cada estadio a la variabilidad ambiental reflejó la importancia de la batimetría (disponibilidad de hábitat) mientras que otras variables presentan una alta heterogeneidad a través de sus rangos de variación. Aun así, es posible sugerir que las respuestas registradas discriminan satisfactoriamente el rango de idoneidad ambiental de cada variable frente a la respuesta de *M. chilensis* y sobre la cual es posible desarrollar una proyección predictiva que en su forma reducida, suponen una mayor importancia relativa de la batimetría, temperatura, salinidad y pH, bajo el supuesto que el resto de variables se mantendrán constantes. Es interesante destacar que la zona austral y el mar interior de Chiloé concentran una alta idoneidad ambiental, tendencia que se vuelve más pronunciada frente a un escenario de aumento en 2 grados de temperatura.

3.3.5. Modelos predictivos de algas pardas bajo escenarios de cambio climático

3.3.5.1. Distribución geográfica actual de algas pardas en la zona de estudio (macro zona norte)

En las Figura 292 a Figura 294 se ilustra la distribución espacial de los individuos macroscópicos de las tres especies de macroalgas pardas consideradas en el presente trabajo a lo largo de la costa chilena: las fases esporofitos juveniles y adultos de *Lessonia nigrescens* (huiro negro), *Lessonia trabeculata* (huiro palo) y *Macrocystis integrifolia* (huiro pato).



Figura 292. Distribución espacial de individuos macroscópicos de *Lessonia nigrescens* a lo largo de la línea de costa de Chile.



Figura 293. Distribución espacial de individuos macroscópicos de *Lessonia trabeculata* a lo largo de la línea de costa de Chile.



Figura 294. Distribución espacial de individuos macroscópicos de *Macrocystis integrifolia* a lo largo de la línea de costa de Chile.

3.3.5.2. Distribución actual y futura de variables ambientales

De forma similar a lo realizado en la modelación de los otros recursos, para las macroalgas pardas, se utilizaron las mismas variables empleadas anteriormente (Tabla 55, Figura 218 a Figura 227). En el caso de las macroalgas pardas, se trabajó con la misma zona de estudio que el loco, a saber la macro zona norte de Chile. Por ello, se utilizó la misma información referente al escenario de cambio climático que en el caso del loco. Es decir, la proyección

realizada en base a las variaciones de temperatura superficial proyectadas por modelos globales de acuerdo a lo reportado por el modelo CCSM3 del National Centre for Atmospheric Research (NCAR) y se empleó la proyección de cambio en la concentración de clorofila proyectada en base a un modelo de pronóstico basada en la SST (Figura 218 a Figura 227). De igual forma a lo realizado para los otros recursos, se tomó como supuesto operacional que el resto de las variables ambientales se mantendrán sin cambios significativos. En base a esta información y supuestos, se procedió a modelar el hábitat esencial para las macroalgas pardas, enfocándonos en sus estadios macroscópicos, específicamente las esporofitos juveniles y adultos de *Lessonia nigrescens, Lessonia trabeculata y Macrocystis integrifolia*.

3.3.5.3. Modelación de la distribución geográfica del hábitat esencial de algas pardas en base al método de máxima entropía (Maxent)

3.3.5.3.1. Modelo espacial del hábitat de adultos de algas pardas

Para las macroalgas pardas, siguiendo las estrategias empleadas para loco y chorito, se elaboraron dos modelos del hábitat esencial. El primero, el modelo completo, corresponde a un modelo que considera todas las variables ambientales descritas anteriormente. El segundo, corresponde a un modelo reducido, en el que solo se emplearon la batimetría, temperatura superficial del mar, y concentración de clorofila. Esto nos permitió determinar el peso o importancia relativa de la batimetría, con respecto a las variables fisicoquímicas tradicionales (temperatura, salinidad, pH) y la productividad y nutrientes (clorofila, nitrato, fosfato y silicato). Además, el modelo más complejo incluyó dos variables asociadas a acidificación del océano, a saber, la presión parcial de dióxido de carbono pCO₂, y el estado de saturación de aragonita (Omega_{Ar}). La estructura de los modelos ajustados se resume brevemente en la Tabla 56, la que indica que variables son incluidas en cada uno de los dos modelos estudiados. Por otra parte, en la Tabla 59 , se entregan los valores de AUC obtenidos para los modelos ajustados a la distribución del hábitat esencial de macroalgas pardas.

Especie	Modelo completo		Modelo Reducido	
	Calibración	Prueba	Calibración	Prueba
L. nigrescens	0.983	0.982	0.979	0.979
L. trabeculata	0.997	0.997	0.995	0.994
M. integrifolia	0.991	0.991	0.984	0.984

Tabla 59. Valores de bondad de ajuste mediante AUC observados para Adultos y Juveniles de macroalgas pardas.*

*Se indican los valores de AUC observados para los dos modelos de distribución (modelo completo y modelo reducido). Se reportan los resultados obtenidos para los conjuntos de calibración y evaluación o prueba en cada conjunto de datos.

Como se puede apreciar en la Tabla 59, los modelos se caracterizan por un muy buen ajuste, siendo capaces de discriminar de forma eficaz entre puntos del hábitat ocupados y aquellos no ocupados por estas tres especies de macroalgas. Dado el buen ajuste observado para las tres especies de macroalgas en los dos modelos evaluados, podemos concluir que ambos modelos rescatan de forma adecuada la relación entre las variables ambientales y la presencia de estos recursos. A continuación se reportan las principales características de los modelos de hábitat esencial ajustados para cada uno de estos dos modelos.

Curvas de respuesta y modelación para huiro negro

En las Figura 295 a Figura 304 se ilustran las curvas de respuesta obtenidas para el huiro negro (*L. nigrescens*) en función de las distintas variable de estudio, de acuerdo al ajuste del modelo completo para esta especie de macroalga. Estas curvas corresponden a la variación en idoneidad ambiental considerando cada variable por separado.



Figura 295. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la batimetría.



Figura 296. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la temperatura superficial del mar.



Figura 297. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de clorofila.



Figura 298. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la salinidad superficial.



Figura 299. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro al pH superficial.



Figura 300. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de Nitrato.



Figura 301. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de Fosfato.



Figura 302. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de Silicato.



Figura 303. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la presión parcial de CO₂.



Figura 304. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro al estado de saturación de Aragonita.

De manera similar a lo observado en otros recursos bentónicos, en estas figuras se aprecia un conjunto de respuestas más heterogéneo, aunque presentando cotas superiores e inferiores para los distintos gradientes ambientales. Si bien la batimetría presenta una respuesta monótona con aumento en la idoneidad de hábitat hacia profundidades más someras, esta decae levemente al acercarse a la superficie. En el caso de la temperatura, la idoneidad de hábitat del huiro negro se asocia a rangos que van entre 12 y 20°C. Para el resto de parámetros se observa una alta heterogeneidad en las curvas de respuesta.

En la Figura 305 se ilustra la proyección espacial del modelo completo ajustado para adultos y juveniles de huiro negro. Este modelo utiliza la totalidad de las variables estudiadas. De forma similar a lo ilustrado para los otros recursos, se muestra tanto la proyección para el escenario actual (Figura 305 a) como la proyección para el escenario de cambio climático (Figura 305 b). Esta última corresponde a la presencia de plantas proyectada para la macro zona norte, considerando como único cambio la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Para esta proyección, todas las 8 variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las Figura 218 y Figura 221 a Figura 227. La Figura 305b) muestra que no se aprecian mayores variaciones en la estructura espacial del hábitat esencial de este recurso. Ello sugiere que las variaciones en temperatura y clorofila no son suficientes para alterar la proyección basada en las restantes ocho variables, o que el resto de variables proveen de un buffer a las variaciones en temperatura y clorofila.



Figura 305. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro negro para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de adultos y juveniles de huiro negro. a) La Figura ilustra la presencia predicha para el huiro negro empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es la misma para ambas figuras.

Por otra parte, en Figura 306 a Figura 308 se ilustran las curvas de respuesta del huiro negro ajustadas al utilizar solamente Batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido).



Figura 306. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la batimetría al ajustar modelo reducido.



Figura 307. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la temperatura al ajustar modelo reducido.



Figura 308. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro negro a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido.

En este caso, tanto la batimetría como la concentración de clorofila generaron una respuesta mixta, con una sección unimodal seguida de valores que aumentan de forma gradual, con rangos de temperatura entre 13 y 18°C.

En la Figura 309 se ilustra la proyección espacial del modelo reducido para adultos y juveniles de huiro negro, empleando solamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido). De manera similar a los modelos reducidos anteriores, se ilustra tanto para el escenario actual (Figura 309 a) como el escenario de cambio climático basado en este caso en una perturbación uniforme del campo de temperatura superficial del mar (Figura 309 b). Para esta proyección, se emplea la misma información de batimetría ilustrada en la Figura 218. En este modelo, se observa un aumento en la idoneidad de hábitats esenciales para las áreas al sur de la macro zona norte. Si bien el rango espacial no se ve alterado en extensión, se aprecia un aumento en la amplitud o extensión espacial de idoneidad ambiental en latitudes entre 30°S y 40°S.



Figura 309. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro negro para el modelo reducido ajustado a los datos de presencia de esporofitos juveniles y adultos. a) La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color de la figura b) es la misma que la ilustrada en la figura a)

Curvas de respuesta y modelación para huiro palo

Respecto al huiro palo (*Lessonia trabeculata*) en las Figura 310 a Figura 319 se ilustran las curvas de respuesta obtenidas en función de las distintas variable de estudio, de acuerdo al ajuste del modelo completo para esta especie de macroalga.



Figura 310. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la batimetría.



Figura 311. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la temperatura superficial del mar.



Figura 312. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de clorofila.



Figura 313. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la salinidad superficial



Figura 314. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo al pH superficial.



Figura 315. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de Nitrato.



Figura 316. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de Fosfato.



Figura 317. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de Silicato.



Figura 318. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la presión parcial de CO₂.



Figura 319. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo al estado de saturación de Aragonita.

De manera similar a lo observado en el caso del chorito, para el huiro palo se aprecia un conjunto de respuestas más homogénea, sin mayor incidencia de respuestas complejas y multimodales, facilitando los rangos de variabilidad a los cuales se asocia la idoneidad de hábitat asociado a cada variable. De igual forma, la batimetría presenta una respuesta gradual y suave con aumento en la idoneidad de hábitat hacia profundidades más someras, esta decae levemente al acercarse a la superficie.

En la Figura 320 se ilustra la proyección espacial del modelo completo ajustado para adultos y juveniles de huiro palo. Este modelo utiliza la totalidad de las variables estudiadas. De forma similar a lo ilustrado para los otros recursos, se muestra tanto la proyección para el escenario actual (Figura 320 a) como la proyección para el escenario de cambio climático (Figura 320 b). Esta última corresponde a la presencia de plantas proyectada para la macro zona norte, considerando como único cambio la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Para esta proyección, las 8 variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las Figura 218 y Figura 221 a Figura 227. La Figura 305b) muestra que no se aprecian mayores variaciones en la estructura espacial del hábitat esencial de este recurso. Al igual que el huiro negro, estos resultados sugieren que las variaciones en temperatura y clorofila no son suficientes para alterar la proyección basada en las restantes 8 variables.



Figura 320. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro palo para el modelo completo ajustado a los datos de presencia de adultos y juveniles de huiro palo. a) La Figura ilustra la presencia predicha para el huiro palo empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras.

Por otra parte, en Figura 321 a Figura 323 se ilustran las curvas de respuesta ajustadas al utilizar solamente Batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido) para el huiro palo.



Figura 321. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la batimetría al ajustar modelo reducido.



Figura 322. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la temperatura al ajustar modelo reducido.



Figura 323. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro palo a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido.

En este caso, la concentración de clorofila presenta una respuesta mixta, con una sección unimodal seguida de valores que aumentan de forma gradual, aunque con una gran variabilidad entre las 5 validaciones cruzadas. En el caso de la temperatura, esta variable presenta una respuesta claramente unimodal, con rango entre 10 y 19°C. Para estos modelos, nuevamente se observa un menor grado de heterogeneidad.



Figura 324. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro palo (*L. trabeculata*) para el modelo reducido. a) La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es la misma para ambas figuras.

En la Figura 324 se ilustra la proyección espacial del modelo reducido para adultos y juveniles de huiro palo, empleando solamente estas tres variables (batimetría, temperatura y concentración de clorofila), correspondientes al modelo reducido. De manera similar a los modelos reducidos anteriores, se ilustra tanto para el escenario actual (Figura 324 a) como el escenario de cambio climático basado en este caso en una perturbación uniforme del campo de temperatura superficial del mar (Figura 324 b). Para esta proyección, se emplea la misma información de batimetría ilustrada en la Figura 218 y la escala de color es la misma que la ilustrada en la figura a). En este modelo, se observa un aumento en la idoneidad ambiental para las áreas al sur de la macro zona norte. Si bien el rango espacial no se ve alterado en extensión, se aprecia un aumento en la idoneidad ambiental en latitudes entre 30°S y 40°S.

Curvas de respuesta y modelación para huiro pato

Por último, para el huiro pato (*Macrocystis integrifolia*) las Figura 325 a Figura 334 ilustran las curvas de respuesta obtenidas en función de las distintas variable de estudio, de acuerdo al ajuste del modelo completo para esta especie.



Figura 325. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la batimetría.



Figura 326. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la temperatura superficial del mar.



Figura 327. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de clorofila.



Figura 328. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la salinidad superficial.



Figura 329. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato al pH superficial.



Figura 330. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de Nitrato.



Figura 331. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de Fosfato.



Figura 332. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de Silicato.



Figura 333. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la presión parcial de CO₂.


Figura 334. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato al estado de saturación de Aragonita.

De manera similar a lo observado en el caso del loco y el huiro negro, en estas figuras se aprecia un conjunto de respuestas relativamente heterogéneas, a la vez que muchas variables presentan respuestas muy acotadas a lo largo de los gradientes respectivos. Probablemente, esto debido a la mayor disponibilidad de datos para la zona norte de Chile, lo cual se refleja en un rango de temperatura alrededor de los 18°C.

En la Figura 335 se ilustra la proyección espacial del modelo completo ajustado para adultos y juveniles de huiro palo. Este modelo utiliza la totalidad de las variables estudiadas. De forma similar a lo ilustrado para los otros recursos, se muestra tanto la proyección para el escenario actual (Figura 335 a) como la proyección para el escenario de cambio climático (Figura 335 b). Esta última corresponde a la presencia de macroalgas proyectada para la macro zona norte, considerando como único cambio la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Para esta proyección, todas las 8 variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las Figura 218 y Figura 221 a Figura 227. Las Figura 335 a y b) muestran una distribución más restringida del hábitat esencial para esta especie, teniendo un área mucho menor que las otras dos especies de macroalgas. Frente al escenario de cambio climático, si bien el área de hábitat esencial continúa siendo mucho menor que la de las especies de *Lessonia*, se proyecta un aumento en el área de distribución de hábitat esencial para esta especie.



Figura 335. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro pato (*M. integrifolia*) para el modelo completo. a) La Figura ilustra la presencia predicha para el huiro pato empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando la totalidad de las 10 variables descritas en el texto. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 218 y 221 a 227. La escala de color es igual para ambas figuras.

Finalmente, en la Figura 336 a Figura 338 se ilustran las curvas de respuesta ajustadas al utilizar solamente Batimetría, temperatura y concentración de clorofila (modelo reducido) para el huiro pato.



Figura 336. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la batimetría al ajustar modelo reducido.



Figura 337. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la temperatura al ajustar modelo reducido.



Figura 338. Curva de respuesta de adultos y juveniles de huiro pato a la concentración de clorofila al ajustar modelo reducido.

En este caso, las tres variables presentan un recorrido sumamente acotado, indicando que el espacio de variables ambientales que favorecen la ocurrencia de esta especie se encuentra particularmente restringido. Para estos modelos, nuevamente se observa un menor grado de heterogeneidad que en el caso del loco. Se evidencia sin embargo cierta heterogeneidad y variabilidad entre las réplicas de validación cruzada, tal como indican las amplitudes de los intervalos de confianza. Finalmente, En la Figura 339 se ilustra la proyección espacial del modelo reducido para adultos y juveniles de huiro pato, empleando solamente estas tres variables (batimetría, temperatura y concentración de clorofila), correspondientes al modelo reducido. De manera similar a los modelos reducidos anteriores, se ilustra tanto para el escenario actual (Figura 339 a) como el escenario de cambio climático basado en este caso en una perturbación uniforme del campo de temperatura superficial del mar (Figura 339 b). Para esta proyección, se emplea la misma información de batimetría ilustrada en la Figura 218.



Figura 339. Distribución de hábitat esencial de adultos y juveniles de huiro pato (*M. integrifolia*) para el modelo reducido. a) La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat. Se ilustra el mapa de distribución promediado a partir de 5 validaciones cruzadas, empleando únicamente batimetría, temperatura y concentración de clorofila. b) La Figura ilustra la presencia proyectada para la macro zona norte, en base a la variación proyectada para temperatura y concentración de clorofila. Todas las variables restantes se mantuvieron en los valores correspondientes a las figuras 216 y 219 a 225. La escala de color es la misma para ambas figuras.

En este modelo, de forma similar a lo observado para el huiro palo, se observa un aumento en la idoneidad ambiental para las áreas al sur de la macro zona norte. Si bien el rango latitudinal no se ve alterado en extensión, si se aprecia un aumento en la idoneidad ambiental en latitudes entre 30°S y 40°S, con una mayor predicción de ocupación de hábitats submareales.

Para la macrozona norte, aunque con una alta heterogeneidad espacial, los datos colectados para las la fase esporofito de las macroalgas pardas y los modelos completos (10 parámetros) y reducidos (3 parámetros) permitieron estimar la distribución espacial a lo largo de la costa de Chile (AUC > 0.97 para ambos modelos y las 3 especies en todos los casos). Las curvas de respuesta de cada especie frente a la variabilidad ambiental reflejó la importancia de la batimetría (disponibilidad de hábitat) mientras que otras variables presentan una alta heterogeneidad a través de sus rangos de variación. Aun así, es posible sugerir que las respuestas registradas discriminan satisfactoriamente el rango de idoneidad ambiental de cada variable frente a la respuesta de *las macro-algas pardas* y sobre la cual es posible desarrollar una proyección predictiva que en su forma reducida, suponen una mayor importancia relativa de la batimetría temperatura, salinidad y pH, bajo el supuesto que el resto de variables se mantendrán constantes.

3.3.6. Distribución actual y futura del hábitat esencial de recursos bentónicos

3.3.6.1. Recurso Loco en la macro zona norte

El cálculo de los modelos predictivos de hábitat permitió la obtención de mapas de hábitat esencial para las distintas etapas del ciclo de vida del loco. De manera similar a lo realizado para los recursos pelágicos, los mapas de hábitat esencial se obtuvieron al clasificar en ArcGIS las imágenes de predicción actual y futura de la distribución del índice de aptitud de hábitat. Tal como se señaló en la sección 3.3.1.3.1.2., el índice de aptitud de hábitat se clasifica en 3 categorías de acuerdo a Gormley et al. (2013): 0 a 0.1 (No Apto), 0.1 a 0.5 (Menos Apto) y 0.5 a 1 (Más Apto). En la Figura 340 se muestran los mapas de predicción 506

del índice de aptitud de hábitat (HSI) (Gormley et al., 2013) para las cápsulas de loco, considerando los escenarios actuales y futuros (CCSM3-A2), al igual que los modelos completos y reducidos analizados (i.e., modelo con 10 variables vs el modelo con 3 variables).



Figura 340. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de cápsulas de loco bajo los dos modelos empleados (modelo completo y modelo reducido). Se ilustra para cada modelo la distribución espacial de las distintas categorías de hábitat para el escenario actual y el escenario de cambio climático. La Figura ilustra la presencia predicha empleando tres categorías, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat.

Los resultados observados en la evaluación del HSI indican una mayor idoneidad para cápsulas de loco en el sector central de la costa de Chile, abarcando aproximadamente entre los 28°S a los 39°S de latitud (Figura 340). A su vez, se aprecia que las proyecciones en base al modelo reducido (considerando batimetría, temperatura y clorofila) presentan una mayor extensión geográfica, lo que puede sugerir una menor capacidad de clasificación en 507

base a dicho modelo. Es interesante destacar que en el caso del modelo reducido, éste permite contar con una estimación más conservadora de la idoneidad de hábitat. Sin embargo, tanto el modelo reducido como el modelo completo (con 10 variables) proyectan una reducción en el ámbito geográfico de los hábitats de mejor calidad. En Figura 341 y Figura 342 se ilustran los mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de reclutas y juveniles-adultos de loco, considerando ambos modelos ajustados y los escenarios actual y de cambio climático analizados.



Figura 341. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de reclutas de Loco bajo los dos modelos empleados (modelo completo y modelo reducido). Se ilustra para cada modelo la distribución espacial de las distintas categorías de hábitat para el escenario actual y el escenario de cambio climático. La Figura ilustra la presencia predicha empleando tres categorías con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat.



Figura 342. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de juveniles-adultos de loco bajo los dos modelos empleados (modelo completo y modelo reducido). Se ilustra para cada modelo la distribución espacial de las distintas categorías de hábitat para el escenario actual y el escenario de cambio climático. La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat.

