

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**Modelamiento del hábitat de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en el norte  
de Perú: variabilidad espacio temporal por tipo de grupo**

**Aldo Santiago Pacheco Velásquez**

**Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Biología**

**Asesor: Mag. H. Mauricio Gonzáles Molfino**

**Lima, Perú**

**2019**



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**Modelamiento del hábitat de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en el norte  
de Perú: variabilidad espacio temporal por tipo de grupo**

**Aldo Santiago Pacheco Velásquez**

**Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Biología**

**Asesor: Mag. H. Mauricio Gonzáles Molfino**

**Lima, Perú**

**2019**

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**Modelamiento del hábitat de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en el norte  
de Perú: variabilidad espacio temporal por tipo de grupo**

**Aldo Santiago Pacheco Velásquez**

**MIEMBROS DEL JURADO CALIFICADOR**

**PRESIDENTE:**

**SECRETARIO:**

**VOCAL:**

**ASESOR:**

## **Dedicatoria**

A mi hija Stella Magdalena, por su amor prístino, por darme una sonrisa todos los días, por la vida misma.

A mi papa Sergio, porque estoy seguro de que este trabajo lo haría enorgullecer de felicidad.

## **Agradecimientos**

En junio del 2009, me deje persuadir por mi amigo Sebastián “Sebiche” Silva, en ir a Los Organos y trabajar en su sueño que era (y sigue siendo) usar la naturaleza, las ballenas jorobadas en particular, en la costa norte del Perú como fuente sustentable en el uso de los recursos. Me hice parte de ese sueño y quedé enganchado, fascinado con estos maravillosos gigantes del mar. Ya son 10 años consecutivos de trabajo científico donde hemos hecho esfuerzos importantes para contribuir con el conocimiento de esta y otras especies en la región y promover el turismo de observación de naturaleza de manera responsable. En todo este tiempo se han involucrado muchas personas a las que debo agradecer.

La realización de esta tesis no hubiese sido posible sin todo el trabajo del equipo de Pacifico Adventures. Mis más sinceros agradecimientos a Belen Alcorta, Tato Gubbins, Gabriel Silva y Lua Silva. A los capitanes: Cesar Correa, Segundo Pizarro, Luis Chapas, Alex Marchand y Aldo Muñoz.

Mi más sincera gratitud a todos los guías y voluntarios que año a año colectaron pacientemente los datos usados en esta tesis. Particularmente a Chiara Guidino, Fiorella Sanchez-Salazar, Andrea Petit, Miguel A. Llapapasca, Nadia Balducci, Eduardo Larrañaga, María A. Zapata, Estefanía Grados, Camila Valdivia, Giancarlo Pinasco, Ana M. García-Cegarra, Daniel Cáceres, Daniella Biffi, Lorena Silva, Andrea Auger, Daniella Borda, Ana Belen Reyes, Romina Carnero-Huamán, Damian Villagra, Esteban Duque, Santiago Pinilla, Nicola Ransome, Ana Paula Suarez, Vannesa Jaramillo-Calle. Muchas gracias, chicas y chicos, sin su esfuerzo nada de esto hubiese sido posible.

No puedo dejar de agradecer a mis colegas del Instituto de Ciencias Naturales Alexander von Humboldt, Universidad de Antofagasta, Chile, quienes gentilmente y en sus periodos respectivos, me otorgaron los permisos necesarios para realizar mis continuas visitas a Los Organos, en aras de mover el motor de la investigación de las ballenas jorobadas; Marcelo Oliva, Jorge Valdés, M. Teresa González y Marco Ortiz.

Quiero agradecer a todos los colegas con quienes he colaborado en el transcurso del tiempo, pero por sobre todo por lo enseñado (y enseñando) en ecología y conservación de cetáceos: Koen Van Waerebeek, Julio Reyes, Alexander Zerbini, Héctor Guzmán, Fernando Félix, Jorge Acevedo, Adam Pack, Rachel Cartwrite, Cristina Castro, y Judith Dekinger.

Mi agradecimiento especial a Miguel A. Llapapasca y Nadia López quienes me ayudaron muchísimo en la parte analítica de esta tesis. Miguel me brindo su apoyo fundamental en la construcción de los modelos maxent y Nadia gentilmente colaboró en gran parte de la obtención de datos de temperatura superficial del mar satelital. Muchas gracias chicos ;).

Esta tesis fue financiada gracias a la enorme cantidad de personas que se aventuraron a avistar ballenas desde el muelle de Los Organos. Mi más profundo agradecimiento a todas estas personas, y es mi deseo que, así como yo, ellos y ellas también aprendieron algo sobre estos fabulosos seres del mar.

Finalmente, quiero agradecer a Mauricio Gonzales Molfino por aceptar el trabajo de actuar como profesor guía de esta tesis, y también agradezco a la plana docente de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma por los maravillosos años de formación en pregrado en Biología.

## Resumen

La ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) es una especie que se encuentra en recuperación poblacional luego de *ca.* 40 años de moratoria mundial de caza. Esta especie está reocupando sus hábitats tanto de alimentación como de reproducción, encontrando actividades humanas como la pesca, la exploración petrolera y el turismo como amenazas a su recuperación. Es importante conocer los hábitats donde se distribuye, especialmente en la fase de reproducción. Esta información puede ser utilizada para minimizar los impactos negativos a la especie. La ballena jorobada se distribuye en la costa norte del Perú durante los meses de invierno y primavera, del hemisferio norte durante su etapa reproductiva. En este estudio, utilizando el algoritmo de máxima entropía (maxent), se modeló la variación espacial y temporal del hábitat por tipos de grupos de ballenas jorobadas separados en grupos sin cría y grupos con cría. Se puso a prueba la hipótesis de que la ballena jorobada utiliza diferencialmente el hábitat de manera segregada por tipo de grupo. Los modelos predijeron que el hábitat de las jorobadas está ampliamente distribuido en la zona de estudio. Sin embargo, el hábitat modelado para los grupos con la presencia de crías, tienen un hábitat mucho más replegado hacia la costa. Los grupos sin cría no presentaron variaciones significativas en la distribución del hábitat modelado correspondiente a la época de crianza en durante la temporada (desde agosto a octubre), sin embargo, el hábitat de los grupos con cría tiende a ampliarse en el mes de octubre, a fines de la temporada. El carácter predictivo de estos modelos delimita áreas de importancia para estas especies, las cuales deben tomarse en cuenta para las medidas de protección de la ballena jorobada a su paso por la costa norte del Perú.

**Palabras clave:** máxima entropía, mysticeti, migración, crianza

## **Abstract**

The humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) is a species currently undergoing through population recovery after 40 years of whaling ban. This species is recolonizing its feeding and breeding habitats but also finding human activities such as fishing, oil exploration and whale-watching as threats for its recovery. Hence, it is important to understand their distribution habitats, particularly during the delicate breeding season. This information can be used to minimize the negative anthropogenic impacts to this species. During winter and spring, the northern coast of Peru constitutes a breeding area of humpbacks whales. Using the maximum entropy algorithm (maxent), the spatial and temporal variation of the habitat was modelled considering groups of whales including groups with calf and without calves. I test the hypothesis that there is a differential use of the habitat according to humpback whale types of groups and thus showing a spatial segregation of the habitat. Models predicted that humpback whale habitat is widely distributed in the study zone. However, the modelled habitat for groups with calves is much more constrained towards the shoreline. Groups without calves did not show significant variation in habitat distribution throughout the breeding season (from August to October). However, the modelled habitat of calve groups tend to increase in October, at the end of the breeding season. The predictive character of these models set important areas for this species. Such habitats must be considered for the protection of the humpback whales during their stay in the northern coast of Peru.

**Key words: maximum entropy, mysticeti, migration, breeding**

## INDICE

|   | Pag.      |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>                          | <b>3</b>  |
| <b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>            | <b>3</b>  |
| <b>3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>              | <b>5</b>  |
| <b>4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b>     | <b>6</b>  |
| <b>5. OBJETIVOS</b>                             | <b>10</b> |
| <b>5.1. Objetivo general</b>                    | <b>10</b> |
| <b>5.2. Objetivos específicos</b>               | <b>10</b> |
| <b>6. MARCO TEÓRICO</b>                         | <b>10</b> |
| <b>7. ANTECEDENTES</b>                          | <b>12</b> |
| <b>8. HIPÓTESIS</b>                             | <b>15</b> |
| <b>9. MATERIALES Y MÉTODOS</b>                  | <b>16</b> |
| <b>9.1. Lugar de ejecución</b>                  | <b>16</b> |
| <b>9.2. Tipo y diseño de investigación</b>      | <b>18</b> |
| <b>9.3. Variables</b>                           | <b>19</b> |
| <b>9.4. Operacionalización de las variables</b> | <b>20</b> |
| <b>9.5. Muestreo</b>                            | <b>20</b> |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>9.6. Análisis de datos</b>         | <b>22</b> |
| <b>9.7. Aspecto ético</b>             | <b>23</b> |
| <b>10. RESULTADOS</b>                 | <b>24</b> |
| <b>11. DISCUSIÓN</b>                  | <b>32</b> |
| <b>12. CONCLUSIONES</b>               | <b>37</b> |
| <b>13. RECOMENDACIONES</b>            | <b>38</b> |
| <b>14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> | <b>39</b> |

## **1. INTRODUCCIÓN**

La ballena jorobada se distribuye de manera estacional en la costa norte del Perú, específicamente durante los meses de invierno a primavera (julio a octubre), donde realiza actividad de reproducción y crianza. Durante este tiempo, las ballenas se distribuyen principalmente en la costa donde están sujetas a distintos tipos de efectos antropogénicos negativos, tales como el enredo con artes de pesca, contaminación acústica y riesgo de colisión con embarcaciones. Para mitigar esta problemática es necesario conocer y predecir el hábitat donde se distribuyen esta especie de manera que se pueda generar límites espaciales en las actividades para conservar a la especie. Sin embargo, la literatura muestra que la distribución de la ballena jorobada durante su etapa de reproducción no es azarosa y más bien presenta una distribución diferenciada dependiendo de la composición del grupo etario, número y sexo. Por ejemplo, los grupos que involucran madres con cría tienen una marcada preferencia por habitar aguas de poca profundidad comparado con los individuos machos adultos que tienden a alejarse de la costa. En esta tesis, se utilizaron modelos de máxima entropía (maxent) para predecir los hábitats más probables por tipo de grupo de ballenas jorobadas en el norte de Perú, durante temporadas de avistamientos de esta especie desde los años 2010 al 2017.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) es un cetáceo misticeto distribuido en todos los océanos del mundo. Esta especie se caracteriza por tener un ciclo de vida marcadamente estacional, compuesto por dos fases: una de alimentación que se realiza en zonas templadas y polares de gran productividad durante el verano y otoño y la segunda de reproducción y crianza que se realiza luego de una extensa migración hacia regiones con aguas poco

productivas, cálidas en latitudes tropicales y subtropicales durante el invierno y primavera. A la población de ballenas jorobadas que habitan el Pacífico Sur Este se le denomina stock G (International Whaling Commission, IWC [Comisión Internacional Ballenera]) y tiene como zonas de alimentación; las aguas circundantes a la Península Antártica, el estrecho de Magallanes y el Golfo de Corcovado al sur de Chiloé. Durante la fase reproductiva en invierno y primavera, esta especie se distribuye en aguas costeras desde el norte de Perú hasta Panamá incluso Costa Rica. Durante la época de reproducción y crianza, las ballenas presentan una distribución espacial segregada la cual varía dependiendo del grupo etario/numérico de los individuos. En términos generales, los individuos adultos y que conforman grupos numerosos se distribuyen de manera amplia en la zona nerítica, pero tienden a alejarse de la costa. En contraste, los grupos de ballenas que involucran la presencia de crías se distribuyen mucho más cerca de la costa, generándose una segregación en el hábitat nerítico. El hecho que esta especie se encuentre distribuida cerca a la costa durante su fase de reproducción la hace susceptible a varias amenazas que pueden causar mortalidades. El enredo con artes de pesca, la contaminación acústica y el efecto perturbador por presencia de embarcaciones de turismo pueden afectar el uso adecuado del hábitat costero durante la delicada época reproductiva. Para poder mitigar estas potenciales fuentes de perturbación y entender mejor la distribución y uso del hábitat de esta especie durante su etapa reproductiva, es necesario generar información que explícitamente de cuenta de la variación espaciotemporal de distribución de esta especie. En la costa norte de Perú, particularmente frente a Piura, se han descrito sitios de avistamientos de la ballena jorobada en función del gradiente batimétrico, lo cual ha sugerido una distribución segregada durante la época de invierno y primavera. Los modelos generados en esta tesis confirman esta distribución

segregada por tipo de grupo y se generaron predicciones de mayor probabilidad de ocurrencia de la especie durante la temporada y zona de estudio.

