



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Programa de Magíster en Ciencias con mención en Oceanografía

**Aproximación a un modelo predictivo de uso de hábitat por
ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) basado en mediciones
oceanográficas satelitales, entre la Ecorregión Chiloense y el Golfo
de Corcovado (42°-45°S)**

Tesis para optar al grado de Magíster en ciencias con mención en Oceanografía

CARLOS ANTONIO CANTERGIANI SUAZO

CONCEPCIÓN - CHILE

2018

Profesor Guía: Dr. Gustavo Chiang Rojas

Director Científico

Fundación MERI

Profesor Co-guía: Dr. Wolfgang Schneider

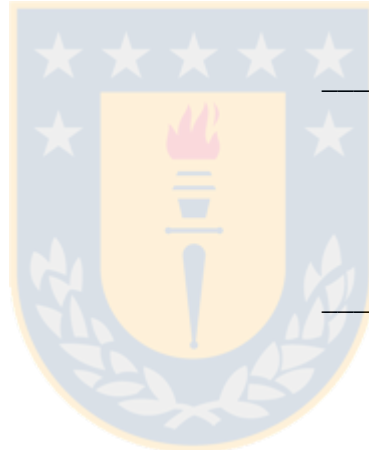
Departamento de Oceanografía

Universidad de Concepción

Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado

La Tesis de “*Magíster en ciencias con mención Oceanografía*” titulada “*Aproximación a un modelo predictivo de uso de hábitat por ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) basado en mediciones oceanográficas satelitales, entre la Ecorregión Chilense y el Golfo de Corcovado (42°-45°S)*”, del Sr. CARLOS CANTERGIANI SUAZO y realizada bajo la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, ha sido aprobada por la siguiente Comisión de Evaluación:

Dr. Wolfgang Schneider
Director de Tesis
Universidad de Concepción



Dr. Gustavo Chiang Rojas
Profesor Guía
Fundación MERI

Dr. Daniel P. Zitterbart
Evaluador Externo
Woods Hole Oceanographic Institution

Dr. Fabián Tapia
Director Magíster en Oceanografía
Universidad de Concepción

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todo el equipo MERI, Woods Hole Oceanographic Institute (WHOI), Stony Brook University, Stanford University y NOAA, por su participación en la Expedición de la Ballena Azul-MERI, por su importante esfuerzo en el avistamiento de cetáceos y la recolección de información mediante photo ID entre 2014 y 2017, y por compartir sus conocimientos y experiencia para el desarrollo de este manuscrito. Además, a la tripulación de las embarcaciones L/M Khronos y L/M Centinela, por todos los años de apoyo y logística en la expedición de la ballena azul MERI. Agradecemos el apoyo y cofinanciamiento de WWF Inc por medio del programa marino de WWF-Chile. Finalmente, un reconocimiento especial para el programa NASA DAAC Ocean Color, por permitirme utilizar sus datos Aqua MODIS y SNPP VIIRS. Este proyecto fue financiado por Fundación MERI.



Curriculum Vitae

Carlos Antonio Cantergiani Suazo

Nacido el 1 de agosto, 1986, en Talcahuano, Chile

2009-2014: Biólogo Marino, Universidad de Concepción, Chile.

2015-2018: Magíster en Ciencias con mención en Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile.

PUBLICACIONES

Cantergiani CA & GA Chiang (2018) Blue whales (*Balaenoptera musculus*) habitat selection in Chiloé inland sea: A correlation between presence and satellite oceanographic parameters. *Journal of Oceanography and Marine Research* (Aceptado)

Cantergiani CA, Bermedo LN, González-Aspee CC, Hidalgo MA, Paredes NE, Espinoza C & VA Gallardo (2014) Arrecifes artificiales como técnica de repoblamiento de recursos pesqueros costeros. Universidad de Concepción. 60pp.

ÁREAS DE INVESTIGACIÓN

Principal: Oceanografía Biológica

Secundaria: Oceanografía Física

Otras: Modelamiento

EXPERIENCIA DOCENTE

Ayudante curso: Ecología y Taxonomía de Copépodos, Universidad de Concepción, Chile, 2014.

Ayudante curso: Taller de Investigación en procesos Bentónicos, Universidad de Concepción, Chile, 2014

Ayudante curso: Sistemas Bentónicos y Demersales, Universidad de Concepción, Chile, 2013

Ayudante curso: Fundamentos de la Investigación Científica, Universidad de Concepción, Chile, 2013

CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS

“Ecología trófica y comportamiento de ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) y otros cetáceos en el Golfo Corcovado, Chile”, Fundación MERI, Chile, 2017-2018



TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iii
CURRICULUM VITAE.....	iv
TABLA DE CONTENIDO.....	vi
INDICE FIGURAS.....	vii
INDICE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
1.- INTRODUCCION.....	1
2.- HIPOTESIS Y OBJETIVOS.....	5
2.1.- Hipótesis.....	5
2.2.- Objetivo general.....	5
2.3.- Objetivos específicos.....	5
3.- MATERIALES Y METODOS.....	6
3.1.- Área de estudio.....	6
3.2.- Registros de avistamientos.....	7
3.3.- Parámetros oceanográficos.....	7
3.4.- Aproximación a un modelo predictivo.....	8
4.- CAPITULOS DE RESULTADOS.....	9
4.1.- CAPITULO 1: Correlación entre presencia de ballenas azules y parámetros oceanográficos satelitales.....	9
4.1.1.- Abstract.....	10
4.1.2.- Introduction.....	11
4.1.3.- Materials and Methods.....	13
4.1.4.- Results.....	15
4.1.5.- Discussion.....	23
4.1.6.- Conclusions.....	25
4.1.7.- Acknowledgements.....	26
4.1.8.- References.....	26
4.2.- CAPITULO 2: Aproximación a un modelo predictivo para avistamiento de ballenas azules.....	35
4.2.1.- Modelo de distribución de especies.....	35
4.2.2.- Modelo MaxEnt.....	38
5.- DISCUSION.....	40
6.- CONCLUSIONES.....	43
7.- REFERENCIAS.....	45

INDICE FIGURAS

Figura 1. Área marina de estudio comprendida entre la ecorregión Chiloense y el Golfo de Corcovado (42° - 45° S), Sur de Chile.....	6
Figura 2. Blue whale sightings during the austral summer campaigns in the Chilean Patagonia (42°S - 45°S). Blue circles represent 2014, green circles for 2015, red crosses for 2016, and black triangles for 2017. a) All data sightings & b) Major interest sites (nodes).....	16
Figura 3. Mean environmental characterization for each year from oceanographic parameters measured with satellites. a) SST, b) DAC, c) POC, d) Chl-a, e) NFLH, f) PIC, and g) PAR. Black circles report minimum seasonal value. White circles correspond to maximum seasonal value. Standard deviation is indicated with vertical error bars.....	22
Figura 4. Curvas de respuesta evaluado en modelo MaxEnt. Eje Y muestra la salida logística, mientras que en X se ubica cada parámetro evaluado. A) SST [°C], b) DAC [490 nm (m-1)], c) Chl-a [mg/m ³], d) POC [mg/m ³], e) NFLH [W/m ² /μm/sr], f) PAR [Einstein/m ² /sec] y g) PIC [mol/m ³].....	36
Figura 5. Porcentaje de contribución para cada parámetro permutado en el modelo MaxEnt con AUC = 0,798 (±0,178).....	37
Figura 6. Modelo de selección de hábitat para <i>Balaenoptera musculus</i> spp., basado en la probabilidad de encuentro en el mar interior de la Ecorregión Chiloense y el Golfo de Corcovado, Chile, basado en mediciones oceanográficas satelitales.....	39

INDICE TABLAS

Table 1. Summary information derived from campaigns carried out between 2014 and 2017 in the Chilean Patagonia during summer months.....	15
Table 2. Environmental parameters obtained through remote sensing for the blue whale sightings sites.....	17
Table 3. Kruskal-Wallis test for inter-annual comparisons of four years for each environmental parameter, measured by satellite. Parameter, P-value (P), significance level ($\alpha = 0.05$).....	17
Table 4. Spearman correlation for seven satellite-measured environmental parameters. Correlation coefficient (r) and probability value (P), with significance ($\alpha = 0.05$).....	22



RESUMEN

Las ballenas azules, categorizadas como “en peligro de extinción”, frecuentan las aguas del mar interior de Chiloé, intensificando su presencia durante los meses de verano, asociado a elevados niveles de productividad, siendo un sitio clave para la recuperación de la población. Ante las dificultades espacio-temporales existentes para registrar avistamientos de cetáceos, una alternativa son los estudios de SDM mediante sensoramiento remoto. Esta investigación desarrolla aproximaciones a un modelo predictivo del área con mayor probabilidad de uso de hábitat por ballenas azules, a través de mediciones oceanográficas satelitales.

Datos de presencia se registraron desde 2014 a 2017 durante el verano del hemisferio sur, entre la ecorregión Chiloense y el Golfo de Corcovado. Data ambiental satelital se obtuvo desde el sistema MODIS. Se aplicó test de Spearman para determinar correlación entre parámetros y datos de presencia. Para desarrollar el modelo predictivo se empleó un modelo de distribución de especies de máxima entropía (SDM-MaxEnt en Inglés).

Test de Spearman indica que la asociación de las variables PAR + POC ($r=0,785$), resulta ser la correlación que mejor explica la selección de hábitat. Por otro lado, el modelo MaxEnt, proporciona que las mayores contribuciones porcentuales para los parámetros ambientales son POC=45,1%, SST=33,5%, y Chl-a=11,2%. Para esta investigación, el modelo de selección de hábitat sitúa la mayor probabilidad de encuentro en el área Noreste del mar interior de Chiloé.

Debido a la alta variabilidad del ambiente marino, determinar la selección de hábitat es una contribución significativa al conocimiento de la ecología y distribución de las ballenas azules. Esto permite avanzar a desarrollar un modelo predictivo para la selección del hábitat, asociando observaciones de campo con parámetros ambientales como predictores de selección de hábitat y la probabilidad de encuentro, ante el intenso escenario de cambio climático.

Palabras clave: ballena azul, Maxent, SDM, Patagonia, Chiloé

ABSTRACT

Blue whales, categorized as "*endangered*", frequent the inland sea of Chiloé waters, intensifying their presence during the southern hemisphere summer, associated with high productivity levels, being a key site for population recovery. Considering the spatio-temporal difficulties to register cetacean sightings, an alternative is the SDM studies through remote sensing. This research develops approximations to a predictive model for habitat selection by blue whales, through satellite oceanographic measurements.

Presence data were recorded from 2014 to 2017 during the summer of the southern hemisphere, between the Chiloense eco-region and the Gulf of Corcovado. Environmental satellite data was obtained from MODIS. Spearman test was applied to determine correlation between parameters and presence data. To develop the predictive model, a species distribution model of maximum entropy (SDM-MaxEnt) was used.

Spearman's test indicates that the association of PAR + POC ($r = 0,785$), turns out to be the greater correlation that explains the habitat selection. Besides, MaxEnt model provides that the highest percentage contributions for environmental parameters was POC=45,1%, SST=33,5%, and Chl-a=11,2%. For this research, the habitat selection model places the highest probability of encounter in the Northeast area of the inland sea of Chiloé.

Due to the high variability of the marine environment, determining habitat selection is a significant contribution to the ecology and distribution knowledge of blue whales. This allows us to develop a predictive model for habitat selection by blue whales, associating field observations with environmental parameters as predictors of habitat selection and the probability of encounter, in this intense climate change scenario.

Key words: blue whale, Maxent, SDM, Patagonia, Chiloé

1.- INTRODUCCION

La ballena azul, *Balaenoptera musculus* (Linnaeus 1758), es considerado el más grande animal en el planeta Tierra (Colpaert et al., 2016), es una especie cosmopolita (Paniagua-Mendoza et al., 2017), cuyas poblaciones han disminuido drásticamente en las últimas décadas (Torres-Florez et al., 2012; Saddler et al. 2017). Esto ocurre especialmente para las subespecies de ballenas azules distribuidas en el hemisferio sur (Shabangu et al., 2017), siendo categorizada como “en peligro de extinción” acorde con la lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Reilly et al., 2008; Balcazar et al., 2015).

Con individuos adultos de 24,7 m de longitud promedio (Croll et al., 2001), su distribución en el hemisferio sur es aun pobremente entendida (Branch et al., 2007), esto debido al esfuerzo que conlleva realizar avistamientos y posteriores seguimientos en el ambiente marino (Viddi et al., 2010), dado que son altamente migratorias, habitan áreas remotas y tienen un bajo número de individuos (Balcazar et al., 2016; Torres-Florez et al., 2015). Para el hemisferio sur se reconoce la existencia de tres subespecies de ballenas azules: ballena azul pigmea (*Balaenoptera musculus brevicauda*), propia de la zona subantártica; ballena azul antártica (*Balaenoptera musculus intermedia*), que habita la zona antártica durante los veranos; y una subespecie denominada ballena azul chilena (*Balaenoptera musculus* spp.), la cual frecuenta los mares interiores de la Patagonia, siendo considerada un intermedio de tamaño entre las dos anteriores (Galletti-Vernazzani et al., 2007; Galletti-Vernazzani et al., 2012; Galletti-Vernazzani et al., 2014; Guass et al., 2016; Galletti-Vernazzani et al., 2017).

Actualmente se estima que existen ~303 ballenas azules entre los 18°S y 38°S de la costa de Chile (Williams et al., 2011). En tanto que para la zona conocida como “Ecorregión Chilense” (41°30' y 47°S), donde se concentraría la mayor población en el Pacífico sudeste (Buchan et al., 2010; Bocconcelli et al., 2015; Bocconcelli et al., 2016), se estima una abundancia total de ~222 (Hucke-Gaete et al., 2010) a ~570-760 individuos (Galletti-Vernazzani et al., 2012; Galletti-Vernazzani et al., 2017). Estas poblaciones se han determinado usando el método de marca y recaptura (por foto identificación). De esta forma,

un individuo es identificable mediante un patrón de forma y color en la piel, el cual es similar a ambos lados de la aleta dorsal a lo largo de su vida (Carvajal-Gómez., 2017), o bien, por cicatrices y lesiones de piel permanentes (Galletti-Vernazzani et al., 2012), las cuales podrían ser causa de mortalidades actuales (Brownell et al., 2007).

Estudios sobre distribución de cetáceos vinculan la selección de hábitat a patrones de movimiento y abundancia de las presas (Bailey et al., 2010), pese a esto, las condiciones oceanográficas pueden actuar como proxy del ambiente al que se relacionan frecuentemente (temperatura superficial, productividad, turbidez, profundidad, geografía del fondo, corrientes y mareas, entre otros) (Viddi et al., 2010). Es sabido que la ballena azul se alimenta en altas latitudes durante los periodos de verano y otoño, desplazándose hacia bajas latitudes en invierno (Hucke-Gaete et al., 2004; Branch et al., 2007; Hucke-Gaete et al., 2018); sin embargo, son escasos los registros de ballenas en meses de invierno (Zamorano-Abramson & Gibbons, 2010), por lo que conocer la estructura y distribución de la población es crucial para el correcto manejo de las especies (Balcazar et al., 2015). Predecir la selección de hábitat y áreas de forrajeo, así como proteger dichas zonas, es determinante para comprender la distribución y ecología de las ballenas (Gill et al., 2011). Recuperar las poblaciones es de relevancia, no sólo por ser un ícono de la conservación, si no, debido a su alta capacidad promover nutrientes mediante su ciclo alimenticio, constituyendo un elemento clave en el flujo de materia orgánica en los ecosistemas marinos (Durban et al., 2016).

Para la ballena azul, frecuentemente asociada a zonas de alta productividad con extensas y densas agregaciones de presas, principalmente eufáusidos (*Euphausia* spp.) (Gill et al., 2011), se han estimado tasas de demandas energéticas por individuo, con requerimientos del orden de 1120 ± 359 Kg de eufáusidos por día (Goldbogen et al., 2011).

El área de la Patagonia chilena podría constituirse como un sitio relevante para la recuperación de la población, dado que el lado occidental del mar interior de Chiloé y el Golfo de Corcovado (~41 - 43°S) son identificados como zonas de alimentación y lactancia para ballenas azules (Hucke-Gaete et al., 2004; Cabrera et al., 2005; Buchan, 2014b). Ahí se pueden observar concentraciones de ballenas azules entre diciembre y abril. El resto de los

meses del año se asumen desplazamientos estacionales de migración (Försterra & Häussermann, 2012; Buchan, 2014b; Buchan et al., 2015), lo cual es respaldado mediante estudios acústicos, postulando migraciones entre el golfo de Corcovado y el Pacífico tropical Oriental (Buchan et al., 2014). El norte de la Patagonia chilena es uno de los sistemas estuarinos más grandes del mundo, donde los fiordos conforman un ambiente oceanográfico complejo (Viddi et al., 2010; De Porras et al., 2014; Silva & Vargas, 2014). Las condiciones ambientales se influyen por la deriva de los vientos del oeste (WWD), a través de la ramificación sur de la Corriente de Humboldt (HCS), conocida como Corriente del Cabo de Hornos (CHC), corriente que transporta Agua Superficial Subantártica (SASW) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (ESSW) hacia el norte, entrando en canales y fiordos del sur de Chile (Viddi et al., 2010), mezclándose con agua de lluvias, ríos y deshielo glaciar, originando el Agua Superficial Subantártica Modificada (SASWM) (Sobarzo, 2009; Iriarte et al., 2010).