Como se aprecia en estas figuras, en los tres estados ontogénicos del loco, hay una respuesta diferencial a lo largo del gradiente latitudinal, con una proyección de mayores áreas de idoneidad ambiental futura para los sectores de la costa al sur de los 28°S. Por el contrario, los sectores al norte de los 25°S presentan una menor idoneidad ambiental. Esto se evidencia tanto para las cápsulas (Figura 340), como para los reclutas (Figura 341) y los juveniles y adultos (Figura 342). A su vez, en los tres estados, se observa el mismo patrón, donde el modelo reducido es más conservador y clasifica mayores extensiones geográficas como hábitat idóneo, reflejando el impacto del aumento en temperatura. Ello sugiere que los escenarios de cambio climático que reflejan los aumentos esperados en temperatura

debiesen permitir una evaluación de la vulnerabilidad de este recurso frente al cambio climático.

3.3.6.2. Distribución geográfica actual de Chorito en la zona de estudio

En el caso del Chorito, *Mytilus chilensis*, se desarrollaron los modelos predictivos de hábitat en base a un escenario de aumento de temperatura. De forma similar a lo descrito para el loco, los modelos predictivos permitieron la obtención de mapas de hábitat esencial para este recurso. Para visualizar los efectos del escenario de aumento de TSM en 2°C, se calcularon los mapas de idoneidad de hábitat (HSI), usando las categorías mencionadas anteriormente. En la Figura 343 se muestran los mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) (Gormley et al., 2013) para este recurso. Estos mapas consideran tanto el escenario actual como un escenario futuro (aumento en 2°C de la TSM), al igual que los dos modelos analizados (modelo con 10 variables vs. el modelo con 3 variables).



Figura 343. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) del recurso Chorito bajo los dos modelos empleados (modelo completo y modelo reducido). Se ilustra para cada modelo la distribución espacial de las distintas categorías de hábitat para el escenario actual y el escenario de cambio climático (aumento en 2ºC de TSM). La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat.

Cabe destacar que en el caso de los mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) de chorito, se evidencia que el modelo reducido proyecta la ocurrencia de una mayor extensión de hábitat más apto, frente al escenario de aumento de temperatura superficial del mar en 2°C. Lo cual sugiere que el modelo podría proyectar vulnerabilidades positivas en el sector al sur de los 40°S.

3.3.6.3. Distribución geográfica actual de algas pardas en la zona de estudio (macro zona norte)

De manera similar a lo realizado para los otros recursos bentónicos, la información disponible para las macroalgas pardas permitió el cálculo de los mapas de hábitat esencial para las distintas especies estudiadas. De esta manera, se calcularon los mapas de idoneidad de hábitat (HSI), usando las categorías mencionadas anteriormente. En Figura 344 a Figura 346 se muestran los mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) (Gormley et al., 2013) para las tres especies de algas pardas estudiadas. Estos mapas consideran tanto el escenario actual como un escenario futuro (CCSM3-A2), al igual que los dos modelos analizados (modelo con 10 variables vs. el modelo con 3 variables).



(10 variables)

Modelo original

Modelo reducido (3 variables)

Figura 344. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) para *Lessonia nigrescens* bajo los dos modelos empleados (modelo completo y modelo reducido). Se ilustra para cada modelo la distribución espacial de las distintas categorías de hábitat para el escenario actual y el escenario de cambio climático. La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat.

Los resultados observados indican una mayor idoneidad para los estados juveniles y adultos de *Lessonia nigrescens* a lo largo del sector somero e intermareal de la costa de Chile. En el escenario A2 se aprecian disminuciones en la idoneidad ambiental hacia el norte de la Bahía de Mejillones y Antofagasta (ca. 23°S), mientras que el modelo reducido indica que en los sectores al sur no presentan cambios o bien presentan aumentos en la idoneidad ambiental (Figura 344). Es así como en las proyecciones en base al modelo reducido (considerando batimetría, temperatura y clorofila) presentan una mayor extensión geográfica de hábitat más apto para los sectores al sur de los 24°S. En el caso de *Lessonia trabeculata* (Figura 345) se observa una distribución más restringida que en el caso de *L. nigrescens*, pero con una variación similar en cuanto a la reducción proyectada para el escenario de cambio climático, con pérdidas de hábitat más apto en los sectores costeros al norte de los 25°S.



Figura 345. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) para *Lessonia trabeculata* bajo los dos modelos empleados (modelo completo y modelo reducido). Se ilustra para cada modelo la distribución espacial de las distintas categorías de hábitat para el escenario actual y el escenario de cambio climático. La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat.



Figura 346. Mapas de predicción del índice de aptitud de hábitat (HSI) para *Macrocystis integrifolia* bajo los dos modelos empleados (modelo completo y modelo reducido). Se ilustra para cada modelo la distribución espacial de las distintas categorías de hábitat para el escenario actual y el escenario de cambio climático. La Figura ilustra la presencia predicha empleando un espectro de color desde el azul claro al rojo, con los valores más cálidos señalando mayor idoneidad de hábitat.

La distribución de hábitat más apto en el caso de *Macrocystis integrifolia* en la macrozona norte es mucho más acotada que en el caso de las otras dos especies de macroalgas pardas (Figura 346), mostrando reducciones importantes en esta extensión geográfica para el sector norte de la costa de Chile (ca. < 25°S latitud). Sólo en el caso de la proyección bajo el escenario A2 y con el modelo reducido, se aprecia una mayor ganancia de hábitat idóneo o apto en los sectores centrales de la costa de Chile. De forma similar a lo observado en los otros recursos bentónicos, para las macroalgas pardas se observó que el modelo reducido es más conservador y clasifica mayores extensiones geográficas como hábitat idóneo, reflejando el impacto del aumento en temperatura sin el contrapeso o ponderación de otras variables ambientales en la proyección. Ello sugiere que los escenarios de cambio climático que reflejan los aumentos esperados en temperatura debiesen permitir una evaluación de la vulnerabilidad de este recurso frente al cambio climático centrados en esta variable.

3.4. Vulnerabilidad al cambio climático de hábitat esencial para los recursos pesqueros en estudio.

Para poder visualizar el impacto de las proyecciones realizadas en el hábitat esencial de los recursos pesqueros en estudio, se calculó un índice de vulnerabilidad (IV) para sus estadíos, empleando la expresión $IV = IE \times IS$, donde IE indica el índice de exposición al cambio climático e IS indica el Índice de Sensibilidad. Este IV toma valores negativos cuando la vulnerabilidad es mayor y valores positivos cuando la vulnerabilidad es menor.

3.4.1. Jurel

3.4.1.1. Hábitat esencial de huevos de jurel

Para el caso de la vulnerabilidad al cambio climático del hábitat esencial de huevos de jurel se tiene que el índice de exposición (*IE*) está dado por el aumento de la temperatura entre el período base (noviembre 2003) y el período futuro noviembre 2055 (promedio noviembre 2051 a 2060):

$$IE = (SST _{2055} - SST _{2003}).$$

A su vez el índice de sensibilidad (*IS*) está dado por el cambio en la aptitud de hábitat (HSI) de huevos de jurel, el cual fue representado en la Figura 166.

En la Figura 347 se observa un desplazamiento hacia la costa y hacia el sur de los 38°S de las áreas aptas y de ausencia de vulnerabilidad para los huevos de jurel hacia el 2055 (color rojo) como producto del aumento de la TSM. Por otro lado, al norte de los 35°S se

evidencia una gran extensión espacial de mayor vulnerabilidad (color azul) al cambio climático para los huevos de jurel, indicando que la disponibilidad del hábitat esencial actual para los huevos de este recurso sería vulnerable a los cambios proyectados debido al aumento de la temperatura superficial del mar, desplazándose hacia el sur las zonas históricas de desove.



90'0'0'W 88'0'0'W 86'0'0'W 84'0'0'W 82'0'0'W 80'0'0'W 78'0'0'W 76'0'0'W 74'0'0'W 72'0'0'W 70'

Figura 347. Mapa de índice de vulnerabilidad (IV) de huevos de jurel. Se muestra la distribución espacial de las distintas categorías de vulnerabilidad frente al cambio climático, observándose la vulnerabilidad predicha empleando un espectro de color desde el azul al rojo. Los tonos más fríos como el azul (valores negativos) señalan mayor vulnerabilidad frente a los cambios de clima y hábitat, a su vez, los colores cálidos (valores positivos) indican una mejoría o ausencia de vulnerabilidad producto de estas variaciones.

3.4.1.2. Hábitat esencial de adultos de jurel

Para el caso de la vulnerabilidad al cambio climático del hábitat esencial de adultos de jurel se tiene que el índice de exposición (*IE*) está dado por el aumento de la temperatura y la disminución de la clorofila-a:

$$IE = [(SST_{2055} - SST_{2005}) + (Cl-a_{2055} - Cl-a_{2005})]/2$$

A su vez el índice de sensibilidad (*IS*) está dado por el cambio estacional en la aptitud de hábitat (HSI) de adultos de jurel que fue mostrado en la Figura 172.



Figura 348. Mapa de índice de vulnerabilidad (IV) de adultos de jurel. Se muestra la distribución espacial estacional (a: verano, b: otoño, c: invierno, d: primavera) de las distintas categorías de vulnerabilidad frente al cambio climático, observándose la vulnerabilidad predicha empleando un espectro de color desde el azul al rojo. Los tonos más fríos como el azul (valores negativos) señalan mayor vulnerabilidad frente a los cambios de clima y hábitat, a su vez, los colores cálidos (valores positivos) indican una mejoría o ausencia de vulnerabilidad producto de estas variaciones.

Se observa una mayor vulnerabilidad de hábitat en verano para la zona costera centro-sur de los adultos de jurel hacia 2055 (Figura 348 a). En otoño e invierno se observan cambios positivos en la vulnerabilidad de su hábitat (Figura 348 a y b). En primavera (Figura 348 c) algunas zonas costeras por ejemplo entre los 35°S y 38°S presentan valores negativos (color azul), es decir una mayor vulnerabilidad del hábitat del recurso. Esto indicaría que el hábitat esencial para los adultos de jurel en la zona costera sería vulnerable a los cambios proyectados debido al aumento de la temperatura superficial del mar y a la disminución de la clorofila-a durante la primavera y en mayor magnitud en el verano.

Las proyecciones de idoneidad de hábitat y su vulnerabilidad para el recurso jurel sugieren que los diferentes estados ontogénicos estudiados de esta especie (huevos y adultos) difieren en su respuesta frente al cambio climático en términos de modificaciones en temperatura y clorofila. Se detecta una disminución en el índice de vulnerabilidad (pérdida de hábitat idóneo) en el área de huevos, lo que sugiere un desplazamiento hacia la costa y hacia el sur del desove, lo que podría provocar una mayor accesibilidad del recurso a la pesca en este importante período de su ciclo de vida. A su vez en adultos los mayores valores de vulnerabilidad se presentan en primavera y verano, período en que el recurso realiza migraciones de carácter reproductivo y de alimentación. La ausencia de vulnerabilidad o mejoría del hábitat de adultos proyectada en los meses de otoño-invierno, debiese ser interpretado con moderación, ya que aunque este escenario podría considerarse positivo, estimulando la producción y extracción, aún no se ha evaluado la función ecosistémica de este recurso. Estos antecedentes sugieren que tal vez exista la necesidad de implementar nuevos planes de manejo (e.g. vedas, regulación en la extracción) y de adaptación para enfrentar los escenarios de cambio climático proyectados.

3.4.2. Recurso Anchoveta centro-sur

3.4.2.1. Hábitat esencial de huevos de anchoveta centro-sur

El índice de exposición (*IE*) está dado por el aumento de la temperatura IE = (SST $_{2055}$ – SST $_{2005}$). A su vez el índice de sensibilidad (*IS*) está dado por el cambio en la aptitud de hábitat (HSI) de huevos de anchoveta el que se muestra en la Figura 200.

Se observa en general una alta vulnerabilidad en las áreas de huevos de anchoveta hacia agosto, septiembre y octubre 2055 como producto del aumento de la TSM (valores negativos representados por tonos fríos), exceptuando algunas zonas costeras como por ejemplo entre los 36°S y 37°S durante octubre (Figura 349 c)). Esto refleja una importante vulnerabilidad en el hábitat para este estadío, proyectándose una contracción en la idoneidad del hábitat para los huevos de anchoveta centro-sur. Cabe destacar que esto podría verse acentuado por perturbaciones estacionales o interanuales (e.g. eventos ENOS).



Figura 349. Mapa de índice de vulnerabilidad (IV) de huevos de anchoveta centro-sur. Se muestra la distribución espacial en los meses de mayor presencia de huevos en los datos (a: agosto, b: septiembre, c: octubre) en las distintas categorías de vulnerabilidad frente al cambio climático, observándose la vulnerabilidad usando un espectro de color desde el azul al rojo. Los tonos más fríos como el azul (valores negativos) señalan mayor vulnerabilidad frente a los cambios de clima y hábitat, a su vez, los colores cálidos (valores positivos) indican una mejoría o ausencia de vulnerabilidad producto de estas variaciones.

3.4.2.2. Hábitat esencial de adultos de anchoveta centro-sur

El índice de exposición (*IE*) está dado por el aumento de la temperatura y la disminución de la clorofila-a:

$IE = [(SST_{2055} - SST_{2005}) + (Cl-a_{2055} - Cl-a_{2005})]/2$

A su vez el índice de sensibilidad (*IS*) está dado por el cambio en la aptitud de hábitat (HSI) de adultos de anchoveta que fue entregado en la Figura 206.

En la Figura 350 se observa una importante vulnerabilidad en todas las estaciones del año de las áreas para los adultos de anchoveta centro-sur hacia 2055 (valores negativos representados en color azul) producto de los cambios proyectados debido al aumento de la temperatura superficial del mar y a la disminución de la clorofila-a. En la Figura 350, también se observan algunas zonas costeras que muestran valores positivos del hábitat y ausencia de vulnerabilidad (tonos cálidos) como por ejemplo entre los 33°S y 34°S y entre los 39°S y 41°S, especialmente en los meses de invierno y primavera (Figura 350 c) y d) respectivamente).



Figura 350. Mapa de índice de vulnerabilidad (IV) de adultos de anchoveta centro-sur. Se muestra la distribución espacial estacional (a: verano, b: otoño, c: invierno, d: primavera) de las distintas categorías de vulnerabilidad frente al cambio climático, observándose la vulnerabilidad empleando un espectro de color desde el azul al rojo. Los tonos más fríos como el azul (valores negativos) señalan mayor vulnerabilidad frente a los cambios de clima y hábitat, a su vez, los colores cálidos (valores positivos) indican una mejoría o ausencia de vulnerabilidad producto de estas variaciones.

El hábitat del recurso anchoveta en la zona centro-sur, presenta en general una alta vulnerabilidad (valores negativos traducidos en pérdida de hábitat idóneos) en los estadíos 521

de vida estudiados (huevos y adultos) durante todo el año frente al cambio climático en términos de modificaciones en temperatura y clorofila. Esto resulta relevante al considerar que este recurso posee un ciclo de vida corto (~ 1- 4 años) de crecimiento rápido (primer desove ~ 1.5 año de vida) y que se distribuye en zonas restringidas (áreas protegidas por sistemas de bahías). Estas proyecciones de vulnerabilidad de hábitat sugieren que se debiese continuar con los planes de seguimiento del ciclo reproductivo para la anchoveta centro-sur, también implica que es posible que se requiera del desarrollo de estrategias de manejo y planes de gestión para enfrentar la potencial pérdida en producción de este importante recurso, como por ejemplo la adaptación para los sectores sociales que dependen de la extracción de la anchoveta en la zona centro-sur del país.

3.4.3. Recurso Loco

En este caso, el índice de exposición del recurso Loco está dado por la variación media en los valores de las variables ambientales. Se consideraron solamente los modelos en base a batimetría, temperatura y clorofila. Así, el índice de exposición (IE) está dado por:

$$IE = [(TSM_{2055} - TSM_{2005}) + (Cl-a_{2055} - Cl-a_{2005})]/2$$

A su vez, el índice de sensibilidad (IS) está dado por la variación en la probabilidad de ocupación del espacio geográfico por el recurso:

$$IS = [((TSM_{2055} - TSM_{2005}) + (Cl-a_{2055} - Cl-a_{2005})) \times (DP_{2055-2005})]/2$$

Sobre la base de la evaluación de estos índices, en la figura 326 se ilustran la variación espacial correspondiente al índice de vulnerabilidad (IV) para el modelo reducido de los tres estados ontogénicos del loco.



Figura 351. Mapas de índice de vulnerabilidad (IV) de los distintos estadios de loco bajo el modelo reducido. Se ilustra para cada estadio la distribución espacial de las distintas categorías de vulnerabilidad frente al cambio climático. La Figura ilustra la vulnerabilidad predicha empleando un espectro de color desde el púrpura al naranjo, con los valores más fríos (púrpura) señalando mayor vulnerabilidad frente a los cambios de clima y hábitat. A su vez, los colores cálidos indican una mejoría o ausencia de vulnerabilidad producto de estas variaciones.

Tal como se aprecia en la Figura 351, las secciones costeras al norte de los $34 - 35^{\circ}$ S presentan una vulnerabilidad importante (colores púrpuras o blancos), mientras que las secciones de la costa al sur de estas latitudes se caracterizan por presentar valores positivos del IV. Ello refleja eventuales mejorías en la idoneidad de hábitat para el recurso Loco, donde se proyectan aumentos en la cantidad de hábitat adecuado disponible. Los cambios proyectados indican que sólo el tercio más austral de la macrozona norte tendría condiciones favorables, mientras que en los dos tercios al norte, la disponibilidad de hábitat

favorable sería altamente vulnerable a los cambios proyectados en las variables ambientales. Ello podría verse agravado por la incidencia de perturbaciones estacionales o multi-anuales como impactos del ENSO. Por ello, toda la zona centro norte (alrededor de los 30°S) debiese considerarse como particularmente vulnerable frente al cambio climático, toda vez que el loco es un recurso importante dentro de la economía de los actores pesqueros artesanales.

Las proyecciones de idoneidad de hábitat y su vulnerabilidad para el recurso Loco sugieren que los diferentes estados ontogénicos de esta especie difieren en su respuesta frente al cambio climático en términos de modificaciones en temperatura y clorofila para la macrozona norte de Chile. En términos generales, todos los estadios ontogénicos presentan un aumento en el hábitat idóneo entre los $35^{\circ}S - 40^{\circ}S$, mientras que se detecta un aumento en el índice de vulnerabilidad (i.e., pérdida de hábitat idóneo) al norte de los 35°S, siendo mayor para la ocurrencia de cápsulas y menor para reclutas, juveniles y adultos. Estos resultados tienen implicancias en su manejo pesquero ya que una gran parte de la explotación de este recurso, que ocurre al norte de los 35°S proviene de áreas de manejo (AMERBs) y, en consecuencia, serían éstas unidades de la pesquería bentónica las que enfrentarían esta pérdida en idoneidad para uno de los recursos principales de los planes de manejo y explotación que se desarrollan en estas AMERBs. Cabe señalar, que de acuerdo al escenario estudiado en función de las proyecciones climáticas disponibles (macrozona norte), aún no se ha determinado la vulnerabilidad del recurso en la región del sur de Chile. En esta región se acumula más del 50% del desembarque de este recurso la cual proviene principalmente desde zonas de libre acceso (Figura 352). El aumento de idoneidad de hábitat y menor vulnerabilidad en la zona de los 40°S y hacia el sur sugiere que debiesen implementarse planes de seguimiento del ciclo reproductivo de este recurso, cuya veda es desde el 1 de septiembre hasta el 31 de enero del año siguiente para la zona desde Maule hasta Aysén (SERNAPESCA 2015). Así, las diferencias geográficas en cambios en idoneidad de hábitat del recurso loco en la macrozona norte y hacia el sector sur de Chile, genera dos escenarios de vulnerabilidad importantes de proyectar: 1) el aumento de idoneidad hacia el sur requerirá promover una regulación en la extracción del recurso, destacando el rol de las AMERBs en dicha región ya que son muchas menos en comparación a la cantidad existente en la zona norte. Así mismo, será importante incorporar los conflictos sociales potencialmente asociados a la recolección y pesca ilegal en periodos de veda del recurso en zonas de libre acceso y que hasta ahora, debido a problemas de acceso pudiesen tener poca supervisión por parte de la autoridad. Finalmente, 2) la vulnerabilidad del recurso loco en la zona norte de Chile implica que se requerirá el desarrollo de estrategias y planes de adaptación para enfrentar la potencial pérdida en producción de este importante recurso. Por ejemplo, potenciar el desarrollo de estrategias de repoblamiento artificial (e.g., transplantes) desde áreas que sean óptimos en términos de asentamiento y desarrollo temprano. Así mismo, se deberán implementar estrategias que protejan las diferentes poblaciones (e.g., fuentes) de loco o que prioricen la extracción de otros recursos, lo cual implica modificar los planes de manejo de las AMERBs. Estas proyecciones implican un importante rol de la autoridad en el desarrollo de planes y estrategias de adaptación para enfrentar el cambio climático en las pesquerías bentónicas.



Figura 352. Desembarque total (t) regional en Chile del recurso Loco, año 2014. (Fuente: SERNAPESCA 2015)

3.4.4. Recurso Chorito

Para este recurso, el escenario de cambio climático sólo considera el aumento en temperatura (i.e., no incluye variación en la concentración de Clorofila). Por ello, el cálculo del índice de exposición (IE) al cambio climático fue modificado mediante la siguiente expresión:

$$IE = [(TSM_{2055} - TSM_{2005})]$$

Así, el índice de vulnerabilidad para este recurso fue obtenido mediante la expresión:

$$IV = [(TSM_{2055} - TSM_{2005}) \times (DP_{2055-2005})]$$

En la Figura 353 se ilustra la variación espacial correspondiente al índice de vulnerabilidad en base a los resultados obtenidos para el modelo reducido ajustado a los datos del recurso Chorito.