### **3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad existen vacíos de información respecto a cómo se distribuyen las ballenas jorobadas en hábitats en donde aparentemente existe una reocupación producto del incremento poblacional de la especie. El problema radica en que la mayoría de la información que documenta la distribución de la especie provienen de estudios realizadas en áreas centrales o bien reconocidas como lugares de reproducción y crianza. Al expandirse la presencia de la especie hacia áreas que no han sido evidenciadas como de reproducción y crianza, se generan preguntas cuestionando la funcionalidad de dichas áreas. Por ejemplo, no queda claro si estas nuevas áreas sirven efectivamente para reproducción y crianza o si solamente la ocupación de estos lugares es el reflejo del paso migratorio de la ballena jorobada al finalizar su temporada de reproducción. Este tipo de preguntas no solo tiene consecuencias en el entendimiento del uso del hábitat, sino que también plantea interrogantes sobre la conectividad entre lugares de reproducción. En la actualidad se cuestiona si las ballenas jorobadas llegan primariamente al norte del Perú a inicio de temporada (julio de cada año) o si las ballenas primero pasan por esta zona para llegar a destinos más septentrionales y luego pasar por el norte de Perú, durante la migración hacia el sur. Como se verá en la siguiente sección, predecir y entender los patrones de distribución espacial y temporal puede proveer información importante acerca de la funcionalidad del hábitat.

#### 4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A nivel mundial, las especies de grandes ballenas con barbas incluyendo los cachalotes, sufrieron grandes caídas poblacionales debido a la cacería industrial que opero en prácticamente todos los océanos durante los siglos XIX y XX (Clapham y Baker, 2009). Países como Japón, Noruega, EE. UU., Unión Soviética, Inglaterra entre otros, operaron con barcos factoría los cuales diezmaron rápidamente poblaciones de ballenas, dada la gran autonomía y procesamiento a bordo de los animales sin necesidad de regresar a puerto (Clapham y Baker, 2009). Las especies que sufrieron primero las perdidas poblacionales incluso llevándolas al borde de la extinción fueron la ballena franca (*Eubalaena* spp.) (Galletti-Vernazzani *et al.*, 2014) y la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) (Branch *et al.*, 2007). A medida que se agotaban los stocks de estas especies, las flotas cambiaban de especie objetivo, usualmente terminando por reducir considerablemente sus poblaciones (Baker y Clapham, 2004). A mediados de los años 1960, la Comisión Internacional ballenera (International Whaling Commission, IWC) progresivamente estableció moratorias de caza para prácticamente todas las especies de ballenas de barbas y cachalotes, en la mayoría de los océanos (Aron *et al.*, 2000). El objetivo de dicha moratoria era poder establecer tiempos de veda para poder recuperar las poblaciones de las especies (Aron *et al.*, 2000). Las ballenas son animales de ciclos reproductivos largos (entre 10 a 12 meses de gestación) y estas especies requiere de entre cinco a siete años hasta que los reclutas de una población puedan reproducirse (Baker y Clapham, 2004). A medida que se extendía el tiempo de la moratoria, la gran mayoría de países abandonaron esta práctica y en la actualidad la caza ha cesado en prácticamente en todo el mundo. La excepción a esta tendencia la mantienen Japón, Noruega y Islandia, países que aun utilizan una cuota anual de captura de ballenas minke

(*Balaenoptera acutorostrata*) y en Islandia aún se capturan ballenas de aleta (*Balaenoptera physalus*).

Los primeros indicios de caza de ballenas en el Perú fueron reconocidos por las operaciones barcos balleneros ingleses y de Estados Unidos durante la primera mitad del siglo XIX. Perú servía de lugar de abastecimiento a estos balleneros principalmente los puertos del Callao, Tumbes y Paita (Reyes, 2009). A partir de la década de los 50 se establecen las operaciones de cacería en la costa peruana (Reyes, 2009), teniendo como especies objetivo principalmente los cachalotes (*Physeter catodon*), las ballenas bryde (*Balaenoptera edeni*), sei (*Balaenoptera borealis*) y en menor medida las jorobadas dada su presencia altamente estacional (Ramírez, 1985; 1988; 1989; 1990). La caza de ballenas quedó oficialmente suspendida en Perú en el año 1985. La caza de ballenas jorobadas frente a Perú parece haber sido no tan dramática comparado con los números reportados para los cachalotes, los cuales fueron capturados en cientos de miles. Las estadísticas oficiales reportan que se capturaron 234 ballenas jorobadas frente a Perú entre 1953 y 1966 (Allison, 2010). Si embargo, la real magnitud del impacto de la caza de jorobadas se ve al revisar las capturas en sus zonas de alimentación en la región Antártica. La IWC reporta que se capturaron 55936 ballenas jorobadas en esta región en el periodo comprendido entre 1903 a 1940 (Allison, 2010). Esta gran extracción de individuos condujo a una fuerte reducción de la población que migra a latitudes bajas incluyendo el norte de Perú a reproducirse.

Sin embargo, y luego de aproximadamente de 40 años de moratoria mundial de la caza, la ballena jorobada es una de las especies que está experimentando una recuperación notable en sus poblaciones. Por ejemplo, para la población que se reproduce en el este de Australia, se estima que el tamaño poblacional fluctúa entre 10000 a 20000 individuos

(Pitman *et al.*, 2015). Para la población del Pacífico Sur este, utilizando métodos de captura y recaptura fotográficas frente a Ecuador, Félix y Haase (2001a) estimaron un tamaño poblacional de 3767 a 4969 individuos. Diez años después Félix *et al.* (2011) utilizando el mismo método, estiman una población de 4270 a 9907 individuos, sugiriendo crecimiento poblacional para la especie. No obstante, el método reportado en ambos estudios tiene el sesgo de que solo se utilizaron recapturas en Ecuador, sin considerar otros destinos migratorios invernales como el norte de Perú, Colombia y Panamá en las estimaciones (Acevedo *et al.*, 2017). Es posible que los números reportados para Ecuador sean conservadores o subestimaciones. Otros antecedentes de la recuperación de la población de jorobadas son la reocupación de nuevas áreas tanto de alimentación como de reproducción. En la época de caza solo se reconocía aguas de la Península Antártica como zona de alimentación (Omura, 1953; Mackintosh, 1965). Mediante observaciones realizadas entre 1997 y 2001, Gibbons *et al.* (2003) proponen que varios lugares entre islas y fiordos del Estrecho de Magallanes en el sur de Chile, constituirían también zonas de alimentación. Recientemente Huecke-Gaete *et al.* (2013) reporta que aguas del Golfo del Corcovado en el Sur de Chiloé, también constituirían una zona de alimentación para jorobadas. Es claro que a través de los años las áreas de alimentación se han ido expandiendo o recolonizando hacia latitudes más bajas, lo cual da cuenta de la expansión poblacional. Algo similar se reporta para la región de reproducción. A comienzos de los 90 se reconocía solo aguas del Pacífico colombiano como zona de reproducción (Flórez-González, 1991). Luego, se fueron reportando áreas reproductivas en la costa ecuatoriana (Félix y Haase, 2001b; 2005) e isla de la Plata, Ecuador insular (Scheidat *et al.*, 2000). En la actualidad se sabe que la zona de reproducción va desde el borde costero de Panamá (Guzmán *et al.*, 2015), hasta el norte de Perú (Guidino *et al.*, 2014; Pacheco *et al.*, 2009; Santillán, 2011) casi de manera continua.

Aparentemente, la zona de reproducción también ha experimentado un incremento hacia latitudes más altas.

Si bien no existe caza de jorobadas en la actualidad, la recuperación de esta especie es alentadora, y a pesar de estar enlistada como “Preocupación Menor” en la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, Reilly *et al.*, 2008), aún existen impactos negativos que pueden poner en peligro su recuperación a niveles pre-cacería industrial. Mucho de los problemas que encuentran en la actualidad están relacionadas con el sobre lapa del hábitat utilizado por la especie y por diversas actividades humanas. La pesca es una de las actividades que puede afectar directamente a las jorobadas. Por ejemplo, Thiel *et al.*, (2018) reporta que un 51% de ballenas varadas en la costa peruana eran jorobadas y todas presentaron signos de estar enmalladas con artes de pesca. Otras amenazas están constituidas por perturbaciones acústicas en actividades de explotación petrolera la cual es importante sobre todo en las costas de Piura y Tumbes. Además, en la costa de Piura, se lleva a cabo una importante actividad turística basada en la observación de esta especie (Pacheco *et al.*, 2011), la cual perturba aspectos conductuales de la especie lo que llama a generar un manejo adecuado de esta actividad (García-Cegarra *et al.*, 2018). Estas amenazas propician la necesidad de poder tener información espaciotemporal de la distribución de esta especie en Perú, la cual pueda ser utilizada en medidas de mitigación y protección de la especie. Modelos espaciales explícitos del hábitat puede contribuir a este tipo de conocimiento.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Mediante el algoritmo MAXENT, modelar y predecir la distribución espacio temporal del hábitat de la ballena jorobada, frente a Los Órganos, norte de Perú

### **5.2. Objetivos específicos**

- a) Predecir utilizando el modelo MAXENT la distribución espacio temporal del hábitat de la ballena jorobada utilizando datos de posición geográfica obtenidos en las temporadas 2010 a 2017.
- b) Predecir usando el modelo MAXENT la distribución espacial del hábitat de la ballena jorobada considerando los tipos de grupos: solitario, par, tres o más y grupos compuesto por crías; madre – cría, madre-cría/escolta y madre-cría/más de una escolta.