Durante el verano, las más altas temperaturas promedio están cerca de los 7°C, salinidad próxima a 34,1 psu y oxígeno disuelto con un valor de 7 ml/l⁻¹ (Sobarzo, 2009). En cuanto a niveles de clorofila-a (Chl-a), estos son semejantes a los encontrados en zonas de surgencia costeras tales como: Bahía de Valparaíso (3,8 – 13,2 mg Chl-a m⁻³), Bahía de Mejillones (0,5 – 50,0 mg Chl-a m⁻³) y Bahía de Concepción (1,0 – 35,0 mg Chl-a m⁻³), con un rango observado de 0,05 – 30,0 mg Chl-a m⁻³ (Lara et al., 2010), cuantificándose la productividad primaria entre 0,4 – 3,8 g C m⁻² d⁻¹ (Montero et al., 2011); propiciando un ambiente idóneo para la generación de densas agregaciones de eufáusidos y el forrajeo de la ballena azul (Buchan & Quiñones, 2016).

Considerando el esfuerzo de muestreo que implica registrar avistamientos de ballenas, un alto porcentaje de estudios se centran en investigaciones acústicas, para conocer la distribución y rutas migratorias (Balcazar et al., 2015; Balcazar et al., 2016, Buchan et al., 2014; Buchan et al., 2010; Paniagua-Mendoza et al., 2017; Shabangu et al., 2017; Saddler et al. 2017), no exento de complicaciones ya que el progreso de la sociedad ha conllevado un considerable aumento en el tráfico de embarcaciones, convirtiéndose en una potencial amenaza para las ballenas, sobre todo en cuanto a contaminación acústica se refiere (Colpaert et al., 2016). Otro tipo de estudios son los de sensoramiento remoto para telemetría, logrando identificar y

establecer rutas migratorias (Heide-Jorgensen, 2000; Kennedy, 2014; Miller et al., 2016; Quakenbush et al., 2013). En menor medida se realizan estudios genéticos con el fin de diferenciar entre subespecies (Torres-Florez et al., 2012; Torres-Florez et al., 2014) y modelamiento para estimar abundancias poblacionales (Williams et al., 2011).

Ante las dificultades espacio-temporal existentes para registrar avistamientos de cetáceos, utilizar mediciones oceanográficas satelitales resulta un importante predictor de selección de hábitat (Lanfredi et al., 2016), sobre todo considerando los nuevos estudios que indican relación entre la especie y el medio ambiente (Buchan & Quiñones, 2016), permitiendo realizar modelamientos para la selección de hábitat (Bombosch et al., 2014). La inclusión de imágenes satelitales de alta resolución (VHR, siglas en inglés), como las que proporciona WorldView2, cuya resolución alcanza 3,3 m en la banda de colores, permite incluso detectar y contar poblaciones de ballenas con tamaños superiores a 15 m (Fretwell et al., 2014), cuando estas se encuentran próximas a la superficie.

A través de sensoramiento remoto, diversos estudios tanto de distribución como de abundancia poblacional, asocian la selección de hábitat de cetáceos a zonas de alta productividad, cuantificando los blooms fitoplanctónicos mediante Chl-a superficial, alzándose como uno de los parámetros de mayor relevancia en SDM (Whitehead, 2002; Croll et al., 2005; Werdel & Bailey, 2005; Visser et al., 2011)

Debido a lo complejo del estudio de este tipo de mamíferos marinos y favorecido por el potencial que ofrecen las herramientas oceanográficas de sensoramiento remoto, esta investigación busca desarrollar aproximaciones a un modelo predictivo del área donde existe la mayor probabilidad de uso de hábitat por parte de estas ballenas, basado en las condiciones oceanográficas de la zona de interés. La oceanografía satelital representa una valiosa herramienta al momento de programar cruceros de investigación o bien al establecer zonas de monitoreo acústico pasivo (PAM, siglas en inglés). Estudios de modelamiento de selección de hábitat se han realizado para otras especies de ballenas, cuya distribución alcanza hasta el océano antártico, con un mayor número de individuos y rutas migratorias menos extensas (Bombosch et al., 2014; Shabangu et al., 2017)

2.- HIPOTESIS Y OBJETIVOS

2.1.- Hipótesis

Entre la Ecorregión Chiloense y el Golfo de Corcovado, la selección de hábitat de ballenas azules se correlaciona positivamente con la clorofila-a; a mayor concentración de clorofila-a, mayor es el número de ballenas.

2.2.- Objetivo general

Evaluar parámetros oceanográficos que pueden estar determinando la selección de hábitat por parte de las ballenas azules.

2.3.- Objetivos específicos

Determinar correlación entre presencia de ballenas azules y parámetros oceanográficos satelitales.

Desarrollar aproximación a un modelo predictivo para avistamiento de ballenas azules.



3.- MATERIALES Y METODOS

3.1.- Área de estudio

Gracias al esfuerzo conjunto entre Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) y Melimoyu Ecosystem Research Institute (MERI), entre los años 2014 a 2017, durante los meses correspondientes a verano en el hemisferio sur, se realizaron cruceros de investigación entre la ecorregión Chiloense y el Golfo de Corcovado (42° - 45° S), este y sur del mar interior de Chiloé y norte del canal Moraleda, (Figura 1), registrando avistamientos de ballenas azules.

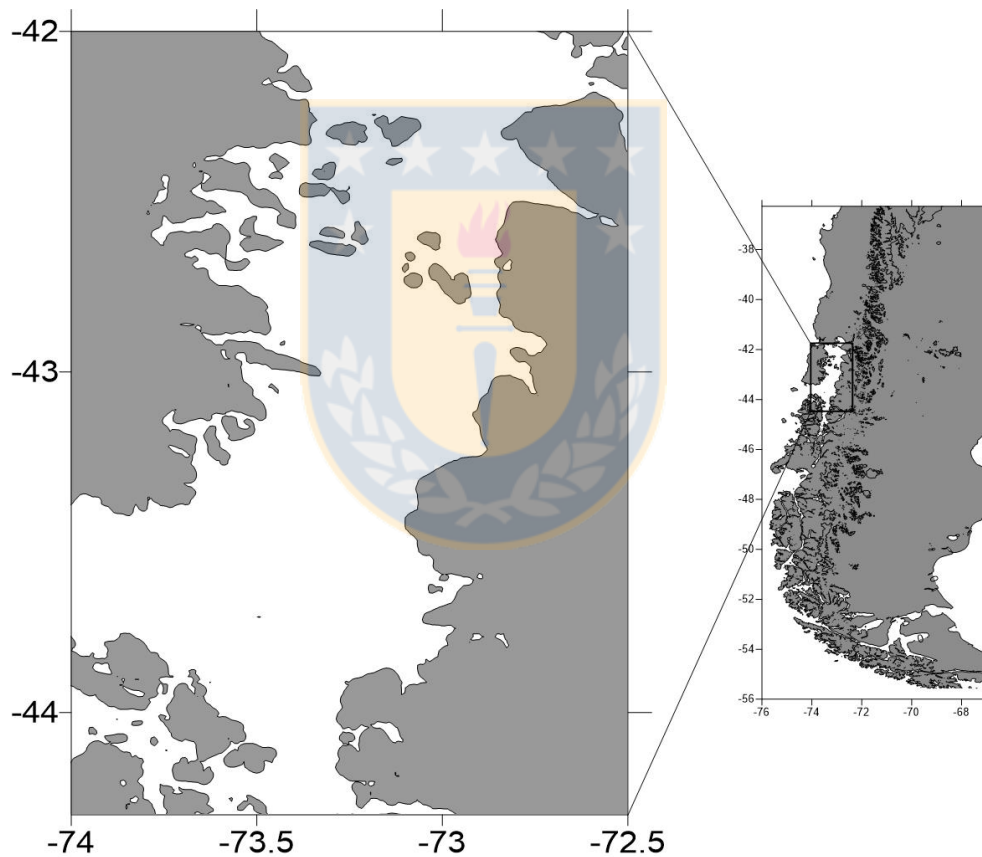


Figura 1. Área marina de estudio comprendida entre la ecorregión Chiloense y el Golfo de Corcovado (42° - 45° S), Sur de Chile. Fuente: Elaboración propia.

3.2.- Registros de avistamientos

Avistamientos son registrados cada año mediante Logger 2010 (IFAW) y foto identificación (Photo ID). Inicialmente se registra el soplido de la ballena, para luego dirigir la embarcación a no menos de 200 m del animal. El esfuerzo de muestreo y track de desplazamiento que realiza un individuo es registrado mediante Behavior Logging Program (LOGGER, IFAW 2010). Por otro lado, con Photo ID se logra diferenciar entre individuos avistados, además, se obtienen muestras de piel para análisis genéticos (Bocconcelli et al., 2014; Bocconcelli et al., 2015).

Base de datos de avistamientos fue procesada con el fin de generar sitios de mayor interés, por ajuste geográfico. Posición GPS se agruparon según la resolución del satélite (1 pixel = 4 km) y analizado vectorialmente considerando Media y desviación estándar, obteniéndose 1 punto por pixel.

3.3.- Parámetros oceanográficos

Data ambiental se obtuvo mediante el sistema Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), perteneciente al programa NASA, a través de sensores acoplados en satélites. Provee una resolución espacial de hasta 250 m y resolución temporal de hasta 8 horas, permitiendo obtener información de parámetros tales como: Clorofila-a (Chl-a), coeficiente de atenuación (DAC), temperatura superficial del mar (SST), carbono orgánico particulado (POC), radiación fotosintéticamente activa (PAR), carbono inorgánico particulado (PIC) y altura de línea de fluorescencia normalizada (NFLH)

Para lectura de imágenes satelitales se empleó software Ocean Data View (ODV) y MATLAB, datos se procesaron para generar figuras con la información obtenida para cada año de estudio.

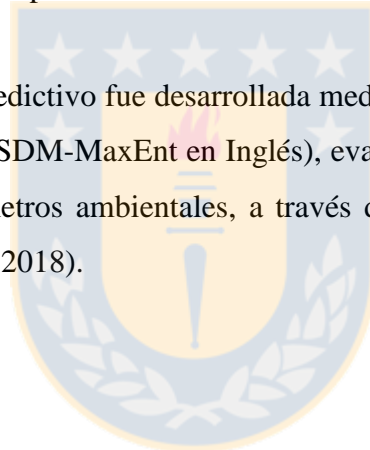
A fin de determinar variabilidad en una escala temporal, parámetros ambientales fueron evaluados a través de un test de Kruskal-Wallis, estableciendo la existencia o ausencia de diferencias significativas en los 4 años de estudio.

Mediante datos estacionales para cada parámetro estudiado, se caracteriza ambientalmente el área de estudio para cada año, indicando valor máximo y mínimo medido, permitiendo conocer la variabilidad del sistema.

Se aplicó correlación de Spearman, al set de datos no-paramétricos, a fin de determinar cuál o cuáles combinaciones de parámetros explican en mayor medida el avistamiento de ballenas azules, en función de la data medio ambiental registrada satelitalmente, dando respuesta sobre cuál(es) variable(s) oceanográficas son proxy idóneo para predecir la selección de hábitat. Dicha correlación se aplica debido a que el modelo de distribución de especie empleado, utiliza la combinatoria y/o permutación de los diversos parámetros estudiados.

3.4.- Aproximación a un modelo predictivo

La aproximación al modelo predictivo fue desarrollada mediante un modelo de distribución de especies de máxima entropía (SDM-MaxEnt en Inglés), evaluando avistamientos de la especie (presencia) asociados a parámetros ambientales, a través de la herramienta ArcGis v10.5 & MaXEnt 3.3.3K (Steven et al., 2018).



4.- CAPITULOS DE RESULTADOS

4.1.- CAPITULO 1: Correlación entre presencia de ballenas azules y parámetros oceanográficos satelitales

Enviado a *Journal of Oceanography and Marine Research* (under review); número de manuscrito: “ENVIRONSCI-18-493”.

Blue whale (*Balaenoptera musculus*) habitat selection in the Chiloé inland sea: a correlation between presence and satellite oceanographic parameters.

Carlos Cantergiani Suazo ^{1,2}

*Gustavo Chiang Rojas¹

Affiliations

1 Melimoyu Ecosystem Research Institute, Santiago, Chile

2 Graduate Program in Oceanography, Department of Oceanography, University of Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile.

*Corresponding author contact details:

Telephone: (+562) 2 953 5192

E-mail: gchiang@fundacionmeri.cl

Address: Av. Presidente Kennedy Lateral 5682, Vitacura, Santiago - Chile



4.1.1.- Abstract

Blue whale distribution in the southern hemisphere is still poorly understood due the highly migratory behavior of this species, the use of remote isolated areas as habitat, and the low number of individuals. Abundance is currently estimated from ~222 to ~570 - 760 individuals in the Chiloense ecoregion (41°30' - 47°S). The Chilean Patagonia, one of the largest estuarine systems in the world, could be a relevant site for population recovery, given that the western side of the inland sea of Chiloé and Corcovado Gulf have been identified as feeding and nursing zones for blue whales. Due to the spatio-temporal difficulties in cetacean sightings, using satellite oceanographic measurements is an important predictor of habitat selection.

During the austral summers of 2014-2017, research cruises were carried out between the Chiloense ecoregion and Corcovado Gulf, recording sightings of blue whale population. Environmental data was obtained through the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), providing information for an array of parameters.

The PAR+POC ($r=0.785$) association was the strongest correlation explaining habitat selection by blue whales, followed by NFLH+DAC ($r=0.775$) and POC+DAC ($r=0.698$). There are five parameters that present higher participation frequencies: PAR=4, NFLH=4, DAC=4, POC=3, and PIC=3. On the other hand, Chl-a and SST do not participate in strong combinations. Our results indicate that Chl-a is not a reliable indicator for habitat selection by blue whales in the inland sea of Chiloé, as it had been considered until this investigation. The combination between PAR and POC are parameters to be considered for SDM in this region.

Keywords: blue whale, Chilean Patagonia, remote sensing, habitat modeling, species distribution modeling

4.1.2.- Introduction

The blue whale, *Balaenoptera musculus* (Linnaeus 1758), is considered the largest animal on Earth [1]. This cosmopolitan species [2] has presented drastically decreased populations in the last decades [3], especially for the subspecies distributed in the southern hemisphere [4; 5; 6; 7]. Distribution in the southern hemisphere is still poorly understood [8; 9; 10] due to the great effort involved in sightings and monitoring in marine environments [11], their highly migratory behavior, the remote isolated areas they inhabit, and the low number of individuals [12; 13].

It is currently estimated that there are ~303 blue whales between 18°S and 38°S off the coast of Chile [14]. For the Chiloense ecoregion (41°30' - 47°S), where the largest population is concentrated in the Southeast Pacific [15; 16; 17], a total abundance between ~222 [18] and ~570 - 760 [6; 9] is estimated, determined by photo ID [19].

During summer and autumn, blue whales are known to feed at high latitudes, moving towards low latitudes in winter [8; 20; 21]. Knowing the structure and distribution of the population is crucial for the correct management of the species [22]. Cetacean distribution studies link habitat selection to prey abundance and movement patterns [23], where in the eastern Pacific Ocean, blue whales are associated with upwelling-modified waters that are highly productive and support dense aggregations of euphausiids [24]. Due to this, oceanographic conditions can act as a proxy for the environments to which they are frequently related (i.e. surface temperature, productivity, turbidity, depth, bottom geography, currents, and tides, among others) [11].

The Chilean Patagonia could be a relevant site for population recovery, as the western side of the inland sea of Chiloé and the Gulf of Corcovado (~41 - 43°S) are identified as feeding and nursing zones for blue whales [20; 25; 26]. Large concentrations of blue whales have been reported between December and April; the rest of the year researchers have assumed seasonal migration movements [26; 27; 28; 29], which is supported by acoustic studies, postulating migrations between the Gulf of Corcovado and the Tropical Eastern Pacific [27; 30].

