



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**  
ESCUELA DE POSGRADO VICTOR ALZAMORA CASTRO

**ÍNDICE DE ABUNDANCIA PARA MUNIDA  
(*Pleuroncodes monodon*) A PARTIR DE DATOS  
DE SU CAPTURA INCIDENTAL EN LA PESCA  
INDUSTRIAL DE LA ANCHOVETA PERUANA  
(*Engraulis ringens*) DESDE 1997 A 2014**

**Tesis para optar el grado de  
Maestro en Ciencias del Mar**

Rosario María del Carmen Escobedo Oblitas

**Lima - Perú**

**2018**



**ASESOR:**

Dr. Ricardo Oliveros Ramos

**MIEMBROS DEL JURADO:**

Dr. Jorge Tam Málaga

Dr. Dante Espinoza Morriberon

Mg. Susana Cárdenas Alayza

## **Agradecimientos**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo gracias al financiamiento de la beca de estudios de posgrado otorgada por Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC/ 031-2015-FONDECYT).

A mi asesor Ricardo Oliveros por su enseñanza y apoyo a lo largo de toda esta etapa, a los profesores del programa de Maestría en Ciencias del Mar, a los miembros del Laboratorio de Ciencias del Mar, en especial a André Ampuero, José Solís, Katherine Roa y Lady Amaro.

A a mi familia por su apoyo a lo largo de toda mi carrera profesional y a Eduardo por sus consejos y cariño.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

# Resumen

La pesca industrial de anchoveta (*Engraulis ringens*) en aguas peruanas captura diversas especies de manera incidental, entre las que se encuentra la múnida (*Pleuroncodes monodon*). A diferencia de Perú, la múnida en Chile es una especie en plena explotación, se extrae como parte de la pesca de arrastre de fondo y es utilizada en la elaboración de conservas y congelados. En el litoral peruano, la múnida presenta fuerte superposición espacial y comparte nicho ecológico con la anchoveta, por lo que es capturada en grandes cantidades de manera incidental dentro de la pesca industrial de anchoveta. Desde finales de la década de 1990, la múnida se ha convertido en una especie muy abundante a lo largo del litoral peruano, actualmente es presa importante de aves marinas, mamíferos y peces depredadores como la merluza, caballa y cachema. Debido a que la múnida juega un rol importante dentro de la red trófica y que desde el año 2013 el Ministerio de la Producción se encuentra impulsando a la múnida como recurso potencia; es necesario conocer su abundancia y factores que determinan su distribución. En el presente estudio se calculó un índice de abundancia relativa para múnida, siguiendo el supuesto de que la captura de una especie objetivo y la captura de una especie capturada incidentalmente es proporcional a la abundancia de ambas poblaciones. Se utilizaron modelos aditivos generalizados (GAM) para determinar la relación entre la presencia de múnida y las variables ambientales. Las variables ambientales utilizadas fueron: temperatura superficial del mar (tsm) en °C, salinidad superficial del mar (ssm) en ups y producción primaria neta (ppn) en gC/m<sup>2</sup>. La relación obtenida permitió estimar la distribución de múnida dentro del mar peruano desde el año 1997 hasta el año 2014. Como ajuste para el cálculo del índice, se calculó la fracción de la distribución de múnida que se presentó sobre el área de actividad de la pesquería industrial de anchoveta. Según se esperaba, el área de distribución de la múnida no se encontró incluida en su totalidad dentro del área

de actividad de la flota industrial anchovetera, la fracción resultó ser estadísticamente diferente ( $p < 0,0001$ ). Esta diferencia reafirmó la pertinencia de realizar la corrección del índice. La metodología planteada en el estudio permitió calcular un índice de abundancia a partir de la información que genera la pesquería industrial de anchoveta y estimados de su población. Este índice permitió obtener estimaciones mensuales gracias a que las embarcaciones pesqueras trabajan durante varios meses, a diferencia de las evaluaciones acústicas que sólo se realizan dos veces al año. El índice de abundancia para múnida desde 1997 hasta 2014 mostró tres etapas para la múnida: de 1997 a finales de 1999, la múnida fue muy poco abundante; luego desde finales de 1999 a 2004, la múnida presentó abundancia alta; por ultimo, desde 2004 a 2014, la múnida volvió a presentar valores bajos de abundancia.