## **6. MARCO TEÓRICO**

El modelamiento de máxima entropía (Maxent), se basa en la teoría del nicho ecológico, definido como la función que una especie desempeña en un hábitat dado y condicionada por la variabilidad ambiental e interacciones biológicas (Holt, 2009). De esta definición se distinguen dos aspectos; el nicho fundamental, el cual es el nicho que puede realizar una especie sin constreñimientos ambientales ni interacciones biológicas, y el nicho realizado, el cual es aquel que es “observable” y está en función a los constreñimientos ambientales y biológicos (Soberón y Arroyo-Peña, 2017). Como Maxent modela las especies bajo características ambientales en el lugar que se observó o distribuyó, se asume que esto

constituye su nicho realizado. Sin embargo, el nicho realizado *per se* requiere de mediciones de un gran número de variables que para efectos de este estudio no estarán a disposición (e.g., depredadores de la ballena, ciclos diurnos y nocturnos de sus movimientos, etc), por lo que la interpretación de las salidas del modelaje será referida como hábitat (Holt, 2009). Los modelos maxent utilizan el concepto de máxima entropía el cual proviene de la teoría de la información que nos dice qué tan aleatorio es algo, ósea es una medida de la aleatoriedad. Es decir, en una señal o conjunto de datos, si todos sus elementos son equiprobables cuando aparecen, entonces la entropía es máxima. Aplicando de manera práctica este concepto, se busca encontrar aquella distribución de probabilidades que maximice la entropía, dado ciertas restricciones que representan la información disponible (información incompleta, datos solo de presencia) sobre el fenómeno o tema estudiado. En esencia, maxent trata de encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía (cercana a la uniforme) sujeta a las limitaciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales en el área de estudio. La ecuación de máxima entropía es la siguiente:

$$P(x) = c_1 * f_1(x) + c_2 * f_2(x) + c_3 * f_3(x) + c_4 * f_4(x) \dots / Z$$

dónde,

P = distribución (óptima)

x = presencia (envolturas)

c = constante

1,2,3,4... = variables ambientales

Z = constante de escala

f = factor

Para cumplir con los objetivos de esta tesis se utilizó el programa Maxent versión 3.3.3 k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/Maxent/>; Phillips *et al.*, 2006). Este modelo permite la identificación de la extensión espacial de la ocurrencia (i.e., hábitat potencial) desde predicciones de generadas por correlaciones entre variables ambientales y la distribución espacial de la especie. Maxent calculó el hábitat potencial utilizando datos de presencia y variables ambientales a lo largo de un área definida por el investigador y dividida en celdas (Elith *et al.*, 2011; Merow *et al.*, 2013; Phillips *et al.*, 2006; Phillips y Dudik, 2008). Las salidas que predice Maxent son índices de idoneidad del hábitat que van del 0 a 1, donde 0 indica habita no idóneo y el 1 indica hábitats muy idóneos (Merow *et al.*, 2013). Este tipo de modelamiento es muy apropiado considerando la naturaleza de los datos en donde solamente se registraron la presencia de ballenas jorobadas en el área de estudio.

## **7. ANTECEDENTES**

En todos los océanos, durante los meses de invierno a primavera, las ballenas jorobadas realizan una migración hacia latitudes tropicales y/o subtropicales para aparearse y dar a luz a sus crías (Clapham, 2009). La excepción a esta regla es la población localizada frente a Omán, en el mar Árabe, la cual se alimenta y reproduce en la misma región sin realizar migración (Clapham, 2009). Las zonas de migración reproductiva típicamente son bordes costeros continentales, aguas rodeando islas y archipiélagos de poca profundidad. Estas zonas presentan un rango de temperatura superficial del mar que va desde los 18° a los 25°C en latitudes relativamente bajas alrededor de todos los océanos (Rasmussen *et al.*, 2007). Esta migración es una de las más largas reportadas para mamíferos marinos. Los récords registrados para la población del pacífico sureste, incluyen una distancia de ca. 8500km (en

línea recta) de ballenas fotografiadas en la Península Antártica y luego registrada en la Isla Gorgona en el Pacífico colombiano (Stone *et al.*, 1990), así como también individuos avistados en Costa Rica (Rasmussen *et al.*, 2007). Sin embargo, no se sabe exactamente las razones de por qué esta especie realiza dicha migración, aunque algunas hipótesis se han propuesto. Una hipótesis plantea que las jorobadas realizarían dicha migración para evitar la depredación de su único depredador natural, las orcas, las cuales tienden a ser más abundantes en aguas frías, templadas y productivas (Corkeron y Connor, 1999). Migrar hacia latitudes bajas disminuiría la presión de depredación por orcas, lo que significa mayores probabilidades de supervivencia de los ballenatos. Sin embargo, evidencia reciente demuestra que las orcas pueden depredar ballenas jorobadas de manera importante en latitudes bajas (Pitman *et al.*, 2015). También se ha planteado que la migración es un relicto de un ancestro que empezó a migrar a medida que iban distanciando los continentes. Esta hipótesis aún no ha recibido apoyo, puesto que hay especies de ballenas que no realizan migraciones estacionales (Clapham, 2001). Existe la hipótesis del balance térmico para el desarrollo de los ballenatos. Las jorobadas prefieren dar a luz en aguas cálidas, ya que esto permitiría al ballenato invertir energía en crecimiento y no tanto en termorregulación a medida que va ganando la capa de grasa que le permite aislar térmicamente sus órganos internos antes de emprender la migración a sus zonas de alimentación, templadas y polares, considerablemente más frías (Corkeron y Connor, 1999). Si bien, solo se manejan estas hipótesis, queda claro que, para la ballena jorobada, resulta beneficioso dar a luz en zonas tropicales o subtropicales independiente de la presión por depredación. El hecho de la migración es aprendido por linaje materno, esto aparentemente gatilla que las jorobadas, reproductivas o no, emprendan la migración hacia sus zonas invernales.

Las áreas de reproducción y crianza usualmente son zonas neríticas donde se observa una distribución espacial segregada en función al tipo de grupo de jorobada (Ersts y Rosenbaum, 2003; Guidino *et al.*, 2014; Oviedo y Solís, 2008; Pack *et al.*, 2017). Se distinguen al menos dos grandes grupos; aquellos conformados por individuos adultos o sub-adultos de ambos sexos y los grupos en los que se encuentra presente crías. Los grupos que no involucran crías usualmente están distribuidos ampliamente desde la zona costera hasta el quiebre de la plataforma continental (Guidino *et al.*, 2014). Estos grupos usualmente son solitarios, pares o tríos, pero a menudo también involucran grupos más numerosos (más de tres individuos hasta 10) los cuales pueden engancharse en competencia (Félix, 2004). Esto es, grupos de machos que pelean entre sí o realizan grandes despliegues de actividad superficial como saltos y coletazos (Pacheco *et al.*, 2013) para acceder a una hembra para aparearse. Los grupos que involucran crías; pueden ser madre y cría, madre, cría y escolta y finalmente madre-cría y más de una escolta (Félix y Botero-Acosta, 2011). Este tipo de grupo involucran un animal relativamente grande (la madre) junto con un animal pequeño (la cría), de aproximadamente un tercio de la longitud de la madre, usualmente de coloración gris clara, mostrando la aleta dorsal plegada a un lado y donde son visibles los pliegues fetales (Ferreria *et al.*, 2011; Faria *et al.*, 2013). El escolta es una ballena adulta relativamente más pequeña que la madre, a menudo un macho que espera una oportunidad de aparearse puesto que las jorobadas hembras pueden ovular rápidamente luego de haber parido (Cartwright y Sullivan, 2009). Sin embargo, Pitman *et al.*, (2015) reporta que el escolta es un individuo que eventualmente puede ayudar a la madre en disuadir a las orcas cuando estas atacan a los ballenatos. Estos grupos se distribuyen muy cerca a la costa entre los 50 a los 10 metros de profundidad. Está documentado que mientras más cerca a la costa o aguas menos profundas estén las madres con cría, menos éxito de depredación tienen las orcas (Pitman *et al.*, 2015).

Otra razón de porque los grupos que involucran crías se repliegan a la costa es para evitar el acoso y la actividad violenta que realizan los machos competitivos (Cartwright y Sullivan, 2009). Esta variabilidad tanto en la composición etaria y numérica de los grupos de ballenas generan una distribución segregada, lo que sugiere que hay un uso y funcionalidad diferenciado del hábitat para esta especie durante la migración reproductiva.

## **8. HIPÓTESIS**

Durante su estadía en aguas costeras del norte de Perú entre agosto y octubre los grupos ballena jorobada presentar una distribución segregada en función a la distancia de la costa y profundidad. Los grupos sin crías estarán ampliamente distribuidos en aguas neríticas hasta el quiebre de la plataforma continental, mientras que los grupos que involucran crías estarán replegados hacia zonas cercanas al borde costero.

## 9. MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos de entrada con los que se realizaron los modelos Maxent fueron las posiciones geográficas por tipo de grupo de ballenas, distancia a la costa y temperatura superficial del mar. Detalles de cómo se obtuvieron esos datos para Maxent se encuentran explicados en la sección “procedimiento y análisis de datos”. Este capítulo se centrará en la explicación de cómo se corrieron los modelos.

Durante el modelaje Maxent se aplicaron los siguientes ajustes: “salida logística” donde cada celda representa una ocurrencia con una probabilidad entre 0 a 1 (Phillips y Dudík, 2008). Se deshabilitó la opción “remover registros de presencia duplicados” dado que el ambiente modelado es líquido lo que permite avistamientos repetidos en una celda en condiciones variantes en el tiempo. Maxent permite dividir los datos en un set de entrenamiento, el cual se utilizó para crear un modelo que permite el testeado de la precisión del modelo de entrenamiento (Phillips *et al.*, 2006). Una muestra aleatoria del 70% de los datos se utilizó para el entrenamiento y 30% del set de datos se utilizó para el testeado. Se aplicó la replicación tipo “bootstrap” con 25 réplicas. El número máximo de iteraciones fue 5000. Esto permitió que el modelo tenga suficiente tiempo para la convergencia lo cual es útil para minimizar las sub o sobre estimación (Young *et al.*, 2011). El resto de los parámetros de Maxent se dejaron por defecto.

### 9.1. Lugar de ejecución

El lugar de estudio fue la zona costera comprendida entre Los Organos (4°10'38.23''S, 81°8.27'4.83''W) y Cabo Blanco (4°15'1.36''S, 81°13'50.17''W) en el Norte de Perú. Los datos asociados al modelamiento han sido colectados en los meses de agosto, septiembre y

octubre desde 2010 a 2017. El área de estudio está ubicada en la zona transicional entre las ecorregiones Pacífico Este Tropical y la Pacífico Sureste Templada (Spalding *et al.*, 2007). Esta zona transicional resulta producto de la convergencia de la corriente fría y rica en nutrientes de Humboldt de dirección norte y la contracorriente Ecuatorial cálida y menos productiva que fluye en dirección sureste (Ibanez-Erquiaga *et al.*, 2018). La línea costera del área de estudio es relativamente recta sin presentar mayores formaciones continentales como penínsulas o bahías cerradas. La navegación en esta zona cubrió aguas neríticas, así como también el ambiente oceánico sobre el quiebre de la plataforma continental. En total, el área de muestreo es aproximadamente de 168 km<sup>2</sup>, frente a la costa de Los Organos.

## 9.2. Tipo y diseño de investigación

El diseño de esta investigación corresponde al método longitudinal, con datos tomados a través del tiempo para realización de modelos.