Considering the sampling efforts involved in registering whale sightings, a high percentage of studies focus on acoustic research, assessing distribution and migratory routes [2; 7; 12; 17; 22; 26]. Another type of study applies remote sensing for telemetry to identify and establish migratory routes [31; 32; 33; 34]. Genetic studies are carried out in order to differentiate between subspecies [3; 35], and modeling is used to estimate population abundances [14]; there has been an increase in the development of species distribution models (SDM) and tools for statistical analysis of spatial distribution patterns [36].

The northern Chilean Patagonia is one of the largest estuarine systems in the world, where fjords form a complex oceanographic environment [11; 37; 38]. The environmental conditions are influenced by the West Wind Drift (WWD) through the southern branch of the Humboldt Current (HCS). This current, known as the Cape Horn Current (CHC), carries Sub Antarctic Surface Waters (SASW) to the north, which then enter channels and fjords in southern Chile [11], mixing with rainwater, rivers, and glacial melting, originating the Modified Sub Antarctic Surface Water (SASWM) [39; 40].

During summer, the highest average temperatures in the Chilean Patagonia reach close to 7°C, salinity is close to 34.1 psu, and dissolved oxygen is approximately 7 ml/l⁻¹[39]. Chlorophyll-a (Chl-a) levels are similar to those found in coastal upwelling areas such as Valparaíso Bay (3.8 - 13.2 mg Chl-a m⁻³), Mejillones Bay (0.5 - 50.0 mg Chl-a m⁻³), and Concepción Bay (1.0 - 35.0 mg Chl-a m⁻³), with an observed range of 0.05 - 30.0 mg Chl-a m⁻³[41], quantifying the primary productivity between 0.4 - 3.8 g C m⁻² d⁻¹[42]. These conditions propitiate an ideal environment for dense euphausiid aggregations and blue whale foraging [43]. Despite the evidence, the oceanographic characterization by satellite images of variables such as temperature and Chl-a in the Patagonian region is still insufficient [41].

Due to the spatio-temporal difficulties in cetacean sightings, using satellite oceanographic measurements in SDM [36; 44] is an important predictor of habitat selection [45], especially considering the new studies that indicate the relationship between the species and the environment [43], allowing modeling for habitat selection [46]. The inclusion of high

resolution satellite images (VHR), such as those provided by WorldView2, with resolutions reaching 3.3 m in the color band, allows even the detection and counting of larger sized whales (>15 m) [47], if swimming on the surface.

Through remote sensing, several studies of both distribution and population abundance associate the cetacean habitat selection to high productivity areas, quantifying phytoplankton blooms by surface Chl-a rising as one of the most relevant parameters in SDM [48; 49; 50; 51].

Predicting habitat suitability, selection and foraging areas is crucial to understanding the distribution and ecology of whales, as well as protecting those areas [52] and the subsequent implications in conservation and management strategies for those species [53; 54]. Recovering large baleen whale populations is important, not only because they are an icon of conservation, but also due to their high capacity to promote nutrients through their food cycle, constituting a key element in the organic matter flux in marine ecosystems [55].

Due to the complexity in studying open-water marine mammals and favored by the potential offered by remote sensing oceanographic tools, this research aims to assess the possible relationship between blue whale habitat selection and oceanographic parameters measured with satellite sensors over the Chiloé inland sea.

4.1.3.- Materials and Methods

Study area

Research cruises were carried out during the austral summers from 2014 to 2017 between the Chiloense ecoregion and the Gulf of Corcovado (42° - 45°S), east and south of the inland sea of Chiloé and north of the Moraleda channel, recording sightings of blue whales.

Sightings

Sightings were recorded every year with Logger 2010 (IFAW) and photo identification (Photo ID). Initially the whale blow is registered from the vessel, which is then directed to be 200 m

away from the animal. The sampling effort and displacement track carried out by an individual is registered through the Behavior Logging Program (LOGGER, IFAW 2010). On the other hand, Photo ID allows differentiating between identified individuals [19]. Skin samples were obtained for genetic analysis as a complement to Photo identification [15, 56].

The sightings database was processed in order to generate major interest sites by geographical adjusting. Sighting positions were grouped according to satellite resolution (1 pixel= 4 km) with a vector analysis, considering mean and SD, obtaining one point per pixel.

Oceanographic Parameters Data

Environmental data was obtained through the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) system, belonging to the NASA program, through sensors coupled in satellites (NASA, 2014, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). This provides a spatial resolution of up to 250 m and a time resolution of up to 8 hours, allowing information on parameters such as Chlorophyll-a (Chl-a), attenuation coefficient (DAC), sea surface temperature (SST), particulate organic carbon (POC), photosynthetically active radiation (PAR), particulate inorganic carbon (PIC), and normalized fluorescence line height (NFLH).

Ocean Data View (ODV) and MATLAB software were used to read satellite images. Data were processed to generate figures with the information obtained for each year of study. Information at a spatial scale was tested by seasonal averages for each parameter studied.

A Kruskal-Wallis test (Kruskal-Wallis One Way Anova on Ranks) for inter-annual comparisons of four years and a Spearman correlation test (non-parametric correlations) were carried out to determine the level of correlation with the presence of blue whales, indicating which oceanographic parameters were suitable proxy for predicting habitat selection.

4.1.4.- Results

Blue whale presence in the study area

Between 2014 and 2017 the sampling effort, as well as the total number of sightings, varies due to the prevailing climate conditions, which facilitate or hinder encounters. We summarized the present information on sampling dates, from departure to final landfall (Table 1). The total sampling effort was calculated with 15 hours of daily search and total sightings for each campaign. The greatest sampling effort was made in 2014, obtaining the lowest number of sightings (18), while in 2016, with 210 hours of sampling effort, 86 sightings were obtained, being the highest among the four study years. Daily group size represents number variability among individual and grupal sightings along the days. The most common group size was 1 individual per encounter. Only in 2016 the group size reaches up to 3 animals in one encounter.

Table 1. Summary information derived from campaigns carried out between 2014 and 2017 in the Chilean Patagonia during summer months.

Year	Sampling date	Sampling effort (Days/Hours)	Total sightings (Individuals)	Daily group size			
	(Day/Month)			Mean	SD	max	min
2014	17/03 - 24/04	39/585	18	1.1	0.3	2	1
2015	12/02 - 08/03	25/375	82	1.0	0.3	2	1
2016	18/02 - 03/03	14/210	86	1.2	0.4	3	1
2017	20/02 - 04/03	13/195	23	1.1	0.3	2	1

Sightings and major interest sites

A whale sighting is defined geographically for each research campaign, assigning a gps positioning point to each differentiated individual (Figure 1a).

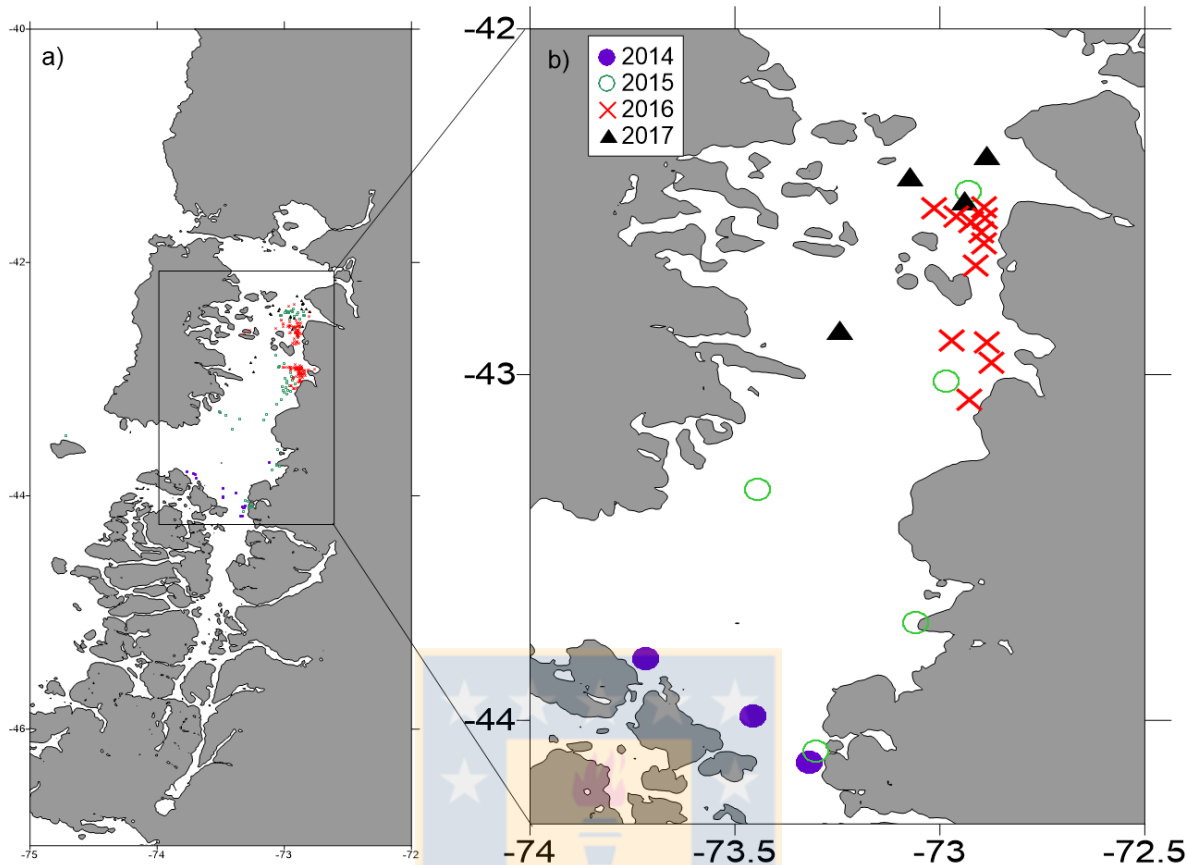


Figure 2. Blue whale sightings during the austral summer campaigns in the Chilean Patagonia (42°S - 45°S). Blue circles represent 2014, green circles for 2015, red crosses for 2016, and black triangles for 2017. a) All data sightings & b) Major interest sites (nodes).

Although the main interest is focused on the geographical points, the coordinates are grouped into major interest sites (interest nodes) (Figure 2b), processing and coupling those that overlap within the resolution level allowed by satellite images, obtaining a total of 24 points.

Oceanographic parameters

Satellite oceanographic data (Table 2) was obtained using the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS platform for all parameters except for PIC, for which data was obtained from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite - VIIRS.

The seven parameters obtained from MODIS have temporal and spatial resolution according to the purpose of our investigation. Other parameters available on the MODIS platform only

have a semi-annual or annual time scale. In some cases, the parameters do not have data for the inland sea of Chiloé. SST has a resolution level of 1km and processing level L4, which means the data is the result of lower level variable analysis (e.g. derived variables). The remaining parameters have 4km of resolution and L3 processing level, which implies data mapped in uniform scales (spatio-temporal variables).

Table 2. Environmental parameters obtained through remote sensing for the blue whale sightings sites.

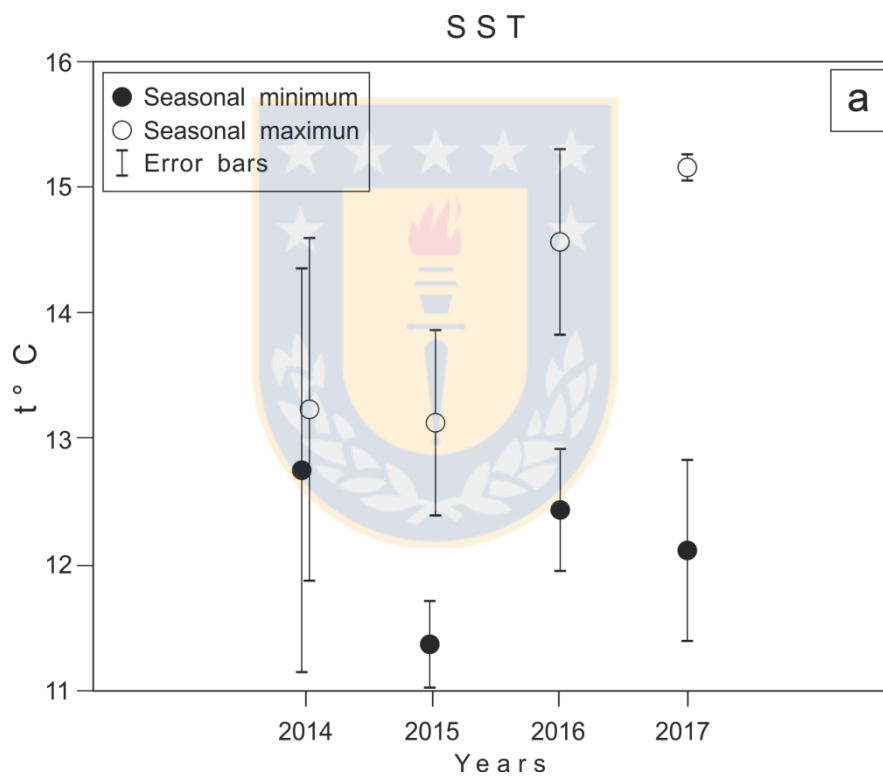
Parameter	Abbreviation	Source	Scale	Units
Sea Surface Temperature	SST	Aqua MODIS	0 - 32	°C
Attenuation Coefficient	DAC	Aqua MODIS	0.01 - 5	490 nm (m-1)
Chlorophyll-a	Chl-a	Aqua MODIS	0.01 - 10	mg/m ³
Particulate organic Carbon	POC	Aqua MODIS	10 - 1000	mg/m ³
Normalized fluorescence line height	NFLH	Aqua MODIS	0 - 0.5	W/m ² /μm/sr
Photosynthetic Available radiation	PAR	Aqua MODIS	0 - 0.0024	Einstein/m ² /sec
Particulate inorganic Carbon	PIC	SNPP VIIRS	1e-05 - 0.05	mol/m ³

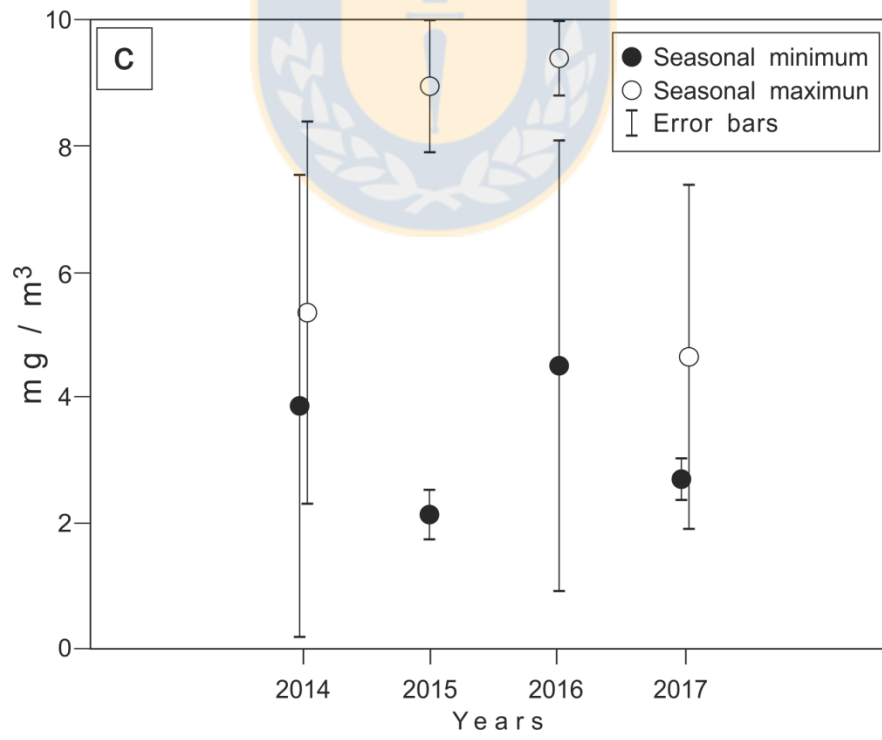
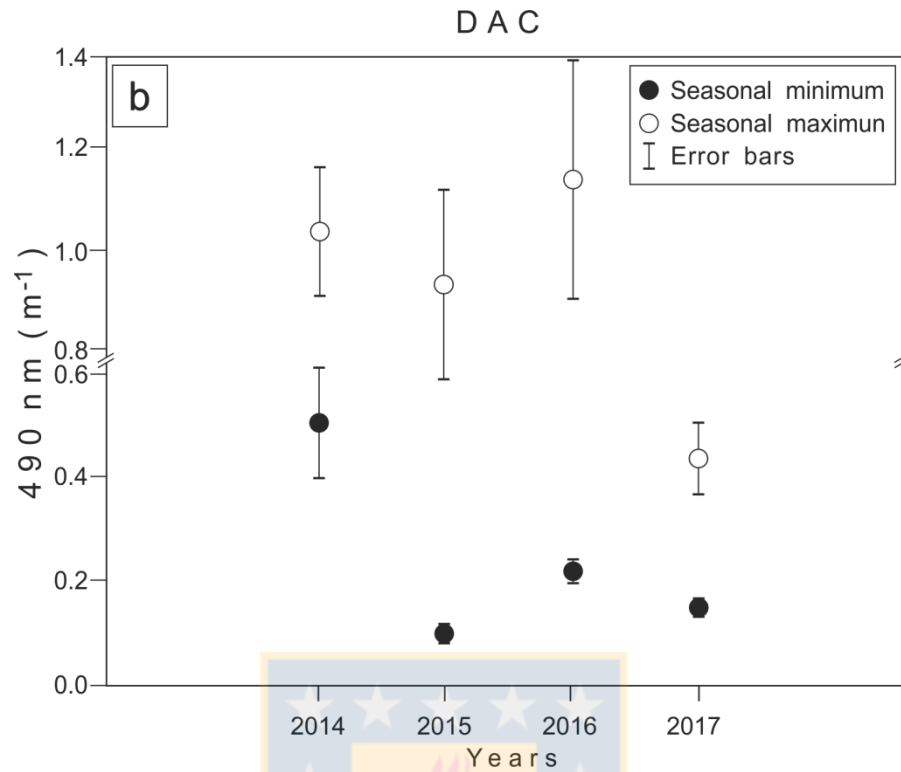
Environmental characterization