**Palabras clave:** Índice de abundancia, múnida, anchoveta, captura incidental.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Planteamiento de la investigación</b>	<b>3</b>
2.1. Planteamiento del problema . . . . .	3
2.2. Hipótesis . . . . .	5
2.3. Marco teórico . . . . .	6
2.3.1. Sistema de la Corriente de Humboldt . . . . .	6
2.3.2. La anchoveta peruana . . . . .	7
2.3.3. Múnida . . . . .	10
2.3.4. Evaluaciones poblacionales . . . . .	13
2.4. Justificación del estudio . . . . .	18
2.5. Objetivos . . . . .	19
2.5.1. Objetivo general . . . . .	19
2.5.2. Objetivos específicos . . . . .	19
<b>3. Metodología</b>	<b>20</b>
3.1. Diseño metodológico . . . . .	20
3.2. Datos . . . . .	22
3.2.1. Periodo de tiempo y área de estudio . . . . .	23
3.2.2. Bitácoras de Pesca . . . . .	23

## *Índice general*

3.2.3. Prospección acústica . . . . .	25
3.3. Índice de abundancia . . . . .	27
3.3.1. Distribución espacial de múnida . . . . .	27
3.3.2. Índice de abundancia relativa para múnida . . . . .	31
<b>4. Resultados</b>	<b>34</b>
4.1. Distribución espacial de múnida . . . . .	34
4.2. Índice de abundancia relativa para múnida . . . . .	39
4.2.1. Captura de múnida y anchoveta . . . . .	39
4.2.2. Biomasa de anchoveta . . . . .	41
4.2.3. Índice de abundancia relativa . . . . .	42
<b>5. Discusión de resultados</b>	<b>45</b>
5.1. Distribución espacial de múnida . . . . .	45
5.2. Índice de abundancia . . . . .	50
<b>6. Conclusiones</b>	<b>56</b>
<b>7. Perspectivas</b>	<b>57</b>
<b>A. Anexo: Distribución espacial de múnida</b>	<b>59</b>
<b>B. Anexo: Índice de abundancia relativa para múnida</b>	<b>67</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>70</b>

# Índice de figuras

<b>2-1.</b> Ecosistemas de afloramiento costero de borde oriental [14]. . . . .	6
<b>2-2.</b> <i>Pleuroncodes monodon</i> . Diferencia de tamaño entre individuos adultos demersales (A), pertenecientes a aguas chilenas y adultos pelágicos (B), pertenecientes a aguas peruanas [34]. . . . .	11
<b>2-3.</b> Presencia de múnida en la pesca industrial de anchoveta peruana [2]. . .	13
<b>3-1.</b> Diagrama que describe el proceso que se siguió para el desarrollo del presente proyecto. . . . .	21
<b>3-2.</b> Distribución del personal dentro del Programa de Bitácoras de Pesca [52].	25
<b>3-3.</b> Trayecto y lances de comprobación realizados en el Crucero 0110-11 [53].	26
<b>4-1.</b> Distribución potencial promedio de múnida dentro del mar peruano según la estacionalidad. La más alta probabilidad de presencia se muestra con el valor más alto (1.0), en color rojo y la menor probabilidad de presencia se muestra con el valor mas bajo (0.0), en color azul. . . . .	35
<b>4-2.</b> Distribución potencial promedio mensual de la múnida dentro del mar peruano. La más alta probabilidad de presencia se muestra con el valor más alto (1.0), en color rojo y la menor probabilidad de presencia se muestra con el valor mas bajo (0.0), en color azul. . . . .	37

## Índice de figuras

- 4-3.** Superficie de distribución potencial de la múnida de 1997 a 2014 (a). Fracción de la distribución potencial de múnida dentro del área de pesca industrial de anchoveta de 1997 a 2014 (b). En rojo se presenta el periodo de Niño extraordinario, en naranja los periodos de Niño moderado y en amarillo los periodos de Niño débil. . . . . 38
- 4-4.** Captura de anchoveta de 1997 a 2014 (a). Capturas incidentales de múnida de 1997 a 2014 (b). En rojo se presenta el periodo de Niño extraordinario, en naranja los periodos de Niño moderado y en amarillo los periodos de Niño débil. . . . . 40
- 4-5.** Captura anual de anchoveta desde el año 1997 a 2014 (a) y captura incidental anual de múnida desde 1997 a 2014 (b). En asteriscos se presentan los diferentes eventos El Niño: Niño extraordinario (rojo), Niño moderado (naranja), Niño débil (amarillo). . . . . 41
- 4-6.** Biomasa de anchoveta de 1997 a 2014, calculada por el modelo estructurado por tallas [55]. En rojo se presenta el periodo Niño extraordinario, en naranja los periodos de Niño moderado y en amarillo los periodos de Niño débil. . . . . 42
- 4-7.** Valores calculados del índice de abundancia relativa para múnida desde el año 1997 a 2014. En rojo se presenta el periodo de Niño extraordinario, en naranja los periodos de Niño moderado y en amarillo los periodos de Niño débil. . . . . 43
- 4-8.** Índice anual de la abundancia relativa de múnida y la abundancia de múnida calculada por acústica (asteriscos). Los colores de las barras representan los eventos El Niño en el mar peruano: Niño extraordinario (rojo), Niño moderado (naranja), Niño débil (amarillo), año sin Niño (plomo). . . 44