El análisis se estructura en función los objetivos:

| <b>Objetivos específicos</b>   | <b>Variables</b>  | <b>Indicador</b>   |
|--|---|--|
| Modelar la distribución espacial del hábitat de la ballena jorobada considerando los tipos de grupos: solitario, par, tres o más y grupos compuesto por crías; madre – cría, madre-cría/escolta y madre-cría/más de una escolta para el periodo 2010-2017. | Posición geográfica por tipo de grupo de ballena jorobada | Coordenada geográfica por tipo de grupo de ballena jorobada  |
|  | Distancia a la costa                                      | Medición perpendicular en metros de la coordenada geográfica por tipo de grupo de ballena y la línea de costa. |
| Determinar, la variación temporal de la distribución del hábitat por tipo de grupo de ballenas jorobadas para el periodo estudiado.  | Temperatura superficial del mar                           | Medición de la temperatura extrapolada de datos satelitales.   |
|  | Posición geográfica por tipo de grupo de ballena jorobada | Fecha de toma de la coordenada geográfica por tipo de grupo de ballena jorobada                                |
|  | Distancia a la costa                                      | Medición perpendicular en metros de la coordenada geográfica por tipo de grupo de ballena y la línea de costa. |

## Variables

- Posición geográfica (GPS) por tipo de grupo de ballena jorobada.
- Distancia a la costa del punto de avistamiento por tipo de grupo
- Temperatura superficial del mar en la celda de avistamiento.

### 9.3. Operacionalización de las variables

Ver detalles del modelamiento en materiales y métodos y el procedimiento de análisis de datos

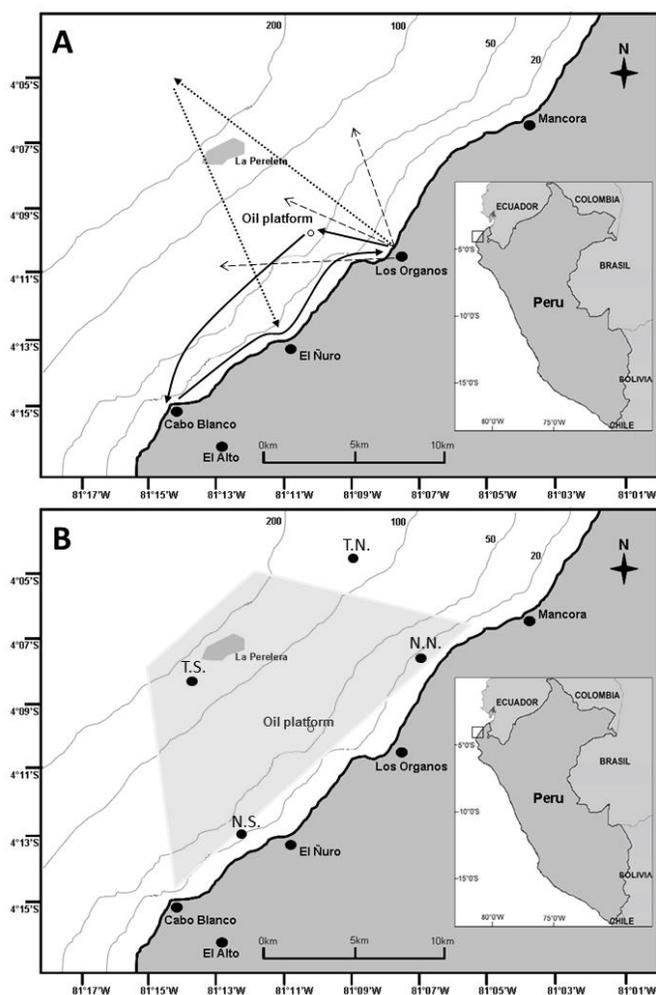
| Variable independiente         | Variable dependiente             | Naturaleza   | Nivel de medición |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------|-------------------|
| Índice de idoneidad (0 a 1)    | Posición geográfica (GPS)        | Cuantitativa | Razón             |
| computado por el modelo maxent | Distancia a la costa/profundidad | Cuantitativa | Razón             |
| ploteado en un mapa            | Temperatura superficial          | Cuantitativa | Razón             |

#### 9.4. Muestreo

El tipo de muestreo empleado en la colecta de datos es no probabilístico. Ver explicación.

Los detalles de cómo se realizaron la toma de datos se encuentran disponible en Pacheco *et al.*, (2009) y Guidino *et al.*, (2014). En breve, los avistamientos de las ballenas jorobadas se realizaron desde embarcaciones turísticas de avistamientos de cetáceos utilizadas como plataformas de oportunidad para la investigación. Durante el 2010, se realizó navegaciones diarias desde un bote de 6.7 m de eslora por 2.4 m de manga, equipado con dos motores fuera de borda (85HP cada uno). La navegación empezó en Los Organos a las 7:30 h tomado una de dos rutas principales. La primera era navegar hacia la plataforma petrolera como punto referencial y luego continuar hacia Cabo Blanco, para luego retornar a Los Organos navegando paralelamente a la costa. La segunda ruta consistió en navegación hacía aguas oceánicas en dirección a un bajero rocoso denominado localmente “La Perelera” para luego retornar a la costa a la altura del El Ñuro y posteriormente retornar a Los Organos bordeando la costa, terminado la navegación a las 10:30 o 11:00 h. En los años comprendidos desde 2011 al 2017 se utilizaron tres botes de 8.8 m de eslora con 3 m de manga equipados con motores dobles de 200 HP (Marcas Mercury y Yamaha). Durante esos años, las ballenas jorobadas fueron ubicadas desde tierra, desde una meseta a 30 m de altura con la ayuda de binoculares. El avistador de tierra se comunicaba con el capitán para dirigir a los botes a la posición de las ballenas. Durante estos años el tiempo de navegación fue el mismo que en 2010. Durante los avistamientos, se siguieron pautas precautorias para el acercamiento a las ballenas (Pacheco *et al.*, 2011; García-Cegarra y Pacheco, 2017) para minimizar en lo posible, el efecto que puede tener el acercamiento del bote en el comportamiento de la ballena. Una vez que una ballena o grupo de ella era ubicado, el bote se aproximó a los

individuos tratando de mantener una distancia de 30 a 100 m, siempre navegando en la misma dirección y velocidad que la ballena en forma paralela. Si la ballena emergía cerca del bote, el motor se puso en neutro y se esperó hasta que el animal se alejara del bote. El tiempo de observación vario entre 10 a 40 min, tratando de que estos tiempos fuesen menores cuando se avistaron grupos madre con cría.



**Figura 1.** Mapa del área de estudio, la costa comprendida entre Cabo Blanco y Mancora. (A) Rutas seguidas por las embarcaciones durante los avistamientos de jorobadas. (B) El trapecio en gris delimita el área de la superficie cubierta durante los muestreos.

## **9.5. Procedimiento y análisis de datos**

Durante los muestreos, se obtuvo el número de individuos por grupo, la composición en función a la edad y sexo y la posición geográfica con un GPS (Garmin modelo Etrex 10x y la versión 20x) con el sistema WGS 84. El punto GPS a considerar fue el más cercano entre el bote y las ballenas. La profundidad de los grupos avistados se obtuvo de las posiciones GPS y ubicados en un mapa batimétrico de la zona utilizando la aplicación ArcMap en ArcGIS versión 10. La distancia a la costa se calculó como aquella perpendicular entre el punto de avistamiento y la línea de costa formando un ángulo de 90 grados. Esta fue calculada con la herramienta “regla” del software Google Earth versión 7.3. Se definió como grupo a el total de ballenas dentro de un ca. 100 m de radio, moviéndose en la misma dirección y exhibiendo el mismo patrón de respiración y desplazamiento. Cuando se avistaron ballenas en la cercanía del grupo focal de observación, estas no fueron consideradas, al menos que mostraran una evidente interacción con el grupo focal. Los grupos fueron clasificados como: solitarios, pares, tres o más individuos y grupos con cría; madre y cría, madre-cría y escolta, y madre-cría y más de una escolta.

Los datos de temperatura superficial del mar (TSM) se obtuvieron del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Mediante el programa SeaDAS ver. 7.4, usando algoritmos estándares, se obtuvieron imágenes satelitales diarias (rasters) de resolución espacial de 1 km/píxel que construidas en base a una proyección cilíndrica equidistante. Se analizaron rasters de pase óptimo y sin elevada nubosidad sobre el área de estudio, comprendidas de agosto a octubre desde el 2010 al 2017. Los datos de TSM dentro del primer kilómetro de costa fueron eliminados de cada raster debido a su alto margen de error (SURFER 12.0). Luego, todos los rasters fueron interpolados (método de interpolación

Kriging) con 1 Km/pixel con el fin de obtener la misma dimensión espacial para la elaboración de la compuesta total (agosto-octubre). Estas compuestas, fueron interpoladas nuevamente (Kriging) a una resolución de 0.5 Km para obtener rasters más finos para evitar la ausencia de datos en algunos pixeles.

## **9.6. Aspecto ético**

Este estudio utilizó datos observacionales no-invasivos. No se colectaron tejidos de ballenas vivas o muerta, por lo que no fue requerido los respectivos permisos que manda la Ley Forestal y de Fauna Silvestre del Perú N°29763 y el Reglamento de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre mediante Decreto Supremo DS No 014-2001-AG. Durante la etapa de colecta de datos no hubo daños de ningún tipo a la especie de estudio (e.g., choque con la embarcación). Durante los muestreos, las embarcaciones se aproximaron cuidadosamente a las ballenas siguiendo un reglamento precautorio de navegación, tal como ha sido indicado en la sección muestreo.

## 10. RESULTADOS

Previamente al modelaje definitivo, se corrieron modelos utilizando las siguientes combinaciones de las variables: “tsm+prof” y “tsm+prof+dist-cost”. Sin embargo, en el primer caso se obtuvieron valores AUC (AUC: area under the curve; área bajo la curva) menores a los modelos corridos con la combinación “tsm+ dist-cost” por lo cual no fue considerado. Tampoco se consideró el modelo “tsm+prof+dist-cost” debido a la colinealidad entre las variables profundidad y distancia a la costa, además estos también produjeron valores AUC menores a los obtenidos con el modelo final (tsm+prof).

### Validación de los modelos Maxent y la contribución de las variables

Los valores del test AUC muestran un adecuado desempeño de los modelos para todos los tipos de grupos (AUC>0.7) (Tabla 1).