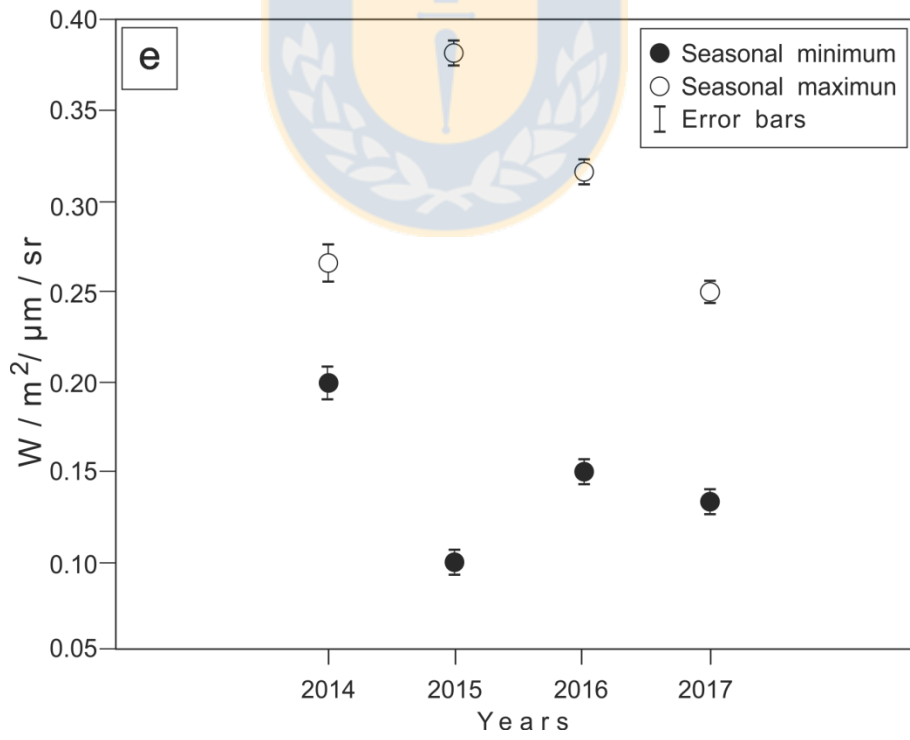
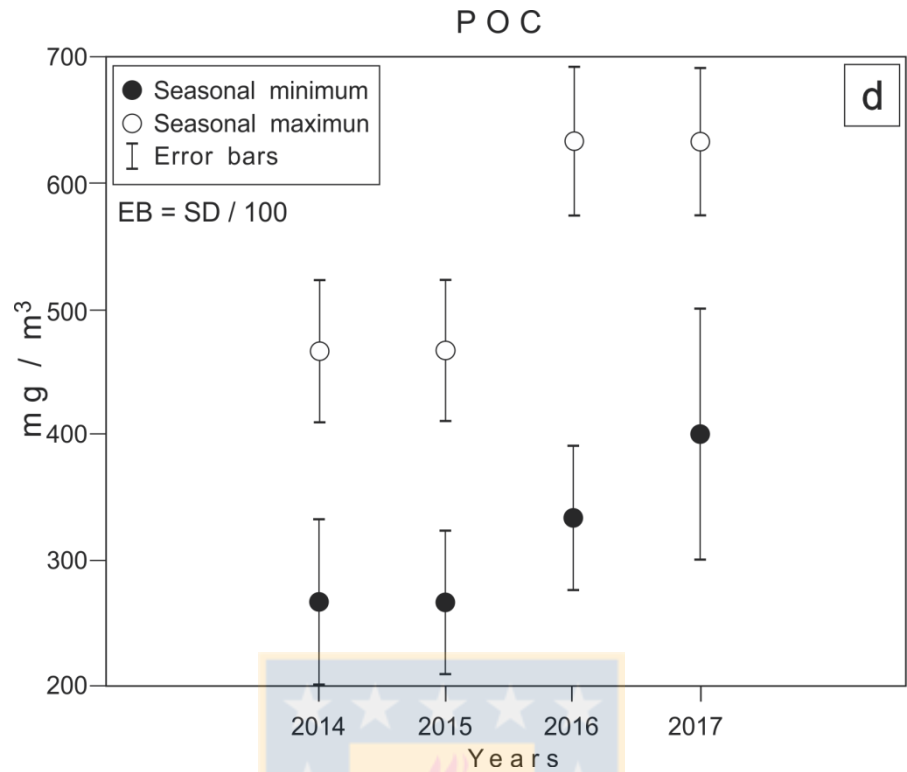
According to the Kruskal-Wallis test results (Table 3) for the seven oceanographic parameters obtained from Satellite remote sensing between 2014 and 2017 in the austral summer, five of the oceanographic parameters (SST, DAC, POC, PAR, and PIC) presented differences in the median values among the treatment groups greater than would be expected by chance, indicating a statistically significant difference. The two remaining parameters (Chl-a and NFLH) present differences in the median values among the treatment groups which are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; i.e., there is not a statistically significant difference for the same period.

Table 3. Kruskal-Wallis test for inter-annual comparisons of four years for each environmental parameter, measured by satellite. Parameter, P-value (P), significance level ($\alpha = 0.05$).

Parámetro	P
SST	0,028
DAC	0,029
Chl-a	0,079
POC	0,040
NFLH	0,264
PAR	0,006
PIC	0,045







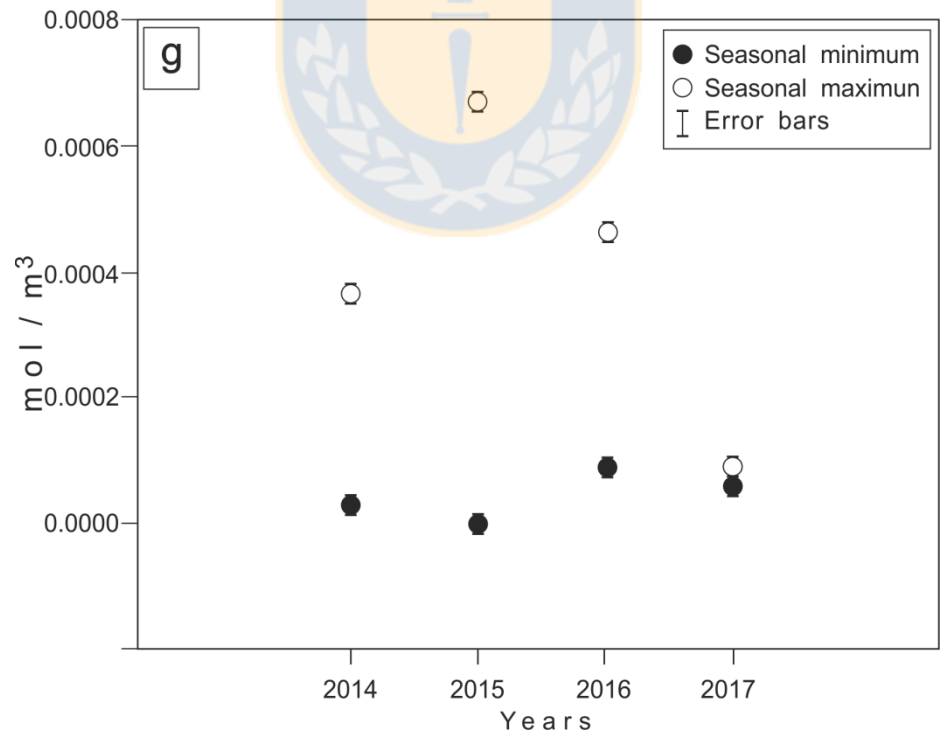
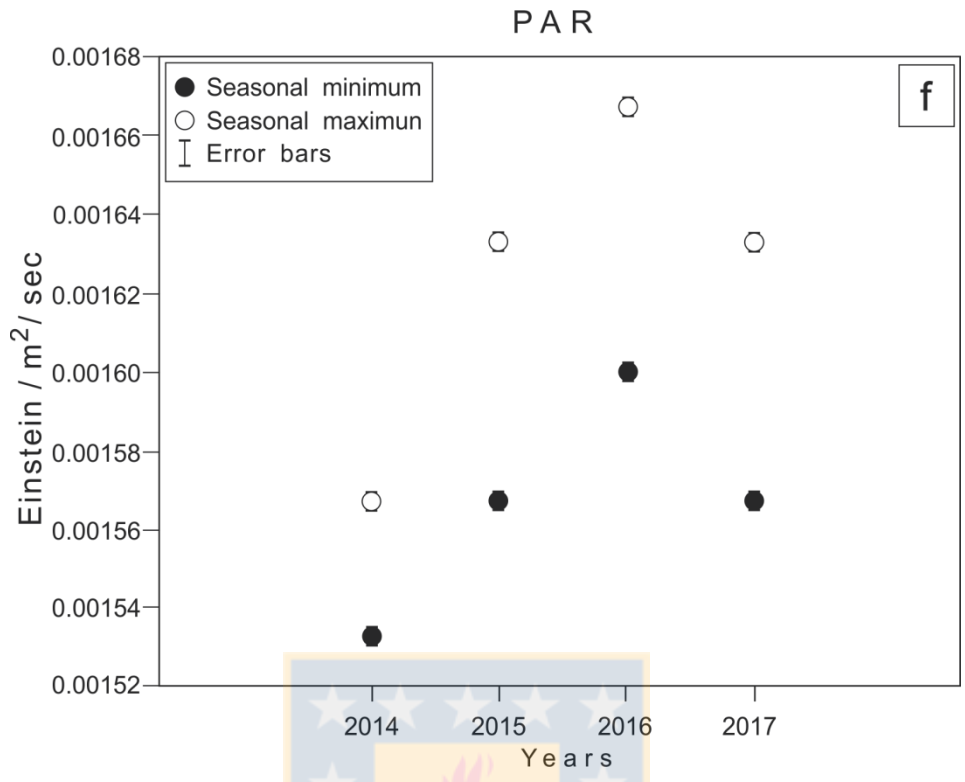


Figure 3. Mean environmental characterization for each year from oceanographic parameters measured with satellites. a) SST, b) DAC, c) POC, d) Chl-a, e) NFLH, f) PIC, and g) PAR. Black circles report minimum seasonal value. White circles correspond to maximum seasonal value. Standard deviation is indicated with vertical error bars.

Natural variability in the environment is always present. For SST (Figure 3a), measured in °C, values tend to intensify over time, increasing the maximum value and decreasing the minimum value. For DAC (Figure 3b), measured in the spectrum of 490 nm (m^{-1}), maximum values remained similar for the first 3 years, decreasing considerably in 2017. Chl-a (Figure 3c), measured in mg/m^3 , presented a marked variability in the four study years reaching its highest records in 2015 and 2016. For POC (Figure 3d), measured in mg/m^3 , error bars are decreased dividing $SD/100$, evidencing that both the maximum and minimum values have increased over time. NFLH (Figure 3e), measured in $W/m^2/\mu m/sr$, with notorious variability in time, presented its highest and lowest records in the same year, 2015. For PAR (Figure 3f), measured in $Einstein/m^2/sec$, with highly variable records throughout the four study years, the lowest value measured occurs in 2014 and the maximum value in 2016. For PIC (Figure 3g), measured in mol/m^3 , the minimum values measured remain relatively similar over the years, while the maximum values vary peaking in 2015.

Spearman correlation

A Spearman correlation was applied to the non-parametric data set in order to determine which parameter combinations best explain the sighting of blue whales based on the satellite-recorded environmental data.

Table 4. Spearman correlation for seven satellite-measured environmental parameters. Correlation coefficient (r) and probability value (P), with significance ($\alpha = 0.05$).

Parameters			r	P Value	Correlation category
PAR	+	POC	0.785	0.0000002	<i>Strong</i>
NFLH	+	DAC	0.775	0.0000002	<i>Strong</i>
POC	+	DAC	0.698	0.0000986	<i>Strong</i>
PAR	+	NFLH	0.694	0.000121	<i>Strong</i>
NFLH	+	POC	0.664	0.000369	<i>Strong</i>

PIC	+	PAR	0.642	0.000703	<i>Strong</i>
PIC	+	DAC	0.611	0.00155	<i>Strong</i>
PAR	+	DAC	0.603	0.00189	<i>Strong</i>
PIC	+	NFLH	0.6	0.00201	<i>Strong</i>
Chl-a	+	PAR	0.588	0.00261	<i>Moderate</i>
Chl-a	+	DAC	0.517	0.00995	<i>Moderate</i>
POC	+	SST	0.494	0.0143	<i>Moderate</i>
PIC	+	POC	0.491	0.0149	<i>Moderate</i>
NFLH	+	SST	0.441	0.031	<i>Moderate</i>
Chl-a	+	POC	0.426	0.0377	<i>Moderate</i>

According to the sighting nodes (n=24), for the seven oceanographic parameters, the Spearman correlation test (Table 4) indicates that there are six possibilities of co-variable combinations with "moderate" correlation (0.40 to 0.59), and nine with "strong" correlation (0.60 to 0.79).

The Spearman correlation test for all oceanographic parameters measured showed that the association of PAR+POC (r=0.785) was the strongest correlation that explains habitat selection by blue whales in the inland sea of Chiloé in the Chilean Patagonia, followed by NFLH+DAC (r=0.775) and POC+DAC (r=0.698).

For the Strong combinations, there are five parameters that present higher participation frequencies: PAR=4, NFLH=4, DAC=4, POC=3 and PIC=3. On the other hand, Chl-a and SST do not participate in Strong combinations.

4.1.5.- Discussion

Marine ecosystems are dynamic and fluid with temporal variability from diel to decadal scales, and spatial variability from meters to kilometers or more [36]. This spatio-temporal variability represents new challenges in habitat model development, increasing statistical procedures and explanatory variables [44]. Satellite images are powerful tools for describing and predicting species structures and spatial distributions in complex geographic regions [57], aiding in the comprehension of the physical and biological processes taking place in the ocean [41].

Describing and understanding the processes that determine the distribution of organisms is a fundamental problem in ecology, and as mentioned before, with important implications in conservation and management [36]. Models that over- or underestimate density patterns for species distributions can be counterproductive in order to mitigate harm or minimize anthropogenic impacts [53]. Therefore, we must be prudent with the research technique limitations/implications, considering satellite data availability and resolutions for habitat models due to cloud cover, distance to coast, processing level, time and space scales, among others [54]. Also, we should consider both local oceanographic processes and geography, because even when we compare similar systems, the result can be different; for example, Gill et al. [52] made a habitat selection model for blue whales in upwelling system in Australia, with SST and surface Chl-a as the best response parameters.

Previous studies of cetacean habitat modeling integrate oceanographic parameters from various information sources in order to determine, for example, population densities [57] or individuals distribution [58], with the most frequent parameters being SST, Chl-a, distance to the coast, sea altimetry, bottom bathymetry, among others [53; 59]. This allows establishing key zones for the development of species [60], especially for blue whale foraging, identifying dense aggregations of krill in high productivity areas [52, 61]. Remote sensing research to assess both distribution and population sizes has caught the scientific community's attention, developing several studies for other cetacean species, such as Southern right whales (*Eubalaena australis*), with distribution patterns from 172 records associated to SST and depth [47; 62], and Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*), with migration patterns associated with phytoplankton abundance, measured by Chl-a [51; 63].