Figura 353. Mapas de índice de vulnerabilidad (IV) de chorito bajo el modelo reducido. Se ilustra para cada estadio la distribución espacial de las distintas categorías de vulnerabilidad frente al cambio climático. La Figura ilustra la vulnerabilidad predicha empleando un espectro de color desde el púrpura al naranjo, con los valores más fríos señalando mayor vulnerabilidad negativa frente a los cambios de clima y hábitat. A su vez, los colores cálidos indican una mejoría o ausencia de vulnerabilidad producto de estas variaciones.

El mapa de vulnerabilidad para el Chorito indica que sobre la base de los cambios proyectados en temperatura, este recurso presentaría condiciones adversas en latitudes al norte de Chiloé, mientras que el mar interior se caracteriza por condiciones más idóneas. Cabe destacar que el modelo ajustado, y los cálculos de vulnerabilidad asociados no contemplan, por ejemplo, la incidencia de otros fenómenos que pueden darse en esta zona, como las floraciones algales nocivas (FANs). Estas últimas pueden bien presentar mayor

frecuencia e intensidad frente a aumentos de temperatura y de nutrientes, lo que podría resultar en estimaciones de vulnerabilidad distintas a las obtenidas en base al modelo reducido ajustado a los datos de Chorito.

En el caso de Mytilus chilensis, las proyecciones climáticas basadas en cambios en temperatura indican un aumento de la idoneidad ambiental hacia el sur de los 40°S de latitud. Esta proyección de positiva idoneidad ambiental se refleja también en una expresión negativa de la vulnerabilidad del recurso en latitudes más bajas (i.e., norte de Chiloé, incluyendo Seno de Reloncaví y costa de Arauco-Valdivia). Estos escenarios tienen importantes implicancias en la sustentabilidad del recurso y su producción en ambas regiones. La idoneidad para el chorito proyectada hacia la zona sur de Chile (zona de islas y fiordos) dada las proyecciones en aumento de temperatura sugiere que podría aumentar la disponibilidad de hábitat y en consecuencia un efecto positivo sobre la distribución (y abundancia poblacional) del recurso. Sin embargo, en este caso específico, el aumento de temperatura hacia el sur de Chile se correlaciona con las proyecciones sobre aumento de ocurrencia de floraciones de algas nocivas (FAN) que inciden directamente sobre los procesos de extracción y comercialización del recurso. Este aspecto de la dinámica del recurso debe ser incorporado en modelaciones regionales, considerando un desacople entre la productividad asociada a aumentos de concentración de clorofila por parte de fitoplancton en general de la productividad asociada a organismos productores de mareas rojas y/o tóxicas (e.g., dinoflagelado Alexandrium catenella). En la estación de verano 2015, en la Patagonia norte se han registrado condiciones de aumento en temperatura (postuladas como una extensión de las condiciones ENSO en la zona), un correspondiente aumento de productividad primaria (que podría estar asociada a los aportes de nutrientes por parte de la salmonicultura) y condiciones favorables para la floración de mareas rojas, lo cual llevó a un cierre total de la pesquería de choritos en la zona de la Patagonia norte. Este evento, refleja la importante interacción entre estresores ambientales (i.e., temperatura, eutrofización) y sostenibilidad de la industria mitilicultora que debe respetar restricciones en la producción y distribución del recurso (i.e., restricciones en extracción y periodos de detoxificación) que puede afectar tanto los aspectos de compromisos adquiridos en la entrega a tiempo del producto como la mantención de puestos de trabajo en la zona. Todos

estos ingredientes fueron parte de la problemática que debió enfrentar el sector mitilicultor en el persistente y extensivo fenómeno de marea roja de enero-marzo del 2015, lo cual nos da un cuadro de la complejidad de temas que deben manejarse para hacer frente a los conflictos sociales que emergen de los problemas ambientales que impactan la extracción de recursos bentónicos. La expansión hacia el sur de la industria salmonicultora también se correlacionaría con la potencial idoneidad de hábitat proyectada en este estudio. Esto implica que modelaciones futuras debiese incluir no sólo los principales estresores ambientales y regionales sino también aspectos de interacción con otros organismos (FANs) y otros sectores productivos con intereses en el uso del ambiente donde se distribuyen los choritos (i.e., salmonicultura). Finalmente, los cambios ambientales y la vulnerabilidad proyectada al norte de los 40°S son relevantes en relación al creciente interés de desarrollar actividades de mitilicultura en la zona del Golfo de Arauco. Las condiciones de vulnerabilidad proyectadas para esta zona debiesen potenciar estudios acerca de la tolerancia ambiental de las poblaciones a cultivar, promoviendo el cultivo de organismos cuya fisiología indique un fuerte potencial adaptativo frente estos futuros cambios ambientales.

3.4.5. Recurso Macroalgas pardas

De forma similar a lo realizado anteriormente para los otros recursos, el índice de vulnerabilidad utilizado para describir el impacto de las proyecciones realizadas se calculó mediante la expresión:

$$IV = IE \times IS$$

Donde el índice de exposición consideró solamente los modelos en base a batimetría, temperatura y clorofila y está dado por:

$$IE = [(TSM_{2055} - TSM_{2005}) + (Cl-a_{2055} - Cl-a_{2005})] / 2$$

A su vez, el índice de sensibilidad (IS) está dado por la variación en la probabilidad de ocupación del espacio geográfico por el recurso, según la siguiente expresión:

$$IV = [((TSM_{2055} - TSM_{2005}) + (Cl-a_{2055} - Cl-a_{2005})) \times (DP_{2055 - 2005})] / 2$$

En la Figura 354 se ilustra la variación espacial correspondiente al índice de vulnerabilidad en base a los resultados obtenidos para el modelo reducido de las tres especies de macroalgas pardas.



Figura 354. Mapas de índice de vulnerabilidad (IV) de las tres especies de algas pardas estudiadas bajo el modelo reducido. Se ilustra para cada especie la distribución espacial de las distintas categorías de vulnerabilidad frente al cambio climático. La Figura ilustra la vulnerabilidad predicha empleando un espectro de color desde el púrpura al naranjo, con los valores más fríos señalando mayor vulnerabilidad frente a los cambios de clima y hábitat. A su vez, los colores cálidos indican una mejoría o ausencia de vulnerabilidad producto de estas variaciones.

Las evaluaciones del índice de vulnerabilidad para las tres especies de macroalgas indican que las secciones costeras al norte de los 25 - 27°S presentan una vulnerabilidad importante (valores negativos representados por colores púrpuras), mientras que las secciones de la costa al sur de estas latitudes se caracterizan por presentar valores positivos del IV (menor vulnerabilidad o condiciones positivas para el desarrollo de los recursos). Ello refleja eventuales mejorías en la idoneidad de hábitat, donde se proyectan aumentos en la cantidad de hábitat adecuado disponible. Los cambios proyectados indican que la sección más austral de la macrozona norte tendría condiciones favorables, mientras que los dos tercios al norte presentarían contracciones significativas en la disponibilidad de hábitat favorable, con impactos negativos o aumento en vulnerabilidad de estos recursos. Ello podría verse agravado por la incidencia de perturbaciones estacionales o multi-anuales como impactos del ENSO, reflejado en aumentos en temperatura, y que podrían impactar de manera sinérgica a estas poblaciones. Por ello, de forma similar a lo observado para el loco, toda la zona centro-norte debiese considerarse como particularmente vulnerable frente al cambio climático, toda vez que la extracción de este recurso se realiza en forma por los actores pesqueros artesanales.

Las proyecciones de vulnerabilidad estimadas para los recursos de macroalgas en la macro zona norte en latitudes menores a los 25°S indican la necesidad de desarrollar estrategias de adaptación para los sectores sociales que dependen de la extracción de este recurso. En particular la pérdida de idoneidad de hábitat para estos recursos indica que el desarrollo de estrategias de repoblamiento y/o cultivo de macroalgas debiese ser promovida fuertemente dentro de los pescadores artesanales que dependen del recurso. El desarrollo e instauración de parcelas de cultivo y repoblación podría ser una importante herramienta a desarrollar por los sectores interesados que están instalados en la zona norte de Chile (i.e., extractores de orilla e industria de alginatos y otros derivas), cambiando así la histórica tendencia de recolección de algas varadas en zonas de libre acceso y la remoción directa dentro de AMERBs. Así mismo, se debiesen desarrollar estudios a fin de estimar la tolerancia a la temperatura de estos recursos y promover la identificación de stock de organismos resilientes a los aumentos proyectados en temperatura del océano y ante eventos ENSO que recurrentemente impactan esta zona en forma directa. Por otra parte, el aumento de

idoneidad y menor vulnerabilidad de los stock de macroalgas localizados hacia el centronorte de Chile (>25°S latitud), debiese ser interpretado con prudencia ya que aunque el escenario proyectado podría considerarse positivo, estimulando la producción y extracción en dicha región, aún no se ha evaluado la función ecosistémica de estas poblaciones por lo tanto es necesario tomar estas proyecciones con mucha cautela.

4. CONCLUSIONES

Objetivo específico i) Generar una matriz de conocimiento e información de variables oceanográficas y ambientales que caracterizan y delimitan el hábitat esencial asociado a los recursos pesqueros de interés en el presente estudio.

La recolección bibliográfica realizada y organizada en el programa de ordenamiento bibliográfico EndNote, permitió generar un total de 601 referencias para los distintos recursos pesqueros estudiados en este proyecto; de estas referencias, 215 corresponden a los recursos pelágicos (jurel frente a Chile y anchoveta centro-sur) y 351 a recursos bentónicos (loco frente a Chile, chorito en zona sur y algas pardas en zona norte). Por orden de cantidad de referencias, el loco junto con las algas pardas y el jurel, son los recursos con los que se cuenta con mayor número de referencias (145, 117 y 113 respectivamente), siguiéndoles en orden los recurso chorito (89), y anchoveta centro-sur (84). Por tipo de referencia, tanto para los recursos pelágicos como para los bentónicos las fuentes de información han provenido mayoritariamente de artículos en revistas científicas y de informes de proyectos (407 y 117 referencias respectivamente), seguidos en menor número las referencias de capítulos de libros y tesis, aportando con 15 y 9 referencias individualmente. Por tema en las referencias, para los recursos pelágicos, las mayores se encontraron en relación a la temperatura, distribución, abundancia, talla, reclutamiento, huevos y adultos. Para los recursos bentónicos la mayoría de las referencias se relacionaron con los temas de presencia o ausencia del recurso, talla, crecimiento y biomasa. En cuanto a la información por etapa de vida, respecto a los pelágicos, existe una muy marcada diferencia de estudios entre los estadios de huevo y adulto (51 y 155 referencias), larvas y juveniles (con 40 y 17 referencias respectivamente), siendo este conocimiento clave para caracterizar el hábitat de los recursos y poniendo en evidencia la falta de estudios (datos) en estas etapas de crecimiento.

Objetivo específico ii) Caracterizar y elaborar un modelo conceptual de hábitat esencial asociado a cada uno de los recursos pesqueros de interés en sus distintas etapas de vida y sus conectividades.

De la matriz de información bibliográfica de variables ambientales que caracterizan el hábitat por etapa en su ciclo de vida, se concluye que para el jurel (*Trachurus murphyi*), las variables identificadas como importantes son: la TSM, el O₂ disuelto, principalmente en sus primeros estadios de vida; la alimentación y la localización (producto de las migraciones de reproducción, crianza y alimentación), relacionada con las masas de agua que son a su vez definidas por temperatura y salinidad; la geostrofía y los vientos en todas las etapas de vida, presentando además tolerancia en cuanto a la temperatura en la etapa de adulto. Para la anchoveta Centro-Sur (*Engraulis ringens*), las principales variables son la TSM en su etapa de huevo, juvenil y adulto; la salinidad, los vientos superficiales locales relacionados con las surgencias costeras de aguas frías en todas sus etapas de vida (al ser un recurso de hábitat costero), el O₂ disuelto y la clorofila que están fuertemente ligados con la dieta; además está influenciado por variaciones interanuales como ENSO.

La distribución de jurel frente a Chile se caracteriza por un hábitat oceánico reproductivo, principalmente entre el 32-39°S y el 74-92°W, hacia el verano (entre septiembrediciembre), cuyo *peak* de desove es noviembre, a partir del cual, una fracción del stock tomaría un rumbo Oeste aprovechando las corrientes imperantes y otra fracción iniciaría un desplazamiento este y sur-este, acercándose primero a la costa norte de la III-IV Región caracterizando el hábitat de crianza de juveniles y luego a la Centro-Sur por el norte, continuando hacia el Sur en forma progresiva entre febrero-mayo (VI-VII-VIII-IX Región) y a menos de las 100 millas de la costa (hábitat costero asociado a la alimentación y crecimiento). Al acercarse el invierno, el jurel inicia su salida hacia el oeste y sur-oeste entre el 34-42°S, alejándose de la costa hacia zonas más oceánicas fuera de la ZEE (registros de hasta 110°W), para luego desplazarse entre julio-agosto con rumbo noroeste y norte hacia menores latitudes y mayor temperatura para reproducirse.
La anchoveta desova a fines de invierno, con condiciones oceanográficas de la zona costera Centro-Sur, caracterizada por la acción de vientos. Se identifican zonas de desove entre 35°S y 40° S, siendo la principal entre los 38°-40°S, presentando la mayor abundancia de huevos durante el máximo de desove principal. El sistema de bahías de la zona centro-sur al norte del Golfo de Arauco (entre los 35°S y 37°10'S) constituyen áreas de crianza, donde juveniles se desarrollan. Entre abril y junio, los juveniles originados durante el desove del año anterior comienzan a ser pre-adultos y los adultos emprenden una migración activa para congregarse en agregaciones pre-reproductivas. Entre enero-marzo, los adultos tienden a distribuirse preferentemente al sur de los 38°20'S (sur de la Isla Mocha a Corral). Durante la transición invierno-primavera (julio-septiembre), los adultos ingresan a la región más costera (sistemas de bahías) para reproducirse. Lo que deja ver que debido a la alta variabilidad diaria, intraestacional, estacional e interanual que afecta e este recurso en su ciclo de vida, los focos principales de sus distintos estadios puede ir igualmente variando.

En los modelos conceptuales, al considerar tres aspectos o planos: (1) forzantes ambientales, (2) límites biológicos, y (3) pesquería y cuatro escalas, tanto de tiempo (intraestacionalestacional-interanual e interdecadal) como de espacio (área pesquería-Pacífico Sureste-Océano Pacífico y la Global), se ha podido observar a las pesquerías como distintos subsistemas interrelacionados, donde cada plano estudiado afecta a todos los estadios de los recursos. En los pelágicos (jurel y anchoveta centro-sur), la radiación solar en el Pacífico Sur Este (escala estacional) sería el mayor factor de influencia, afectando la distribución espacial tanto en sus áreas de desove como de alimentación. La anchoveta, al ser un recurso netamente costero (en todos sus estadios), se observa más afectado en todas sus etapas de desarrollo, a diferencia del jurel, que al tener una gran capacidad natatoria y plasticidad a la temperatura, podría ir modificando sus límites en las áreas de distribución. Estos modelos conceptuales han dado la posibilidad de tener una primera visión global de cómo las pesquerías se han ido desarrollando en el tiempo y de cómo la biología, el ambiente y el accionar del hombre van influyendo en los recursos, lo que convierte a estos modelos en herramientas que permiten tomar decisiones y acciones siendo un aporte para la sustentabilidad de los recursos y del ambiente marino en general.

La metapoblación de *Concholepas concholepas* a lo largo de la costa de Chile incluye el hábitat bentónico en el inter y submareal rocoso (~ 0 a 40 m de profundidad) y a lo largo de rango de distribución entre los 6°S y 55°S y hasta aproximadamente 60 km costa afuera (ca. 78°W) en el cual los adultos crecen, maduran y se reproducen depositando capsulas ovígeras. En este hábitat bentónico ocurre el desarrollo larval intracapsular (~ 0 a 40 m profundidad), el cual tiene una duración variable latitudinalmente y alcanzando entre 45 a 70 días de norte (23°S) a sur (39°S). Luego de este tiempo de desarrollo intracapsular ocurre una fase dispersora, con migración vertical que le permite evitar el trasporte costa afuera de los procesos de surgencia costera, conectando poblaciones separadas por hasta cientos de km, y cuya duración varía latitudinalmente (3 a 4 meses en la costa del norte y centro de Chile; 6 a 12 meses en la zona austral). Estas características poblacionales interactúa con procesos de meso escala (surgencia costera) y biogeográficas que impactan procesos como reproducción, dispersión y alimentación, mientras que a escalas Biogeográfica/estacional a inter-anual, C. concholepas debe ajustar su fisiología para enfrentar la variabilidad ambiental (estacionalidad, eventos ENOS) que opera en esas escalas. Esta aclimatación representa la base para potenciales respuestas evolutivas que permitan adaptarse a los cambios climáticos globales. Estas interacciones espacio temporales entre sistema biológico y ambiente deben ser consideradas en las proyecciones de crecimiento del sistema socio-ecológico y sostenibilidad de largo plazo del recurso Loco.

La población de *Mytilus chilensis* (chorito) a lo largo de su actual rango de distribución latitudinal en la costa de Chile se registra entre los 39°S y 55°S e incluye el hábitat bentónico en el inter y submareal rocoso (ca. 0 a 10 m de profundidad). En este hábitat los adultos crecen, maduran y se reproducen desovando en el periodo de primavera-verano. El estadio larval representa la fase dispersora de esta especie, y se han descrito una serie de estados previos a lograr la competencia (larva trocófora, D, umbonada, pediveliger), los cuales tiene una duración variable fluctuando entre 20 a 35 días. La larva competente se asienta en el bentos entre los 40-45 días post fecundación, su hábitat de asentamiento ocupa el espacio determinado por la distribución de los adultos (i.e., 0 a 10 m). A los 2 cm recluta 536

a la población que es usada en la mitilicultura. Estos procesos biológicos ocurren con escalas de variabilidad meso- (10's de km) espacial y escala temporal estacional (e.g., reproducción, alimentación). Dado su fase larval de larga duración, es esperable que la dispersión ocurra en amplias escalas espaciales (regional y biogeográfica) pero con duración estacional. A escalas espaciales y temporales intermedias (regional, estacional a inter-anual), este recurso chorito realiza ajustes fisiológicos para enfrentar la variabilidad ambiental y por, ejemplo eventos de acidificación estuarina o por secuestro de CO_2 que ocurre en la Patagonia norte. Estos periodos de exposición promueven la aclimatación y son la base para potenciales respuestas adaptativas que deberán expresarse ante los escenarios de cambio climático.

El modelo conceptual del hábitat esencial del recurso macroalgas pardas integra 4 fases de su ciclo de vida (Zooesporas, Gametofitos, Juveniles y Adultos, ver tabla 25), con una distribución espacial que abarca todo el rango latitudinal de Chile y entre los 0 y 40 m de profundidad en hábitat bentónico rocoso. Las poblaciones se estructuran en parches (subpoblaciones) donde maduran y se desarrollan a través de un ciclo de vida complejo que abarca gran parte del invierno, primavera y verano de cada año, pero con una reducida dispersión por propágulos. Estos inherentes límites biológicos interactúan con forzantes físicos y químicos a diferentes escalas espacio-temporales. Tres procesos biológicos críticos curren a meso-escala y estacionalmente (reproducción, reclutamiento y crecimiento), lo cual se superpone a la escala de la dispersión de frondas). A escalas intermedias (Biogeográfica/estacional a inter-anual) las macroalgas realizan ajustes fisiológicos para enfrentar la variabilidad ambiental (estacionalidad, diferencias en irradiancia, pH, salinidad y eventos ENOS), generando aclimatación que es la base para potenciales respuestas adaptativas de la especie frente al cambio climático global.

Objetivo específico iii) Establecer un modelo predictivo de la distribución del hábitat esencial para los recursos pesqueros considerados y su relación con el cambio climático.

Trachurus murphyi (jurel)

Los datos recolectados para jurel, integrando 2 estadios ontogénicos (huevos y adultos), muestran una alta variabilidad espacial y temporal. La modelación espacial (Maxent) permiten estimar la distribución espacial de huevos y adultos de jurel a lo largo de la costa con un buen (AUC=0.8) y excelente (AUC > 0.9 en todas las estaciones y anual) capacidad predictiva (desempeño del modelo), respectivamente. Las curvas de respuesta de cada estadio a la variabilidad ambiental reflejó la importancia de la temperatura (fisiología y crecimiento) en la presencia de huevos y la clorofila (productividad biológica, proxy alimento) en la distribución estacional y anual de adultos de jurel. De este modo, se sugiere que las respuestas registradas por el modelo discriminan satisfactoriamente el rango de aptitud (idoneidad) de hábitat de cada variable frente a la respuesta de jurel, permitiendo desarrollar una proyección predictiva.

En la modelación espacial, la distribución del hábitat esencial para los huevos de jurel muestra diferencias al comparar la distribución actual y futura. Al sur de los 38°S se observan los mayores cambios positivos en la aptitud de hábitat, evidenciando un desplazamiento hacia el sur del hábitat más idóneo de huevos de jurel hacia el año 2055. Por otro lado, al norte de los 35°S se evidencia que el aumento de la temperatura genera una disminución o efecto negativo en el hábitat apto. Se observa una pérdida en el área de hábitat "más apto" de huevos de jurel que equivale a un 5% hacia el año 2055. Al igual que para los huevos, la distribución del hábitat esencial para los adultos de jurel muestra diferencias al comparar la distribución actual y futura. En general, se observan cambios positivos en el HSI de adultos de jurel a escala anual y durante otoño, invierno y primavera, mientras que los cambios negativos se manifiestan en verano. Se observa una pérdida en el área de hábitat "más apto" de adultos de jurel que equivale a un 87% hacia el verano de 2055, mientras que en las demás estaciones y a nivel anual se observa una ganancia de hábitat "Más apto".