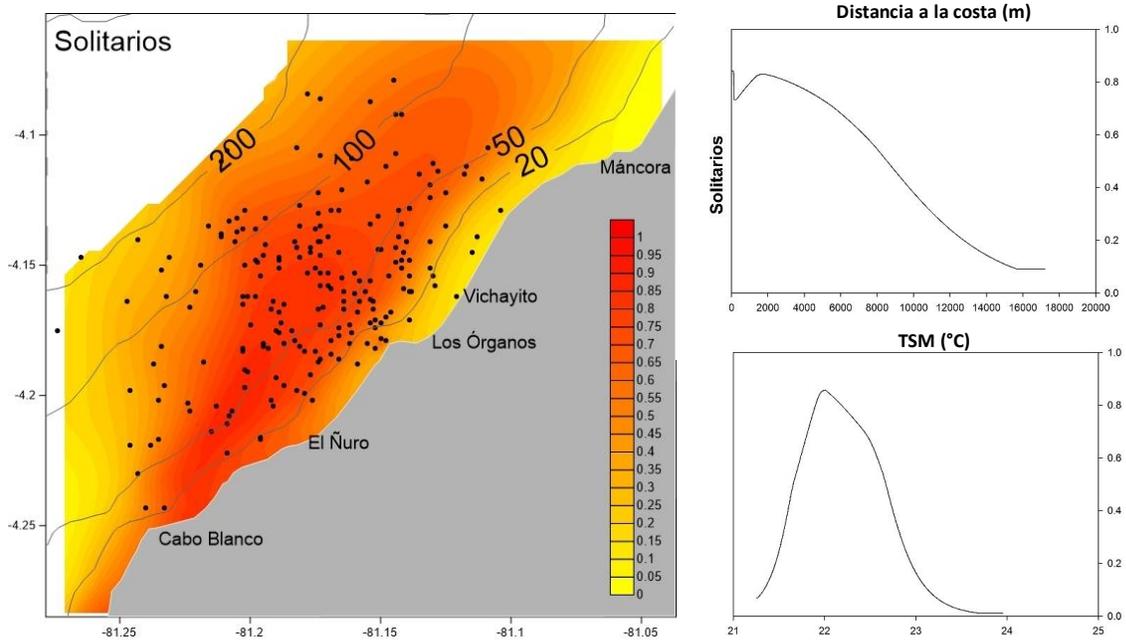
**Tabla 1.** Tamaño de muestra por tipo de grupo de ballena jorobada con sus respectivos valores del estadístico AUC (Area Under the Curve; curva por debajo del área).

| Tipo de grupo      | N° de muestra | Test AUC | AUC desviacion estandar |
|--------------------|---------------|----------|-------------------------|
| Madre-cría         | 322           | 0.8199   | 0.0178                  |
| Madre-cría/escolta | 130           | 0.8263   | 0.0242                  |
| Par                | 254           | 0.8129   | 0.0175                  |
| Solitario          | 206           | 0.7889   | 0.0218                  |
| Tres a mas         | 118           | 0.8008   | 0.0257                  |

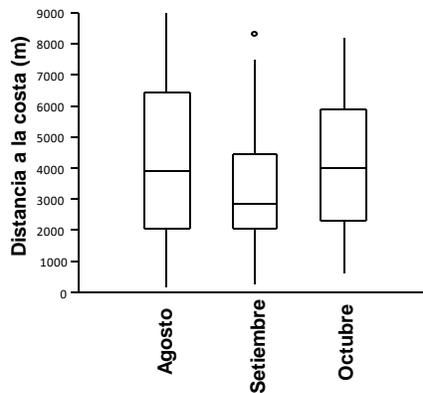
### Predicción del hábitat de los grupos sin crías

Para las ballenas solitarias el modelo maxent predice hábitats idóneos entre la isobata de los 20 y 100 metros, aunque también se predice hábitat muy cerca a la costa comprendida entre

El Ñuro y Cabo Blanco. El hábitat más idóneo para los solitarios ocurre a los 2000 metros de distancia a la costa y a los 22°C de temperatura (Figura 2). No se encontraron diferencias significativas en función a la variación mensual en distancia hacia la costa (Figura 3, Kruskal-Wallis;  $H_c = 4,136$ ;  $P > 0.05$ ).

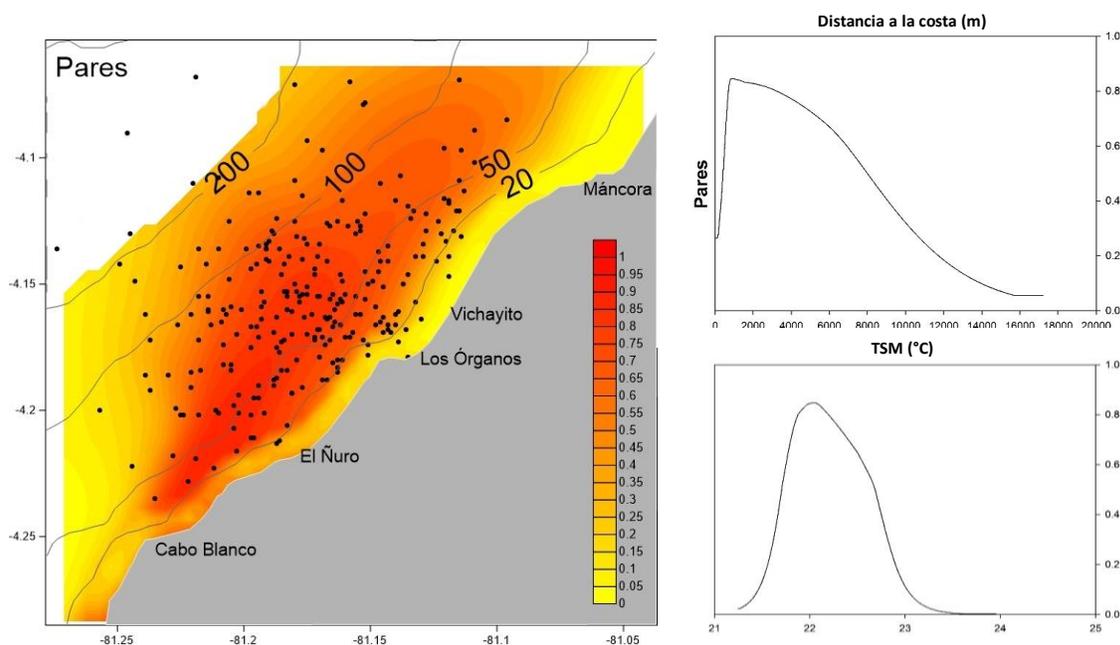


**Figura 2.** Lado izquierdo; mapa resultado del modelo maxent mostrando la distribución espacial de la idoneidad del hábitat para el grupo solitario. Lado derecho curvas mostrando la idoneidad del rango del hábitat modelado: superior batimetría, inferior; temperatura superficial.

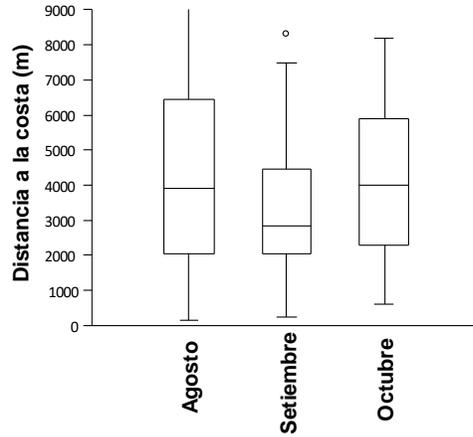


**Figura 3.** Box plot de cuartiles mostrando la variabilidad entre meses de los grupos solitarios en función a la distancia de la costa.

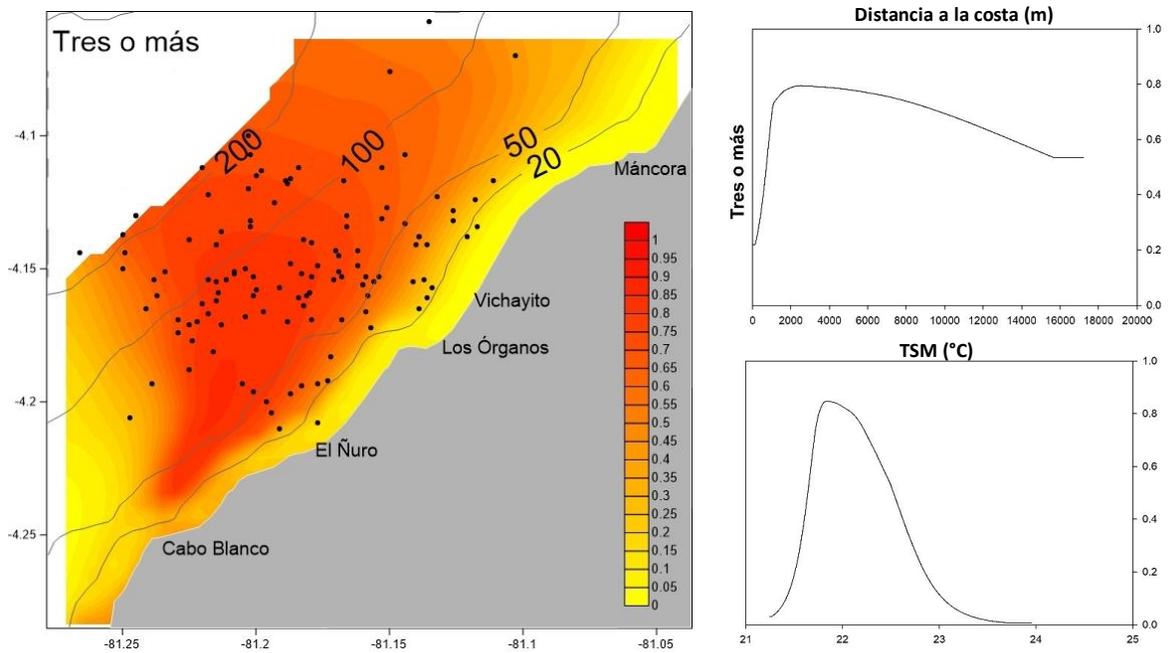
Para los grupos compuestos por pares el modelo maxent predice hábitats idóneos entre la isobata de los 20 y 100 metros. El hábitat más idóneo para los pares ocurre a los 2000 metros de distancia a la costa y a los 22°C de temperatura (Figura 4). No se encontraron diferencias significativas en función a la variación mensual en distancia hacia la costa (Figura 5, Kruskal-Wallis;  $H_c = 4,623$ ;  $P > 0.05$ ).



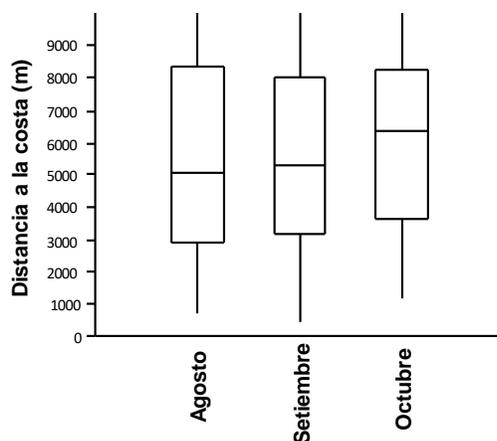
**Figura 4.** Lado izquierdo; mapa resultado del modelo maxent mostrando la distribución espacial de la idoneidad del hábitat para el grupo pares. Lado derecho curvas mostrando la idoneidad del rango del hábitat modelado: superior batimetría, inferior; temperatura superficial.



**Figura 5.** Box plot de cuartiles mostrando la variabilidad entre meses de los grupos pares en función a la distancia de la costa



**Figura 6.** Lado izquierdo; mapa resultado del modelo maxent mostrando la distribución espacial de la idoneidad del hábitat para el grupo tres a mas. Lado derecho curvas mostrando la idoneidad del rango del hábitat modelado: superior batimetría, inferior; temperatura superficial.