The use of remote sensing data to study the ocean has several advantages, such as the opportunity to obtain a wide coverage at fine spatial detail [64]. The most commonly used parameter is Chl-a due to the strong correlation with phytoplankton availability [65; 66]. POC, which includes autotrophic and heterotrophic organisms and biogenic detrital particles, represents one of the most significant carbon reservoirs [67] and shows positive correlation between in situ and satellite measurements [68]. Both present scarce studies in the Chilean Patagonia.

The inner sea of Chiloé, considered a semi-closed environment, is controlled by micro-basins, geographical barriers, high precipitation rates, and high river flow down the east coast [41; 69], hindering the flux of both Sub Antarctic Waters and Equatorial Subsurface Waters towards the northern zone [70]. These characteristics are decisive for prediction settings in marine environments due to the influence they exert on oceanographic parameters [71], allowing optimal conditions for upwelling systems and high productivity [72].

4.1.6.- Conclusions

To investigate cetaceans in oceans it is fundamental to consider distribution and abundance patterns, as well as temporal and spatial scales that structure the populations, which is usually one of the main limitations. Determining if habitat selection is controlled by environmental characteristics is a significant contribution to knowledge regarding blue whale ecology.

The marine environment is highly dynamic, constantly influenced by physical, chemical, and biological processes, so the selection of parameters to be evaluated in a Species Distribution Model (SDM) must be sufficiently inclusive to avoid uncoupling, over-, or underestimations. Also, we must consider that the results obtained in a specific geographical area are not necessarily extrapolated to others with similar characteristics.

Our results, for seven oceanographic parameters measured by satellite, indicate that Chlorophyll-a (Chl-a) is not a reliable indicator for habitat selection by blue whales in the inland sea of Chiloé, as it had been considered until this study. The combination between photosynthetically active radiation (PAR) and particulate organic carbon (POC) are parameters to be considered for SDM in this region, possibly due to the fact that we are in an area of high productivity, favoring the accumulation of krill (secondary production).

SDM must necessarily be contrasted with in situ observations; thus, intensifying efforts to investigate large marine mammal populations is advisable. This new contribution allows us to continue with our purpose of developing a predictive model approach for habitat selection by

blue whales with a high-fidelity level, associating field observations with environmental parameters as predictors of habitat selection and encounter probability.

4.1.7.- Acknowledgements

We would like to thank the entire MERI-Woods Hole Oceanographic Institute-Stony Brook University-Stanford University-NOAA Blue Whale Expedition team, for their significant effort in sighting and collecting photo ID between 2014 and 2017, and for sharing their knowledge and experience for this manuscript. Also, to the crews of L/M Khronos and L/M Centinela for all the years of support and logistics in the MERI Blue Whale Expedition. We thank WWF Inc support and cofinancing through the marine program of WWF-Chile. Finally, a special acknowledgement for NASA DAAC Ocean Color for both data sets Aqua MODIS & SNPP VIIRS. This project was funded by MERI Foundation.

4.1.8.- References

- 1.- Colpaert W, Landea R, Chiang, G, Sayigh L (2016) Blue whales of the Chiloé-Corcovado region, Chile: Potential for anthropogenic noise impacts. *Proceedings of Meetings on Acoustics* 27:10-16. DOI: [.org/10.1121/2.0000304](https://doi.org/10.1121/2.0000304).
- 2.- Paniagua-Mendoza A, Gendron D, Romero-Vivas E, Hildebrand JA (2017) Seasonal acoustic behavior of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science*, 33(1), 206–218. DOI: [.org/10.1111/mms.12362](https://doi.org/10.1111/mms.12362).
- 3.- Torres-Florez JP, Hucke-Gaete R, Rosenbaum H, Figueroa CC (2012) Isolation and characterization of nine new polymorphic microsatellite loci for blue whales (*Balaenoptera musculus*). *Conservation Genetics Resources* 4(4): 1023–1025. DOI: [org/10.1007/s12686-012-9698-2](https://doi.org/10.1007/s12686-012-9698-2).
- 4.- Galletti-Vernazzani B, Carlson C, Cabrera E, Jr RL (2007) Status of blue whales off Isla de Chiloe, Chile , during 2008 field season. Lighthouse. Annual report (CCC). 9pp. Paper SC/59/SH1 presented to the International Whaling Commission Scientific Committee.
- 5.- Guass O, Haapanen LM, Dowd SE, Širović A, McLaughlin RW (2016) Analysis of the microbial diversity in faecal material of the endangered blue whale, *Balaenoptera*

- musculus*. Antonie van Leeuwenhoek 109(7): 1063–1069. DOI: 10.1007/s10482-016-0698-1.
- 6.- Galletti-Vernazzani B, Jackson JA, Cabrera E, Carlson CA, Brownell RL (2017) Estimates of Abundance and Trend of Chilean blue whales off Isla de Chiloé, Chile. 16pp. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.
 - 7.- Shabangu FW, Yemane D, Stafford KM, Ensor P, Findlay KP (2017) Modelling the effects of environmental conditions on the acoustic occurrence and behaviour of Antarctic blue whales. Plos One. 12(2), e0172705. DOI: 10.1371/journal.pone.0172705.
 - 8.- Branch TA, Stafford KM, Palacios DM, Allison C, Bannister JL, Burton CL, Warneke RM (2007) Past and present distribution, densities and movements of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Southern Hemisphere and northern Indian Ocean. Mammal Review, 37(2), 116–175. DOI: 10.1111/j.1365-2907.2007.00106.x.
 - 9.- Galletti-Vernazzani B, Carlson CA, Cabrera E, Brownell Jr. RL (2012) Chilean blue whales off Isla Grande de Chiloé, 2004–2010: distribution, site-fidelity and behavior. Journal Cetacean Research Management. 12(3): 353-360.
 - 10.- Galletti-Vernazzani B, Cabrera E (2014) Eastern South Pacific southern right whale photo-identification catalog reveals behavior and habitat use patterns. Marine Mammal Science. 30(1): 389-398. DOI: 10.1111/mms.12030.
 - 11.- Viddi FA, Torres-Flores JP, Ribeiro S (2010) Spatial and seasonal variability in cetacean distribution in the fjords of northern Patagonian, Chile. Spatial and seasonal variability in cetacean distribution in the fjords of northern Patagonian Chile. Journal of Marine Science 67: 959–970. DOI: 10.1093/icesjms/fsp288
 - 12.- Balcazar NE, Klinck H, Nieukirk SL, Mellinger DK, Klinck K, Dziak RP, Rogers TL (2016) Using calls as an indicator for Antarctic blue whale occurrence and distribution across the southwest Pacific and southeast Indian Oceans. Marine Mammal Science 33: 1–15. DOI: 10.1111/mms.12373.
 - 13.- Torres-Florez JP, Olson PA, Bedriñana-Romano L, Rosenbaum H, Ruiz J, LeDuc R, Hucke-Gaete R (2015) First documented migratory destination for eastern South Pacific blue whales. Marine Mammal Science 31(4), 1580–1586. DOI: 10.1111/mms.12239.

- 14.- Williams R., Hedley SL, Branch TA, Bravington MV, Zerbini AN, Findlay KP (2011) Chilean Blue Whales as a Case Study to Illustrate Methods to Estimate Abundance and Evaluate Conservation Status of Rare Species. *Conservation Biology* 25(3): 526–535. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2011.01656.x
- 15.- Bocconcelli A, Hickmott L, Briones RL, Howes G, Sayigh L (2015) Blue whales (*Balenoptera musculus*) in the Canal Moraleda and Golfo Corcovado, Chile. MTS/IEEE OCEANS 2015 - Genova: Discovering Sustainable Ocean Energy for a New World, 1–9. DOI: 10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271519.
- 16.- Bocconcelli A, Hickmott L, Chiang G, Bahamonde P, Howes G, Landea-Briones R, Sayigh L (2016) DTAG studies of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of Corcovado, Chile, 40002(2016), 40002. DOI: 10.1121/2.0000269.
- 17.- Buchan SJ, Rendell LE, Hucke-Gaete R (2010) Preliminary recordings of blue whale (*Balaenoptera musculus*) vocalizations in the Gulf of Corcovado, northern Patagonia, Chile. *Marine Mammal Science* 26(2), 451–459. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2009.00338.x.
- 18.- Hucke-Gaete R, Álvarez R, Navarro M, Ruiz J, Lo Moro P, Farías A (2010) Investigación para Desarrollo de Área Marina Costera Protegida Chiloé-Palena-Guaitecas. Informe Final. FNDR - BID TURISMO BIP N ° 30040215-0, Gobierno Regional de Los Lagos. CONAMA 774pp.
- 19.- Carvajal-Gámez BE, Trejo-Salazar DB, Gendron D, Gallegos-Funes FJ (2017) Photo-ID of blue whale by means of the dorsal fin using clustering algorithms and color local complexity estimation for mobile devices. *Eurasip Journal on Image and Video Processing*. DOI: 10.1186/s13640-016-0153-2.
- 20.- Hucke-Gaete R, Osman LP, Moreno CA, Findlay KP, Ljungblad DK (2004) Discovery of a blue whale feeding and nursing ground in southern Chile. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 271: S170-S173 DOI: 10.1098/rsbl.2003.0132
- 21.- Hucke-Gaete R, Bedriñana-Romano L, Viddi FA, Ruiz JE, Torres-Flores JP, Zerbini AN (2018) From Chilean Patagonia to Galapagos, Ecuador: novel insights on blue whale migratory pathways along the Eastern South Pacific. *PeerJ*:e4695. DOI: 10.7717/peerj.469

- 22.- Balcazar NE, Tripovich JS, Klinck H, Nieu Kirk SL, Mellinger DK, Dziak RP, Rogers TL (2015) Calls reveal population structure of blue whales across the Southeast Indian Ocean and the Southwest Pacific Ocean. *Journal of Mammalogy* 96(6): 1184–1193. DOI: 10.1093/jmammal/gyv126.
- 23.- Bailey H, Mate BR, Palacios DM, Irvine L, Bograd SJ, Costa DP (2010) Behavioural estimation of blue whale movements in the Northeast Pacific from state-space model analysis of satellite tracks. *Endangered Species Research*, 10(1): 93–106. DOI: 10.3354/esr00239.
- 24.- Redfern JV, Moore TJ, Fiedler PC, de Vos A, Brownell RL, Forney KA, Becker EA, Ballance LT (2017) Predicting cetacean distributions in data-poor marine ecosystems. *Diversity and Distributions* 23(4): 394-408. DOI: 10.1111/ddi.12537.
- 25.- Cabrera E, Carlson C, Galletti-Vernazzani B (2005) Presence of blue whale (*Balaenoptera musculus*) in the northwestern coast of Chiloé Island, southern Chile. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 4(1), 73–74. DOI: 10.5597/lajam00073.
- 26.- Buchan SJ (2014) Acoustic presence of blue whales (*Balaenoptera musculus*) and foraging conditions in the Corcovado Gulf, Chilean Patagonia. Thesis for Ph.D degree. FCNO, Universidad de Concepción, Chile. 143pp.
- 27.- Buchan SJ, Hucke-Gaete R, Rendell L, Stafford KM (2014) A new song recorded from blue whales in the Corcovado Gulf, Southern Chile, and an acoustic link to the Eastern Tropical Pacific. *Endangered Species Research* 23(3): 241–252. DOI: 10.3354/esr00566.
- 28.- Buchan SJ, Stafford KM, Hucke-Gaete R (2015) Seasonal occurrence of southeast Pacific blue whale songs in southern Chile and the eastern tropical Pacific. *Marine Mammal Science* 31(2): 440–458. DOI: 10.1111/mms.12173.
- 29.- Försterra G, Häussermann V (2012) Report on blue whale sightings (*Balaenoptera musculus* Linnaeus, 1758) in a narrow fjord during autumn-winter in southern Chile. *Spixiana*, 35(2), 237–245. ISSN 0341-8391
- 30.- Zamorano-Abramson J, Gibbons J (2010) New Records of Blue Whales *Balaenoptera Musculus* (Linnaeus, 1758) in Winter Season in the Inlet Waters of Chiloé Continental-Chile. *Anales Instituto Patagonia* 38(2): 107–109.

- 31.- Heide-Jorgensen MP, Kleivane L, Laidre KL, Jensen MV (2000) A new Technique for Deploying Satellite Transmitters on Baleen Whales: Tracking a Blue Whale (*Balaenopterus musculus*). *Marine Mammal Science* 17(4): 949–954. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2001.tb01309.x.
- 32.- Quakenbush LT, Small RJ, Citta J (2013) Satellite Tracking of Bowhead Whales Movements and Analysis from 2006 to 2012 Final Report, 1–123pp.
- 33.- Kennedy A (2014) Satellite telemetry and humpback whales: A tool for determining the habitat use, distribution and behavior of an endangered large whale species, 1–150. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00989629>.
- 34.- Miller BS, Calderan S, Gillespie D, Weatherup G, Leaper R., Collins K, Double MC (2016) Software for real-time localization of baleen whale calls using directional sonobuoys: A case study on Antarctic blue whales. *The Journal of the Acoustical Society of America* 139(3): EL83-EL89. DOI: 10.1121/1.4943627.
- 35.- Torres-Florez JP, Hucke-Gaete R, Rosenbaum H, Figueroa CC (2014) High genetic diversity in a small population: The case of Chilean blue whales. *Ecology and Evolution* 4(8): 1398–1412. DOI: 10.1002/ece3.998.
- 36.- Redfern JV, Ferguson MC, Becker EA, Hyrenbach KD, Good C, Barlow J, Kaschner K, Baumgartner MF, Forney KA, Ballance LT, Fauchald P, Halpin P, Hamazaki T, Pershing AJ, Qian SS, Read A, Reilly SB, Torres L, Werner F (2006) Techniques for cetacean– habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series* 310: 271–295 DOI: 10.3354/meps310271.
- 37.- De Porras ME, Maldonado A, Quintana FA, Martel-Cea A, Reyes O, Méndez C (2014) Environmental and climatic changes in central Chilean Patagonia since the Late Glacial (Mallán El Embudo, 44° S). *Climate of the Past* 10(3): 1063–1078. DOI: 10.5194/cp-10-1063-2014.
- 38.- Silva N, Vargas C (2014) Hypoxia in Chilean Patagonian Fjords. *Progress in Oceanography* 129: 62-74. DOI: 10.1016/j.pocean.2014.05.016.
- 39.- Sobarzo M (2009) The southern Chilean fjord region: Oceanographic aspects. En V. Haussermann&Forsterra, G. (eds), En *Marine Benthic Fauna of Chilean Patagonia*. (1ra. Ed. pp. 53 - 60). Santiago, Chile.: Nature in focus.