En la modelación de series de tiempo con redes neuronales se ajusta un modelo completo (3 parámetros: SST-NOAA, SST NIÑO 3.4 y fe) y uno reducido (2 parámetros: SST-NOAA y fe) que tienen una arquitectura y r^2 de 11:13:1 y 0.88 y 6:10:1 y 0.88, respectivamente. Estos modelos permiten predecir los desembarques (proxy de la abundancia) de jurel a lo largo de la costa de Chile. Se generan proyecciones de desembarque de jurel para el período 2015-2065 en base a los escenarios de cambio climático A2 y 4xCO2 y tres proyecciones de esfuerzo pesquero considerando un promedio de 2010 a 2012, un aumento medio del 50%, y una disminución media del 50% del esfuerzo pesquero. Basado en el escenario de cambio climático A2, los desembarques de jurel se incrementarían en un 13%; mientras que para el escenario de cambio climático 4xCO2 se mostró un aumento de un 8%. Al comparar las proyecciones de desembarques de 2056-2065 y 2005-2014, teniendo en cuenta los promedios de escenarios A2 y esfuerzos de pesca, los desembarques se incrementarían en un 92% para el jurel. Para el escenario de cambio climático 4xCO2 y promedio del esfuerzo de pesca, los desembarques de jurel muestran un fuerte incremento del 228%.

Engraulis ringens (anchoveta)

Los datos recolectados para anchoveta, integrando 2 estadios ontogénicos (huevos y adultos), muestran una alta variabilidad espacial y temporal. La modelación espacial permiten estimar la distribución espacial de huevos y adultos de anchoveta a lo largo de la costa con una excelente (AUC > 0.9 para los dos estadios y en todas las estaciones y anual) capacidad predictiva. Las curvas de respuesta de cada estadio a la variabilidad ambiental reflejó la importancia de la temperatura (fisiología y crecimiento) en la presencia de huevos y adultos de anchoveta. De este modo, se sugiere que las respuestas registradas por el modelo discriminan satisfactoriamente el rango de aptitud (idoneidad) de hábitat de cada variable frente a la respuesta de anchoveta, permitiendo desarrollar una proyección predictiva.

En la modelación espacial, la distribución del hábitat esencial para los huevos de anchoveta muestra diferencias al comparar la distribución actual y futura. Se observan cambios

negativos en el índice de aptitud de hábitat de huevos de anchoveta en la zona costera durante agosto, septiembre y octubre excepto algunas zonas costeras que muestran cambios positivos en el HSI como por ejemplo entre los 36°26'S y 37°13'°S durante octubre. Como producto del aumento de la temperatura del mar, se observa una pérdida en el área de hábitat "Más apto" de huevos de anchoveta que equivale a un 30%, 93% y 95% de pérdida de hábitat hacia agosto, septiembre y octubre de 2055, respectivamente. Al igual que para los huevos, la distribución del hábitat esencial para los adultos de anchoveta muestra diferencias al comparar la distribución actual y futura. En general, se observan cambios negativos en el índice de aptitud de hábitat de adultos de anchoveta en todas las estaciones del año, excepto algunas zonas costeras que muestran cambios positivos en el HSI de invierno como por ejemplo entre los 33°S y 34°S y entre los 39°S y 41°S. Se observa una pérdida en el área de hábitat "más apto" de adultos de anchoveta durante todo el año con mermas que van entre 62% en Invierno hasta 98% en Primavera, mientras que la pérdida anual de hábitat alcanza un 97% de hábitat hacia 2055.

En la modelación de series de tiempo con redes neuronales se ajusta un modelo completo (5 parámetros: SST-NOAA, MSL, TI, SST-NIÑO 3.4 y fe) y uno reducido (2 parámetros: SST-NOAA y fe) que tienen una arquitectura y r^2 de 10:9:1 y 0.90 y 4:10:1 y 0.87, respectivamente. Estos modelos permiten predecir los desembarques (proxy de la abundancia) de anchoveta en la zona costera de la zona centro-sur de Chile. Se generan proyecciones de desembarque de anchoveta para el período 2015-2065 en base a los escenarios de cambio climático A2 y 4xCO2 y tres proyecciones de esfuerzo pesquero considerando un promedio de 2010 a 2012, un aumento medio del 50%, y una disminución media del 50% del esfuerzo pesquero. Basado en el escenario de cambio climático A2, los desembarques de anchoveta disminuirían en un 1%; mientras que para el escenario de cambio climático 4xCO2 se mostró un aumento de un 3%. Al comparar las proyecciones de desembarques de 2056-2065 y 2005-2014, teniendo en cuenta los promedios de escenarios A2 y esfuerzos de pesca, los desembarques se incrementarían en un 40% para la anchoveta. Para el escenario de cambio climático 4xCO2 y promedio del esfuerzo de pesca, los desembarques de anchoveta muestran una disminución del 11%.

Concholepas concholepas (Loco)

La distribución de hábitat esencial para los diferentes estadios de C. concholepas fueron relativamente similares al comparar la actual distribución actual vs. Proyección futura sobre la base de los modelos completos y reducidos. Para el estadio de cápsulas, la proyección basada en el modelo completo (proyecciones de TSM y Cl-a, resto de variables constantes) indicó una leve disminución y aumento en la idoneidad ambiental de los hábitats costeros localizados más al norte y al sur de los 35°S, respectivamente, mientras que la proyección basada en el modelo reducido refleja un marcado aumento en la idoneidad del hábitat de las capsulas de C. concholepas entre las latitudes 35-40°S. Para los reclutas, la proyección basada en el modelo completo indicó una alta probabilidad en la distribución de hábitats esenciales alrededor de los 30°S, mientras que la proyección basada en el modelo reducido refleja un aumento en la idoneidad de hábitat de las reclutas de C. concholepas hacia el sur de los 30°S. Finalmente, para la fase juvenil y adulta, tanto la proyección basada en el modelo completo como reducido indica una mantención en la distribución de su hábitat esencial a lo largo de la costa de Chile y un leve aumento en idoneidad hacia áreas costeras localizadas más al sur de los 35°S. Sin embargo, estos resultados podrían indicar que las variables que en la proyección se asumen constantes podrían actuar como buffers manteniendo las condiciones esenciales para el desarrollo de este recurso.

Mytilus chilensis (chorito)

La distribución de hábitat esencial para los diferentes estadios de *M. chilensis* fue relativamente similar al comparar la actual distribución actual vs. Proyección futura. Sobre la base de los modelos completos se registró una mantención de las condiciones de distribución de *M. chilensis*, acotado desde los 35° hacia el sur, mientras que el modelo reducido destaca que el aumento en temperatura se reflejaría en un aumento en la idoneidad ambiental hacia el sur del país (latitudes > 42° S).

Lessonia, Macrocystis (Macroalgas pardas)

La distribución de hábitats esenciales para las macroalgas pardas de la macrozona norte de Chile fue relativamente similar al comparar la actual distribución actual vs. Proyección futura sobre la base de los modelos completos, mientras que para los modelos reducidos se registró una mantención de las condiciones de distribución espacial de *Lessonia nigrescens* y *trabeculata*, pero con un aumento en idoneidad de los hábitats entre los 35° y 40°S hacia el sur. En el caso de *Macrocystis* se proyecta un aumento de la distribución de los hábitat de esta especie a lo largo de la costa de Chile, pero siempre en menor extensión que las especies del genero *Lessonia*. Así, para la macro zona norte, área en la cual se focaliza este estudio las variables utilizadas para la proyección indican una mantención de las condiciones de distribución del hábitat esencial de las macro algas pardas bajo el escenario de cambio climático empleado.

El desarrollo de fuertes bases biológicas y normativas que regulen la extracción y sostenibilidad debiese ser un importante esfuerzo a desarrollar por la autoridad competente. La importancia sectorial de estos recursos (e.g. dependencia de comunidades de recolectores, pescadores artesanales), indica que las estrategias de adaptación frente al cambio climático que se desarrollen en torno a estos recursos de importancia económica en Chile, deben incluir alianzas estratégicas entre la academia, los pescadores y los industriales interesados en el uso de estos importantes recursos marinos.

5. TALLER DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS PROYECTO FIP 2014-25 "Identificación, Caracterización y Vulnerabilidad al Cambio Climático de Hábitat Esenciales Asociados a Recursos Hidrobiológicos de Importancia Económica en Chile"

De acuerdo a lo establecido en los TTR del proyecto FIP 2014-25, se realizó un taller de difusión de resultados con el objetivo de difundir y discutir los resultados del proyecto y así, obtener retroalimentación de diferentes profesionales del sector público y académico respecto a lo obtenido del trabajo realizado por el equipo consultor. La fecha de realización del taller fue el día viernes 01 de julio (Ver Anexo 3. Invitación Taller de Difusión) en el Aula Ximena Reyes de Elton de la Escuela de Ciencias del mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

El número de asistentes fue de 19 personas, destacando profesionales provenientes de SUBPESCA, IFOP, FIPA, CIAM, investigadores de la PUCV, UST y docentes de la ECM-PUCV (Ver Anexo 3. Lista de Asistentes). Las exposiciones estuvieron a cargo de integrantes del equipo a cargo del proyecto:

Dr. Claudio Silva	Jefe de proyecto e investigador. PUCV
Dr. Eleuterio Yáñez	Jefe alterno e investigador. PUCV
Dr. Nelson Lagos	Investigador. UST
Dr. Fabio Labra	Investigador. UST
Dra. Laura Ramajo	Investigador. UST
Ing. Pesq. (c) María Eugenia Gallardo	Co-investigador. PUCV

El desarrollo del taller comenzó con la bienvenida a cargo del Director de la Escuela de Ciencias del Mar de la PUCV, Dr. Samuel Hormazábal Fritz. La organización del taller consistió principalmente en presentaciones efectuadas por los integrantes del equipo a cargo del proyecto. El contexto y la descripción de éste estuvo a cargo del jefe de proyecto Dr. Claudio Silva, continuando con presentaciones de los objetivos específicos planteados y cómo éstos se desarrollaron y trabajaron en cada una de las etapas, para finalizar con una presentación a cargo del Dr. Eleuterio Yáñez en que dio cuenta de las publicaciones realizadas en el marco de este proyecto (Ver Anexo 3. Programa Taller de Difusión).

Dentro del intervalo de cada presentación y al finalizar el taller hubo tiempo de preguntas y observaciones. Las principales acotaciones realizadas en este taller de difusión se presentan a modo de síntesis a continuación:

- Se habló de la importancia de la biología de los recursos en los diferentes estadios para seleccionar las variables que afectan y que están asociadas al cambio climático, en particular en sus ciclos de vida puesto que tal vez el estadio adulto no se vea tan afectado, pero si los huevos o larvas (e.g. la disminución del hábitat de los huevos de jurel y anchoveta), provocando finalmente un efecto en el stock de los recursos. Añadiendo la importancia de modelar las interrelaciones entre especies.

- Se discutió sobre el aporte de la variable salinidad en los modelos predictivos de anchoveta y jurel y la necesidad de incorporarla. Además de incluir la presión pesquera para el recurso algas pardas. En cuanto al mapa conceptual de la especie jurel se sugirió incorporar los desoves secundarios que se producirían en la zona norte del país.

- Se habló sobre el concepto "pérdida de hábitat esenciales" y la posibilidad de llamarlo pérdida o modificación del espacio en la zona de estudio, explicándose que la idea es saber cuánto hábitat "más óptimo" quedaría de aquí a 50 años bajo los escenarios de cambio climático.

- Se discutió sobre el alto grado de ajuste presentado en los modelos predictivos y la posibilidad de que sean insensibles a las variables que se les está introduciendo al comparar el modelo completo v/s el reducido (en recursos bentónicos) donde la bondad de ajuste no varía, comentándose que todas las variables estudiadas tienen un rol importante en la modelación y que para el caso de los recursos pelágicos se realizaron varias pruebas estadísticas (dentro de los datos disponibles) para seleccionar las variables que se

ingresarían a los modelos, concluyendo que sería interesante tener un protocolo de muestreo de aquí en adelante que incorpore la mayor cantidad de variables a ser estudiadas.

- Se discutió sobre los conceptos de subreporte y pesca ilegal incorporados en los modelos conceptuales, señalando que es un tema latente que no se ha podido dimensionar cuánto es este tipo pesca en Chile para ser incorporado en los modelos en forma operativa y se señaló que se están haciendo esfuerzos para corregir las capturas (estimar capturas reales) en jurel y en pequeños pelágicos en proyectos del Fondo de Investigación pesquera y de acuicultura.

- Se comentó por parte de integrantes de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura el plan de adaptación donde se encuentra incorporada una ficha de proyectos que incluye dentro de los objetivos específicos continuar con la investigación en relación al cambio climático.

A pesar de las restricciones de tiempo y financiamiento, el equipo de trabajo de este proyecto se afiató y se mostraron intenciones de continuar realizando trabajos en conjunto.

Finalmente, este taller fue comentado en páginas web de revistas como Aqua (<u>http://www.aqua.cl/2016/07/14/el-impacto-del-cambio-climatico-sobre-el-sector-pesquero-de-chile/</u>) y Nuestro mar (<u>http://www.revistanuestromar.cl/nm/el-impacto-del-cambio-climatico-en-recursos-pesqueros-de-importancia-economica-para-chile/</u>), (Ver Anexo 3. Noticias del Evento)

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, E. & J. Stuardo. 1979. Una estimación de clases anuales y crecimiento relativo en muestras de poblaciones de *Concholepas concholepas* (Bruguière 1789). Biología Pesquera (Chile), 12:131–142.

Adrianov, D. P. 1994. Biología reproductiva del jurel peruano. En D. Arcos y A. Grechina (Eds). Biología y Pesca Comercial del jurel en el Pacífico Sur. Instituto de Investigación Pesquera. Editora Aníbal Pinto S. A. Talcahuano. Chile, pp. 25-35.

Alarcón, E., N. Valdés & R. Torres. 2015. Saturación del carbonato de calcio en un área de cultivo de mitílidos en el Seno Reloncaví, Patagonia norte, Chile. Latin American Journal of Aquatic Research, 43: 277-281.

Alegría, V. 1995. Estudio biológico pesquero sobre el recurso jurel en la zona Norte (I y II Regiones). Informe Final FIP-IT/ 93-17, IFOP, Valparaiso.

AmiChile. 2015. Industria, Procesos. (*http: www.amichile.cl*) Revisado: 20 de noviembre del 2015.

Anctil, F. & A. Rat. 2005. Evaluation of neural network streamflow forecasting on 47 watersheds. Journal of Hydrologic Engineering, 10 (1): 85-88.

Andrade, P. Estudio de los requerimientos de irradiancia y temperatura para etapas microscópicas de *lessonia trabeculata* (phaeophyceae; laminariales) de poblaciones del norte y sur de Chile: una variación estacional. Tesis. Universidad Austral de Chile.

Aracena, O., R. Alarcón, S. Collado, I. Lépez & D. Arriagada. 1998. Aspectos reproductivos del Jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) de la Pesquería de cerco de la

octava región, Chile, 1994-1995. En: D. Arcos (ed.) Biología y Ecología del jurel en Aguas Chilenas. Instituto de Investigación Pesquera, Marzo 1998, Concepción (1), pp 101-114.

Arancibia, H. & S. Neira. 2002. Does ENSO Induce Changes in Recruitment of Horse Mackerel (*Trachurus symmetricus*) and in the long-term Trend of the Trophic Level of Fishery Landings in Central Chile? Investigaciones Marinas, 30 pp.

Aranis, A., A. Gómez, S. Mora, L. Caballero, C. Vera, G. Muñoz & L. Ossa. 2012.Pesquería Pelágica Zona Centro-Sur, 2011. Asesoría integral para la toma de decisiones,IFOP/SUBPESCA, Valparaíso.

Aranis, A., A. Gómez, S. Mora, K. Walker, G. Muñoz, L. Caballero, J. Letelier & M. Ramírez. 2014. Convenio de desempeño, 2014. Programa de seguimiento de pesquerìas pelágicas de la zona Centro-Sur. Informe Final Subsecretaría de Economía y EMT.

Arcos, D. 1995. Estudio biológico-pesquero del recurso jurel en la zona centro-sur (V a IX Regiones). Informe Final FIP-IT/ 93-18, INPESCA, Talcahuano.

Arcos, D., L. Cubillos & S. Núñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997-98 effects off Chile. Progress in Oceanography, 49: 597-617.

Arcos, D., L. Cubillos & S. Núñez. 2004. Efectos de El Niño 1997-1998 sobre las principales pesquerías pelágicas de la zona centro-sur de Chile. En: J. C. S. Avaria, J. Rutllant y E. Yañez (eds.). EL Niño-La Niña 1997-2000, sus efectos en Chile. Comité Oceanográfico Nacional (CONA), Valparaíso, pp. 153-177.

Arntz, W. 1986. The two faces of El Niño. ERFEN (Estudios Regionales del Fenómeno El Niño) 18: 14-22.

Arrizaga, A., M. Fuentealba, C.Espinoza, J.Chong & C. Oyarzún. 1993. Trophic habits of two pelagic fish species *Strangomera bentincki* (Norman, 1936) and *Engraulis ringens* 547 Jenyns 1842 in the littoral of the Biobio Región, Chile. Boletin de la Sociedad de Biologia de Concepción, 64: 27-35.

Avendaño, M., M.Cantillánez, M. Le Pennec, C. Varela & C. Garcias. 2011. Distribución temporal de larvas de *Mytilus chilensis* (Hupé, 1954) (Mollusca: Mytilidae), en el mar interior de Chiloé, sur de Chile. Latin American Journal of Aquatic Research, 39: 416-426

Ávila, M., J. Cáceres, M. Nuñez, C. Camus, H. Romo & R. Pérez. 2005. Evaluación y manejo de praderas de feofitas en la Provincia de Arauco. Informe Final Proyecto FIP N° 2003-19.

Ávila, M., A. J. Hoffmann & B. Santelices. 1985. Interacciones de temperatura, densidad de flujo fotónico y fotoperíodo sobre el desarrollo de etapas microscópicas de *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta, Laminariales). Revista Chilena de Historia Natural, 58: 71-82.

Ayón, P. & J. Correa. 2013. Variabilidad espacial y temporal de larvas de jurel *Trachurus murphyi* en el Perú entre 1966 – 2010. Revista Peruana de Biología, 20: 83-86.

Bakun, A., D.R. McLain & F.V. Mayo. 1974. The mean anual cycle of upwelling off western North America as observed from surface measurements. Fishery Bulletin Washington, 72(3): 843-844.

Barange, M., I. Allen, E. Allison, M. Badjeck, J. Blanchard, B. Drakeford, N. Dulvy, J. Harle, R. Holmes, J. Holt, S. Jennings, J. Lowe, G. Merino, C. Mullon, G. Pilling, E. Tompkins & F. Werner. 2011. Predicting the impacts and socio-economic consequences of climate change on global marine ecosystems and fisheries: the QUEST_Fish framework. World Fisheries: a social-ecological analysis, 35 pp.

Barría, A., P. Gebauer & A. Surot. 2008. Variabilidad espacial del asentamiento de mitílidos en la costa norte del Seno de Reloncaví. Resumen de las XXVIII Jornadas de Ciencias del Mar. Viña del Mar. Chile.

Barria, A., P. Gebauer & C. Molinet. 2012. Spatial and temporal variability of mytilid larval supply in the Seno de Reloncaví, southern Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 47(3): 461-473.

Benaka, L., 1999. Fish Habitat: Essential Fish Habitat and Rehabilitation. American Fisheries Society, Bethesda Maryland.

Bertrand, A., M. A. Barbieri, J. Córdova, C. Hernández, F. Gómez & F. Leiva 2004. Diel vertical behaviour, predator–prey relationships, and occupation of space by jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. ICES Journal of Marine Science, 61: 1105-1112.

Bertrand, A., M. A. Barbieri, F. Gerlotto, F. Leiva & J. Córdova. 2006. Determinism and plasticity of fish schooling behaviour as exemplified by the South Pacific jack mackerel (*Trachurus murphyi*). Marine Ecology Progress Series, 311: 145-156.

Bigelow, K. A., C. H. Boggs & X. He. 1999. Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery. Fishery and Oceanography, 8(3): 178–198.

Bobadilla, M. & Santelices, B. 2004. A new technique for simultaneous collection of macroalgal propagules in the water column. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 298(1): 125-131.

Bobadilla, M. & Santelices, B. 2005. Variations in the dispersal curves of macroalgal propagules from a source. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 327(1): 47-57.

Brierley, A. S. & M. J. Kingsford. 2009. Impacts of climate change on marine organisms and ecosystems. Current Biology, 19: 602–614.

Brattström, H. & A. Johanssen. 1983. Ecological and regional zoogeography of the marine benthic fauna of Chile. Sarsia, 68: 289–339.

Buisson, L., G. Grenouillet, N. Casajus & S. Lek. 2010. Predicting the potential impacts of climate change on stream fish assemblages. American Fisheries Society Symposium Series, 73: 327–346.

Bustos, E., H. Robotham, E. Lara & E. Pacheco. 1986. Edad y crecimiento de *Concholepas concholepas* y consideraciones a la aplicación de la ecuación de von Bertalanffy (Gastropoda–Muricidae). Investigaciones Pesqueras (Chile), 33: 33–45.

Bustos, C., M. Landaeta & F. Balbontín. 2008. Spawning and early nursery areas of anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 in fjords of southern Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 43: 381-389.

Camus, P., 1990. Procesos regionales y fitogeografia en el Pacifico Sur Oriental: el efecto de "El Niño – Oscilacion del Sur". Revista Chilena de Historia Natural, 63: 11-17.

Camus, P., E. Vásquez & L. Galaz. 1991. Expansion hacia el intermareal de *Lessonia trabeculata* Vill et Sant (Laminariales, Phaeophyta) en el norte de Chile. Medio Ambiente, 11(2): 90-92.