## *Índice de figuras*

<b>A-1.</b> Distribución potencial promedio de la múnida dentro del mar peruano. La más alta probabilidad de presencia se muestra con el valor más alto (1.0), representado con el color rojo. . . . .	59
<b>A-2.</b> Nicho ecológico para múnida según modelo mod2.4b. . . . .	61
<b>A-3.</b> Gráfica de dispersión que relaciona el área de distribución calculada para múnida de 1997 a 2014 con los promedios mensuales de la variable ambiental temperatura superficial del mar. . . . .	64
<b>A-4.</b> Gráfica de dispersión que relaciona el área de distribución calculada para múnida de 1997 a 2014 con los promedios mensuales de la variable ambiental salinidad superficial del mar. . . . .	64
<b>A-5.</b> Gráfica de dispersión que relaciona el área de distribución calculada para múnida de 1997 a 2014 con los promedios mensuales de la variable ambiental productividad primaria neta. . . . .	64
<b>A-6.</b> Fracción del hábitat de múnida dentro del área de pesca, Min=0.3640, Max=0.9475, Mean=0.6652. . . . .	65
<b>A-7.</b> Desembarques de anchoveta en millones de toneladas desde 1950 hasta 2015, modificado del Documento de Trabajo del Ministerio de Producción N° 01-2016-DECHI [64]. . . . .	66
<b>B-1.</b> Boxplot de los valores promedio mensuales de las capturas de múnida (a) y anchoveta (b), biomasa de anchoveta (c) y la fracción de múnida en el área de pesca (d). . . . .	67
<b>B-2.</b> Boxplot de los valores promedio mensuales de índice de abundancia relativa calculado para múnida . . . . .	69

**B-3.** Valores de los componentes utilizados para el calculo del índice de múnida desde 1997 hasta 2014. Cociente de la captura de múnida y la captura de anchoveta se muestra (a), biomasa de anchoveta en MMt (b) y la fracción de la población de múnida distribuida dentro del área de pesca (c). . . . 69

# Índice de tablas

<b>3-1.</b> Variables ambientales y el procesamiento que se siguió para obtener los datos de cada una. . . . .	22
<b>3-2.</b> Modelos probados para el nicho ecológico de múnida. . . . .	29
<b>A-1.</b> Modelos probados para el nicho ecológico ordenados de manera descendente según sus valores AUC. . . . .	60
<b>A-2.</b> Porcentajes de la desviación explicada por parte de los 10 mejores modelos según su valor de AUC. . . . .	61
<b>A-3.</b> Nichos ecológicos de los modelos que no fueron elegidos a pesar de tener un valor de AUC mas alto que el de mod2.4b. . . . .	62
<b>A-4.</b> Límites de tolerancia calculados para el nicho ecológico de múnida. Las variables ambientales utilizadas fueron: la temperatura superficial del mar (TSM), la salinidad superficial del mar (SSM) y productividad primaria neta (PPN). . . . .	63
<b>A-5.</b> Límites de tolerancia del nicho ecológico de anchoveta por estadios de desarrollo en la costa peruana. Las variables ambientales presentadas son: la temperatura superficial del mar (TSM), la salinidad superficial del mar (SSM), la concentración de clorofila a superficial (CL) y la profundidad de la oxiclina (OXI). Modificado del trabajo de Luján del 2016 [60]. . . . .	63

*Índice de tablas*

<b>A-6.</b> Eventos El Niño en la costa de Perú desde 1997 hasta 2015, elaborado a partir de datos publicados por ENFEN [57]. . . . .	65
<b>B-1.</b> Valores calculados del índice de abundancia relativa para múnida desde 1997 hasta 2014. . . . .	68

# 1 Introducción

El Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) es uno de los más productivos del mundo. El afloramiento costero que lo caracteriza permite que tenga una alta productividad primaria y secundaria, las cuales a su vez sostienen una gran biomasa de peces. La pesca de anchoveta (*Engraulis ringens*), es la principal actividad pesquera en Perú, sus desembarques han llegado alcanzar hasta el 15% de la captura mundial en algunos años [1]. La pesca industrial de anchoveta captura una gran cantidad de especies de manera incidental a lo largo de toda la costa, entre estos se ha reportado Caballa (*Scomber japonicus peruanus*), Bagre (*Galeichthys peruvianus*), Lorna (*Sciaena deliciosa*), Pejerrey (*Odontesthes regia regia*), Jurel (*Trachurus picturatus murphyi*), Camotillo (*Diplacrum conceptione*), Pampanito (*Trachinotus paitensis*), Múnida (*Pleuroncodes monodon*), Potata (*Dosidiscus gigas*) y Malagua (*Chrysaora plocamia*) [2]. Entre estas, por debajo de los peces, *P. monodon* es capturada en mayor abundancia, llegando a representar casi el 50% de la captura incidental en 2011 [2]. En Chile *P. monodon*, junto con *Cervimunida johni*, son las dos especies objetivo más importantes dentro de la pesquería de arrastre de fondo. La abundancia de múnida en Chile se estima en 210 mil toneladas [3], mientras que en Perú se ha llegado a estimar por acústica un máximo de 3.4 millones de toneladas durante el verano del año 2000 [4]. A pesar de esto, en el Perú la pesca de múnida no se encuentra establecida como tal, siendo su captura mayormente incidental. No se tiene estimado cuánto de la población es lo que se extrae durante cada temporada de pesca. En el presente se buscó desarrollar un índice de abundancia para múnida, a partir de