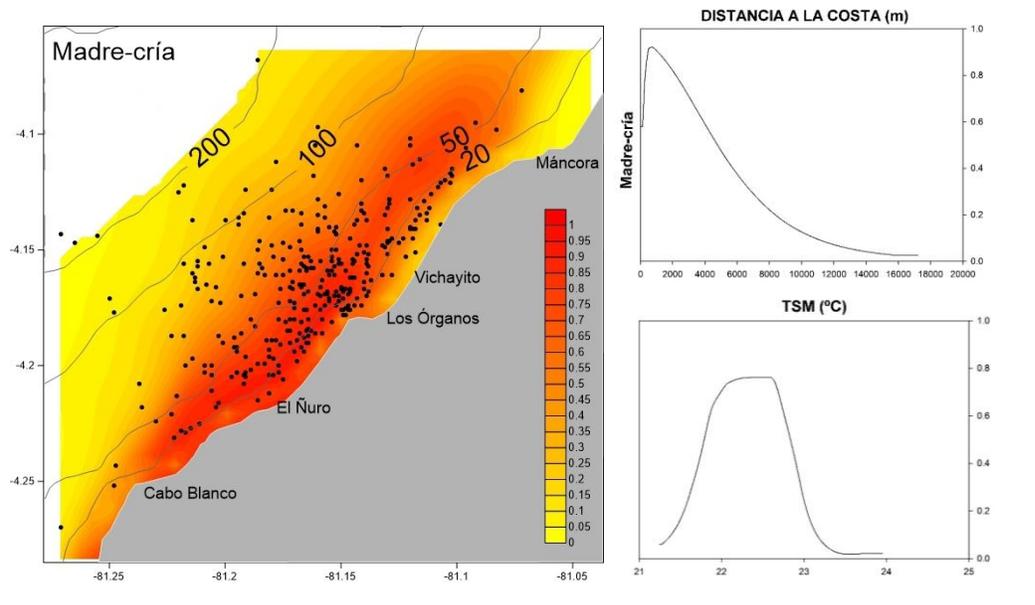
**Figura 7.** Box plot de cuartiles mostrando la variabilidad entre meses de los grupos tres o más en función a la distancia de la costa

El hábitat predicho para los grupos de tres a más ballenas fue el más amplio de todos. El hábitat idóneo empieza a desde los 1900 m de distancia de la costa, entre las isobatas de 20 y 50 metros extendiéndose hasta 11600 m de distancia la costa sobre los 200 metros en la caída de la plataforma continental (Fig. 6). El hábitat de este tipo de grupo comprendido un rango termal de entre 22°C de temperatura superficial del mar. El hábitat más idóneo predicho por el modelo se centra en frente de las costas de El Ñuro y Los Órganos. No se encontraron diferencias significativas en función a la variación mensual en distancia hacia la costa (Figura 7, Kruskal-Wallis;  $H_c = 0,707$ ;  $P > 0,05$ ).

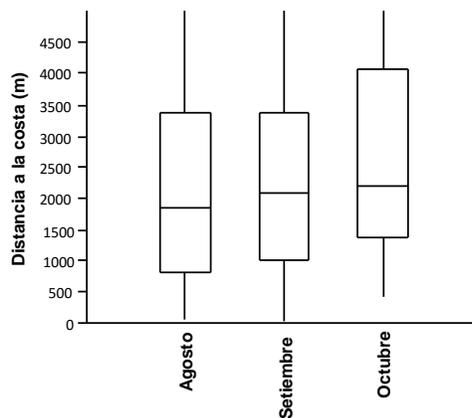
### **Predicción del hábitat de los grupos con crías**

El modelo maxent para los grupos madre con cría predicen hábitats muy idóneos (valores cercanos a 1 desde la línea de costa hasta una distancia promedio de 2300 m en la isobata de los 50 metros con valores de temperatura superficial del mar entre 22 y 23°C. El hábitat más idóneo se predice entre la zona costera comprendida entre Cabo Blanco, El Ñuro y Los Órganos (Figura 8). Aguas más profundas, más allá de los 50 metros y (más allá de los)

2500 metros de distancia de la costa son predichas como hábitats menos idóneos para este tipo de grupo.



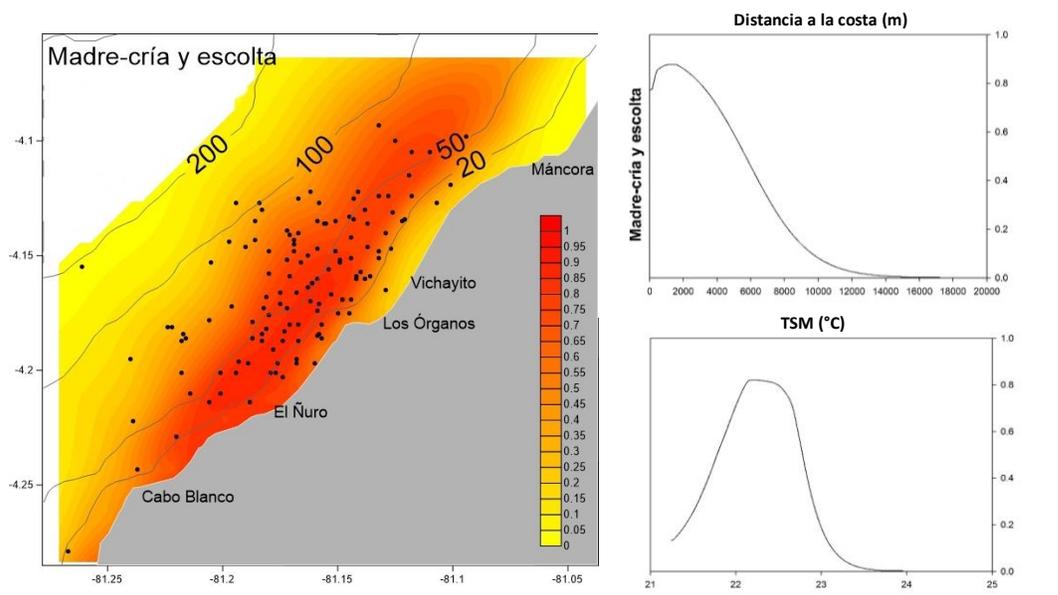
**Figura 8.** Lado izquierdo; mapa resultado del modelo maxent mostrando la distribución espacial de la idoneidad del hábitat para el grupo madre con cría. Lado derecho curvas mostrando la idoneidad del rango del hábitat modelado: superior batimetría, inferior; temperatura superficial.



**Figura 9.** Box plot de cuartiles mostrando la variabilidad entre meses de los grupos madre con cría en función a la distancia de la costa

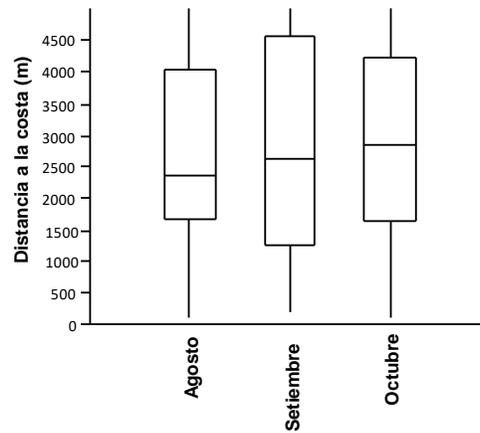
En este tipo de grupo se nota que a hacia el final de la temporada, en octubre, las ballenas se alejan de la costa de manera significativa (Kruskal Wallis;  $H_c = 4,687$ ;  $P < 0.05$ , Mann Whitney de comparaciones a posteriori  $P = 0.031$ ), ver figura 9.

El modelo maxent predicen un hábitat muy similar para el grupo madre con cría y escolta. Hábitats idóneos cercanos a la costa, pero sin extenderse más allá de los 2300 metros de distancia y siempre sobre la isobata de 50m (Figura 10). No se encontraron diferencias significativas en función a la variación mensual en distancia hacia la costa (Figura 11, Kruskal-Wallis;  $H_c = 0,127$ ;  $P > 0.05$ ). Para el tipo de grupo madre, cría y más de una escolta, el número de observaciones no fue suficiente para correr el modelo maxent. Sin embargo, la distribución de este tipo de grupo se presenta en la figura 12.

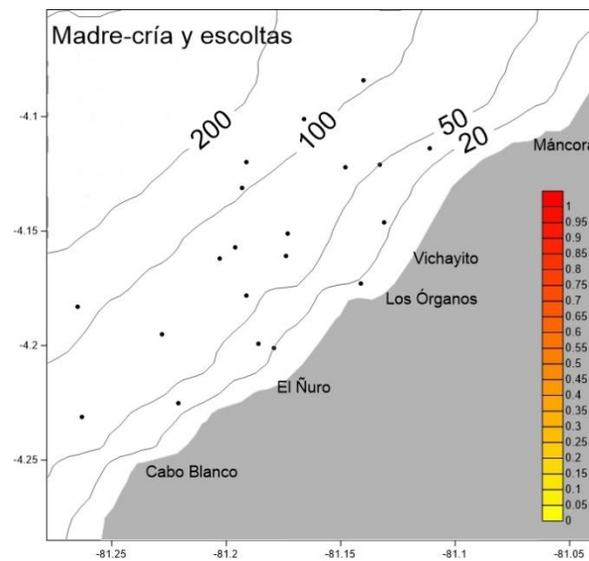


**Figura 10.** Lado izquierdo; mapa resultado del modelo maxent mostrando la distribución espacial de la idoneidad del hábitat para el grupo madre cría y escolta. Lado derecho curvas

mostrando la idoneidad del rango del hábitat modelado: superior batimetría, inferior; temperatura superficial.



**Figura 11.** Box plot de cuartiles mostrando la variabilidad entre meses de los grupos madre con cría y escolta en función a la distancia de la costa



**Figura 12** Mapa mostrando los puntos geográficos (coordenadas GPS) donde se registraron grupos constituidos por madre-crías y más de una escolta. Nótese que no se realizó modelaje para este tipo de grupo.

## 11. DISCUSIÓN

Los resultados de los modelos maxent proveen apoyo a la hipótesis de que las ballenas jorobadas utilizan de manera diferencial el hábitat dependiendo del tipo de grupo durante la época reproductiva. Los modelos predijeron que los hábitats para los grupos solitarios, pares y tres a más, abarcan un amplio rango empezando desde los 20 metros de distancia la costa hasta aguas sobre el quiebre de la plataforma continental. Por el contrario, los modelos predijeron el hábitat de los grupos que involucran crías estuvo distribuido muy cercano a la costa, con distancias que variaron entre 2 a 50 km de distancia. Sin embargo, se detectó una importante variación temporal; el hábitat gradualmente se aleja de la costa a medida que la temporada progresa. Esto posiblemente guarde relación con el patrón de migración de retorno a las zonas de alimentación y el desarrollo de los ballenatos.

Los modelos maxent de predicción de hábitat reafirman el argumento de que la zona costera del norte de Perú tiene las características típicas de segregación por tipo de grupo, tal como se ha reportado en otras zonas de reproducción y crianza. Sin embargo, es posible llegar a dicha conclusión luego de ocho años de colecta de datos lo que ha permitido modelar patrones persistentes de distribución del hábitat. Previamente a este estudio y a los resultados presentados en Pacheco *et al.* (2009) y Guidino *et al.* (2014), la información disponible no consideraba la costa norte de Perú como una zona de reproducción, más bien, se consideraba un corredor migratorio de aguas oceánicas. Además, Félix y Hasse (2001a, 2005) indican que la zona de convergencia formado por la zona de transición entre los sistemas de Humboldt y ecuatorial, gatillarían la migración hacia la costa ecuatoriana. Sin embargo, estos argumentos se basan en los datos de capturas y avistamientos de jorobadas en el norte de Perú poco años antes del establecimiento de la veda a la caza (Ramírez,

1988). Ramírez (1988) reporta zonas de capturas y avistamientos en aguas oceánicas frente a Paíta, sin presentar datos sobre la presencia de la especie en la zona nerítica o costera. Este estudio demuestra que el hábitat característico de una zona de reproducción y crianza está presente frente a la costa norte de Perú. Si bien, este estudio se enfocó en la zona comprendida entre Cabo Blanco y Máncora, es posible que este hábitat se distribuya también frente a las costas de Tumbes y hacia el sur de Piura. Sin embargo, revelar la presencia de la especie y su distribución requiere de aumentar el esfuerzo de observación en dichas localidades.