- 40.- Iriarte JL, Gonzalez HE, Nahuelhual L (2010) Patagonian fjord ecosystems in Southern Chile as a highly vulnerable region: Problems and needs. *Ambio* 39(7): 463–466. DOI: 10.1007/s13280-010-0049-9.
- 41.- Lara C, Miranda M, Montecino V, Iriarte JL (2010) Chlorophyll-a MODIS mesoscale variability in the Inner Sea of Chiloe, Patagonia, Chile (41-43 degrees S): Patches and Gradients? *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45 (2): 217-225. DOI: 0000-0002-8386-4888.
- 42.- Montero P, Daneri G, González H, Iriarte JL, Tapia FJ, Lazárraga L, Sanchez N, Pizarro O (2011) Seasonal variability of primary production in a fjord ecosystem of the Chilean Patagonia: Implications for the transfer of carbon within pelagic food webs. *Continental Shelf Research* 31: 202-215. DOI: 10.1016/j.csr.2010.09.003
- 43.- Buchan SJ, Quiñones RA (2016) First insights into the oceanographic characteristics of a blue whale feeding ground in northern Patagonia, Chile. *Marine Ecology Progress Series* 554: 183–199. DOI: 10.3354/meps11762.
- 44.- Guisan A, Zimmermann NE (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol Model* 135:147–186.
- 45.- Lanfredi C, Azzellino A, D'Amico A, Centurioni L, Ampolo-Rella M, Pavan G, Podestà M (2016) Key Oceanographic Characteristics of Cuvier's Beaked Whale (*Ziphiuscavirostris*) Habitat in the Gulf of Genoa (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *J Oceanogr Mar Res* 4(1): 145.
- 46.- Bombosch A, Zitterbart DP, Van Opzeeland I, Frickenhaus S, Burkhardt E, Wisz MS, Boebel O (2014) Predictive habitat modelling of humpback (*Megaptera novaeangliae*) and Antarctic minke (*Balaenoptera bonaerensis*) whales in the Southern Ocean as a planning tool for seismic surveys. *Deep-Sea Research Part I* 91: 101–114. DOI: 10.1016/j.dsr.2014.05.017.
- 47.- Fretwell PT, Staniland IJ, Forcada J (2014) Whales from space: Counting southern right whales by satellite. *PLoS ONE* 9(2): 1–9. DOI: 10.1371/journal.pone.0088655.
- 48.- Croll D, Marinovic B, Benson S, Chavez F, Black N, Ternullo R, Tershy B (2005) From wind to whales: trophic links in a coastal upwelling system. *Marine Ecology Progress Series* 289:117-130. DOI: 10.3354/meps289117

- 49.- Whitehead H. (2002) Estimates of the current global population size and historical trajectory for sperm whales. *Marine Ecology Progress Series* 242:295-304. DOI: 10.3354/meps242295
- 50.- Werdell PJ, Bailey SW (2005) An improved in-situ bio-optical data set for ocean color algorithm development and satellite data product validation. *Remote Sensing of Environment* 98:122–140. DOI: 10.1016/j.rse.2005.07.001
- 51.- Visser F, Hartman KL, Pierce GJ, Valavanis VD, Huisman J (2011) Timing of migratory baleen whales at the Azores in relation to the North Atlantic spring bloom. *Marine Ecology Progress Series* 440:267-279. DOI: 10.3354/meps09349
- 52.- Gill PC, Morrice MG, Brad P, Rebecca P, Levings AH, Michael C (2011) Blue whale habitat selection and within-season distribution in a regional upwelling system off southern Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 421: 243–263. DOI: 10.3354/meps08914.
- 53.- Forney KA, Becker EA, Foley DG, Barlow J, Oleson EM (2015) Habitat-based models of cetacean density and distribution in the central North Pacific. *Endang Species Res* 27: 1-20. DOI: 10.3354/esr00632.
- 54.- Becker EA, Forney KA, Fiedler PC, Barlow J, Chivers SJ, Edwards CA, Moore AM, Redfern JV (2016) Moving Towards Dynamic Ocean Management: How Well Do Modeled Ocean Products Predict Species Distributions? *Remote Sens* 8(2): 149 DOI:10.3390/rs8020149.
- 55.- Durban JW, Moore MJ, Chiang G, Hickmott LS, Boconcelli A, Howes G, LeRoi DJ (2016) Photogrammetry of blue whales with an unmanned hexacopter. *Marine Mammal Science* 32(4): 1510–1515. DOI: 10.1111/mms.12328.
- 56.- Boconcelli A, Hickmott L, Briones RL, Howes G, Sayigh L (2014) A preliminary investigation into the ecology and behavior of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of Corcovado, Chile, 1(5), 30pp.
- 57.- Forney, K.A., Ferguson, M.C., Becker, E.A., Fiedler, P.C., Redfern, J.V., Barlow, J., Vilchis, I.L. & Ballance, L.T. (2012) Habitat-based spatial models of cetacean density in the eastern Pacific Ocean. *Endangered Species Research*, 16, 113–133.

- 58.- Williams R, Hedley SL, Hammond PS (2006) Modeling distribution and abundance of Antarctic baleen whales using ships of opportunity. *Ecology and Society* 11(1). ISSN 1708-3087.
- 59.- Kaschner K, Watson R, Trites AW, Pauly D (2006) Mapping world-wide distributions of marine mammal species using a relative environmental suitability (RES) model. *Marine Ecology Progress Series* 316:285-310. DOI: 10.3354/meps316285.
- 60.- Corrigan CM, Ardron JA, Comeros-Raynal MT, Hoyt E, Notarbartolo Di Sciara G, Carpenter KE (2014) Developing important marine mammal area criteria learning from ecologically or biologically significant areas and key biodiversity areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 24(2):166–183. DOI: 10.1002/aqc.2513.
- 61.- Goldbogen JA, Calambokidis J, Oleson E, Potvin J, Pyenson ND, Schorr G, Shadwick RE (2011) Mechanics, hydro dynamics and energetics of blue whale lunge feeding: efficiency dependence on krill density. *J Exp Biol* 214: 131–146.
- 62.- Félix F, Escobar G (2011) Efforts in developing spatial planning analysis for the southeast pacific right whale (*Eubalaena australis*). SC/S11/RW21. Scientific Committee. International Whaling Commission.
- 63.- Abileah R (2002) Marine mammal census using space satellite imagery. *U.S. Navy Journal of Underwater Acoustics* 52(3): 709-724.
- 64.- Rajeesh R, Dwarakish GS (2015) Satellite Oceanography – A review. *Aquatic Procedia* 4: 165-172. DOI: 10.1016/j.aqpro.2015.02.023.
- 65.- Behrenfeld MJ, Falkowski PG (1997) Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *LimnolOceanogr* 42(1): 1-20. DOI: 10.4319/lo.1997.42.1.0001.
- 66.- Alvain S, Moulin C, Dandonneau Y, Bréon FM (2005) Remote sensing of phytoplankton groups in case 1 waters from global SeaWiFS imagery. *Deep-Sea Res I* 52: 1989-2004. DOI: 10.1016/j.dsr.2005.06.015.
- 67.- Stramski D, Reynolds RA, Babin M, Kaczmarek S, Lewis MR, Röttgers R, Sciandra A, Stramska M, Twardowski MS, Franz BA, Claustre, H (2008) Relationships between the surface concentration of particulate organic carbon and optical properties in the

- eastern South Pacific and eastern Atlantic Oceans. *Biogeosciences* 5: 171-201. DOI: 10.5194/bg-5-171-2008, 2008.
- 68.- Gardner WD, Mishonov AV, Richardson MJ (2006) Global POC concentrations from in-situ and satellite data. *Deep-Sea Res II* 53: 718-740. DOI: 10.1016/j.dsr2.2006.01.029.
- 69.- Pantoja S, Iriarte JL, Daneri G (2011) Oceanography of the Chilean Patagonia. *Continental Shelf Research* 31: 149-153. DOI:10.1016/j.csr.2010.10.013.
- 70.- Martínez V, Lara C, Silva N, Gudiño V, Montecino V (2015) Variability of environmental heterogeneity in northern Patagonia, Chile: effects on the spatial distribution, size structure and abundance of chlorophyll-a. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 50(1): 39-52. DOI: 10.4067/S0718-19572015000100004.
- 71.- Letelier J, Soto-Mardones L, Salinas S, Osuna P, López D, Sepúlveda H, Pinilla E, Rodrigo C (2011) Variabilidad del viento, oleaje y corrientes en la región norte de los fiordos Patagónicos de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 46(3): 363-377.
- 72.- Thiel M, Macaya E, Acuña E, Arntz WE, Bastias H, et al. (2007) The Humboldt Current System of Northern and Central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 45:195-344.

4.2.- CAPITULO 2: Aproximación a un modelo predictivo para avistamiento de ballenas azules

4.2.1.- Modelo de distribución de especies

Salidas logísticas

Las curvas muestran cómo cada variable ambiental participa en la predicción de MaxEnt. Estas representaciones reflejan la dependencia de la idoneidad prevista, tanto para la variable seleccionada como para las dependencias inducidas por las correlaciones entre la variable seleccionada y otras variables, es decir, permiten conocer la probabilidad de umbral óptimo de contribución acorde al nivel medido en cada parámetro.

La curva de respuesta para SST (Figura 4a), concentra su mayor probabilidad logística (>60%) a $\sim 13,5$ [$^{\circ}\text{C}$], para DAC (Figura 4b), la mayor probabilidad logística (>90%) está a $\sim 0,36$ [490 nm (m^{-1})], para Chl-a (Figura 4c), con similar probabilidad logística (>90%), esto ocurre a $\sim 4,1$ [mg/m^3], la curva de respuesta para POC (Figura 4d), concentra su mayor probabilidad logística (>90%) a un nivel medio de ~ 730 [mg/m^3], para NFLH (Figura 4e), la mayor probabilidad logística (>85%) está a $\sim 0,39$ [$\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}/\text{sr}$], para PAR (Figura 4f), su mayor probabilidad logística (>60%) ocurre a $\sim 36,5$ [$\text{Einstein}/\text{m}^2/\text{sec}$] y para PIC (Figura 4g), la probabilidad logística más alta ($\sim 50\%$) está a niveles levemente por sobre $\sim 0,0001$ [mol/m^3].

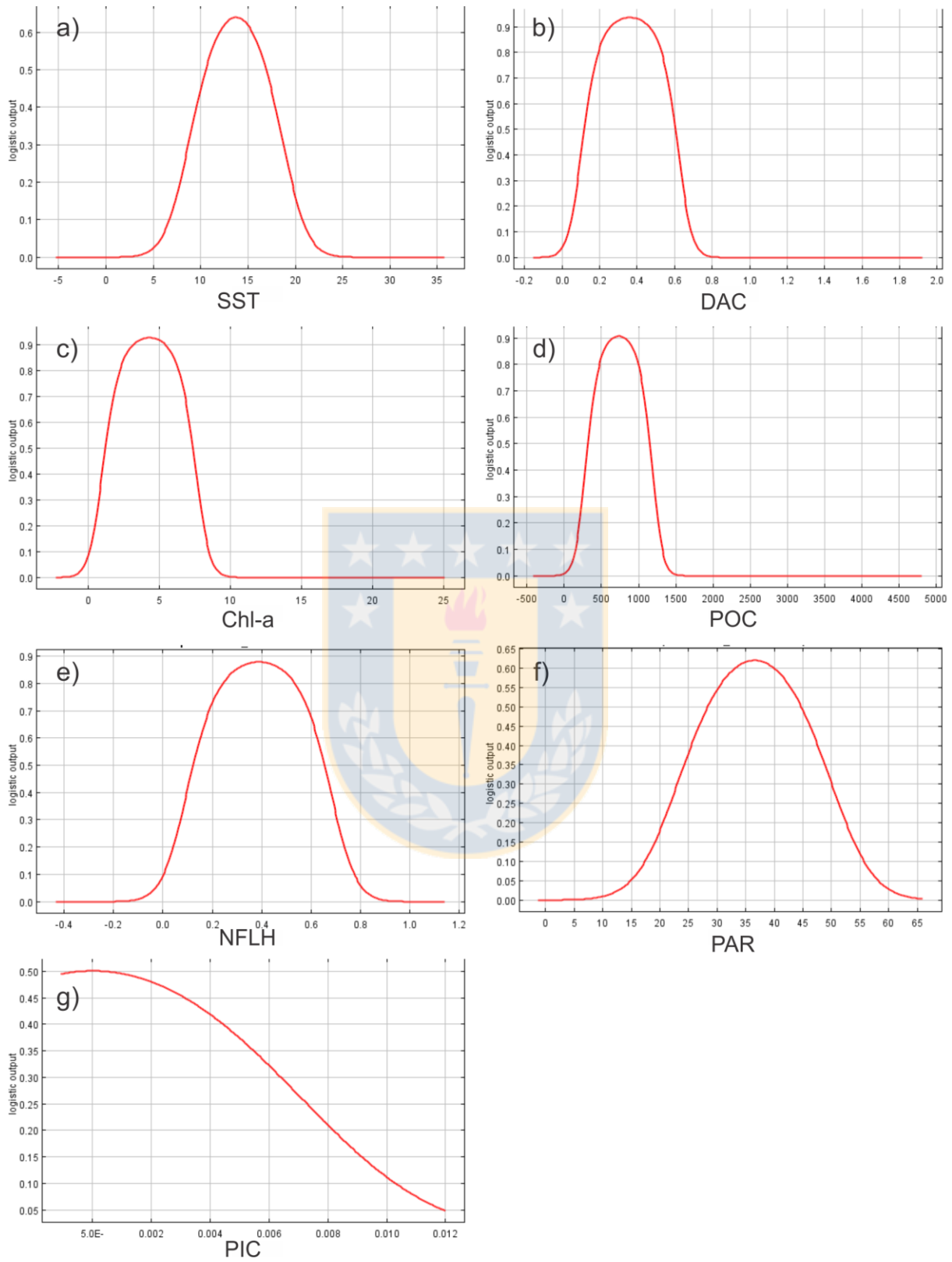


Figura 4. Curvas de respuesta evaluado en modelo MaxEnt. Eje Y muestra la salida logística, mientras que en X se ubica cada parámetro evaluado. A) SST [°C], b) DAC [490 nm (m⁻¹)], c)

Chl-a [mg/m^3], d) POC [mg/m^3], e) NFLH [$\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}/\text{sr}$], f) PAR [$\text{Einstein}/\text{m}^2/\text{sec}$] y g) PIC [mol/m^3]. Fuente: Elaboración propia.

Análisis de contribución de parámetros

El porcentaje de contribución proporciona estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo MaxEnt. El modelo se reevalúa en los datos permutados y resultantes de área bajo la curva (AUC en inglés), normalizado en porcentajes. Las contribuciones de cada variable deben interpretarse con precaución cuando las variables de predicción están correlacionadas.

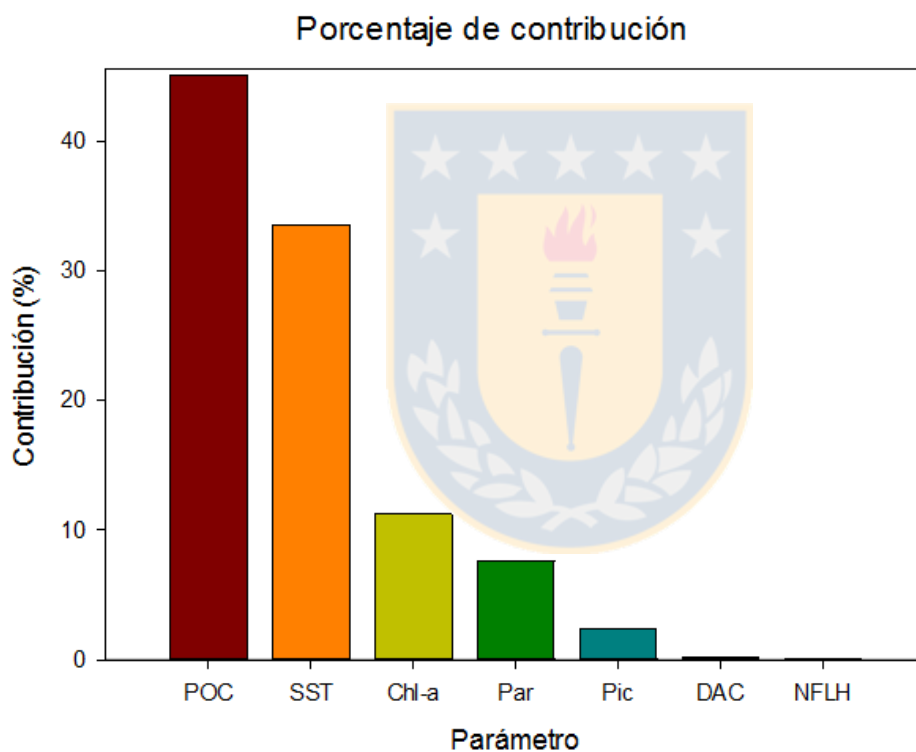


Figura 5. Porcentaje de contribución para cada parámetro permutado en el modelo MaxEnt con $\text{AUC} = 0,798 (\pm 0,178)$. Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de contribución (Figura 5) para los parámetros ambientales obtenidos mediante data satelital, muestra en orden decreciente: POC=45,1%, SST=33,5%, Chl-a=11,2%, PAR=7,6%, PIC=2,3%, DAC=0,2 y NFLH=0,1%.

4.2.2.- *Modelo MaxEnt*

El modelo de selección de hábitat por ballenas azules en el mar interior de la Ecorregión Chilense y el Golfo de Corcovado, evaluado mediante parámetros oceanográficos medidos satelitalmente durante los años 2014 a 2017, se basa en sistemas de aprendizajes cuyas entradas parciales son los parámetros ambientales y el posicionamiento geográfico de las especies a un tiempo determinado. Mediante la evaluación de 320 permutaciones de la información ingresada, en 10313 puntos aleatorios para distribución de especies dentro de área de interés, se obtiene la representación gráfica (Figura 6) de la potencial probabilidad de encuentros (avistamientos/presencia) de la especie en cuestión.