## *1. Introducción*

datos de su captura incidental en la pesca industrial de anchoveta. Se trabajó con datos obtenidos por el Programa de Bitácoras de Pesca (PBP) de IMARPE, prospecciones acústicas de IMARPE y salidas de modelos estadísticos para variables ambientales desde el año 1997 a 2014. Se estimó la abundancia de múnida a partir de la relación entre las capturas de anchoveta y múnida y la abundancia conocida de anchoveta. Determinar cómo es que la población de múnida varía en abundancia va a permitir realizar un mejor análisis de su población y a su vez va a permitir que las autoridades tomen decisiones mejor informadas que permitan un uso sustentable de la especie.

## 2 Planteamiento de la investigación

### 2.1 Planteamiento del problema

La pesca de anchoveta en Perú presenta variabilidad a través del tiempo, debido en parte a la variabilidad climática que presenta el SCH en especial durante los eventos El Niño. Junto con la anchoveta se capturan diversas especies, las cuales han ido cambiando en cantidad y proporción a través de los años [2]. La captura incidental es a menudo una preocupación en la gestión sostenible de la pesca debido a su contribución a los problemas de sobrepesca [5]. Es común que la captura incidental sea desechada, generalmente con una tasa de mortalidad importante. Se estima que más de una cuarta parte de la biomasa obtenida a través de la pesca a nivel mundial es descartada [6]. En algunas pesquerías la cantidad de biomasa descartada es mayor a la que se conserva [7]. La contribución de la captura incidental a la pesca excesiva es tan grave que se considera una de las mayores amenazas para las especies marinas [8].

Los datos obtenidos a través de observadores a bordo de las embarcaciones de pesca son una fuente de información apropiada para evaluar la abundancia de una población, ya que generan información de manera constante y representativa para la flota pesquera. La información obtenida a través de la pesca representa un costo significativamente inferior en comparación a los muestreos directos realizados por un grupo

## *2. Planteamiento de la investigación*

de investigación [9]. Los índices de abundancia relativa estimados a partir de datos de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) son de los datos dependientes de pesquería, más usados para evaluaciones poblacionales [10]. La CPUE asume que existe una relación directamente proporcional entre ella y la abundancia, denominada coeficiente de capturabilidad [11]. Esta proporcionalidad casi nunca se cumple ya puede cambiar a lo largo del tiempo [12], debido al comportamiento de la especie o de la flota pesquera. Los datos de captura incidental de una especie pueden ser utilizados para estimar su abundancia relativa por la razón que presenta frente a la captura de de especie para la cual se realiza el esfuerzo [13]. La especie para la cual se realiza el esfuerzo de pesca, debe contar con un método confiable para estimar su abundancia.

La anchoveta es el recurso pesquero más importante del mar peruano por lo que se ha realizado un gran esfuerzo para evaluar su población y registrar sus capturas durante varias décadas por parte del Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Siguiendo la metodología presentada por Maunder & Hoyle en el año 2007 [13] se propone desarrollar un índice para estimar la abundancia relativa de múnida a partir de sus datos de captura incidental. En estudios previos realizados por IMARPE se ha estimado la abundancia múnida a partir de evaluaciones acústicas dirigidas a evaluar anchoveta, las cuales en promedio son realizadas dos veces por año. Los datos de captura generados a través de la pesquería industrial abarcan un rango de tiempo amplio y su costo de realización es mucho menor que las evaluaciones acústicas.

## 2.2 Hipótesis

Para el presente trabajo se plantearon las siguientes hipótesis:

- Es posible estimar un índice para calcular la abundancia relativa de múnida utilizando datos de abundancia de anchoveta y captura incidental de múnida por la pesquería industrial de anchoveta con una mayor frecuencia que la estimación actual de biomasa a partir de prospecciones acústicas.
- El área de distribución de múnida no está incluida en su totalidad dentro del área de pesca de la flota industrial de anchoveta.

## 2.3 Marco teórico

### 2.3.1 Sistema de la Corriente de Humboldt

Alrededor del mundo existen cuatro ecosistemas costeros de gran afloramiento regional, los cuales se caracterizan por tener una alta productividad. Estos ecosistemas se encuentran en los bordes orientales del Océano Pacífico y Atlántico (Figura 2-1 [14]).