Camus, P. 1994a. Recruitment of the intertidal kelp *Lessonia nigrescens* Bory in northern Chile: successional constrains and opportunities. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 184: 171-181.

Camus, P. 1994b. Dinámica geográfica en poblaciones de *Lessonia nigrescens Bory* (Phaeophyta) en el norte de Chile: importancia de la extincion local durante eventos El Niño de gran intensidad. Revista de investigación científica tecnológica. Serie Ciencias del Mar, 3: 58-70.

Cárdenas, L., F. Viard & J.C. Castilla. 2008. Paleobiogeography and taxonomy of the genus *Concholepas concholepas* (Lamarck, 1801): a review and new evidences. Revista Chilena de Historia Natural, 81: 417–436.

Cárdenas, L., J.C. Castilla & F. Viard. 2009. A phylogeographical analysis across three biogeographical provinces of the south-eastern Pacific: the case of the marine gastropod *Concholepas concholepas*. Journal of Biogeography, 36: 969–981.

Carpenter, S. & L. Gunderson 2001. Coping with Collapse: Ecological and Social Dynamics in Ecosystem Management. Bioscience, 51: 451-457.

Castilla, J.C. & J. Cancino. 1976. Spawning behaviour and egg capsules of *Concholepas concholepas* (Mollusca: Gastropoda: Muricidae). Marine Biology, 37: 255–263.

Castilla, J.C. & L.R. Durán. 1985. Human exclusion from the rocky intertidal zone of Central Chile. The effects of *Concholepas concholepas* (Mollusca: Gastropoda: Muricidae). Oikos, 45:391–399.

Castilla, J.C & M. Fernández. 1998. Small-scale benthic fisheries in Chile: on comanagement and sustainable use of benthic invertebrates. Ecological Applications, 8:124– 132.

Castilla, J.C. & G. Jerez. 1986. Artisanal fishery and development of a data base for managing the loco *Concholepas concholepas*, resource in Chile. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 92: 133-139.

Castilla, J.C. 1979. *Concholepas concholepas* (Mollusca: Gastropoda: Muricidae): postura de cápsulas en el laboratorio y en la naturaleza. Biología Pesquera (Chile), 12: 91–97.

Castilla, JC. 1999. Coastal marine communities: trends and perspectives from humanexclusion experiments. Trends in Ecology & Evolution, 14: 280–283. Castilla, J.C., N. Lagos, R. Guiñez, & J. Largier. 2002. Embayments and nearshore retention of plankton: the Antofagasta Bay and other examples. In: Castilla JC, Largier J (eds) The Oceanography and ecology of the nearshore and bays in Chile. International symposium on linkages and dynamics of coastal systems: open coasts and embayments. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, pp. 179–203.

Castilla, J.C. 1974. Notes on mating behaviour of *Concholepas concholepas* (Mollusca, Gastropoda, Muricidae) from Chile.Veliger, 16:291–292.

Castilla, J.C, P. Manríquez, J. Alvarado, A. Rosson, C. Espoz, R. Soto & O. Defeo. 1998. Artisanal 'Caletas' as units of production and co-managers of benthic invertebrates in Chile. In: Jamieson GS, Campbell A (eds) Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 125: 407–414.

Castillo, J. 1996. Evaluación hidroacústica de los recursos sardina común y anchoveta en la zona centro-sur. Informe Final FIP-IT/ 95-08, IFOP, Valparaiso.

Castillo, J., M. A. Barbieri, M. Espejo, Á. Saavedra, & V. Catasti. 2002. Evaluación hidroacústica del stock desovante de anchoveta y sardina común, centro-sur, 2001. Informe Final FIP N° 2001-14, IFOP, Valparaíso.

Castillo, J., Á. Saavedra, V. Catasti, F. Leiva, C. Lang & R. Vargas. 2012a. Evaluación Hidroacústica del Reclutamiento de anchoveta y sardina común V y X, año 2012. Informe Final FIP N° 2011-07, IFOP.

Castillo, J., Á. Saavedra, V. Catasti, F. Leiva, R. Vargas, H. Reyes & E. Molina. 2013. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2013. Informe Final FIP N° 2012-12 IFOP. Castillo, J., Á. Saavedra, P. Gálvez, P. Barría, M. Espejo & M. A. Barbieri. 2004. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2003. Informe Final FIP N° 2003-08 IFOP, Valparaíso.

Castillo, J., Á. Saavedra, P. Gálvez, M. Espejo, M. A. Barbieri, S. Núñez, J. Ortiz, S. Brito, R. Gili, H. Rebolledo, L. Cubillos & L. Bustos. 2003. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2002. Informe Final FIP N° 2002-13, IFOP, Valparaíso.

Castillo, J., Á. Saavedra, P. Gálvez, S. Núñez, J. Ortíz, P. Torres, F. Véjar, E. Molina, F. Cerna, A. López & L. Bustos, 2005. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004. Informe Final FIP N° 2004-05, IFOP, Valparaíso.

Castillo, J., Á. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, V. Catasti, C. Lang, E. Molina, F. Cerna & A. López, 2012b. Evaluación Hidroacústica del Reclutamiento anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2011. Informe Final FIP N° 2010-04 IFOP.

Castillo, J., Á. Saavedra, F. Leiva, H. Reyes, M. Pizarro, F. Espíndola & C. Lang. 2010. Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2010. Informe Final FIP N° 2009-04, IFOP, Valparaíso.

Castro, L. 2001. Studies of the environmental conditions and larval survival of the southernmost anchoveta stock of the Humboldt Current during the winter spawning season GLOBEC Newsletter, 7: 15-17.

Castro, L., R. Quiñones, H. Arancibia, D. Figueroa, R. Roa, M. Sobarzo & M. Retamal. 1997. Áreas de desove de anchoveta y sardina común en la zona central. FIP 96-11, Universidad de Concepción, Concepción. Castro, L., G. Claramunt, M. Krautz, A. Llanos-Rivera & P. Moreno. 2009. Egg trait variation in anchoveta *Engraulis ringens*: a maternal response to changing environmental conditions in contrasting spawning habitats. Marine Ecology Progress Series, 381: 237-248.

Castro, L, & E. Hernández, 2000. Early Life Survival of the Anchoveta *Engraulis ringens* Off Central Chile during the 1995 and 1996 Winter Spawning Seasons. Transactions of the American Fisheries Society, 129: 1107–1117.

Castro, L, G. Salinas & E. Hernández. 2000. Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. Marine Ecology Progress Series 197: 247-258.

Chaparro, O. R. & J. Winter. 1983. The effect of winter period, gametogenesis and spawning on the calorific content of soft parts in *Mytilus chilensis*. Aquaculture, 32: 419-422.

Cheung, W., M. Jones, G. Reygondeau, C. Stock, V. Lam & T. Frölicher. 2016. Structural uncertainty in projecting global fisheries catches underclimate change. Ecological Modelling, 325: 57-66.

Cheung, W.W.L., J. Dunne, J.L. Sarmiento & D. Pauly. 2011. Integrating ecophysiology and plankton dynamics into projected changes in maximum fisheries catch potential under climate change in the Northeast Atlantic. ICES Journal of Marine Science 68: 1008-1018.

Cheung, W. W. L., C. Close, V. Lam, R. Watson & D. Pauly. 2008. Application of macroecological theory to predict effects of climate change on global fisheries potential. Marine Ecology Progress Series, 365: 187–197.

Classing, E., A. Oñate & A. Arriagada. 1998. Cultivo de choritos en Chile. Dirección de Investigación y desarrollo. Universidad Austral de Chile.

Cohen, J. 1960. Acoefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurement, 20: 37–46.

Cubillos, L. 2002. Condición Biológica del Jurel en alta mar, Año 2000. FIP N° 2000-10, INPESCA, Talcahuano.

Cubillos, L., L. Castro & C. Oyarzún. 2005. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y la X Regiones, año 2004. Informe Final FIP N° 2004-03, Universidad de Concepción, Concepción.

Cubillos, L., C. Alarcón, C. Castillo, C. Jordán, G. Claramunt, C. Oyarzún & S.Gacitúa. 2011. Cambios espaciales y temporales en la fecundidad parcial de la sardina común y anchoveta frente al centro y sur de Chile (2002–2007). Ciencias Marinas, 37(4B): 547–564.

Cubillos, L. & D. Arcos. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central-south Chile in the 1990s, and impact of the 1997-98 El Niño. Aquatic Living Resources, 15: 87-94.

Cubillos, L., S. Núñez, J. Páramo & A. Sepúlveda. 2004. The oceanic spawning of Chilean jack mackerel: Daily egg production, spawning biomass, and habitat conditions. 22, Instituto de Investigación Pesquera, Concepción.

Cubillos, L. 2003. Condición Biológica del Jurel en alta mar, año 2001. FIP N° 2001-12, INPESCA, Talcahuano.

Cubillos, L. & H. Arancibia. 1993. Análisis de la pesquería de sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) del área de Talcahuano, Chile. Investigaciones Marinas, Valparaíso, 21: 3-21.

Cubillos, L., D. Arcos, D. Bucarey & M. Canales. 2001. Crecimiento estacional de peces pelágicos en Talcahuano, Chile (37°S, 73°W): ¿consecuencia de su estrategia reproductiva a un sistema de surgencia estacional? Aquatic Living Resources, 14(2): 115-124.

Cubillos, L., M. Canales, D. Bucarey, A. Rojas & R. Alarcón. 1999. Época reproductiva y talla media de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el período 1993-1997, zona centro-sur de Chile (1993-97). Investigaciones Marinas, Valparaíso, 28.

Cubillos, L., L. Castro, G. Claramunt & E. Navarro. 2013. Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2012 Concepción: Universidad de Concepción.

Cubillos, L., S. Núñez & D. Arcos. 1998. Producción primaria requerida para sustentar el desembarque de peces pelágicos en Chile. Revista Investigaciones Marinas, Valparaíso, 26: 83-96.

Cubillos, L., P. Ruiz, G. Claramunt, S. Gacitúa, S. Núñez, L. Castro & A. Sepúlveda .2007. Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central southern Chile in 2002. Fisheries Research, 86 (2-3): 228-240.

Cubillos, L., J. Paramo, P. Ruiz, S. Núñez, & A. Sepúlveda. 2008. The spatial structure of the oceanic spawning of jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off central Chile (1998–2001). Fisheries Research, 90: 261-270.

Cubillos, L., M. Pedraza, C. Gatica, C. González, P. Ruiz, J. Giacaman & M. Arteaga. 2009. Identificación de indicadores de dinámica poblacional y dinámica de la flota que opera sobre sardina común y anchoveta entre la IX y X región. Informe Final FIP N° 2007-25, Universidad de Concepción, Concepción.

Cubillos, L., & C. Alarcón. 2010. Estimación de la talla media de madurez sexual en *Trachurus murphyi* mediante parámetros del consumo relativo de oxígeno. Latin American Journal of Aquatic Research, 38 (2): 178-187.

Cubillos, L., C. Alarcón, C. Castillo, C. Jordán, G. Claramunt, C. Oyarzún & S. Gacitúa. 2011. Cambios espaciales y temporales en la fecundidad parcial de la sardina común y anchoveta frente al centro y sur de Chile (2002–2007). Ciencias Marinas, 37(4B): 547–564.

Dávila, P. M., D. Figueroa & E. Müller. 2002. Freshwater input into the coastal ocean and its relation with the salinity distribution off austral Chile (35–558S). Continental Shelf Research ,22: 521–534.

Dioses, T., V.H. Alarcón,.; M.H. Nakama & A. Echevarria. 1989. Oocyte development, partial fecundity and vertical distribution of the spawning schools of jack mackerel, (*Trachurus murphyi*). Revista de la Comisión Permanente del Pacifico Sur, pp. 287–294.

Dioses, T. 2013. Patrones de distribución y abundancia del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú. Revista Peruana de Biología 20: 67-74.

DiSalvo, LH. 1988. Observations on the Larval and Post-Metamorphic Life of *Concholepas concholepas* (Bruguiére, 1789) in Laboratory Culture.Veliger, 30(4): 358-368.

DiSalvo, LH, MR. Carriker. 1994. Planktonic, Metamorphic, and early benthic behaviour of the Chilean *loco Concholepas concholepas* (Muricidae, Gastropoda, Mollusca). Journal of Shellfish Research, 13(1):57-66.

Duarte, C., E. Jaramillo, H. Contreras & L. Figueroa. 2006. Community structure of the macroinfauna in the sediments below an intertidal mussel bed (*Mytilus chilensis* (Hupe)) of southern Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 79: 353-368.

Duarte, C., J. Navarro, K. Acuña, R. Torres, PH. Manriquez, MA. Lardies, CR. Vargas, NA. Lagos & V. Aguilera. 2014. Intraspecific variability in the response of the edible mussel *Mytilus chilensis* (Hupe) to Ocean Acidification. Estuaries and Coast.

Duarte, C., JM. Navarro, K. Acuña, R. Torres, PH. Manríquez, MA., Lardies, CA. Vargas, N.A. Lagos & V. Aguilera. 2013. Combined effects of temperature and ocean acidification on the juvenile individuals of the mussel *Mytilus chilensis*. Journal of Sea Research, 85: 308–314.

DuBois, R., J.C. Castilla & R. Cacciolatto. 1980. Sublittoral observations of behaviour in the Chilean "loco" *Concholepas concholepas* (Mollusca: Gastropoda: Muricidae). Veliger, 23: 83-92.

Durán, R. & JC. Castilla. 1988. Determinación de la fecundidad de *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789) (Gastropoda, Muricidae) en condiciones de laboratorio. Biología Pesquera (Chile), 17: 39–45.

Eastman, J.R. 2012. IDRISI Selva, Manual Version 17.01. Clark-Labs, Clark University, Worcester, MA, pp. 324.

Edding, M. E. & F. Tala. 2003. Development of techniques for the cultivation of *Lessonia trabeculata* Villouta et Santelices (Phaeophyceae: Laminariales) in Chile. Aquaculture Research, 34: 507-515.

Edding, M., F. Tala & J. Vásquez. 2006. Fotosíntesis, productividad y algas marinas. En: Squeo F.A. y Cardemil L. (Eds) Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile (2006).

Edding, M. E., E. Fonck, P. Orrego, M. Venegas & J. Macchiavello. 1993. A comparison between two populations of Lessonia trabeculata (Phaeophyta: Laminariales) microscopic stages. Hydrobiologia, 260 (1): 231-237.

Edwards, M., & A. J. Richardson. 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. Nature, 430: 881–884.

Elith, J., C. Graham, R. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. Hijmans, F. Huettmann, J. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. Lohmann, B. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. Overton, A. Townsend Peterson, S. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M. Wisz & N. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography, 29: 129-151.

Elsberry, R.L. & R.W. Garwood. 1978. Sea surface temperature anomaly generation in relation to atmospheric storms. Bulletin American Meteorological Society, 59: 786-789.

FAO, 2001a. Reykjavik Declaration on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem-Proposal of the Chair at on the Conference, October 4, 2001 (<u>www.refisheries2001.org</u>).

Fernández, M., R. Calderón, JM. Cancino & K. Jeno. 2007. The effect of temperature on the development of encapsulated embryos of *Concholepas concholepas* along a latitudinal cline. Marine Ecology Progress Series, 348: 229-237.

FIP. 2002. Bases biológicas para la evaluación y manejo de metapoblaciones de loco en laIII y IV Regiones. Instituto de Fomento Pesquero.

FIP.2005. Definición de criterios biológicos, ambientales, sanitarios y operativos para la instalación de colectores de moluscos bivalvos en la X región. Proyecto Nº 2005-18.

Freón, P., C. Mullon & B. Voisin. 2003. Investigating remote synchronus patterns in fisheries. Fisheries Oceanography, 12(4/5): 443-457.

Gacia, E., M. M. Littler & D. S. Littler. 1996. The relationships between morphology and photosynthetic parameters within the polymorphic genus Caulerpa. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 204 (1): 209-224.

Gallardo, CS. 1979. El ciclo vital del Muricidae *Concholepas concholepas* y consideraciones sobre sus primeras fases de vida en el bentos. Biología Pesquera (Chile), 12: 79–89.

Gallardo, MH. & JI. Carrasco. 1996. Genetic cohesiveness among population of *Concholepas concholepas* (Gastropoda, Muricidae) in Southern Chile. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 197: 237–249.

Gallardo, C.S. 1994. Efecto de diferentes salinidades en la sobrevivencia embrionaria y desarrollo intracapsular del gastrópodo *Concholepas concholepas* (Brugière, 1789) bajo condiciones de laboratorio. Revista de Biología Marina. Valparaíso, 29: 263–279.

Garavelli, L., DM. Kaplan, F. Colas, W. Stotz, B. Yannicelli & C. Lett. 2014. Identifying appropriate spatial scales for marine conservation and management using a larval dispersal model: The case of *Concholepas concholepas* (loco) in Chile. Progress in Oceanography, 124: 42 – 53.

Gedeon, T.D. 1997. Data mining of inputs: analysing magnitude and functional measures. International Journal Neural Systems, 8: 209–218.

Gerlotto, F., & T. Dioses. 2013. Bibliographical synopsis on the main traits of life of *Trachurus murphyi* in the South Pacific Ocean 1st Meeting of the Scientific Committee. 21-27 October 2013, La Jolla, United States of America.

Gómez, I., M. Orostegui & P. Huovinen. 2007. Morpho-Functional patterns of photosynthesis in the South-Pacific Kelp Lessonia nigrescens: effects of UV radiation on 14C fixation and primary photochemical reactions. Journal of Phycology, 43(1): 55-64.

González, J., C. Tapia, A. Wilson, J. Garrido & M. Avila. 2002. Estrategias de explotación Sustentable Algas Pardas en la Zona Norte de Chile. Informe Final Proyecto FIP Nº 2000-19.

Gormley, K., J. Porter, M. Bell, A. Hull, & W. Sanderson. 2013. Predictive Habitat Modelling as a Tool to Assess the Change in Distribution and Extent of an OSPAR Priority Habitat under an Increased Ocean Temperature Scenario: Consequences for Marine Protected Area Networks and Management. PLoS ONE, 8 (7): e68236.

Guisado, CH & JC Castilla. 1983. Aspects of the ecology and growth of an intertidal juvenile population of *Concholepas concholepas* (Mollusca: Gastropoda: Muricidae) at Las Cruces, Chile. Marine Biology, 78: 99-103.

Grechina, A. 1998. Historia de investigaciones y aspectos básicos de la ecología del Jurel *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en alta mar del Pacífico Sur. In: D. Arcos (ed.) Biología y Ecología del jurel en Aguas Chilenas No. 1. Instituto de Investigación Pesquera, Marzo 1998, Concepción, pp 11-34.

Grechina, A., & D. Arcos. 1995. Distribución y migración del Jurel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols), en el Pacífico Suroriental. Gayana Oceanología, 3 (1): 3-27.

Grechina, A., S. Núñez, & D. Arcos. 1998a. Biología reproductiva del Jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el Pacífico Sur. In: D. Arcos (ed.) Biología y Ecología del jurel en Aguas Chilenas No. 1. Instituto de Investigación Pesquera, Concepción, Marzo 1998, pp. 77-100.

Grechina, A., S. Núñez, & D. Arcos. 1998b. El desove del recurso Jurel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols), en el Océano Pacífico Sur. En: D. Arcos (ed.) Biología y

Ecología del jurel en Aguas Chilenas No. 1. Instituto de Investigación Pesquera, Marzo 1998, Concepción, pp. 117-140.

Griñó, R. 1992. Neural networks for univariate time series forecasting and their application to water demand prediction. Neural Network World, 2(5): 437-450.

Gross, M. G. 1982. Oceanography: A View of the Earth. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, NJ, pp. 497.

Gunderson, L. 2000. Ecological Resilience - In Theory and Application. Annual Review of Ecological Systems, 31: 425-439.

Hair, J.F., R.E. Anderson, R.L. Thatham & W.C. Black. 1999. Análisis de regresión múltiple. En: Análisis multivariante. Pretince Hall Iberia, 5a ed., Madrid, 4: 143-226.

Hampton, I. 2011. Vulnerability to climate change of the Benguela Current Large Marine Ecosystem and the human livelihoods dependent on it. In De Young, C., Hjort, A., Sheridan, S. & Davies, S. Climate change implications for fisheries of the BenguelaCurrent region – Making the best of change. FAO/Benguela Current Commission 140 Workshop, 1–3 November 2011, Windhoek, Namibia.FAO Fisheries and AquacultureProceedings.No. 27. Rome, FAO. 2012, pp. 125.

He, X., K. A. Bigelow & C. H. Boggs. 1997. Cluster analysis of longline sets and fishing strategies within the Hawaii-based fishery. Fisheries Research, 31: 147–158.

Hernández, E., & L. Castro. 2000. Larval growth of the anchoveta *Engraulis ringens* during the winter spawning season off central Chile. Fisheries Bulletin, 98: 704-710.

Hernández, S. C. A. 2004. Relaciones entre la distribución de jurel (*Trachurus murphyi*) y las condiciones tróficas del hábitat pelágico. Tesis Ingeniero pesquero, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.

Hiddink, J. G. & R. T. Hofstede. 2007.Climate induced increases in species richness of marine fishes. Global Change Biology, 14:453–460.

Hoffmann, A.J. & B. Santelices. 1997. Flora marina de Chile Central. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, pp. 434.

Hoffmann, A., M. Avila & B. Santelices. 1984. Interactions of nitrate and phosphate on the development of microscopic stages of *Lessonia* Bory (Phaeophyta). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 77: 1-10.

Hoffmann, A. J. & B. Santelices. 1982. Effects of light intensity and nutrients on gametophytes and gametogenesis of *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyta). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 60 (1): 77-89.