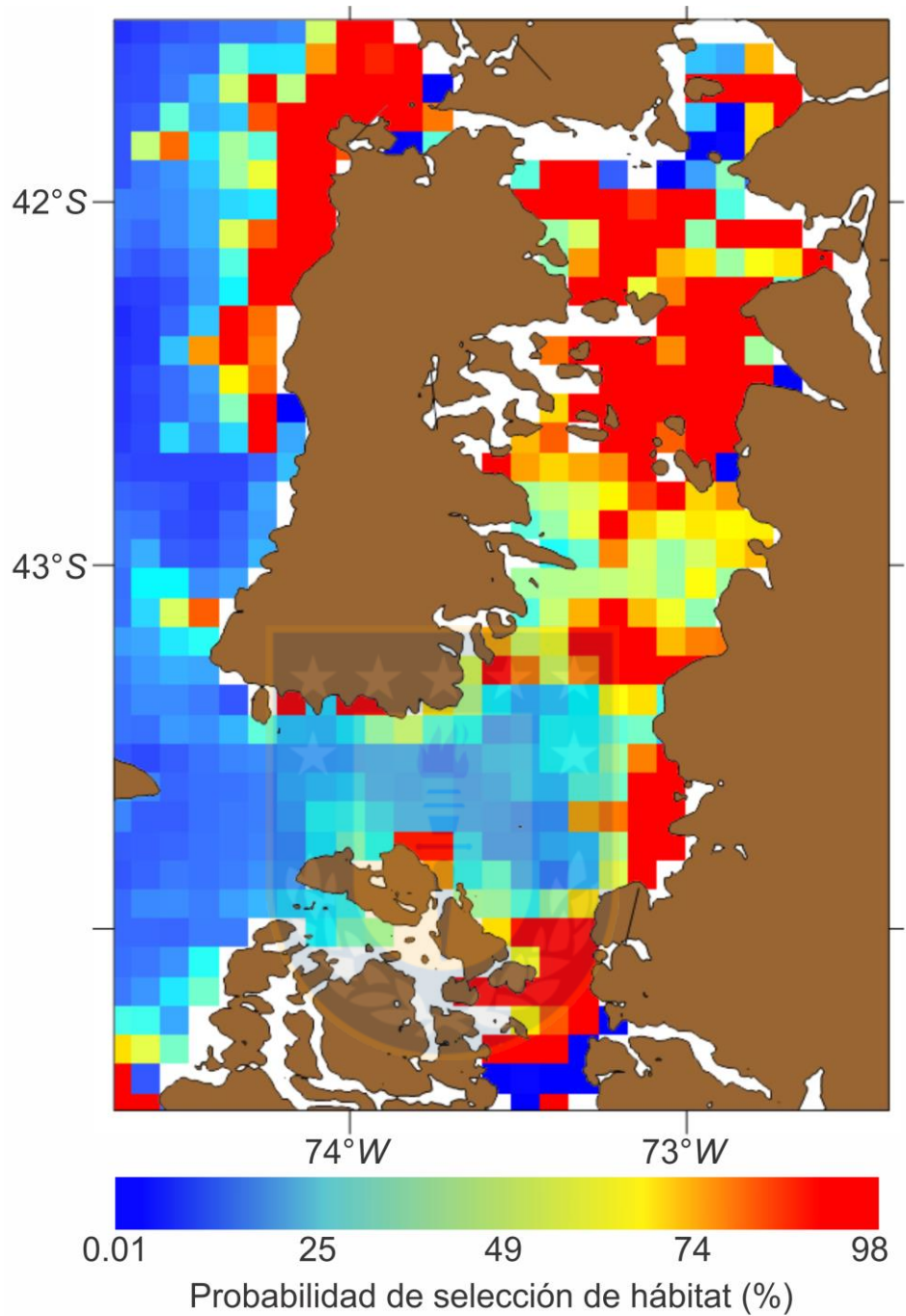


Figura 6. Modelo de selección de hábitat para *Balaenoptera musculus* spp., basado en la probabilidad de encuentro en el mar interior de la Ecorregión Chiloense y el Golfo de Corcovado, Chile, basado en mediciones oceanográficas satelitales. Fuente: Elaboración propia.

5.- DISCUSION

La alta variabilidad espacio-temporal de los ecosistemas marinos ha favorecido el desarrollo de nuevas estrategias en modelamiento de hábitat, agudizando los procedimientos estadísticos, aumentando las variables a evaluar, estableciendo relevancia tanto para el medio biótico como abiótico (Guisan & Zimmermann, 2000). Describir y comprender los procesos que determinan la distribución de los organismos es fundamental en ecología, dado su impacto en planes de conservación y manejo de las especies (Redfern et al., 2006), donde modelos que sobre – infra estimen patrones de densidad para la distribución de especies pueden resultar contraproducentes al momento de mitigar o minimizar el impacto antropogénico (Forney et al., 2015).

La utilización de imágenes satelitales para describir y/o predecir la estructuración y distribución de poblaciones con bajo número de individuos, especies raras o que habiten regiones de compleja geografía, establece una moderna alternativa a las observaciones *in situ* (Forney et al., 2012; Stirling et al., 2016), ayudando en la comprensión de los procesos físicos y biológicos que ocurren en el océano (Lara et al., 2010). No obstante, pese a que las SDM pertenecen a un campo de investigación en notorio crecimiento (Derville et al., 2018), debemos ser cautos con las limitaciones de la técnica de investigación y considerar el tipo de datos satelitales disponibles y la resolución existente para el modelamiento de hábitat debido a cobertura de nubes, distancia de la costa, nivel de procesamiento, escalas temporal y espacial, entre otros (Becker et al., 2016). Es prudente considerar tanto los procesos oceanográficos locales como la geografía propia de cada lugar, ya que incluso cuando se comparan sistemas similares, como lo son las zonas de surgencia, los resultados pueden ser muy diferentes, tal como lo constata Gill et al (2011), al aplicar un modelo de selección de hábitat para ballenas azules en Australia, obteniendo como parámetros ideales para la selección de hábitat SST y Chl-a superficial.

Comprender los patrones de distribución de las especies mediante modelamiento por sensoramiento remoto (Stirling et al., 2016), ha permitido desarrollar diversos estudios en cetáceos, logrando conocer, por ejemplo, las condiciones ambientales y geográficas propicias

para establecer zonas y periodos de crianza (Lindsay et al., 2016), o bien, conocer los patrones de migración, fuertemente asociados a la abundancia de fitoplancton, medido como Chl-a (Abileah, 2002; Visser et al., 2011), todos estudios enfocados en la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*).

Integrar parámetros oceanográficos desde diversas fuentes de información brinda la oportunidad de obtener una amplia cobertura espacial y temporal (Rajeesh & Dwarakish, 2015), favoreciendo el determinar, por ejemplo, densidades poblacionales (Forney et al., 2012) y distribución (Williams et al., 2006), siendo los más frecuentes SST, Chl-a, distancia a la costa, altimetría del mar, batimetría de fondo, entre otros (Kaschner et al., 2006; Forney et al., 2015), permitiendo establecer zonas clave para el desarrollo de las especies (Corrigan et al., 2014), especialmente para el forrajeo de la ballena azul, encontrando densas agregaciones de Krill en zonas de alta productividad (Gill et al., 2011; Goldbogen et al., 2011).

El parámetro más utilizado es Chl-a, debido a su fuerte correlación con la disponibilidad de fitoplancton (Behrenfeld & Falkowski, 1997; Alvain et al., 2005). POC, el cual incluye organismos auto – heterotróficos y partículas de detrito biogénico, representando un reservorio de carbono significativo (Stramski et al., 2008), posee excelente correlación entre mediciones in situ y satelitales (Gardner et al., 2006). Ambos parámetros poseen pocos estudios en la Patagonia Chilena.

Siendo considerado el mar interior de Chiloé como un ambiente semi-cerrado, controlado por pequeñas cuencas, barreras geográficas, altas tasas de precipitación y elevadas descargas de aguas de ríos en la costa este principalmente (Lara et al., 2010; Pantoja et al., 2011), el flujo de SASW y ESSW hacia la zona norte se ve obstaculizado (Martínez et al., 2015). Dichas características son claves al momento de configurar modelos predictivos en el ambiente marino, debido a la demarcada influencia que ejercen sobre los parámetros oceanográficos (Letelier et al., 2011), permitiendo condiciones óptimas para el desarrollo de sistemas de surgencia y alta productividad (Thiel et al., 2007).

Como herramienta para SDM, en las últimas dos décadas MaxEnt ha tenido un alto nivel de desarrollo, fundando su fidelidad en los procedimientos estadísticos que conjuga (Phillips & Dudic, 2008; Elith et al., 2011; Radosavljevic & Anderson, 2014), permitiendo modelar la distribución geográfica en función de diversos parámetros ambientales que ejercen presión sobre las especies, tanto pasados como predicciones futuras (Phillips et al., 2006; Phillips et al., 2009).

Considerando las dificultades espacio-temporal que conlleva el investigar cetáceos, las herramientas oceanográficas de sensoramiento remoto, en combinación con técnicas de SDM, han permitido dar respuesta a la búsqueda de áreas geográficas afines a la presencia de ballenas azules en el mar interior de la Ecorregión Chiloense y el Golfo de Corcovado.

Nuestros resultados, para los 7 parámetros oceanográficos obtenidos mediante sensoramiento remoto satelital entre los años 2014 a 2017 en el verano del hemisferio sur, muestran que existen 5 parámetros oceanográficos (SST, DAC, POC, PAR y PIC), con diferencias estadísticas significativas durante los 4 años estudiados y 2 parámetros sin diferencia significativa (Chl-a y NFLH) durante el mismo periodo.

El test de correlación de Spearman para todos los parámetros oceanográficos medidos, muestran que la asociación PAR + POC ($r = 0,785$), posee la más fuerte correlación ante la selección de hábitat por parte de las ballenas azules en el mar interior de Chiloé.

En cuanto a la composición del modelo de selección de hábitat, evaluados los parámetros oceanográficos en MaxEnt, se obtiene que los mayores porcentajes de contribución son POC (45,1%) y SST (33,5%), en menor medida Chl-a (11,2%) y PAR (7,6%), y con baja contribución PIC (2,3%), DAC (0,2) y NFLH (0,1%).

Considerando los datos de avistamientos de ballenas azules en el mar interior de la ecorregión Chiloense y el Golfo de Corcovado, registrado en los meses de verano del hemisferio sur entre 2014 a 2017, la figura generada da cuenta de que las mayores probabilidades de ocurrencia/encuentro de la especie se concentran en el borde noreste de la cuenca.

6.- CONCLUSIONES

Para investigar cetáceos en los océanos es fundamental considerar los patrones de distribución y abundancia, así como las escalas temporales y espaciales que estructuran las poblaciones, y que suele ser una de las principales limitaciones. Determinar si la selección del hábitat está controlada por las características ambientales es una contribución significativa al conocimiento de la ecología de las ballenas azules.

El ambiente marino es altamente dinámico, constantemente influenciado por procesos físicos, químicos y biológicos, por lo que la selección de parámetros a ser evaluados en un SDM debe ser lo suficientemente incluyente a fin de evitar el desacoplamiento o sobre-infraestimaciones. También debemos considerar que los resultados obtenidos en un área geográfica específica no necesariamente son extrapolables a otros con características similares.

Nuestros resultados, para 7 parámetros oceanográficos medidos satelitalmente, indican que la clorofila-a (Chl-a) no es un indicador confiable para la selección del hábitat por las ballenas azules en el mar interior de Chiloé, como se había considerado hasta esta investigación. La combinación entre la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y el carbón orgánico particulado (POC) se plantean como parámetros a considerar para el SDM en esta región, posiblemente debido a que nos encontramos en una zona de alta productividad, favoreciéndose la acumulación de Krill (producción secundaria).

Actualmente hemos determinado que las mayores probabilidades de ocurrencia/encuentro de la especie, y por ende la selección de hábitat, se concentra en el borde noreste del mar interior de Chiloé.

Dado que MaxEnt se basa en sistemas de aprendizaje, ante un intenso escenario de cambio climático, predecir las condiciones oceanográficas futuras imperantes en el mar interior de Chiloé, resulta un componente determinante al momento de desarrollar modelos predictivos, lo cual constituye en camino a seguir en nuestra investigación.

Las SDM deben necesariamente contrastarse con observaciones *in situ*, por lo que es aconsejable intensificar los esfuerzos para investigar las poblaciones de grandes mamíferos marinos. Esta nueva contribución permite continuar con nuestro propósito de desarrollar un modelo predictivo para la selección del hábitat por las ballenas azules con un alto nivel de fidelidad, asociando las observaciones de campo con los parámetros ambientales como predictores de la selección del hábitat y la probabilidad de encuentro.



7.- REFERENCIAS

- Abileah, R. 2002. Marine mammal census using space satellite imagery. U.S. Navy J Under Acoust. 52(3): 709-724.
- Alvain, S., C. Moulin, Y. Dandonneau, and F. Bréon. 2005. Remote sensing of phytoplankton groups in case 1 waters from global SeaWiFS imagery. Deep-Sea. Res. I. 52: 1989-2004. DOI: 10.1016/j.dsr.2005.06.015.
- Bailey, H., B. Mate, D. Palacios, L. Irvine, S. Bograd, and D. Costa. 2010. Behavioural estimation of blue whale movements in the Northeast Pacific from state-space model analysis of satellite tracks. Endanger. Species. Res. 10(1): 93–106. DOI: org/10.3354/esr00239.
- Balcazar, N., H. Klinck, S. Nieukirk, D. Mellinger, K. Klinck, R. Dziak, and T. Rogers. 2016. Using calls as an indicator for Antarctic blue whale occurrence and distribution across the southwest Pacific and southeast Indian Oceans. Mar. Mam. Sci. 33: 1–15. DOI: org/10.1111/mms.12373.
- Balcazar, N., J. Tripovich, K. Klinck, S. Nieukirk, D. Mellinger, R. Dziak, and T. Rogers. 2015. Calls reveal population structure of blue whales across the Southeast Indian Ocean and the Southwest Pacific Ocean. J. Mammal. 96(6): 1184–1193. DOI: org/10.1093/jmammal/gyv126.
- Becker, E., K. Forney, P. Fiedler, J. Barlow, S. Chivers, C. Edwards, A. Moore, and J. Redfern. 2016. Moving Towards Dynamic Ocean Management: How Well Do Modeled Ocean Products Predict Species Distributions? Remote. Sens. 8(2): 149 DOI:10.3390/rs8020149.
- Behrenfeld, M., and P. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. Limnol. Oceanogr. 42(1): 1-20. DOI: 10.4319/lo.1997.42.1.0001.
- Bocconcelli A, L. Hickmott, R. Briones, G. Howes, and L. Sayigh. 2014. A preliminary investigation into the ecology and behavior of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of Corcovado, Chile, 1(5), 30pp.
- Bocconcelli A, L. Hickmott, R. Briones, G. Howes, and L. Sayigh. 2015. Blue whales (*Balenoptera musculus*) in the Canal Moraleda and Golfo Corcovado, Chile. MTS/IEEE

- OCEANS 2015 - Genova: Discovering Sustainable Ocean Energy for a New World, 1–9. DOI: [org/10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271519](https://doi.org/10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271519).
- Bocconcelli A, L. Hickmott, G. Chiang, P. Bahamonde, G. Howes, R. Landea-Briones, and L. Sayigh. 2016. DTAG studies of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of Corcovado, Chile, 40002(2016), 40002. DOI: [org/10.1121/2.0000269](https://doi.org/10.1121/2.0000269).
- Bombosch A, D. Zitterbart, I. Van Opzeeland, S. Frickenhaus, E. Burkhardt, M. Wisz, and O. Boebel. 2014. Predictive habitat modelling of humpback (*Megaptera novaeangliae*) and Antarctic minke (*Balaenoptera bonaerensis*) whales in the Southern Ocean as a planning tool for seismic surveys. *Deep-Sea. Res. Part. I.* 91: 101–114. DOI: [10.1016/j.dsr.2014.05.017](https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.05.017).
- Branch, T., K. Stafford, D. Palacios, C. Allison, J. Bannister, C. Burton, and R. Warneke. 2007. Past and present distribution, densities and movements of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Southern Hemisphere and northern Indian Ocean. *Mammal. Rev.* 37(2), 116–175. DOI: [10.1111/j.1365-2907.2007.00106.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2007.00106.x).
- Buchan, S. 2014b. Acoustic presence of blue whales (*Balaenoptera musculus*) and foraging conditions in the Corcovado Gulf, Chilean Patagonia. Ph.D. thesis. Univ. de Concepción.
- Buchan, S., R. Huccke-Gaete, L. Rendell, and K. Stafford. 2014. A new song recorded from blue whales in the Corcovado Gulf, Southern Chile, and an acoustic link to the Eastern Tropical Pacific. *Endanger. Species. Res.* 23(3): 241–252. DOI: [10.3354/esr00566](https://doi.org/10.3354/esr00566).
- Buchan, S., and R. Quiñones. 2016. First insights into the oceanographic characteristics of a blue whale feeding ground in northern Patagonia, Chile. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 554: 183–199. DOI: [10.3354/meps11762](https://doi.org/10.3354/meps11762).
- Buchan, S., L. Rendell, and R. Huccke-Gaete. 2010. Preliminary recordings of blue whale (*Balaenoptera musculus*) vocalizations in the Gulf of Corcovado, northern Patagonia, Chile. *Mar. Mam. Sci.* 26(2), 451–459. DOI: [10.1111/j.1748-7692.2009.00338.x](https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2009.00338.x).
- Buchan, S., K. Stafford, and R. Huccke-Gaete. 2015. Seasonal occurrence of southeast Pacific blue whale songs in southern Chile and the eastern tropical Pacific. *Mar. Mam. Sci.* 31(2): 440–458. DOI: [10.1111/mms.12173](https://doi.org/10.1111/mms.12173).