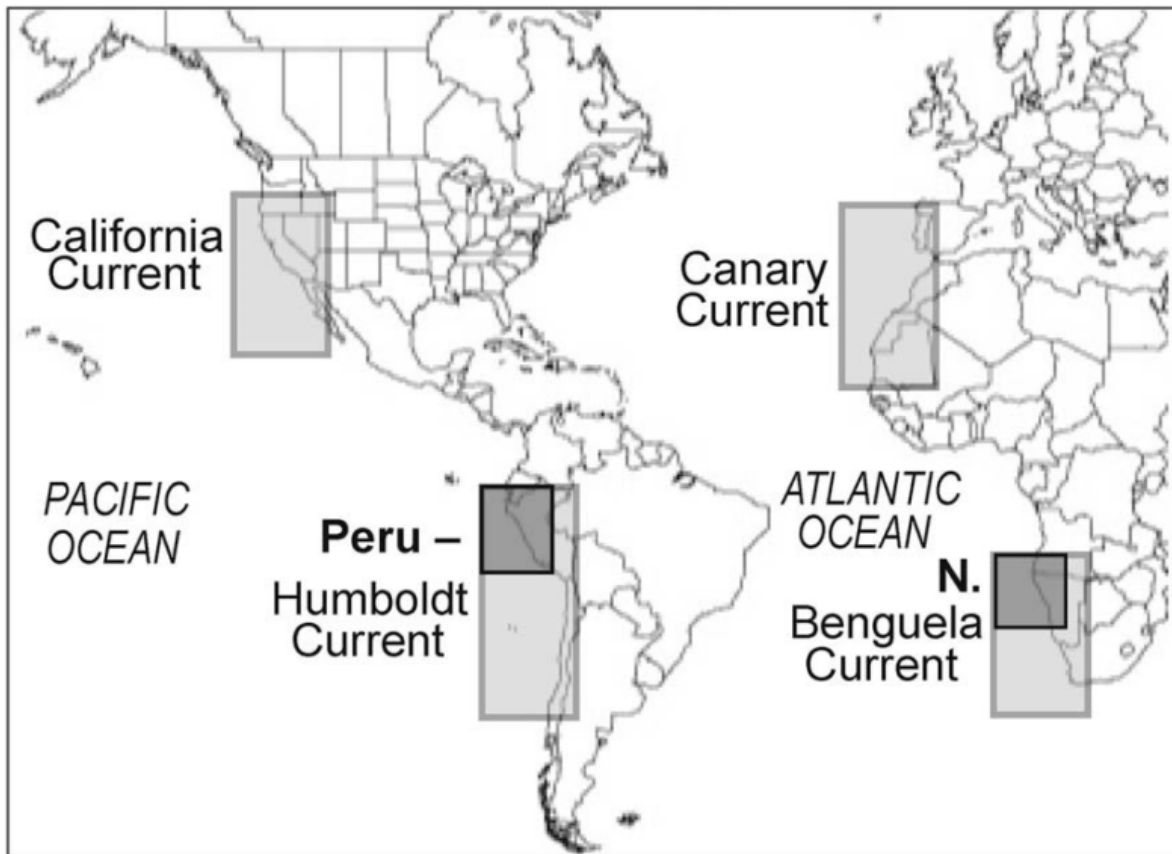


Figura 2-1.: Ecosistemas de afloramiento costero de borde oriental [14].

El mar peruano se encuentra en la zona Norte del Sistema de la Corriente

## 2. Planteamiento de la investigación

de Humboldt (SCH), el cual se caracteriza por ser el más productivo del mundo, en términos de biomasa de peces [14]. El afloramiento costero presenta una fase activa, la cual se genera por la acción del estrés de viento y la fuerza de Coriolis, los cuales producen el transporte de Ekman hacia afuera de la costa, aflorando aguas sub-superficiales frías ricas en nutrientes que alimentan la capa eufótica y gatillan una alta productividad [15]. A pesar de no ser el sistema que genera mayor producción primaria, el SCH es capaz de soportar la pesquería monoespecífica más grande del mundo [16]. Esto se debe en parte a que la cadena trófica es eficiente y que la oxiclina en el SCH es particularmente superficial, esta actúa como barrera, manteniendo la biomasa de peces más accesible para la pesquería [17].

### 2.3.2 La anchoveta peruana

La anchoveta peruana (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842) es una especie pelágica, de tamaño pequeño y rápido crecimiento, llegando a medir hasta 20 cm de longitud total, su cuerpo es alargado, poco comprimido, tiene cabeza larga, su labio superior se prolonga en un hocico, sus ojos son muy grandes, su color varía de azul oscuro a verdoso en la parte dorsal y es plateada en el vientre [18].

