

PROYECTO FIP N° 2014-25

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

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).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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

RESUMEN

En primer lugar, se realizó una recolección bibliográfica que permitió generar un total de 601 referencias ingresadas a las librerías del ordenador bibliográfico 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 obtuvieron

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 correspondieron a artículos en revistas (324), seguidas de informes de proyectos (18), tesis y capítulos de libros aportaron con cuatro y cinco referencias respectivamente. En cuanto a las variables ambientales, para los recursos pelágicos, las mayores referencias se encontraron en relación a la temperatura, distribución, abundancia, biomasa, talla y desove. Para los recursos bentónicos la mayoría de las referencias se relacionaron 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 caracterizaron los distintos hábitats esenciales y las variables ambientales más relevantes para los recursos pesqueros. La distribución de jurel (*Trachurus murphyi*) frente a Chile se caracterizó 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 fue el oxígeno disuelto, junto a las masas de agua y presentó 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 se encontró que 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 en la 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.

En cuanto a las algas pardas, las variables ambientales que afectan el hábitat natural de este recurso son la temperatura, irradiación, salinidad, profundidad y tipo de sustrato. En la revisión bibliográfica se identificaron 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 m^2) 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 pesquero por lo cual se selecciona este período como representativo del régimen actual. La información de huevos de anchoveta representan 793 registros diarios georreferenciados de abundancia (N° Huevos/10 m^2) 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 estadio, 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 pesqueros 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 estadio de desarrollo. Posteriormente se elaboraron 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 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). 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.

Como actividad final, se realizó un Taller de Difusión el 01 de julio 2016, 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.