Holling CS. 1973. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 4:1–24.

Hormazábal, S. 2004. Coastal transition zone off Chile. Journal of Geophysical Research 109.

Hunter, A., L. Kennedy, J. Henry & I. Ferguson. 2000. Application of neurnal networks and sensitivity analysis to improved prediction of trauma survival. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 62: 11-19.

Ibarrola, I., U. Arambalza, JM. Navarro, MB. Urrutia & E. Navarro. 2012. Allometric relationships in feeding and digestion in the Chilean mytilids *Mytilus chilensis* (Hupé), *Choromytilus chorus* (Molina) and *Aulacomya ater* (Molina): A comparative study. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 426–427: 18–27.

IFOP. 2014. Programa taller difusión informe final, Convenio asesoría integral para la pesca y la acuicultura 2014 (ASIPA) "Programa de monitoreo y vigilancia sobre la disponibilidad Larval de mitílidos para la sustentabilidad de la actividad de Acuicultura en el mar interior de Chiloé (X región) y otras áreas de Interés para la actividad mitilicultora en la XI región". Hotel Gran Pacífico, Salón Patagonia. Lunes 18 de mayo 2015.

IPCC. 2007. Summary for policymakers. In Climate Change 2007: the Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, pp. 1–18. Ed. by Iyer, M. & R. Rhinehart. 1999. A method to determine the required number of neural-network training repetitions. IEEE Transactions on Neural Networks, 10 (2): 427-432.

Jiménez-Valverde, A., J. M. Lobo & J. Hortal. 2008. Not as good as they seem: the importance of concept in species distribution modelling. Diversity and Distributions 14:885-890.

Jones, M., S. Dye, J. Pinnegar, R. Warren, & W. Cheung. 2012. Modelling commercial fish distributions: Prediction and assessment using different approaches. Ecological Modelling, 225: 133-145.

Kaiser, C.E., 1973. Age and growth of horse mackerel, *Trachurus murphyi* off Chile. Transactions of the American Fisheries Society, (3):591-595.

Kinlan, BP, & SD. Gaines. 2003. Propagule dispersal in marine and terrestrial environments: a community perspective. Ecology, 84: 2007–2020.

Kitanidis, P. & R. Bras. 1980. Real time forecasting with a conceptual hydrological model.2: Applications and results. Water Resources Research, 16 (6): 1034-1044.

Krapivka, S., J.E. Toro, A.C. Alcapan, M. Astorga, P. Presa, M. Pérez & R. Guiñez. 2007. Shell-shape variation along the latitudinal range of the Chilean blue mussel *Mytilus chilensis* (Hupe, 1854). Aquaculture Research, 38: 1770-1777.

Lagos, N.A., S.A. Navarrete, F. Véliz, A. Masuero J.C. & Castilla. 2005. Meso-scale spatial variation in settlement and recruitment of intertidal barnacles along the coast of central Chile. Marine Ecology Progress Series, 290: 165–178.

Lagos, N. A., F. J. Tapia, S. A. Navarrete & J. C. Castilla. 2007. Spatial synchrony in the recruitment of intertidal invertebrates along the coast of central Chile. Marine Ecology Progress Series, 350: 29-39.

Lagos, N.A., J.C. Castilla & B. Broitman. 2008. Spatial environmental correlates of intertidal recruitment: a test using barnacles in northern Chile. Ecology Monographs, 78: 245–261.

Lagos, L., I. Uriarte & G. Yany. 2012a. Evaluación del potencial reproductivo del chorito (*Mytilus chilensis*) de dos poblaciones naturales sometidas a diferentes temperaturas de acondicionamiento. Latin American Journal of Aquatic Research, 40 (2): 389-397.

Lagos, L., I. Uriarte & G. Yany. 2012b. Efecto de la temperatura en el cultivo de larvas del bivalvo *Mytilus chilensis* originadas por reproductores de distintas latitudes en ambiente controlado. Ciencias Marinas, 38 (3): 543-550.

Lancellotti, D. A. & J. A. Vásquez. 2000. Zoogeografía de macro invertebrados bentónicos de la costa de Chile: contribución para la conservación marina. Revista Chilena de Historia Natural, 73: 99-129.

Landaeta, M. & L. Castro. 2012. Vertical distribution and gas bladder inflation/deflation in postlarval anchoveta *Engraulis ringens* during upwelling events. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 93: 321-331.

Lardies, M. A., M.B. Arias, M.J. Poupin, P.H. Manriquez, R. Torres, C.A. Vargas, J.M. Navarro & N.A. Lagos. 2014. Differential response to ocean acidification in physiological traits of *Concholepas concholepas* populations. Journal of Sea Research, 90: 127–134.

Leal, E., E. Díaz, J. C. Saavedra-Nievas & G. Claramunt. 2013. Ciclo reproductivo, longitud y edad de madurez de jurel *Trachurus murphyi*, en la costa de Chile. Revista de Biología marina y Oceanografía, 48: 601-611.

Leal, E., L. Castro & G. Claramunt. 2009. Variability in oocyte size and batch fecundity in anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842) from two spawning areas off the Chilean coast. Scientia Marina, 73 (1): 59-66.

Legates, D. & G. McCabe. 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrelogic and hydroclimatic model validation. Water Resources Research, 35(1): 223-241.

Leiva, G., C. Santibañez, J. Bartheld, C. Molinet & J. Navarro. 2007. Definición de criterios biológicos, ambientales, sanitarios y operativos para la instalación de colectores de moluscos bivalvos en la X Región. Informe final proyecto FIP 2005-18: 197 pp.

Lepez, MI & CA. Moreno (1988) Reclutamiento de *Concholepas concholepas* en la costa de Valdivia: Influencia de los adultos y del tipo de hábitat. Biología Pesquera (Chile), 17: 47-56.

Lépez, M.I., O.L. Aracena, O. Olivares & G. Peña. 1991. Epoca, lugar e intensidad del reclutamiento de *Concholepas concholepas* (Bruguière 1789) (Gastrópoda, muricidae) en el intermarial de Remuntcho, Octava Región, Chile. Revista de Biología Marina. Valparaíso, 26: 295–308.

Littler, M.M. & D.S. Littler. 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. American Nature, 116: 25-44.

Lizama, O. 2003. Catastro de bancos naturales de mitilidos en el estuario Reloncaví, Cochamó.

Lozada, E.M., M.T. López & R. Desqueyroux. 1976. Aspectos ecológicos y conductuales de poblaciones chilenas de "loco", *Concholepas concholepas* (Mollusca: Gastropoda: Muricidae). Biología Pesquera (Chile), 8: 5–29.

Llanos-Rivera, A. & L. Castro. 2006. Inter-population differences in temperature effects on *Engraulis ringens* yolk-sac larvae. Marine Ecology Progress Series, 312: 245-253.

Llanos, A., G. Herrera & P. Bernal.1996. Prey size analysis in the diet of larvae of four clupeiform in a coastal area of Central Chile. Scientia Marina (Barcelona), 60: 435-442.

Marambio, J., S. Maturana, B. Campos. 2012. Dynamic biomass growth model for Mytilus chilensis in longline culture systems. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 47: 51-64.

Marr, J. C. 1951. On the use of terms abundance, availability and apparent abundance in fishery biology. Copeia, 2: 163–169.

Martín del Brío, B. & A. Sanz. 2001. Redes neuronales y sistemas Borrosos. Editorial Rama, España, 390 pp.

Manríquez, P.H., & J.C. Castilla. 2011. Behavioural traits of competent *Concholepas concholepas* (loco) larvae. Marine Ecological Progress Series, 430: 207–221.

Manríquez, P.H., S.A. Navarrete, A. Rosson & J.C. Castilla. 2004. Settlement of the gastropod *Concholepas concholepas* on shells of conspecific adults. Journal of the Marine Biological Association of the UK, 84: 651–658.

Manríquez, P.H., A.P. Delgado, M.E. Jara & J.C. Castilla. 2008. Field and laboratory pilot rearing experiments with early ontogenic stages of *Concholepas concholepas* (Gastropoda: Muricidae). Aquaculture, 279: 99–107.

Manríquez, P., S.P. Galaz, T. Opitz, S. Hamilton, G. Paradis, R.R. Warner, J.C. Castilla, F.A. Labra & N.A. Lagos. 2012. Geographic variation in trace-element signatures in the statoliths of near-hatch larvae and recruits of *Concholepas concholepas* (loco). Marine Ecological Progress Series, 448: 105–118.

Manríquez, PH., NA. Lagos, ME. Jara & JC. Castilla. 2009. Adaptive shell color plasticity during the early ontogeny of an intertidal keystone snail. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America ,106: 16298–16303.

Manríquez, PH., ME. Jara, T. Opitz, JC Castilla & N.A. Lagos. 2013a. Effects of predation risk on survival, behavior and morphological traits of small juveniles of *Concholepas concholepas* (loco). Marine Ecological Progress Series, 472: 169–183.

Manríquez, PH., ME. Jara, ML. Mardones, JM. Navarro, R. Torres, MA. Lardies, et al. 2013b. Ocean Acidification Disrupts Prey Responses to Predator Cues but Not Net Prey Shell Growth in *Concholepas concholepas* (loco). PLoS ONE 8(7): e68643.

Manriquez, PH., ME. Jara, L. Mardones, JM. Navarro, R. Torres, MA. Lardies, CR. Vargas, C. Duarte & N.A. Lagos. 2014. Ocean acidification affects predator avoidance behaviour but not prey detection in the early ontogeny of a keystone species. Marine Ecological Progress Series, 502: 157–167.

Manríquez, P.H., ME. Jara, L. Mardones, R. Torres, NA. Lagos, MA. Lardies, CR. Vargas, C. Duarte & JM. Navarro. 2014. Effects of ocean acidification on larval development and early post hatching larval traits in *Concholepas concholepas* (loco). Marine Ecological Progress Series, 214: 87-103.

Manriquez, P. H. & J.C. Castilla. 2001. Significance of marine protected areas in central Chile as seeding grounds for the gastropod *Concholepas concholepas*. Marine Ecological Progress Series, 215: 201–211.

Mansilla, A. & K. Alveal. 2004. Generalidades sobre las macroalgas. En: Werlinger C (Ed.). 2004. Biologia Marina y Oceanografia: Conceptos y Procesos (Marine Biology and Oceanography: Concepts and processes). Fondo Nacional del libro y la lectura. Editorial Trama. 650 pp.

Marilao, G. A. 2009. Distribución especial y temporal de estadíos larvales tempranos de mitílidos en Bahía Ilque (1°38'20"S; 73°05'00"W), X Región, Chile.Tesis presentada para el título de Ingeniero en Acuicultura. Puerto Montt. Chile.

Martinez, P., & S.A. Navarrete. 2002. Temporal and spatial variation in settlement of the gastropod *Concholepas concholepas* in natural and artificial substrata. Journal of the Marine Biological Association of the UK, 82: 257–264.

Marshall, N.A., P.A. Marshall, J.Tamelander, D. Obura, D. Malleret-King & J.E. Cinner. 2009. A Framework for Social Adaptation to Climate Change; Sustaining Tropical Coastal Communities and Industries.Gland, Switzerland, IUCN.v + 36 pp.

Martin, P. 2011. Phylogeny, phylogeography and population connectivity of Lessonia (Phaeophyceae). Tesis doctoral. Victoria University of Wellington.

Mayol, E., S. Ruiz-Halpern, C. M. Duarte, J. C. Castilla & JL. Pelegrí. 2012. Coupled CO2 and O2-driven compromises to marine life in summer along the Chilean sector of the Humboldt Current System. Biogeosciences, 9: 1183–1194.

Méndez, M.A. & J.M. Cancino.1990. Preferencias alimentarias de ejemplares postmetamórficos y juveniles de *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789). Revista de Biología Marina. Valparaíso, 25: 109–120.

Méndez, M.A. & J.M. Cancino. 1992. Crecimiento de ejemplares postmetamórficos y juveniles de *Concholepas concholepas* (Bruguière) en condiciones de laboratorio. Efecto de densidad, dieta y temperatura. Biología Pesquera. (Chile), 21: 21–30.

Molinet, C., M. Matamala, A. Arévalo, V. Almanza, J. Henriquez, J. Codjambassis, E. Niklischek, A. Zuleta, T. González, S. Rosales, J. Muñoz, P. Diaz, G. Guerra, A. Avila, J.C. Gutiérrez, E. Cortés, E. Llancalaguen & S. Diaz. 2005. Validación de la metodologia de evaluación de bancos naturales de recursos hidrobiologicos y praderas de algas. Informe Final Proyecto FIP N° 2005-14.

Molinet, C., A. Arévalo, M.T. González, C.A. Moreno, J. Arata & E. Niklitschek. 2005. Patterns of larval distribution and settlement of *Concholepas concholepas* (Bruguiere, 1789) (Gastropoda, Muricidae) in fjords and channels of southern Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 78: 409–423.

Molinet, C., E. Niklitschek, C.A. Moreno & A. Arévalo. 2008. Vertical distribution of early and competent larvae of Concholepas concholepas in two systems of Chilean inland seas. Marine Biology, 153: 779–787.

Molinet, C., M. Diaz, C. Arriagada, L. Cares, S. Marín, M. Astorga & E. Niklitschek. 2015. Spatial distribution pattern of *Mytilus chilensis* beds in the Reloncaví fjord: hypothesis on associated processes. Revista Chilena de Historia Natural, 88:11.
Moreno, CA., KM. Lunecke & M.I Lepez 1986. The response of an intertidal *Concholepas concholepas* (Gastropoda) population to protection from Man in southern Chile and the effects on benthic sessile assemblages. Oikos, 46: 359- 364.

Moreno, CA, G. Asencio & S. Ibáñez. 1993. Patrones de asentamiento de *Concholepas concholepas* (Bruguiére) (Mollusca: Muricidae) in the rocky intertidal zone of Valdivia, Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 66: 93-101.

Moreno, C.A., G. Asencio, W. E. Duarte & V. Martin. 1998. Settlement of the muricid *Concholepas concholepas* and its relationship with El Niño and coastal upwellings in southern Chile. Marine Ecological Progress Series, 167: 171–175.

Moreno, CA. & AE. Reyes. 1988. Densidad de *Concholepas concholepas* (Mollusca) en la Reserva Marina de Mehuín: Evidencias de fallas en el reclutamiento. Biología Pesquera (Chile), 17: 31-38.

Moron, O. & R. Marquina. 1997. Peruvian sea oceanographical aspects during pelagic resources survey from Callao to Paita, Cr. RV Humboldt 9704, Informe Instituto del Mar del Perú, Callao, Perú, 127: 31-39.

Murdoch, W. 1994. Population regulation in theory and practice. Ecology. 75: 271-287.

Murúa, P.F. 2010. Estudio de los requerimientos de irradiancia y temperatura para etapas microscópicas de *lessonia trabeculata* (phaeophyceae; laminariales) de poblaciones del norte y sur de chile: una variación estacional. Tesis de Grado. Universidad Austral de Chile. Instituto de Acuicultura.

Naranjo, L., F. Plaza, E. Yáñez, M.A. Barbieri & F. Sánchez. 2015. Forecasting of jack mackerel landings (Trachurus murphyi) in central-southern Chile through neural networks. Fisheries Oceanography, 24: 219-228.

Nash, J. & J. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models. I: A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282-290.

Nathan, R., K. Klein, J. Robledo-Arnuncio & E. Revilla. 2012. Dispersal kernels: review | Dispersal and Spatial Evolutionary. Ecology, 187-210.

Navarro, J.M. & R.A. Torrijos. 1995. Fisiología energética de *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789) (Gastropoda: Muricidae) en la bahía de Yaldad, sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 68: 61–77.

Navarro, J., C. Duarte, PH. Manriquez, R. Torres, CA. Vargas, MA. Lardies & NA. Lagos. 2013. Impact of medium-term exposure to elevated pCO₂ levels on the physiological energetics of the mussel *Mytilus chilensis*. Chemosphere, 90: 242–248.

Navarro, J.M., U. Labarta, MJ. Fernández-Reiriz, & A. Velasco. 2003. Feeding behavior and differential absorption of biochemical components by the infaunal bivalve *Mulinia edulis* and the epibenthic *Mytilus chilensis* in response to changes in food regimes. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 287(1): 13-35.

Navarro, JM, & AM. Contreras. 2010. An integrative response by *Mytilus chilensis* to the toxic dinoflagellate Alexandrium catenella. Marine Biology, 157:1967–1974.

Navarro, JM. & CM. González. 1998. Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. Aquaculture, 167: 315-32.

Núñez-Acuña, G., FJ. Tapia, PA. Haye & C. Gallardo-Escárate. 2012. Gene expression analysis in Mytilus chilensis populations reveals local patterns associated with ocean environmental conditions. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 420: 56–64.

Núñez, S., S. Vásquez, P. Ruiz & A. Sepúlveda. 2008. Distribution of early developmental stages of jack mackerel in the Southeastern Pacific ocean Instituto de Investigación Pesquera., Talcahuano, Chile.

Núñez, S., J. Letelier, D. Donoso, A. Sepúlveda & D. Arcos. 2004. Relating Spatial Distribution Of Chilean Jack Mackerel Eggs and Environmental Factors in the Oceanic Waters off Chile Gayana, 68: 444-449.

Ojeda, F. P., & B. Santelices. 1984a. Invertebrate communities in holdfasts of the kelp Macrocystis pyrifera from southern Chile. Marine Ecology Progress Series, 16: 65-73.

Ojeda, F. P., & B. Santelices. 1984b. Ecological dominance of *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta) in central Chile. Marine Ecology Progress Series, 19: 83-91.

Oldham, R.S., J. Keeble, M.J.S. Swan & M. Jeffcote. 2000. Evaluating the suitability of habitat for the Great Crested Newt (*Triturus cristatus*). Herpetological Journal, 10: 143-155.

Oliva, J., G. Claramunt, G. Herrera, C. Padilla & P. Pizarro 1997. Reproducción In: Alegría, V. (Ed.), Estudio Biológico Pesquero sobre el recurso jurel en la zona norte (Regiones I y II). IFOP.

Oliva, J., E. Díaz & Y. Muñoz. 2000. Estimación del tamaño de la primera madurez sexual y F. parcial de hembras de jurel en la Zona Norte (I y II regiones) y Centro-Sur (Talcahuano) (octubre 1999 a febrero 2000) Informe Interno IFOP: 19 pp.

Oliva, D. & JC. Castilla. 1990. Repoblación natural: el caso del loco *Concholepas concholepas* (Gastrópoda: Muricidae), en Chile Central. In: Hernández AH (ed) Cultivo de moluscos en América Latina. Memorias segunda reunión grupo de trabajo técnico.

Noviembre 7–11; Red Regional de Entidades y Centros de Acuicultura de América Latina CIID-Canada, Bogotá, pp 273–295.

Oyarzún, C., J. Chong & M. Malagueño. 1998. Fenología reproductiva en el jurel, Trachurus symmetricus (Ayres, 1855) (Perciformes, Carangidae) en el área de Talcahuano-Chile: 1982-1984. En: Arcos, D. (ed.), Biología y ecología del jurel en aguas chilenas, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile, 67-75.

Oyarzún, PA., JE. Toro, R. Jaramillo, R. Guiñez, C. Briones & M.Astorga. 2011. Ciclo gonadal del chorito Mytilus chilensis (Bivalvia: Mytilidae) en dos localidades del sur de Chile. Latin American Journal of Aquatic Research, 39(3): 512-525.

Özesmi, S., C. Tan & U. Özesmi. 2006. Methodological issues in building, training, and testing artificial neural networks in ecological applications. Ecological Modelling, 195: 83-93.

Palma, W., J. Pizarro & C. Flores. 1998. Variación estacional de la abundancia de larvas de jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*, (Nichols)) en la zona norte de Chile. In: D. Arcos (ed.) Biología y Ecología del jurel en Aguas Chilenas No. 1. p 141-150. Instituto de Investigación Pesquera, Marzo 1998, Concepción.

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) Grupo de Trabajo 2. 2001. Third Assessment Report, Annex B: Glossary of Terms.

Pearce, J., & S. Ferrier. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. Ecological Modelling, 133: 225–245.

Pearson, R., C. Raxworthy, M. Nakamura, & A. Townsend Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. Journal of Biogeography, 34: 102-117.

Pequeño G. & E. Guesalaga. 1981. El mar y sus recursos naturales, Editorial Alborada. Valdivia, Chile. 87pp.

Pérez, C. A., M. D. DeGrandpre, N. A. Lagos, G. S. Saldías, E.-K. Cascales, C. A. Vargas. 2015. Influence of climate and land use in carbon biogeochemistry in lower reaches of rivers in central southern Chile: Implications for the carbonate system in river-influenced rocky shore environments. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 120: 673-692.

Perry, R.I., J.A. Boutillier & M.G.G. Foreman. 2000. Environmental influences on the availability of smooth pink shrimp, Pandalus jordani, to commercial fishing gear off Vancouver Island, Canada. Fisheries Oceanography, 9: 50-61.

Perry, R.I. & R.E. Ommer. 2003. Scale issues in marine ecosystems and human interactions. Fisheries Oceanography, 12: 513-522.

Perea, Á., J. Mori, B. Buitrón & J. Sánchez. 2013. Aspectos reproductivos del jurel *Trachurus murphyi*. Revista Peruana de Biología, 20: 29-34.

Pérez, C. 2004. Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS. Pearson Educación Madrid, pp.121-154.

Pérez-Marín, D., A. Garrido-Varo, J.E. Guerrero & J.C. Gutiérrez-Estrada. 2006. Use of artificial neural networks in near-infrared reflectance spectroscopy calibrations for predicting the inclusion percentages of wheat and sunflower meal in compound feedingstuffs. Appl. Spect., 60(9): 1962-1069.