La anchoveta peruana es una especie planctívora, se alimenta tanto de zooplancton como de fitoplancton. El zooplancton contribuye con el 98 % de carbono de su dieta, siendo los eufáusidos la presa más importante, seguido por los copépodos [19]. Se distribuye en un amplio rango de temperatura, desde 14° a 23°C [18], mientras que el rango de salinidad puede variar entre 34,5 y 35,1 UPS [18]. Presenta hábitos altamente gregarios formando grandes y extensos cardúmenes que, en periodos de alta disponibilidad, facilita capturas de gran magnitud [18]. Dentro de el SCH se señala que existen

## 2. Planteamiento de la investigación

dos unidades de stock, el "Stock Norte-Centro" desde Zorritos en  $04^{\circ}30'S$  hasta  $16^{\circ}00'S$ ; y el "Stock Sur" desde  $16^{\circ}01'$  hasta  $24^{\circ}00'S$ , este último se comparte con Chile [20].

La anchoveta desova a lo largo de todas las latitudes del mar peruano, teniendo mayor importancia su desove desde Chicama ( $7^{\circ}30'S$ ) hasta Chimbote ( $9^{\circ}S$ ) y desde Callao ( $12^{\circ}S$ ) hasta Pisco ( $14^{\circ}S$ ) [21]. Su periodo de desove se extiende de julio a febrero, presentando mayor actividad durante los meses de invierno y primavera (julio-octubre), sin embargo algunos años el desove se extiende hasta el periodo de verano [21].

Las fluctuaciones de las condiciones ambientales en la zona Norte de SCH generan a su vez variaciones en la biomasa de anchoveta, los periodos fríos están acompañados de mayor cantidad de nutrientes en la capa eufótica con lo que se puede desarrollar fitoplancton (diatomeas formadoras de cadena) y zooplancton de gran tamaño (copépodos grandes y eufáusidos), favoreciendo a su vez el crecimiento de la anchoveta [17]. Durante los eventos El Niño, la distribución y concentración de anchoveta cambia. Esta se acerca más hacia la costa (dentro de los 30Km desde la línea de costa), se agrega más en parches y se distribuye de manera irregular hacia la costa Sur [18, 22]. De manera interanual y multi-decadal, el SCH Norte cambia de una productividad biológica mayor y diversidad menor durante los periodos fríos ("La Vieja"), hacia una menor productividad y mayor biodiversidad durante los periodos cálidos ("El Niño" y "El Viejo") [15]. La anchoveta parece preferir habitar zonas donde la oxiclina es más somera, ya que sus presas se encuentran más concentradas mientras más somera sea la oxiclina [17].

La anchoveta se pesca a lo largo de todo el litoral peruano, esta se realiza con redes de cerco con una abertura de malla de 13mm, en embarcaciones industriales de acero, madera o embarcaciones artesanales [23]. Es la pesquería monoespecífica más grande del mundo [24]. A fines de la década de 1960 el Perú llegó a tener desembarques de anchoveta mayores respecto al total combinado de todas las demás especies capturadas

## 2. Planteamiento de la investigación

tanto de ambientes marinos como de agua dulce provenientes de los países de América del Norte y Sur [14].

En la flota anchovetera, operan más de 1200 embarcaciones, dentro de las cuales, las embarcaciones industriales generan el 85 % de las capturas [25]. IMARPE es la institución encargada de dar las recomendaciones al Ministerio de Producción acerca de las cuotas de pesca. Usualmente se realizan dos temporadas, una en primavera-verano desde octubre hasta marzo y otra en invierno desde abril hasta setiembre. Para cada temporada, al inicio de estas, se establece una cuota de pesca a partir de evaluaciones acústicas y de ictioplancton en las cuales se estima la biomasa desovante, el reclutamiento y el stock estructurado por tallas [25].

La pesca incidental ocurre cuando el aparejo de pesca no es selectivo y captura tanto a la especie objetivo, como a especies no objetivo durante un mismo esfuerzo, es común que esta sea descartada generando usualmente una alta tasa de mortalidad [5]. La pesca de cerco, es más específica que otras artes de pesca pero aun así genera captura incidental [26]. Sin embargo en la pesca de anchoveta, las capturas incidentales se presentan en cantidades considerables, sobre todo si se tiene en cuenta la magnitud de las capturas que se registran para la especie objetivo.