- Cabrera, E., C. Carlson, and B. Galletti-Vernazzani. 2005. Presence of blue whale (*Balaenoptera musculus*) in the northwestern coast of Chiloé Island, southern Chile. LAJAM. 4(1), 73–74. DOI: 10.5597/lajam00073.
- Carvajal-Gómez, B., D. Trejo-Salazar, D. Gendron, and F. Gallegos-Funes. 2017. Photo-ID of blue whale by means of the dorsal fin using clustering algorithms and color local complexity estimation for mobile devices. EURASIP. J. Image. Vide. DOI: 10.1186/s13640-016-0153-2.
- Colpaert, W., R. Landea, G. Chiang, and L. Sayigh. 2016. Blue whales of the Chiloé-Corcovado region, Chile: Potential for anthropogenic noise impacts. Proc. Meet. Acoust. 27:10-16. DOI: 10.1121/2.0000304.
- Corrigan, C., J. Ardron, M. Comeros-Raynal, E. Hoyt, G. Notarbartolo Di Sciara, and K. Carpenter. 2014. Developing important marine mammal area criteria learning from ecologically or biologically significant areas and key biodiversity areas. Aquat. Conserv. 24(2):166–183. DOI: 10.1002/aqc.2513
- Croll, D., A. Acevedo-Gutiérrez, B. Tershy, and J. Urbán-Ramírez. 2001. The diving behavior of large whales: is dive duration shorter than predicted? Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol. 129(831), 797–809.
- Croll, D., B. Marinovic, S. Benson S, F. Chavez, N. Black, R. Ternull, and B. Tershy. 2005. From wind to whales: trophic links in a coastal upwelling system. Mar. Ecol. Prog. Ser. 289:117-130. DOI: 10.3354/meps289117
- De Porras, M., A. Maldonado, F. Quintana, A. Martel-Cea, O. Reyes, and C. Méndez. 2014. Environmental and climatic changes in central Chilean Patagonia since the Late Glacial (Mallán El Embudo 44°S). Climate of the Past 10(3): 1063–1078. DOI: 10.5194/cp-10-1063-2014.
- Derville, S., L. Torres, C. Lovan, and C. Garrigue. 2018. Finding the right fit: Comparative cetacean distribution models using multiple data sources and statistical approaches. Diversity and Distribution. 00: 1-17. DOI: 10.1111/ddi.12782
- Durban, J., M. Moore, G. Chiang, L. Hickmott, A. Bocconcelli, G. Howes, and D. LeRoi. 2016. Photogrammetry of blue whales with an unmanned hexacopter. Mar. Mam. Sci. 32(4): 1510–1515. DOI: 10.1111/mms.12328.

- Elith, J., S. Phillips, T. Hastie, M. Dudik, Y. Chee, and C. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17:43–57. DOI:10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x
- Forney, K., B. Becker, D. Foley, J. Barlow, and E. Oleson. 2015. Habitat-based models of cetacean density and distribution in the central North Pacific. *Endang. Species. Res.* 27: 1-20. DOI: 10.3354/esr00632.
- Forney, K., M. Ferguson, E. Becker, P. Fiedler, J. Redfern, J. Barlow, I. Vilchis, and L. Balance. 2012. Habitat-based spatial models of cetacean density in the eastern Pacific Ocean. *Endanger. Species. Res.* 16, 113–133.
- Försterra, G., and V. Häussermann. 2012. Report on blue whale sightings (*Balaenoptera musculus* Linnaeus, 1758) in a narrow fjord during autumn-winter in southern Chile. *Spixiana*, 35(2), 237–245.
- Fretwell, P., I. Staniland, and J. Forcada. 2014. Whales from space: Counting southern right whales by satellite. *PLoS ONE* 9(2): 1–9. DOI: 10.1371/journal.pone.0088655.
- Galletti-Vernazzani, B., and E. Cabrera. 2014. Eastern South Pacific southern right whale photo-identification catalog reveals behavior and habitat use patterns. *Mar. Mam. Sci.* 30(1): 389-398. DOI: 10.1111/mms.12030.
- Galletti-Vernazzani, B., C. Carlson, E. Cabrera, and R. Brownell. 2007. Status of blue whales off Isla de Chiloe, Chile, during 2008 field season. *Lighthouse. Annual report (CCC)*. 9pp.
- Galletti-Vernazzani, B., C. Carlson, E. Cabrera, and R. Brownell. 2012. Chilean blue whales off Isla Grande de Chiloe, 2004-2010: distribution, site-fidelity and behavior. *J. Cetac. Res. Manage.* 12(3): 353-360.
- Galletti-Vernazzani, B., J. Jackson, E. Cabrera, C. Carlson, and R. Brownell. 2017. Estimates of Abundance and Trend of Chilean blue whales off Isla de Chiloé, Chile. 16pp. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Gardner, W., A. Mishonov, and M. Richardson. 2006. Global POC concentrations from in-situ and satellite data. *Deep-Sea. Res. II.* 53: 718-740. DOI: 10.1016/j.dsr2.2006.01.029.
- Gill, P., M. Morrice, P. Brad, P. Rebecca, A. Levings, and C. Michael. 2011. Blue whale habitat selection and within-season distribution in a regional upwelling system off southern Australia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 421: 243–263. DOI: 10.3354/meps08914.

- Goldbogen, J., J. Calambokidis, E. Oleson, J. Potvin, N. Pyenson, G. Schorr, and R. Shadwick. 2011. Mechanics, hydro dynamics and energetics of blue whale lunge feeding: efficiency dependence on krill density. *J. Exp. Biol.* 214: 131–146.
- Guass, O., L. Haapanen, S. Dowd, A. Širović, and R. McLaughlin. 2016. Analysis of the microbial diversity in faecal material of the endangered blue whale, *Balaenoptera musculus*. *Antonie van Leeuwenhoek* 109(7): 1063–1069. DOI: 10.1007/s10482-016-0698-1.
- Guisan, A., and N. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model.* 135:147–186.
- Heide-Jorgensen, M., L. Kleivane, K. Laidre, and M. Jensen. 2000. A new Technique for Deploying Satellite Transmitters on Baleen Whales: Tracking a Blue Whale (*Balaenopterus musculus*). *Mar. Mam. Sci.* 17(4): 949–954. DOI: 10.1111/j.1748-7692.2001.tb01309.x.
- Hucke-Gaete, R., R. Álvarez, M. Navarro, J. Ruiz, P. Lo Moro, and A. Farías. 2010. Investigación para Desarrollo de Área Marina Costera Protegida Chiloé-Palena-Guaitecas. Informe Final. FNDR - BID TURISMO BIP N ° 30040215-0, Gobierno Regional de Los Lagos. CONAMA 774pp.
- Hucke-Gaete, R., L. Bedriñana-Roman, F. Viddi, J. Ruiz, J. Torres-Flores, and A. Zerbini. 2018. From Chilean Patagonia to Galapagos, Ecuador: novel insights on blue whale migratory pathways along the Eastern South Pacific. *PeerJ* 6:e4695. DOI: 10.7717/peerj.469
- Hucke-Gaete, R., L. Osman, C. Moreno, K. Findlay, and D. Ljungblad. 2004. Discovery of a blue whale feeding and nursing ground in southern Chile. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 271: S170-S173 DOI: 10.1098/rsbl.2003.0132
- Iriarte, J., H. Gonzalez, and L. Nahuelhual. 2010. Patagonian fjord ecosystems in Southern Chile as a highly vulnerable region: Problems and needs. *Ambio.* 39(7): 463–466. DOI: 10.1007/s13280-010-0049-9.
- Kaschner, K., R. Watson, A. Trites, and D. Pauly. 2006. Mapping world-wide distributions of marine mammal species using a relative environmental suitability (RES) model. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 316:285-310. DOI: 10.3354/meps316285.

- Kennedy, A. 2014. Satellite telemetry and humpback whales: A tool for determining the habitat use, distribution and behavior of an endangered large whale species, 1–150. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00989629>.
- Lanfredi, C., A. Azzellino, A. D'Amico, L. Centurioni, M. Ampolo-Rella, G. Pavan, and M. Podestà. 2016. Key Oceanographic Characteristics of Cuvier's Beaked Whale (*Ziphius cavirostris*) Habitat in the Gulf of Genoa (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *J. Oceanogr. Mar. Res.* 4(1): 145.
- Lara, C., M. Miranda, V. Montecino, and J. Iriarte. 2010. Chlorophyll-a MODIS mesoscale variability in the Inner Sea of Chiloe, Patagonia, Chile (41-43°S): Patches and Gradients? *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 45 (2): 217-225. DOI: 0000-0002-8386-4888.
- Letelier, J., L. Soto-Mardones, S. Salinas, P. Osuna, D. López, H. Sepúlveda, E. Pinilla, and C. Rodrigo. 2011. Variabilidad del viento, oleaje y corrientes en la región norte de los fiordos Patagónicos de Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 46(3): 363-377.
- Lindsay, R., R. Constantine, J. Robbins, D. Mattila, A. Tagarino, and T. Dennis. 2016. Characterising essential breeding habitat for whales informs the development of large-scale Marine Protected Areas in the South Pacific. *Mar. Eco. Prog. Ser.* 548: 263–275 DOI: 10.3354/meps11663.
- Martínez, V., C. Lara, N. Silva, V. Gudiño, and V. Montecino. 2015. Variability of environmental heterogeneity in northern Patagonia, Chile: effects on the spatial distribution, size structure and abundance of chlorophyll-a. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 50(1): 39-52. DOI: 10.4067/S0718-19572015000100004.
- Miller, B., S. Calderan, D. Gillespie, G. Weatherup, R. Leaper, K. Collins, and M. Double. 2016. Software for real-time localization of baleen whale calls using directional sonobuoys: A case study on Antarctic blue whales. *J. Acoust. Soc. Am.* 139(3): EL83-EL89. DOI: 10.1121/1.4943627.
- Montero, P., G. Daneri, H. González, J. Iriarte, F. Tapia, L. Lazárraga, N. Sanchez, and O. Pizarro. 2011. Seasonal variability of primary production in a fjord ecosystem of the Chilean Patagonia: Implications for the transfer of carbon within pelagic food webs. *Cont. Shelf. Res.* 31: 202-215.

- Paniagua-Mendoza, A., D. Gendron, E. Romero-Vivas, and J. Hildebrand. 2017. Seasonal acoustic behavior of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of California, Mexico. *Mar. Mam. Sci.* 33(1), 206–218. DOI: 10.1111/mms.12362.
- Pantoja, S., J. Iriarte., G. Daneri. 2011. Oceanography of the Chilean Patagonia. *Cont. Shelf. Res.* 31: 149-153. DOI:10.1016/j.csr.2010.10.013.
- Phillips, S., R. Anderson, and R. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 190: 231-259. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
- Phillips, S., and M. Dudic. 2008. Modelling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175. DOI: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.
- Phillips, S., M. Dudic, J. Elith, C. Graham, A. Lehmann, J. Leathwick, and S. Ferrier. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecol. Appl.* 19: 181-197. DOI: 10.1890/07-2153.1.
- Quakenbush, L., R. Small, and J. Citta. 2013. Satellite Tracking of Bowhead Whales Movements and Analysis from 2006 to 2012 Final Report, 1–123pp.
- Radosavljevic, A., and R. Anderson. 2014. Making better Maxent models of species distributions: Complexity, overfitting and evaluation. *J of Biogeography* 41(4): 629–643. DOI: 10.1111/jbi.12227
- Rajeesh, R., and G. Dwarakish. 2015. Satellite Oceanography – A review. *Aquat. Procedia.* 4: 165-172. DOI: 10.1016/j.aqpro.2015.02.023
- Redfern, J., and others. 2006. Techniques for cetacean– habitat modeling. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 310: 271–295 DOI: 10.3354/meps310271.
- Redfern, J., T. Moore, P. Fiedler, A. de Vos, R. Brownell, K. Forney, E. Becker, and L. Balance. 2017. Predicting cetacean distributions in data-poor marine ecosystems. *Divers. Distrib.* 23(4): 394-408. DOI: 10.1111/ddi.12537.
- Saddler, M., A. Bocconcelli, L. Hickmott, G. Chiang, R. Landea-Briones, P. Bahamonde, G. Howes, P. Segre, and L. Sayigh. 2017. Characterizing Chilean blue whale vocalizations with DTAGs: a test of using tag accelerometers for caller identification. *J. Exp. Biol.* 220: 4119-4129. DOI:10.1242/jeb.151498.

- Shabangu, F., D. Yemane, K. Stafford, P. Ensor, and K. Findlay. 2017. Modelling the effects of environmental conditions on the acoustic occurrence and behavior of Antarctic blue whales. *Plos One*. 12(2), e0172705. DOI: 10.1371/journal.pone.0172705.
- Silva N, Vargas C (2014) Hypoxia in Chilean Patagonian Fjords. *Progress in Oceanography* 129: 62-74. DOI: org/10.1016/j.pocean.2014.05.016.
- Sobarzo, M. 2009. The southern Chilean fjord region: Oceanographic aspects, p 53-60. In Haussermann, V. and G. Forsterra, [eds.], *Marine Benthic Fauna of Chilean Patagonia. Nature in focus*.
- Steven, P., M. Dudík, and R. Schapire. 2018. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2018-1-11.
- Stirling, D., P. Boulcott, B. Scott, and P. Wright. 2016. Using verified species distribution models to inform the conservation of a rare marine species. *Diversity and Distributions* 22(7): 808–822. DOI: 10.1111/ddi.12447
- Stramski, D., and others. 2008. Relationships between the surface concentration of particulate organic carbon and optical properties in the eastern South Pacific and eastern Atlantic Oceans. *Biogeosciences* 5: 171-201. DOI: 10.5194/bg-5-171-2008, 2008.
- Thiel, M., and others. 2007. The Humboldt Current System of Northern and Central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 45:195-344.
- Torres-Florez, J., R. Hucke-Gaete, H. Rosenbaum, and C. Figueroa. 2012. Isolation and characterization of nine new polymorphic microsatellite loci for blue whales (*Balaenoptera musculus*). *Conserv. Genet. Resour.* 4(4): 1023–1025. DOI: 10.1007/s12686-012-9698-2.
- Torres-Florez, J., R. Hucke-Gaete, H. Rosenbaum, and C. Figueroa. 2014. High genetic diversity in a small population: The case of Chilean blue whales. *Ecol. Evol.* 4(8): 1398–1412. DOI: 10.1002/ece3.998.
- Torres-Florez, J., P. Olson, L. Bedriñana-Romano, H. Rosenbaum, J. Ruiz, R. LeDuc, and R. Hucke-Gaete . 2015. First documented migratory destination for eastern South Pacific blue whales. *Mar. Mam. Sci.* 31(4), 1580–1586. DOI: 10.1111/mms.12239.

- Viddi, F., J. Torres-Flores, and S. Ribeiro. 2010. Spatial and seasonal variability in cetacean distribution in the fjords of northern Patagonian, Chile. Spatial and seasonal variability in cetacean distribution in the fjords of northern Patagonian Chile. *J. Mar. Sci.* 67: 959-970.
- Visser, F., K. Hartman, G. Pierce, V. Valavanis, and J. Huisman. 2011. Timing of migratory baleen whales at the Azores in relation to the North Atlantic spring bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 440:267-279. DOI: 10.3354/meps09349
- Werdell, P., and S. Bailey. 2005. An improved in-situ bio-optical data set for ocean color algorithm development and satellite data product validation. *Remote. Sens. Environ.* 98:122–140. DOI: 10.1016/j.rse.2005.07.001
- Whitehead, H. 2002. Estimates of the current global population size and historical trajectory for sperm whales. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 242:295-304. DOI: 10.3354/meps242295
- Williams, R., S. Hedley, and P. Hammond. 2006. Modeling distribution and abundance of Antarctic baleen whales using ships of opportunity. *Ecol. Soc.* 11(1). ISSN 1708-3087.
- Williams, R., S. Hedley, T. Branch, M. Bravington, A. Zerbini, and K. Findlay. 2011. Chilean Blue Whales as a Case Study to Illustrate Methods to Estimate Abundance and Evaluate Conservation Status of Rare Species. *Conserv. Biol.* 25(3): 526–535. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2011.01656.x
- Zamorano-Abramson, J., and J. Gibbons. 2010. New Records of Blue Whales *Balaenoptera Musculus* (Linnaeus, 1758) in Winter Season in the Inlet Waters of Chiloé Continental-Chile. *An. Inst. Patagon.* 38(2): 107–109.