Los modelos maxent predijeron hábitats diferenciales por tipo de grupo de ballenas. El hábitat predicho para los grupos conformados por individuos solitarios, pares y tres o más fue amplio, pero con una tendencia de alejarse a la costa, llegando a aguas sobre el quiebre de la plataforma continental. Estos grupos usualmente son conformados por individuos adultos que pueden estar constantemente moviéndose o recorriendo el hábitat en búsqueda de la formación de grupos competitivos para acceder a hembras receptivas para aparearse. Usualmente, en las zonas de reproducción hay proporcionalmente más machos que hembras, por lo que estos últimos deben buscar y enfrentar a otros machos para acceder a hembras receptivas. El sistema de apareamiento de las ballenas jorobadas es promiscuo, por ende, si uno o varios machos logran aparearse, estos seguirán en la búsqueda de hembras por lo que la actividad es intensa debido al relativo corto tiempo que disponen para aparearse en la zona invernal. Otros factores que explican la amplia distribución de este tipo de grupo, es la presencia de cantores lo cuales usualmente están asociados a fondos o bajeros rocosos que facilitan la propagación del canto (Oña et al., 2017). Dependiendo de la heterogénea del fondo marino, los cantores se concentrarán en aquellos

lugares de fondos rocosos o mixtos. Sin embargo, usualmente, un individuo macho cantor se detiene en una posición fija para realizar el canto, pero poco después se moverá en búsqueda de otros machos o hembras al finalizar la canción (Oña et al., 2017).

Independientemente de las razones ecológicas de esta amplia distribución, los resultados de los modelos predicen una amplia distribución por este tipo de grupo.

Los modelos predijeron un hábitat mucho más replegado a la costa por los grupos que involucran crías en comparación de los grupos sin crías. Este tipo de hábitat es el más característico de las zonas de reproducción y crianza a nivel mundial. Los grupos madre con cría prefieren hábitats muy costeros puesto que estas condiciones les confieren un importante número de beneficios. Las aguas costeras usualmente son mucho más calmas que el océano abierto, por lo que este tipo de hábitat facilita actividades de crianza como la lactación y el aprendizaje de actividades conductuales que favorecen el desarrollo del ballenato. Además, las aguas costeras tienden a presentar temperaturas más altas lo que implica un beneficio energético para el crecimiento para ballenato. Sin embargo, para la zona estudio, los rangos termales se mantuvieron similares para los grupos con cría y sin cría. Sin embargo, es importante destacar la influencia de las aguas del afloramiento costero del sistema de Humboldt que pueden traer aguas frías a la zona costera. Los resultados muestran que el hábitat en el norte de Perú aún puede estar dentro del límite termal de los ballenatos de la ballena jorobada (18 a 25°C), a su paso por esta región (Guidino *et al.*, 20014). Otra explicación puede ser atribuible a que los ballenatos que se observaron en el norte de Perú pueden haber nacido en destinos migratorios más septentrionales de aguas mucho más cálidas (Acevedo *et al.*, 2017), desde Panamá a Ecuador, por lo que a su paso por el norte de Perú estos ya están desarrollados y con la suficiente capa de grasa para

soportar aguas frías producto del afloramiento costero. Sin embargo, a la fecha solo se han reportado movimientos en la zona de reproducción de individuos adultos indicando dicha direccionalidad (Valdivia et al., 2017). Responder estas interrogantes demandará realizar estimaciones de la edad que tienen los ballenatos en base a algunas características morfológicas como; el patrón de coloración del cuerpo, el ángulo que forma la aleta dorsal conforme va desplegándose con la edad y el tipo de comportamiento (Carthwright & Sullivan 2009).

Los modelos que involucran madre con cría predijeron que el hábitat de estos grupos se iba alejando conforme transcurre la temporada. Pack et al., (2017), reporta que existe una correlación positiva entre el tamaño de la cría y la distancia de la costa Hawái. Mientras más grande la cría, se alejan más de la costa y se encuentran en aguas más profundas (Pack et al., 2017). La interpretación de la predicción de los modelos es que al inicio de temporada el hábitat más replegado a la costa significaría la presencia de ballenatos con poco tiempo de haber nacido, mientras que hacia el final de la temporada el hábitat refleja la presencia de ballenatos de mayor edad, provenientes de regiones de crianza más septentrionales. Los ballenatos de mas desarrollo tienden adentrarse en aguas mas profundas siguiendo a los adultos y también como medida de entrenamiento para la migración de retorno a las zonas de alimentación. Está reportando que los grupos que involucran la presencia de crías son los últimos en partir la migración a las zonas de alimentación. Esto se debe a que las jorobadas madres optimizan las actividades de crianza hasta el cambio de estación.

El hábitat de replegado hacia la costa es también interpretable como una estrategia de los grupos madre con cría para protegerse contra el ataque de las orcas. Aunque solo

unos pocos reportes existen documentando el ataque y consumo de crías de jorobadas por parte de orcas en toda la región de reproducción del Pacífico sureste (Flórez-González *et al.*, 1994; Sheidat *et al.*, 2000), Pitman *et al.* (2015) reporta evidencia contundente de esta relación depredador – presa. En la zona de reproducción de jorobadas del este de Australia, las orcas efectivamente depredan crías de ballenas jorobadas (64% de 22 ataques documentados). Aquellos ataques que no tuvieron éxito se dieron cuando el grupo madre con cría o madre con cría y escolta se replegaron a zonas muy someras, donde las orcas desistieron de su ataque (Pitman *et al.*, 2015). En estos grupos el rol de escolta es fundamental, puesto que esta ballena defiende o disuade el ataque de las orcas interponiéndose entre la madre con cría y las orcas. El repliegue a la costa y el acompañamiento de un escolta entonces se convertirían en un mecanismo de protección contra el único depredador natural de la ballena jorobada.

Finalmente, el repliegue del hábitat hacia la costa de los grupos madre con cría también se debe a que estos grupos evitarían el acoso y actividad energética de los machos competitivos, los cuales, como ya se mencionó están ampliamente distribuidos en hábitats que cubren aguas de la plataforma continental.

## 12. CONCLUSIONES

- Los mapas predictivos resultado de los modelos de máxima entropía predijeron una distribución diferenciada en el hábitat de la ballena jorobada y dicha fue segregada dependiendo del tipo de grupo, distinguiéndose hábitats para los grupos sin cría y los que si presentaron esta.
- Los modelos predijeron hábitats que reflejan el patrón segregado de distribución de la ballena jorobada en el área de estudio (norte de Perú) considerada un área de reproducción y crianza. En este contexto la distancia a la costa la variable que mejor explico los modelos. Sin embargo, aún queda factores como la topografía del fondo a considerar en términos de caracterización del hábitat de esta especie en el norte de Perú.
- Si bien los mapas predictivos cubrieron un área considerablemente grande (168 km<sup>2</sup>, meso-escala), es necesario aun determinar la temperatura superficial del mar, pero mediante mediciones *in situ* que permitan refinar la escala regional que se pierde en resolución con imágenes satelitales.
- Los hábitats modelados en este estudio indican parte del nicho de la especie, sin embargo, es necesario conocer en más detalle la funcionalidad de estos hábitats en el sentido “hutchinsoniano” de la multidimensionalidad del nicho predicho por los modelos. Vale decir incorporar elementos biológicos (e.g. variables conductuales) en los modelos predictivos.

### 13. RECOMENDACIONES

- Durante los meses de julio a octubre suspender las pesquerías que utilicen redes de cortina de deriva o de fondo, particularmente en la zona costera entre Piura y Tumbes. Este arte se puede cambiar por lienza o espinel.
- Durante los meses de julio a octubre suspender actividad de exploración petrolera mediante el uso de explosiones sísmicas en la plataforma continental. Si bien esta recomendación es basada en los resultados de esta tesis, se deben considerar también la distribución de otros cetáceos susceptibles a este tipo de actividad.
- La observación turística de ballenas jorobadas debe regularizarse formalmente. El hábitat usado por los grupos con crías está muy cercano a la costa, haciéndose este grupo el más “fácil” de avistar y por lo tanto de perturbar. Se recomienda utilizar una zona de exclusión de botes alrededor de los grupos con crías de al menos 300 m de radio.
- En toda la zona nerítica, pero particularmente cerca a la costa se debe regular la velocidad de las embarcaciones, particularmente las de gran calado. Establecer un límite que no exceda los 10 nudos náuticos, ha demostrado disminuir la mortalidad por colisión de con embarcaciones en varias especies de ballenas.
- En este estudio, se modelo en base a parámetros visibles de la especie e.g., posición geográfica. Sin embargo, el hábitat de las jorobadas es tridimensional y viscoso en donde el sentido de la audición cobra mucho mayor relevancia para sus actividades biológicas. Es recomendable evaluar el impacto de la contaminación acústica en el comportamiento de esta especie.

#### 14. REFERENCIAS CITADAS

- Acevedo, J., Aguayo-Lobo, A., Allen, J., Botero-Acosta, N., Castro, C., Dalla Rosa, L., ... Stevick, P.T. (2017). Migratory preferences of humpback whales between feeding and breeding grounds in the eastern South Pacific. *Marine Mammal Science*, 33(4), 1035-1052. [doi:10.1111/mms.12423](https://doi.org/10.1111/mms.12423)
- Allison, C. (2010). International Whaling Commission Summary Catch Database Version 5.0. Recuperado de IWC Secretariat.
- Aron, W., Burke, W., Freeman M. M. R. (2000). The whaling issue. *Marine Policy* 24, 179-191.
- Baker C. S., y Clapham P.J. (2004). Modelling the past and future of whales and whaling. *Trends in Ecology and Evolution*, 19(7), 365-371. doi:10.1016/j.tree.2004.05.005
- Branch T., K. M. Stafford, D. M., Palacios, C. Allison, J. L. Bannister, C. L. K. Burton, E. Cabrera, C. A. Carlson, B. Galletti Vernazzani, P. C. Gill, R. Hucke-Gaete, K. C. S. Jenner, M.-N. M. Jenner, K. Matsuoka, Y. A. Mikhalev, T. Miyashita, M. G. Morrice, S. Nishiwaki, V. J. Sturrock, D. Tormosov, R. C. Anderson, A. N. Baker, P. B. Best, P. Borsa, R. L. Brownell Jr, S. Childerhouse, K. P. Findlay, T. Gerrodette, A. D. Ilangakoon, M. Joergensen, B. Kahn, D. K. Ljungblad, B. Maughan, R. D. Mccauley, S. Mckay, T. F. Norris, Oman Whale and Dolphin Research Group, S. Rankin, F. Samaran, D. Thiele, K. van Waerebeek y R. M. Warneke., 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

Cartwright, R., y Sullivan, M. (2009). Associations with multiple male groups increase the energy expenditure of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) female and calf pairs on the breeding grounds. *Behaviour*, 146, 1573-1600. doi:10.1163/156853909X458377

Cartwright, R., y Sullivan, M. (2009). Behavioral ontogeny in humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) calves during their residence in Hawaiian waters. *Marine Mammal Science*, 25, 659-680. doi: 10.1111/j.1748-7692.2009.00286.x

Clapham, P. J. (2001). Why do baleen whales migrate? A response to Corkeron and Connor. *Marine Mammal Science*, 17, 432-436. doi: 10.1111/j.1748-7692.2001.tb01289.x

Clapham, P. J. (2009). Humpback whale *Megaptera novaeangliae* En: W. F. Perrin, B. Würsig, J. G. M. Thewissen (Eds). *Encyclopedia of marine mammals* (pp. 582-585). San Diego, USA: Academic Press.