Para la pesca incidental en el Perú se tiene una tolerancia máxima de 5 % del total desembarcada por embarcación, expresada en peso [27]. Se han reportado 36 especies capturadas de manera incidental en la pesca de anchoveta, en el transcurso de nueve años, desde el año 2003 a 2011 [2]. Se ha podido observar 12 especies de peces costeras, 3 transzonales, 4 pelágicos, 5 oceánicos, 7 demersales y un grupo de otras especies, como pota (*Dosidiscus gigas*), múnida (*Pleuroncodes monodon*), calamar (*Loligo gahi*), pulpo (*Octopus* sp.) y malagua (*Chrysaora plocamia*). La pesca incidental en la pequería industrial de anchoveta está compuesta en gran medida por especies de peces,

## 2. Planteamiento de la investigación

llegando a valores tan altos como 150 000 toneladas en el 2003 [2]. La captura incidental presenta variabilidad interanual, con una tendencia a la disminución en volumen total, a la vez que fluctuaciones en las cantidades por especie y en las especies predominantes [2]. En el año 2011, *P. monodon* se mostró muy abundante, llegando casi al 50 % de la captura incidental. A pesar de estos cambios se ha podido observar especies con presencia permanente dentro de los registros, estas son: Caballa, Bagre, Múnida, Lorna, Pejerrey, Jurel, Camotillo y Pampanito [2].

### 2.3.3 Múnida

La especie *Pleuroncodes monodon*, conocida comúnmente en Perú como múnida o camaroncito rojo y en Chile como langostino colorado o langostino zanahoria, pertenece a la familia Munididae. *P. monodon* habita en la corriente de Humboldt desde la isla Chiloe (43°S) en Chile hasta los 7°S en Perú [28].

La múnida forma parte significativa en la alimentación de la merluza (*Merluccius gayi peruanus*), caballa (*Scomber japonicus*), jurel (*Trachurus murphyi*), cachema (*Cynoscion analis*), bagre (*Galeichtys peruvianus*), anchoveta y tiburones [29]. Constituye también el 75 % de la dieta de lobos de mar [30] y parte de la dieta de aves marinas como zarcillo (*Larosterna inca*), golondrina de mar (*Oceanodroma markami*) y guanay (*Phalacrocorax bouganvilli*) en la península de Paracas [31].

Durante la década de 1970 se detectó ocasionalmente grandes cantidades de múnida en la parte Sur del mar peruano; pero desde mediados de la década de 1990 se ha vuelto abundante a todo lo largo de la costa peruana, especialmente luego de El Niño 97-98. Entre los años 1998 y 2005 se ha llegado a estimar, por medio de evaluaciones acústicas, entre 0.6 y 3.4 millones de toneladas de múnida [4].

## 2. Planteamiento de la investigación

Las larvas de *P. monodon* se caracterizan por ser meroplanctónicas y prefieren las aguas costeras, ya que estas están relacionadas con una mayor disponibilidad de alimento, esencialmente de fitoplancton [32]. Durante los estadios de huevos y larvas la múnida habita ambientes pelágicos, tanto en sus poblaciones de Chile y Perú; mientras que los juveniles y adultos presentan diferente distribución, en Chile son bentodemersales [33] y en Perú son pelágicos [4]. Los individuos que se presentan en la parte Sur SCH son capturados por las pesquería de arrastre de fondo y presentan un tamaño significativamente más grande (Figura 2-2 [34]) que aquellos presentes en la parte Norte SCH y que son capturados en las pesquerías pelágicas [34].



Figura 2-2.: *Pleuroncodes monodon*. Diferencia de tamaño entre individuos adultos demersales (A), pertenecientes a aguas chilenas y adultos pelágicos (B), pertenecientes a aguas peruanas [34].

Se ha reportado que la múnida y anchoveta comparten nicho ecológico y a su vez presentan patrones de distribución espacial similares [4]. En el estudio hecho por Gutiérrez y colaboradores en el año 2008, se encontró que el patrón de distribución

## 2. Planteamiento de la investigación

que presentó la múnida estuvo sobrepuesto al que presentó la anchoveta, aunque este último tuvo un rango más amplio que el de múnida. Esta sobreposición de distribución de ambas especies contribuye a explicar la gran incidencia de múnida en la pesquería de anchoveta. A diferencia de la anchoveta, que se distribuye en un amplio rango de temperatura, desde 14° hasta 23°C [18], se ha reportado que la múnida prefiere aguas más frías ( $< 18^{\circ}\text{C}$ ) y costeras; por lo que se presenta mayormente en aguas recientemente afloradas [4].

*P. monodon* en Chile es un recurso muy apreciado y exportado a mercados como EE.UU, Alemania, Francia y Japón [35]. Se destina especialmente como materia prima para diferentes líneas de elaboración: fresco-enfriado, conserva y congelado siendo éste último la línea de mayor importancia para el comercio exterior [36]. Es utilizada también en la elaboración de extractos, saborizantes y harina de múnida, la cual aporta proteínas de alta calidad en la dieta diaria [37].