Perry, A. L., P. J. Low, J. R. Ellis & J. D. Reynolds. 2005. Climatechange and distribution shifts in marine fishes. Science, 308:1912–1915.

Peterson, G. D. 2002. Estimating Resilience Across Landscapes. Conservation Ecology, 6.

Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura& M. Araújo. 2011. Ecological Niches and Geographic Distributions. Princeton UniversityPress, Princeton.

Peterson, G., CR. Allen & CS. Holling. 1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. Ecosystems, 1:6–18.

Phillips, S., R. Anderson & R.Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190: 231-259.

Phillips, S. & M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography, 31: 161-175.

Phillips, S., M. Dudík & R. Schapire. 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. In: Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, Canadá, pp. 655-662.

Poulin, E., A.T. Palma, G. Leiva, E. Hernández, P. Martinez, S.A. Navarrete, & J.C. Castilla. 2002a. Temporal and spatial variation in the distribution of epineustonic competent larvae of *Concholepas concholepas* (Gastropoda: Muricidae) in the central coast of Chile. Marine Ecological Progress Series, 229: 95–109.

Poulin, E., A.T. Palma, G. Leiva, D.Narvaez, R. Pacheco, S.A. Navarrete & JC. Castilla. 2002b. Avoiding offshore transport of competent larvae during upwelling events: the case of the gastropod Concholepas concholepas in central Chile. Limnology and Oceanography, 47: 1248–1255.

Pörtner, H. O. 2010. Oxygen- and capacity-limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate-related stressor effects in marine ecosystems. Journal of Experimental Biology, 213: 881–893.

Ramajo, L., A. Baltanas, R. Torres, P. H. Manríquez & N.A. Lagos. 2013. Geographic variation in shell morphology, weight and mineralization of juvenile snails of *Concholepas concholepas* (loco) along the Chilean coast Journal of the Marine Biological Association of the UK, 93: 2167–2176.

Ramajo, L., A. Rodriguez, M.A. Lardies, C. Duarte & NA. Lagos. 2015. Shifts in shell mineralogy and metabolism of *Concholepas concholepas* juveniles along the Chilean coast. Marine & Freshwater Research. http://dx.doi.org/10.1071/MF14232.

Ramírez, B. 2006. Distribución de clorofila en algunos fiordos chilenos ubicados entre El Golfo de Penas y El Estrecho de Magallanes (Chile). Ciencia y Tecnología del Mar. 29: 27-63.

Ramirez, M.E. & B. Santelices. 1991. Catalogo de las algas marinas bentonicas en la costa temperada del Pacifico de Sudamerica. Monografias Biologicas. Publicaciones periódicas Pontificia Universidad Católica. Santiago, Chile, pp.431.

Ramorino, L. & B. Campos. 1983. Larvas y postlarvas de Mytilidae de Chile. Revista de Biología Marina, 19 (2): 143-192.

Ramorino, L. 1975. Ciclo reproductivo de *Concholepas concholepas* en la zona de Valparaiso. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 15: 149-177.

Ramorino, L. 1979. Conocimiento científico actual sobre reproducción y desarrollo de *Concholepas concholepas* (Mollusca: Gastropoda: Muricidae). Biología Pesquera, 12:59–70.

Reiss, H., S. Cunze, K. König, H. Neumann & I. Kröncke. 2011. Species distribution modelling of marine benthos: a North Sea case study. Marine Ecology Progress Series, 442: 71-86.

Reyes, AE. & CA. Moreno. 1990. Asentamiento y crecimiento de los primeros estadios bentónico de *Concholepas concholepas* (mollusca: Muricidae) en el intermareal rocoso de Mehuín, Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 63: 157-163.

Richardson, A. J. & D. S. Schoeman. 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. Science, 305: 1609–1612.

Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. Bull. Fish. Res. Bd. Can., 191: 382p.

Rosa, R. & B. A. Seibel, 2008. Synergistic effects of climate-related variables suggest future physiological impairment in a top oceanic predator. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 105: 20776–20780.

Rumelhart, D., G. Hinton & R. Williams. 1986. "Learning" representations by backpropagation errors. Nature, 323: 33-536.

Saavedra, Á., V. Catasti, F. Leiva, R. Vargas, C. Lang, E. Molina. 2014. Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2014. Informe Final FIP N° 2013-05, IFOP.

Santander, H. & R. Flores. 1983. Spawning and larval distribution of four pelagic species and their relations to marine environmental variations off Peru In: Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources, San Jose (Costa Rica), 18 Apr 1983. Sharp, G.D. and J. Csirke (Eds), Proceedings: FAO Fisheries Report, FAO, Rome, Italy, 291(2-3): 835 - 870 (in Spanish).

Santelices, B. 1982. Bases biológicas para el manejo de *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta, Laminariales) en Chile central. Monografias biológicas, 2: 135-150.

Santelices, B. & F. P. Ojeda. 1984. Recruitment, growth and survival of *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta) at various tidal levels in exposed habitats of central Chile. Marine Ecology Progress Series, 19: 73-82.

Santelices, B. 1989. Algas marinas de Chile. Distribución, ecología, utilización y diversidad, 399pp. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Santelices, B. 2002. Recent advances in fertilization ecology of macroalgae. Journal of Phycology, 38: 4-10.

Santelices, B. & F. P. Ojeda. 1984a. Population dynamics of coastal forests of Macrocystis pyrifera in Puerto Toro, Isla Navarino, Southern Chile. Marine Ecology Progress Series, 14: 175-183.

Santelices, B. & F. P. Ojeda. 1984b. Recruitment, growth and survival of *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta) at various tidal levels in exposed habitats of central Chile. Marine Ecology Progress Series, 19: 73-82.

Sepúlveda, A., S. Núñez, H. Peña, L. Cubillos, A. Hernández, T. Mariela, D. Bucarey, A. Rojas, F. Véjar, C. González, M. A. Barbieri, J. Córdova & M. Espejo. 2001. Condiciones Biológicas del jurel en alta mar. Informe Final FIP-IT/ 99-14, Instituto de Investigación Pesquera.

Serra, R., O. Rojas, M. Aguayo, M. Inostroza & J. Cañón. 1979. Jurel In: Estado actual de las principales pesquerías nacionales. Bases para un desarrollo pesquero. Peces I. CORFO-IFOP, 36 pp.

Serra, R. 1991. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. Instituto de Fomento Pesquero, 36: 67-83.

Serra, R., R. Galleguillos, S. Ferrada, C. Canales, M. Oliva, J. Letelier, L. Soto, S. Salinas. 2014. Estructura poblacional de jurel. Informe Final FIP N° 2010-18, IFOP, Valparaíso.

Shaffer, G., O. Pizarro, L. Djurfeldt, S. Salinas & J. Rutllant, 1997.Circulation and lowfrequency variability near the Chilean coast: Remotely forced fluctuations during the 1991-92 El Niño. Journal of Physical Oceanography, 27: 217-235.

Sievers, HA. & N. Silva. 2006 Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. N. Silva & S. Palma (eds.) Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 53-58.

Sievers, HA. 2006. Temperatura y salinidad en canales y fiordos australes. N. Silva & S. Palma (eds.) Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 31-36.

Silva, N. & CR. Vargas. 2014. Hypoxia in Chilean Patagonian Fjords. Progress in Oceanography, 129: 62–74.

Silva, C., M. A. Barbieri, E. Yáñez, J. C. Gutiérrez-Estrada & T. Á. Del Valls. 2012. Using indicators and models for an ecosystem approach to fisheries and aquaculture management: The anchovy fishery and Pacific oyster culture in Chile: Case studies. Latin American Journal of Aquatic Research, 40: 955-969.

Silva, C., E. Yáñez, M. A. Barbieri, C. Bernal, & A. Aranis. 2015. Forecasts of swordfish (Xiphias gladius) and common sardine (Strangomera bentincki) off Chile under the A2 IPCC climate change scenario. Progress in Oceanography, 134: 343-355.

Soberón, J. & M. Nakamura. 2009. Niches and distributional areas: concepts, methods and assumptions. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 106:19644-19650.

Soberon, J. & A. Townsend Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. Biodiversity Informatics, 2: 1-10.

Soberón, J. & Peterson A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. Biodiversity Informatics, 2:1–10.

Soberón, J. M. 2010. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. Ecography, 33(1): 159-167.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B.Averyt, M. Tignor, et al. Cambridge University Press, Cambridge.

Soto, R. 1985. Efectos del fenómeno El Niño 1982-83 en ecosistemas de la I Región. Investigaciones Pesqueras (Chile), 32: 199-206.

Soto-Mendoza, S., L. Castro & A. Llanos-Rivera. 2010. Variabilidad espacial y temporal de huevos y larvas de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens*, asociados a la desembocadura del río Itata, Chile. Revista de Biologia Marina y Oceanografia, 45: 471-487.

Soto-Mendoza, S., C. Parada, L. Castro, F. Colas & W. Schneider. 2012. Modeling transport and survival of anchoveta eggs and yolk–sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. Progress in Oceanography, 92-95: 178-191.

Stenseth, N.C., K. Lekve & J. Gjosaeter. 2002. Modeling species richness controlled by community-intrinsic and community-extrinsic processes: Coastal fish communities as an example. Population Ecology, 44: 165-178.

Stotz, W & E. Pérez. 1992. Crecimiento y productividad del loco *Concholepas concholepas* (Bruguiére, 1789) como estimador de la capacidad de carga en áreas de manejo. Investigaciones Pesqueras. (Chile), 37: 13-22.

Stotz, W. 1997. Las áreas de manejo en la Ley de Pesca y Acuicultura: primeras experiencias y evaluación de la utilidad de esta herramienta para el recurso loco. Estudios Oceanológicos (Chile), 16: 67-86.

Stotz, W., P. De Amesti, D. Martinez & E. Pérez. 1991 a. Lugares de asentamiento y desarrollo de juveniles tempranos de *Concholepas concholepas* (Bruguiére, 1789) en el inter y submareal de la IV Región, Coquimbo. Revista de Biología Marina, Valparaíso, 26 (2): 339-350.

Stotz, W., D. Martínez, P. De Amesti & E. Pérez. 1991b. Variación temporal del registro de juveniles recién asentados de *Concholepas concholepas* (Bruguiére, 1789), en el intermareal rocoso de Totoralillo, Coquimbo, IV Región. Revista de Biología Marina. Valparaíso, 26 (2): 351 - 361.

Stotz, W., S.A. González, L. Caillaux & J. Aburto. 2003. Quantitative evaluation of the diet and feeding behavior of the carnivorous gastropod, *Concholepas concholepas* (Bruguiere, 1789) (Muricidae) in subtidal habitats in the southeastern Pacific upwelling system. Journal of Shellfish Research, 22: 147–164.

Strub, P.T., J.M. Mesías, V. Montecino, J. Rutllant & S. Salinas. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. In: Robinson, A.R., Brink, K.H. (Eds.), The Sea. John Wiley and Sons, New York, pp. 273–314.

Stuardo, J. 1979. Sobre la clasificación, distribución y variación de *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789): un estudio de taxonomía Beta. Biología Pesquera (Chile), 12: 5-38.

Subpesca, 2013. Cuota global anual de captura de jurel, para las unidades de pesquería de la XV-II, III-IV, V-IX y XIV-X Regiones, año 2013. Subpesca, Valparaíso.

Suryanarayana, I., A. Braibanti, R. Sambasiva-Rao, V. Anantha-Ramam, D. Sudarsan & G. Nageswara-Rao. 2008. Review: Neural networks in fisheries research. Fisheries Research, 92: 115-139.

Tala, F., M. Edding & J. Vásquez. 2004. Aspects of the reproductive phenology of *Lessonia trabeculata* (Laminariales: Phaeophyceae) from three populations in northern Chile. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 38(2): 255-266.

Tala, F. 1999. Crecimiento, productividad y pérdida de tejido en frondas de *Lessonia trabeculata y Lessonia nigrescens* (Laminariales, Phaeophyta). Tesis Universidad Católica del Norte. Facultad de Ciencias del Mar. 126 pp.

Tala, F. & M. Edding. 2005. Growth and loss of distal tissue in blades of *Lessonia nigrescens* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales). Aquatic Botany, 82:39-54.

Tala, F. & M. Edding. 2007. Production of *Lessonia trabeculata* and *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae, Laminariales) in northern Chile. Phycological Research, 55(1): 66-79.

Tan, Y. & Van Cauwenberghe. 1999. Neural-networks-based d-step-ahead predictors for nonlinear systems with time delay. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 12(1): 21-25.

Tarifeño, E., M. Carmona, A. Llanos-Rivera & L. Castro. 2008. Temperature effects on the anchoveta *Engraulis ringens* egg development: do latitudinal differences occur? Environmental Biology of Fishes, 81(4): 387-395.

Thiel, M., E. Macaya, E. Acuña, W. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P. Camus, J. C. Castilla, L. Castro, M. Cortés, C. Dumont, R. Escribano, M. Fernández, J. Gajardo, C. Gaymer, I. Gómez, A. González, H. González, P. Haye, J.E. Illanes, J.L. Iriarte, D. Lancellotti, G. Luna-Jorquera, C. Luxoro, P. Manriquez, V. Marín, P. Muñoz, S. Navarrete, E. Pérez, E. Poulin, J. Sellanes, H. Sepúlveda, W. Stotz, F. Tala, A. Thomas, C. Vargas, J. Vásquez & J.M A. Vega. 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile. Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. Oceanography and Marine Biology: Ann Rev, 45: 195–344.

Thiel, M. & P. A. Haye. 2006. The ecology of rafting in the marine environment. III. Biogeographical and evolutionary consequences. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 44:323-429.

Thurman, H.V. 1994. Introductory Oceanography. Seventh Edition. Macmillan Publishing Company. New York. 550 pp.

Tilman, D. & P. Kareiva. 1997. Spatial Ecology: The Role of Space in Population Dynamics and Interspecific Interactions. Princeton Univer- sity Press, Princeton, NJ.

Tomicic, J.J. 1985. Efectos del fenómeno El Niño 1982-83 en las comunidades litorales de la Península de Mejillones. Investigaciones Pesqueras (Chile), 32: 209-213.

Toro, J.E, A.C. Alcapán, A.M. Vergara & J.A. Ojeda. 2004. Heritability estimates of larval and spat shell height in the Chilean blue mussel (*Mytilus chilensis* Hupe 1854) produced under controlled laboratory conditions. Aquaculture Research, 35:56-60.

Toro, J.E., G.C. Castro, J.A. Ojeda & A.M. Vergara. 2006. Allozymic variation and differentiation in the chilean blue mussel, *Mytilus chilensis*, along its natural distribution. Genetic and Molecular Biology, 29 (1): 174-179.

Toro, J.E., J.A. Ojeda, A.M. Vergara, G.C. Castro & A.C. Alcoa. 2005. Molecular characterization of the Chilean blue mussel (Mytilus chilensis Hupe 1854)) demonstrates evidence for the occurrence of *Mytilus galloprovincialis* in southern Chile. Journal Shellfish Research, 24: 1117 – 1124.

Toro, J.E & D. Sastre. 1995. Induced triploidy in the Chilean blue mussel, *Mytilus chilensis* (Hupe 1854), and performance of triploid larvae. Journal Shellfish Research, 14:161-164.

Toro, J.E., P.A. Oyarzún, C. Peñaloza, A. Alcapán, V. Videla, J. Tillería, M. Astorga & V.R Martínez. 2012. Production and performance of larvae and spat of pure and hybrid species of *Mytilus chilensis* and *M. galloprovincialis* from laboratory crosses. Latin American Journal of Aquatic Research, 40(1): 243-247.

Toro, J.E., A.C Alcapán & R.A Stead. 2008. Inter-population breeding in *Mytilus chilensis*, an economically important bivalve, and its effects on the shell length during the larval stage Archivos de Medicina Veterinaria, 40: 299-303.

Torres, R., S. Pantoja, N. Harada, H. E. Gonzalez, G. Daneri, M. Frangopulos, Rutllant, J. A., Duarte, C. M., Ruiz-Halpern, S., Mayol, E., & M. Fukasawa. 2011. Air–sea CO2 fluxes along the coast of Chile: from CO2 outgassing in central–northern upwelling waters to CO2 sequestering in southern Patagonian fjords. Journal of Geophysical Research, 116.

Townsend-Peterson A., J. Soberón, R. Pearson, R. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura & M. Bastos Arújo. 2011. Ecological niches and geographic distributions (MPB-49) (No. 49). Princeton University Press.

Valladares, A., G. Manríquez & B.A. Suarez-Isla. 2010. Shell shape variation in populations of *Mytilus chilensis* (Hupe 1854) from southern Chile: a geometric morphometric approach. Marine Biology, 157: 2731–2738.

Vance, T. 2007. PhD. Thesis in Geography. If You Build It, Will They Come? Evolution Towards the Application of Multi- Dimensional GIS to Fisheries-Oceanography. Oregon State University.

Vargas, C.A., P.H. Manríquez & S.A. Navarrete. 2006a. Feeding by larvae of intertidal invertebrates: assessing their position in pelagic food webs. Ecology, 87: 444–457.

Vargas, CA., VM. Aguilera, V. San Martín, PH. Manríquez, JH. Navarro, C.Duarte, R. Torres, MA. Lardies & N.A. Lagos. 2014. CO₂-driven ocean acidification disrupts the filter feeding behavior in Chilean gastropod and bivalve species from different geographical localities. Estuaries and Coasts.

Vargas, C.A., M. De La Hoz, V. Aguilera, V. San Martin, N.A. Lagos, P.H. Manríquez, J.M. Navarro, R. Torres-Saavedra & M.A. Lardies. 2013. CO2-driven ocean acidification may radically impact feeding behavior of larval invertebrates: The case of the gastropod *Concholepas concholepas*. Aquatic Biology, 35(5): 1059–1068.

Vásquez, J.A. 1989. Estructura y organizacion de huirales submareales de *Lessonia trabeculata*. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Universidad de Chile: 261 pp.

Vásquez, J.A. 1990. Comunidades submareales dominadas por macroalgas. Revista Chilena de Historia Natural, 63: 129-130.

Vásquez, J.A. 1991. Variables morfométricas y relaciones morfológicas de *Lessonia trabeculata* Villouta & Santelices, 1986, en una población submareal del norte de Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 64: 271-279.

Vásquez, J.A. 1992. *Lessonia trabeculata*, a subtidal bottom kelp in northern Chile: a case of study for a structural and geographical comparison. In: Coastal Plant Communities of Latin America. U. Seeliger (Ed) Academic Press Inc., San Diego: 77-89.

Vásquez, J.A. 1993. Patrones de distribución de poblaciones submareales de *Lessonia trabeculata* (Laminariales, Phaeophyta) en el norte de Chile. Serie ocasional, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, 2: 187-211.

Vásquez, J.A. 1995. Ecological effects of brown seaweed harvesting. Botanica Marina, 38: 251-257.

Vásquez, J.A. 1999. The effects of harvesting of brown seaweeds: a social, ecological and economical important resource. World Aquaculture, 30: 19-22.

Vásquez, J.A. & E. Fonck. 1993. Algas productoras de acido alginico en Sudamerica: diagnóstico y proyecciones. En: Documento de Campo No 13 Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en America Latina y el Caribe. FAO-Italia. Programa Cooperativo Gubernamental: 17-26.

Vásquez, J.A. & B. Santelices. 1984. Comunidades de macroinvertebrados en discos de adhesión de *Lessonia nigrescens* en Chile central. Revista Chilena de Historia Natural, 57: 131-154.

Vásquez, J.A. & B. Santelices. 1990. Ecological effects of harvesting *Lessonia* (Laminariales, Phaeophyta) in central Chile. Hydrobiología, 204/205: 41-47.

Vásquez, J.A. & R. Westermeier. 1993. Limiting factors in optimizing seaweed yield in Chile. Hydrobiología, 260/261: 180- 187.

Vásquez, J.A., D. Veliz & L.M. Pardo. 2001. Biodiversidad bajo las grandes algas. En: Sustentabilidad de la biosiversidad. Un problema actual, bases científico-tecnicas, teorizaciones y perspectivas. Alveal K, Antezana T (eds.), Universidad de Concepcion-Concepcion: 293-308. Vásquez, J.A. & J.M.A. Vega. 2005. Macroinvertebrados asociados a discos de adhesión de algas pardas: Biodiversidad de comunidades discretas como indicadoras de perturbaciones locales y de gran escala. En: Biodiversidad Marina: Valoración, usos y perspectivas ¿Hacia dónde va Chile? E. Figueroa (Ed) Editorial Universitaria Santiago-Chile: 429-450.

Vásquez, J.A., J.M.A. Vega & A.H. Buschmann. 2006. Long term studies on El Niño-La Niña in northern Chile: effects on the structure and organization of subtidal kelp assemblages. Journal of Applied Phycology, 18: 505-519.

Vásquez, J. A., F. Tala, A. Vega, S. Zuñiga, M. Edding, N. Piaget. 2008. Bases ecológicas y evaluación de usos alternativos para el manejo de praderas de algas pardas de la III y IV regiones. Informe Final Proyecto FIP Nº 2005-22.

Vásquez, J. A., N. Piaget, F. Tala & J. M. Alonso. 2010. Evaluación de la biomasa de praderas naturales y prospección de potenciales lugares de repoblamiento de algas pardas en la costa de la XV, I y II regiones. Informe Final Proyecto FIP Nº 2008-38, 2010.

Vásquez, S. 2012. Modelación de la historia de vida temprana del jurel (*Trachurus murphyi*) en el Pacífico suroriental: influencia de factores biofísicos en la conectividad de zonas de desove-crianza. Tesis de Magister en Pesquerías, Universidad de Concepción, Concepción.