Clapham, P. J. y Baker, C. S. (2009). Whaling, modern En: W. F. Perrin, B. Würsig, J. G. M. Thewissen (Eds). *Encyclopedia of marine mammals* (pp. 1239-1243). San Diego, USA: Academic Press.

Corkeron, P. J., y Connor, R. C. (1999). Why do baleen whales migrate? *Marine Mammal Science*, 15, 1228-1245. doi: 10.1111/j.1748-7692.1999.tb00887.x

Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, G., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC Overton, J., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R. Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S. y Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species'

distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151. doi: 10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x

Elith, J., Phillips, S., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y. y Yates, C., (2011). A statistical explanation of Maxent for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17, 43-57. doi: 10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

Ersts, P. J., y Rosenbaum, H. C. (2003). Habitat preference reflects social organization of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on a wintering ground. *Journal of Zoology*, 260, 337-45.

Faria, M. A., DeWeerd, J., Pace, F., y Mayer, F. X. (2013). Observation of a humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) birth in the coastal waters of Sainte Marie Island, Madagascar. *Aquatic Mammals*, 39(3), 296-305. doi: 10.1578/AM.39.3.2013.296

Félix, F. (2004). Assessment of the level of surface activity in humpback whales during the breeding season. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 3, 25-36.

Félix, F., y Haase, B. (2001a). Towards an estimate of the southeastern Pacific humpback whale stock. *Journal of Cetacean Research and Management*, 3(1), 55-58.

Félix, F., Haase, B. (2001b). The humpback whale off the coast of Ecuador, population parameters and behaviour. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 36, 61-74.

Félix, F., y Botero-Acosta, N. (2011). Distribution and behaviour of humpback whale mother-calf pairs during the breeding season off Ecuador. *Marine Ecology Progress Series*, 426, 277-287. doi: 10.3354/meps08984

Félix, F., Castro, C., Laake, J. L., Haase, B., y Scheidat, M. (2011). Abundance and survival estimates of the southeastern Pacific humpback whale from 1991-2006 photo-identification surveys in Ecuador. *Journal of Cetacean Research and Management*, 3(Special issue), 301-307.

Ferreira, M.E.C., Maia-Nogueira, R., y Hubner de Jesus, A. (2011). Surface observation of a birth of a humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) on the northeast coast of Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 9(2), 160-163. doi:10.55.97/lajam00182

Flórez-González, L. (1991). Humpback whales *Megaptera novaeangliae* in the Gorgona Island, Colombian Pacific breeding waters: population and pod characteristics. *Memoirs of the Queensland Museum*, 30(2), 291-295.

Galletti-Vernazzani, B., Cabrera, E., y Jr. Brownell, R.L. (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

García-Cegarra, A. M., y Pacheco, A. S. (2017). Whale-watching trips in Peru lead to increases in tourist knowledge, pro-conservation intentions and tourist concern for the impacts of whale-watching on humpback whales. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27, 1011-1020. doi: 10.1002/aqc.2754

García-Cegarra, A. M., Villagra, D., Gallardo, D.I., Pacheco, A.S. (2018). Statistical dependence for detecting whale-watching effects on humpback whales. *The Journal of Wildlife Management*, DOI: 10.1002/jwmg.21602

- Gibbons, J., Capella, J. J., Valladares C. (2003). Rediscovery of a humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) feeding ground in the Straits of Magellan, Chile. *Journal of Cetacean Research and Management*, 5(2), 203-208.
- Guzmán, H. M., Condit, R., Pérez-Ortega, B., Capella, J. J., y Stevick, P. T. (2015). Population size and migratory connectivity of humpback whales wintering in Las Perlas Archipelago, Panama. *Marine Mammal Science*, 31(1), 90-105. doi: 10.1111/mms.12136
- Hijmans, R.J, Phillips, S., Leathwick, J. y Elith, J. (2011). Package ‘dismo’. Recogido de: <http://cran.r-project.org/web/packages/dismo/index.html>.
- Hijmans, R.J. y van Etten, J. (2012). raster: Geographic analysis and modeling with raster data. R package version 2.0-12. Recogido de: <http://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Holt, R. D. (2009). Bringing the Hutchinsonian niche into the 21<sup>st</sup> century: Ecological and evolutionary perspectives. *Proceedings of the National Academy of Science of USA*, 106(suppl. 2), 19659-19665. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905137106>
- Hucke-Gaete, R., Haro, D., Torres-Florez, J. P, Montecinos, Y., Viddi, F., et al. (2013). A historical feeding ground for humpback whales in the eastern South Pacific revisited: the case of northern Patagonia, Chile. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23, 858-867.
- Ibanez-Erquiaga, B., Pacheco, A.S., Rivadeneira, M. M., Tejada, C.L. (2018). Biogeographical zonation of rocky intertidal communities along the coast of Peru (3.5–13.5° S Southeast Pacific). *PLoS ONE* 13(11): e0208244. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208244>

- Mackintosh, N.A. (1965). *The Stocks of Whales*. Fishing News (Books) Ltd, London. 232pp.
- Merow, C., Smith, M.J. y Silander, J.A. (2013). A practical guide to Maxent for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36, 1058-1069. doi: 10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x
- Muscarella, R., Galante, P.J., Soley-Guardia, M., Boria, R.A., Kass, J., Uriarte, M. y R.P. Anderson. (2014). ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*. doi: 10.1111/2041-210X.12261
- Omura, H. (1953). Biological study on the humpback whales in the Antarctic whaling areas IV and V. *Sci. Rep. Whales Res. Inst., Tokyo* 8:81-101.
- Oviedo, L., y Solís, M. (2008). Underwater topography determines critical breeding habitat for humpback whales near Osa Peninsula, Costa Rica: implications for Marine Protected Areas. *Revista de Biología Tropical* 56, 591-602.
- Pacheco, A.S., Silva, S. y Alcorta, B. (2009). Winter distribution and group composition of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off northern Peru. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 7(1-2), 33-38. <http://dx.doi.org/10.5597/lajam00131>
- Pacheco, A.S., Silva, S., y Alcorta, B. (2011). Is it possible to go whale watching off the coast of Peru? A case study of humpback whales. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 39(1), 189-196. doi: 10.3856/vol39-issue1-fulltext-20
- Pacheco, A.S., Silva, S., Alcorta, B., Balducci, N., Guidino, C., Llapapasca, M.A., y Sanchez-Salazar, F. (2013). Aerial behavior of humpback whales *Megaptera novaeangliae*

at the southern limit of the southeast Pacific breeding area. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(1), 185-191. doi:[10.4067/S0718-19572013000100016](https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000100016)

Pack, A. A., Herman, L. M., Craig, A. S., Spitz, S. S., Waterman, J. O., Herman, E. Y. K., Deakos, M. H., Hakala, S., y Lowe, C. (2017). Habitat preferences by individual humpback whale mothers in the Hawaiian breeding grounds vary with the age and size of their calves. *Animal Behaviour* 133, 131-144.

Phillips S., Anderson, R. y Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distribution. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.

doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Phillips, S. y Dudík, M. (2008). Modeling 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., Anderson, R.P., Dudík, M., Schapire, R. y Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40, 887-893.

Pitman, R. L., Totterdell, J. A., Fearnbach, H., Balance, L.T., Durban, J. W., y Kemps, H. (2015). Whale killers: prevalence and ecological implications of killer whale predation on humpback whale calves off Western Australia. *Marine Mammal Science*, 31(2), 629-657. doi: 10.1111/mms.12182

Ramírez, P. (1985). Peru: Progress report on cetacean research, October – December 1983. *Reports of the International Whaling Commission* 35, 176-177.

Ramírez, P. (1988). La ballena jorobada *Megaptera novaeangliae* en la costa norte del Perú: Períodos 1961-1965 y 1975-1985. *Boletín de Lima*, 56, 91-96.

Ramírez, P. (1989). Captura de cetáceos mayores desde las estaciones costeras del Perú: 1951-1985. *Boletín de Lima*, 64, 91-95.

Ramírez, P. (1990). Distribución de los cetáceos mayores después del Fenómeno “El Niño” 1982-1983. *Boletín de Lima* 70, 85-90.

Rasmussen, K., Palacios, D. M., Calambokidis, J., Saborío, M. T., Dalla Rosa, L., Secchi, E. R., Steiger, G. H., Allen, J. M. y Stone, G. S. (2007). Southern Hemisphere humpback whales wintering off Central America: insights from water temperature into the longest mammalian migration. *Biology Letters*, 3, 302-305. doi: 10.1098/rsbl.2007.0067

Reilly, S.B., Bannister, J.L., Best, P.B., Brown, M., Brownell Jr., R.L., Butterworth, D.S., Clapham, P.J., Cooke, J., Donovan, G.P., Urbán, J. y Zerbini, A.N. (2008). *Megaptera novaeangliae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T13006A3405371. [doi:10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T13006A3405371](https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T13006A3405371)

Reyes, J. C. (2009). *Ballenas, delfines y otros cetáceos del Perú. Una fuente de información*. Squema ediciones, Lima. 159 pp.

Santillan, L. (2011). Records of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Sechura Bay, Peru, in spring 2009–2010. *Journal of Marine Animals and their Ecology* 1: 29–35.

Scheidat, M., Castro, C., Denkinger, J., González, J., y Adelung, D. (2000). A breeding area for humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off Ecuador. *Journal of Cetacean Research and Management*, 2(3), 165-171.

Spalding M, Fox H, Allen G, Davidson N, Ferdan~a Z, et al. (2007) Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *Bioscience* 57, 573-583.

Soberón, J., y Arroyo-Peña, B. (2017). Are fundamental niches larger than the realized? Testing a 50-year-old prediction by Hutchinson. *PLoS ONE*, 12(4), e0175138.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175138>

Thiel, M., Luna-Jorquera, G., Álvarez-Varas, R., Gallardo, C., Hinojosa, I. A., Luna, N, ... y Zavalaga, C. (2018). Impacts of marine plastic pollution from continental coasts to subtropical gyres-fish, seabirds, and other vertebrates in the SE Pacific. *Frontiers in Marine Science*, 5,238. doi: 10.3389/fmars.2018.00238

Young, N., Carter, L., y Evangelista, P. (2011). A Maxent Model v3.3.3e Tutorial (ArcGISv10).[http://ibis.colostate.edu/WebContent/WS/ColoradoView/TutorialsDownloads/A\\_Maxent\\_Model\\_v7.pdf](http://ibis.colostate.edu/WebContent/WS/ColoradoView/TutorialsDownloads/A_Maxent_Model_v7.pdf) (last accessed 12 December 2016).