Vega, J.M.A. 2005. Dinámica poblacional de *Macrocystis integrifolia* (Laminariales, Phaeophyta) en el norte de Chile. Tesis Universidad Católica del Norte. Facultad de Ciencias del Mar. 211 pp.

Vega, J.M.A., J.A. Vásquez & A.H. Buschmann. 2005. Biology of the subtidal kelps Macrocystis integrifolia and Lessonia trabeculata (Laminariales, Phaeophyceae) in an upwelling ecosystem of northern Chile: interannual variability and El Niño 1997-98. Revista Chilena de Historia Natural, 78: 33-50.

Velasco, L.A. & J.M. Navarro.2005. Feeding physiology of two bivalves under laboratory and field conditions in response to variable food concentrations. Marine Ecological Progress Series, 291: 115–124, 2005.

Velasco, LA. & JM. Navarro. 2002. Feeding physiology of infaunal (*Mulinia edulis*) and epifaunal (*Mytilus chilensis*) bivalves under a wide range of concentration and quality of seston. Marine Ecological Progress Series, 240:143-155.

Venegas, M., F. Tala E. Fonck & J.A. Vásquez. 1992. Sporangial sori on stipes of *Lessonia nigrescens* Bory (Laminareacea, Phaeophyta): a high frecuency phenomenom in intertidal populations of northern Chile. Botánica Marina, 35: 573-578.

Ventura, S., M. Silva, D. Pérez-Bendito & C. Hervás.1995. Artificial neural networks for estimation of kinetic analytical parameters. Analytical Chemistry, 67(9): 1521-1525.

Villouta, E. & B. Santelices. 1984. Estructura de la comunidad submareal de *Lessonia* (Phaeophyta, Laminariales) en Chile norte y central. Revista Chilena de Historia Natural, 57: 111-122.

Villouta, E. & B. Santelices. 1986. *Lessonia trabeculata sp.* Nov. (Laminariales: Phaeophyta), a new kelp from Chile. Phycologia, 25: 81-86.

Werlinger, C (ed.). 2004. Biologia Marina y Oceanografia: Conceptos y Procesos (Marine Biology and Oceanography: Concepts and processes). Fondo Nacional del libro y la lectura. Editorial Trama. 650 pp.

Winter, J., J.E. Toro, J.M. Navarro, G.S. Valenzuela & O.R Chaparro. 1983. Recent developments, status, and prospects of molluscan aquaculture on the Pacific coast of South America. Aquaculture, 39: 95–134

Yáñez, E., S. Hormazábal, C. Silva, A. Montecinos, M. A. Barbieri, A. Valdenegro, A. Ordenes & F. Gómez. 2008. Coupling between the environment and the pelagic resources exploited off North Chile: ecosystem indicators and a conceptual model. Latin American Journal of Aquatic Research, 36(2): 159-181, 2008.

Yáñez, E., R. Vega, C. Silva, J. Letelier, M.A. Barbieri & F. Espíndola. 2008. An integrated conceptual approach to study the swordfish (Xiphias gladius) fishery in the eastern South Pacific. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 43 (3): 641-652.

Yáñez, E., C. Silva, M.A. Barbieri, A. Órdenes & R. Vega. 2009. Environmental conditions associated with swordfish size compositions and catches off the Chilean coast. Latin American Journal of Aquatic Research, 37(1): 71-81.

Yáñez, E., C. Silva, M.A. Barbieri, L. Soto, G. San Martín, P. Muck, J. Letelier, F. Sánchez, G. Böhm, A. Aranis, A. Parés, J. C. Gutiérrez & F. Plaza. 2013. Proyecto FONDEF D11I1137 "Sistema de pronósticos de pesquerías pelágicas chilenas frente a diversos escenarios del cambio climático". Proyecto I+D+I, participantes UCV, IFOP, U. del Bio-Bio, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Ministerio del Medio Ambiente, CICESE-México, U. Huelva.

Yáñez, E., M.A. Barbieri, F. Plaza, & C. Silva. 2012. Cambio Climático y Pesquerías en Chile. En: M. A. Barbieri., P. Rojas, E. Yáñez y F. Plaza (ed.) Pesquerías y Acuicultura en Chile: Desafíos y Oportunidades. Ediciones Universitarias, Valparaíso, pp. 141-150.

Yáñez, E., E. González, L. Cubillos, S. Hormazábal, H. Trujillo, L. Álvarez, A. Órdenes,
M. Pedraza & G. Aedo. 2011. Knowledge and research on Chilean Fisheries Resources.
World fisheries: a social-ecological analysis/edited by Rosemary E. Ommer, Perry, K.
Cochrane and P.Cury. Chapter 10, 168-199. The Wiley-Blackwell Fish and Aquatic Resources Series, 418 pp.

Yáñez, E., C. Silva, A. Órdenes, F. Gómez, A. Valdenegro, N. Silva, S. Hormazábal, A. Montecinos, L. Cubillos, F. Espíndola, O. Pizarro & J.R. Cañón. 2005. "Análisis integrado histórico ambiente-recursos, I-II Regiones". Informe Final Proyecto FIP Nº 2003-33, 478 pp.

Yáñez, E., C. Silva, R. Vega, J. Letelier, P. Barria, M. Donoso, F. Espindola, C. Bernal. 2007. Integración del conocimiento sobre el recurso pez espada en el Océano Pacífico Sudeste en una perspectiva ecosistémica: Fase I. Informe Final Proyecto FIP 2005-28, 147 pp.

Yáñez, E. & M. A. Barbieri. 1992. Long-Term environmental variability and pelagic fiberies in Talcahuano, Chile. In A.; Brink Payne, K.; Mann, K.; Hilborn, R. (Ed.), Bengela Trophic Functioning (Vol. 12, pp. 175-188).Cape Town.

Yuras, G., O. Ulloa & S. Hormazábal. 2005. On the annual cycle of coastal and open ocean satellite chlorophyll off Chile (18°–40°S). Geophysical Research Letters, 32.

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Information and Control, 8 (3): 338 - 353.

ANEXO 1. ACTAS DE REUNIONES

Acta Reunión Nº 1

Información General

ΤΊΤυμο	Reunión de coordinación Proyecto FIP 2014-25
ТЕМА	Plan de Trabajo
FECHA/HORA/LUGAR	Viernes 24 de abril de 2015 de 11:00 a 13:00 hrs. Sala de
	Reuniones Profesores. Escuela Ciencias del mar.
	Valparaíso
PARTICIPANTES	PUCV: Claudio Silva (Jefe de Proyecto), Eleuterio Yáñez,
	Felipe Sánchez, María Eugenia Gallardo
	UST: Nelson Lagos, Fabio Labra
PRÓXIMA REUNIÓN	A programar
LUGAR PRÓXIMA REUNIÓN	Universidad Santo Tomás, Santiago
REFERENCIAS	Proyecto FIP 2014-25

Objetivo

Revisar los contenidos del Proyecto FIP 2014-25 y coordinar las actividades de acuerdo a los plazos establecidos en él.

Contenido

- Presentación por parte del Jefe del proyecto de la Propuesta Técnica.
- Ejemplo de proyectos realizados referente al tema del proyecto por parte del equipo de trabajo de la PUCV
- Experiencias de trabajos realizados con los recursos loco, chorito y algas pardas por parte del equipo de trabajo de UST
- Para la realización del Objetivo 1 del Proyecto FIP, se explicó el uso de EndNote para ingresar las referencias
- Se dio a conocer fecha de entrega del primer informe de avance del Proyecto

Acuerdos

- El equipo de la UST solicitará bases de datos de proyectos al Sr. Marcelo Rivadeneira (CEAZA) relacionada con información de seguimiento de áreas de manejo de los recursos loco, chorito y macroalgas. Por otra parte los datos para los recursos pelágicos de este proyecto serán solicitados al Fondo de Investigación Pesquera (FIP), a IFOP a través de su programa de recolección y almacenamiento de datos pesqueros, que se complementarán con las bases de datos que posee el Laboratorio de Evaluación y Oceanografía Pesquera de la PUCV.
- Se determinó el uso del gestor de referencias bibliográficas EndNote versión X7 y se nombró a las personas a cargo de ingresar las referencias en este programa.
- Se acordó para finales de junio el envío por parte del equipo de la PUCV, del documento con la estructura que deberá contener el Informe de Avance 1.
- Se concertó la realización de una próxima reunión de los equipos de trabajo en dependencias de la UST (Santiago), en la que se verá el estado de avance del proyecto y se realizará un trabajo en conjunto para la modelación del hábitat esencial de los recursos pesqueros del Proyecto.

Acta Reunión Nº 2

Información General

	Γ
ΤΊΤΗ Ο	Reunión de coordinación Informe de Avance II Proyecto
	FID 2014 25
	FIP 2014-23
ТЕМА	Modelos Conceptuales
	-
FECHA/HORA/IUGAR	Lunes 23 de Noviembre de 2015 de 11:00 a 13:30 horas.
	Escuela Cioncies del mor Velnergía
	Escuera Ciencias del mar, varparaiso.
PARTICIPANTES	PUCV: Claudio Silva (Jefe de Proyecto), Eleuterio Yáñez,
	María Eugenia Gallardo
	UST: Nelson Lagos, Fabio Labra, Laura Ramaio
	0.51. Neison Lagos, Paolo Laora, Laura Kamajo
PRÓXIMA REUNIÓN	Enero 2016
LUGAR PRÓXIMA REUNIÓN	
DEEEDENCIAS	Provecto FIP 2014-25

Objetivo

Organizar y acordar entrega Informe de Avance II Proyecto FIP 2014-25

Contenido

- Se expusieron por parte del equipo de la PUCV las tablas de hábitat, los mapas conceptuales y el modelo conceptual de las especies Jurel y Anchoveta Centro-Sur.
- Se expusieron por parte del equipo de la UST las tablas de hábitat y modelos de hábitat de los recursos loco, chorito y algas pardas.
- Se entregó por parte de la UST las bases de datos bibliográficas (EndNote) de los recursos loco, chorito y algas pardas.

Acuerdos

- Se acordó la realización de un taller de trabajo para la elaboración final de los modelos conceptuales de las especies a realizarse en enero 2016.
- Se acordó fecha de entrega Informe de Avance II del proyecto en curso.

Acta Reunión Nº 3

Información General

TÍTULO	Reunión de coordinación Pre-informe final Proyecto FIP 2014-25.
ТЕМА	Plan de trabajo para implementar los modelos de predicción.
FECHA/HORA/LUGAR	Viernes 04 de Marzo de 2016 de 11:00 a 12:30 horas. Escuela Ciencias del mar, Valparaíso.
PARTICIPANTES	PUCV: Claudio Silva (Jefe de Proyecto), María Eugenia Gallardo. UST: Nelson Lagos, Fabio Labra, Laura Ramajo.
PRÓXIMA REUNIÓN	
LUGAR PRÓXIMA REUNIÓN	
REFERENCIAS	Proyecto FIP 2014-25

Objetivo

Implementar los modelos de pronósticos, coordinar entrega pre informe final y cierre de Proyecto FIP 2014-25.

Contenido

- Se expuso por parte del equipo de la UST el modelamiento de nicho del recurso loco y que será replicado para los recursos chorito y algas pardas.
- Se revisaron las observaciones del segundo informe de Evaluación Técnica del proyecto.
- Se conversó del manuscrito comprometido a publicar referente al Proyecto.

Acuerdos

- Se acordó por parte de la UST el envío de las bases de datos bibliográficas (EndNote) actualizadas de los recursos loco, chorito y algas pardas.
- Se acordó por parte del equipo de la PUCV, la estructura del orden de los capítulos que deberá contener el pre informe final.

ANEXO 2. PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

																2	016			
Nombre	Actividad			М	Α	М	J	J	Α	S	0	Ν	D	Е	F	М	Α	М	J	J
Claudio Silva - PUCV	A. COORDINACIÓN Y PLANIFIC	CACIÓ	ÓN	15	15	15	10	10	10	10	10	5	2	2	2	2	2	2	2	2
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTR	UCCI	Ń	10	10	10	5	10	10	10	10	5								
	C. RECOPILACION DE DAT	TOS		10	10	10	5	10	10	10	10	5								
	D. RECOPILACIÓN MATERIAL	VISU	AL																	
	E. PROCESAMIENTO DAT	OS		5	5	5	5	5	5	5	5	5								
	F. ANÁLISIS INFORMACIO	ON		5	5	5	10	5	5	5	5	10	15	15	15	5				
	G. ELABORACION INFORM	1ES					10					10				15				20
				45	45	45	45	40	40	40	40	40	17	17	17	22	2	2	2	22
					-		.		~	-		-		-		Τ.	<u> </u>		<u> </u>	
Nombre		M r	A r	M r	J	J	A		s ~	0 2	N c	D	E	F	M	A	N	1	J	J
Eleuterio Yánez - PUCV	A. COORDINACION Y PLANIFICACION	5	5	5	5	5	5		5	5	5	2	2	2	2	2	2		2	2
	B. IMPLEMENTACION E INSTRUCCION					_											+	+	\rightarrow	
	C. RECOPILACION DE DATOS	4	4	4	4	4	4		4	4	4						_	_		
	D. RECOPILACIÓN MATERIAL VISUAL																_			
	E. PROCESAMIENTO DATOS	7	7	7	2	7	7	, .	7	7	2						\bot	\rightarrow	$ \rightarrow $	
	F. ANÁLISIS INFORMACION	14	14	14	14	14	14	4 1	4	14	14	4	4	4	4					
	G. ELABORACION INFORMES				5						5				8					3
		30	30	30	30	30	30	0 3	30	30	30	6	6	6	14	2	2	!	2	5
Nombre	Actividad	М	А	М	J	J	A		S	0	Ν	D	Е	F	М	А	N	1	J	J
Nelson Lagos - UST	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN	5	5	5	5	5	5		5	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN																T			
	C. RECOPILACION DE DATOS	4	4	4	4	4	4		4	4	4									
	D. RECOPILACIÓN MATERIAL VISUAL																1	1		
	E. PROCESAMIENTO DATOS	7	7	7	2	7	7		7	7	2									
	F. ANÁLISIS INFORMACION	14	14	14	14	14	14	4 1	4	14	14	4	4	4	4	1	\uparrow	+		
	G. ELABORACION INFORMES				5						5				8		1	\top		3
		30	30	30	30	30	30	0 3	30	30	30	6	6	6	14	2	2	2	2	5

Nombre	Actividad	М	Α	М	J	J	Α	S	0	Ν	D	Е	F	Μ	Α	М	J	J
Fabio Labra - UST	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN																	
	C. RECOPILACION DE DATOS	4	4	4	4	4	4	4	4	4								
	D. RECOPILACIÓN MATERIAL VISUAL																	
	E. PROCESAMIENTO DATOS	7	7	7	2	7	7	7	7	2								
	F. ANÁLISIS INFORMACION	14	14	14	14	14	14	14	14	14	4	4	4	4				
	G. ELABORACION INFORMES				5					5				8				3
		30	30	30	30	30	30	30	30	30	6	6	6	14	2	2	2	5
Nombre	Actividad	М	Α	М	J	J	Α	S	0	Ν	D	Е	F	Μ	Α	Μ	J	J
Laura Ramajo - UST	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN	5	5	5	5	5	5	5	5	5					2	2	2	2

riomore	i leti (latta	111	11	101	3	5	11	5	U	11	D	Ц	-	111	11	111	5	3
Laura Ramajo - UST	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN	5	5	5	5	5	5	5	5	5					2	2	2	2
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN																	
	C. RECOPILACION DE DATOS	4	4	4	4	4	4	4	4	4								
	D. RECOPILACIÓN MATERIAL VISUAL																	
	E. PROCESAMIENTO DATOS	12	12	12	7	12	12	12	12	7	7	7	7					
	F. ANÁLISIS INFORMACION	14	14	14	14	14	14	14	14	14	7	7	7					
	G. ELABORACION INFORMES				5					5				10				3
		35	35	35	45	35	35	35	35	35	14	14	14	10	2	2	2	5

Nombre	Actividad	М	Α	М	J	J	Α	S	0	Ν	D	Е	F	Μ	Α	М	J	J
Felipe Sánchez - PUCV	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN														2	2	2	2
	B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN																	
	C. RECOPILACION DE DATOS	12	12	12	10	12	12	12	12	10								
	D. RECOPILACIÓN MATERIAL VISUAL																	
	E. PROCESAMIENTO DATOS	18	18	18	18	18	18	18	18	18	7	7	7					
	F. ANÁLISIS INFORMACION	20	20	20	20	20	20	20	20	20	7	7	7					
	G. ELABORACION INFORMES				5					5				10				3
		50	50	50	50	50	50	50	50	50	14	14	14	10	2	2	2	5

Nombre		Actividad	М	Α	Μ	J	J	Α	S	0	Ν	D	E	F	Μ	А	Μ	J	J
Mª Eugenia Gallardo	-PUCV	A. COORDINACIÓN Y PLANIFICACIÓN	5	5	5	5	5	5	5	5	5					2	2	2	2
		B. IMPLEMENTACIÓN E INSTRUCCIÓN																	
		C. RECOPILACION DE DATOS	4	4	4	4	4	4	4	4	4								
		D. RECOPILACIÓN MATERIAL VISUAL																	
		E. PROCESAMIENTO DATOS	12	12	12	7	12	12	12	12	7	7	7	7					
		F. ANÁLISIS INFORMACION	14	14	14	14	14	14	14	14	14	7	7	7					
		G. ELABORACION INFORMES				5					5				10				3
			35	35	35	35	35	35	35	35	35	14	14	14	10	2	2	2	5

ANEXO 3. TALLER DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS

Invitación Taller de Difusión





Lista de Asistentes Taller de Difusión

Identificación, Caracterización y Vulnerabilidad al Cambio Climático de Hábitat Esenciales Asociados a Recursos Hidrobiológicos de Importancia Económica en Chile FIP Nº2014-25 ASISTENTES INSTITUCION NOMBRE FIPA 1. Luis Camora JAINE LENEWOR PIUD Intruis Arawis R. I FOP 2 IFOP Karen Walker V. IFOP 1. MARIO ACEVEDO 5. 6. Gustavo Sen Martín SUBPESCA SUBPESCA CLAN JORSE OLIVA LOVEL ZAIDA YOUNG. FOP Jose LONDOVA IFOD 10 Gabriel Jamy C PUCK-ECM 11. Januar Decker F BUCK-ECM 11, JATIME BERTAT alow Labor 12 Fabio Latoro R UST UAI/UST 13. Laura Damaps 14, Welson Lagos 15. Claudio Silva PUCU 16. Electerio Yaher PUCU A. José Josha m PUCV 18- Hª EUSIMin Gallando 19 - 11: Isabel Toledo PUCV

Programa Taller de Difusión



Identificación, Caracterización y Vulnerabilidad al Cambio Climático de Hábitat Esenciales Asociados a Recursos Hidrobiológicos de Importancia Económica en Chile FIP N°2014-25



TALLER DE DIFUSION DE RESULTADOS PROYECTO FIP 2014-25 "Identificación, Caracterización y Vulnerabilidad al Cambio Climático de Hábitat Esenciales Asociados a Recursos Hidrobiológicos de Importancia Económica en Chile"

Fecha: 1 de Julio 2016

Lugar: ECM-PUCV, Aula Ximena Reyes de Elton

9:30-9:35 hrs. Palabras de bienvenida. Director Escuela de Ciencias del Mar, PUCV. (Dr. Samuel Hormazábal)

9:35 -9:50 hrs. Contexto y descripción proyecto (Dr. Claudio Silva – Jefe Proyecto PUCV)

9:50-10:10 hrs. Matriz de conocimiento e información de variables oceanográficas y ambientales que caracterizan y delimitan el hábitat esencial asociado a los recursos pesqueros de interés en el presente estudio. (Ing. Pesq. (c) Eugenia Gallardo -PUCV)

10:10-10:25 hrs. Coffee Break

10:25 - 10:55 hrs. Modelo conceptual de hábitat esencial: anchoveta zona centrosur y jurel Chile (Ing. Pesq. (c) Eugenia Gallardo - PUCV)

10:55-11:15 hrs. Modelo predictivo de la distribución del hábitat esencial: anchoveta zona centro-sur y jurel Chile (Dr. Claudio Silva - PUCV)

11:15-11:55 hrs. Modelo conceptual y predictivo de la distribución del hábitat esencial: algas pardas zona norte (Dr. Fabio Labra - Universidad Santo Tomás)

11:55-12:25 hrs. Modelo conceptual y predictivo de la distribución del hábitat esencial: loco Chile (Dra. Laura Ramajo - Universidad Santo Tomás)

12:25-12:55 hrs. Modelo conceptual y predictivo de la distribución del hábitat esencial: chorito zona sur (Dr. Nelson Lagos - Universidad Santo Tomás)

12:55 - 13:15 hrs. Publicaciones en el marco del proyecto: Libro Yáñez et al., 2016; Ocean Dynamic - Yáñez et al., 2016; Progress in Oceanography - Silva et al., 2016 (Dr. Eleuterio Yáñez - PUCV)

13:15-13:30 hrs. Preguntas/Discusión

13:30-14:00 hrs. Cocktail de cierre

Noticias del Evento

El Taller de Difusión fue publicado en revistas digitales como Aqua y revista Nuestro Mar.



http://www.aqua.cl/2016/07/14/el-impacto-del-cambio-climatico-sobre-el-sector-pesquero-de-chile/



http://www.revistanuestromar.cl/nm/el-impacto-del-cambio-climatico-en-recursos-pesqueros-de-importancia-economicapara-chile/

Registro Fotográfico



Dr. Samuel Hormazábal.

Dr. Claudio Silva.



María Eugenia Gallardo.



Dr. Fabio Labra.


Dra. Laura Ramajo.



Dr. Nelson Lagos.



Dr. Eleuterio Yáñez.



Público asistente.