En el Perú a la múnida se le considera un recurso potencial, ya que a pesar de encontrarse en grandes cantidades no ha sido explotada a escala industrial por la pesquería. A partir del año 2013 el Ministerio de la Producción (PRODUCE) ha empezado a impulsar la extracción de múnida con la finalidad de establecerla como una nueva pesquería en Perú [38]. Dentro de la industria alimentaria se ha propuesto la posibilidad de utilizar los restos dejados por el procesado industrial, en especial el cefalotórax para la obtención de astaxantina, pigmento que se utiliza dentro de la dieta de salmónidos para favorecer la coloración de la carne [39]. Al igual que otras especies como *Callinectes* *garthi* y *Emerita* *análoga*, *P. monodon* está adquiriendo importancia como carnada dentro de la pesca de cordel [29].

Durante las últimas décadas se ha hecho más notoria la presencia de *P. monodon* como fauna de acompañamiento en la pesquería pelágica de anchoveta (Figura 2-3

## 2. Planteamiento de la investigación

[2]) y sardina, así como también formando parte de las capturas de recursos demersales, en especial de merluza [40].



Figura 2-3.: Presencia de múnida en la pesca industrial de anchoveta peruana [2].

### 2.3.4 Evaluaciones poblacionales

Una población se define como un grupo de individuos de la misma especie o subespecie que está espacial, genética, o demográficamente separado de otros grupos [41]. Una población tiene parámetros de dinámica poblacional únicos, incluyendo el reclutamiento, crecimiento y mortalidad, los cuales influyen en el estado poblacional actual y futuro [42]. Cabe destacar que el stock de peces se entiende como la parte de una población o subpoblación que puede ser aprovechada por la pesquería [42].

Las evaluaciones poblacionales de una o varias especies, incluyendo plancton,

## 2. Planteamiento de la investigación

invertebrados, peces o mamíferos se realizan con diversas finalidades. Entre estas, la razón principal suele ser conocer la biomasa actual e histórica para determinar las tendencias en la biomasa y el reclutamiento de la población. Teniendo estas estimaciones se puede evaluar el estado del stock de una especie y evaluar las implicancias de las diversas acciones de gestión que se pueden tomar. Todo esto con el objetivo de servir como base para la aplicación de normas de control para las capturas [42].

Un índice se define como un número o propiedad que está presumiblemente relacionado a un parámetro de la población. Los índices requieren de una menor inversión de recursos en comparación a cuantificar parámetros poblacionales de manera directa.

Los índices se deben usar con precaución, ya que a menudo se puede interpretar de manera errónea la relación entre un índice y el parámetro poblacional de interés, cometándose el error en la relación temporal o espacial, o por estar basada en suposiciones no comprobadas [43]. Sin embargo, si estas relaciones están bien definidas, los índices pueden ser una herramienta poderosa para la comprensión del estado de la población y sus tendencias poblacionales [44].

Un índice de abundancia puede referirse concretamente a una zona o a un segmento de la población, o bien a la abundancia del stock. El índice puede reflejar la abundancia en números o en peso (biomasa). Los índices de abundancia se dan en unidades relativas (en contraposición a la medición de la abundancia absoluta), es por esto que la información que indican los índices son cambios relativos en la abundancia ocurridos en el tiempo.

La estimación de un índice de abundancia se puede realizar de dos maneras: directa o indirectamente. La manera directa se refiere a realizar el esfuerzo de evaluación de manera directa, es decir recabar datos, generalmente llamados “independientes de la pesquería”. La manera indirecta se refiere a tomar datos extraídos a partir de otra

## 2. Planteamiento de la investigación

actividad, en este caso de la pesquería, en cuyo caso son llamados “dependiente de la pesquería”.

La CPUE es uno de los índices más utilizados para estimar la abundancia en el área de pesquería. La CPUE se basa en que la captura de una especie es proporcional al esfuerzo hecho para su captura y a la abundancia de la especie (Ecuación 2-1) [10].

$$C = q E N \quad (2-1)$$

donde  $C$  es la captura de la especie,  $E$  es el esfuerzo pesquero realizado,  $N$  es la abundancia y  $q$  es el coeficiente de capturabilidad, la fracción de la abundancia capturada por una unidad de esfuerzo.

Despejando la Ecuación 2-1, se presenta como resultado la relación entre la captura y la abundancia (Ecuación 2-2).

$$\frac{C}{E} = q N \quad (2-2)$$

La Ecuación 2-2 se puede generalizar desde un pequeño parche a toda una población, siempre y cuando  $q$  permanezca constante (independiente del tiempo, espacio, embarcación, etc.) [10]. Pero en la práctica  $q$  no permanece constante, por lo que las capturas pueden variar por efectos externos, no generados por cambios en la abundancia. Es por esta razón que se realiza la estandarización de la CPUE, con el objetivo de remover aquellos efectos externos que puedan estar variando la CPUE pero que no sean resultado de las variaciones en la abundancia. La capacidad de utilizar tasas de captura como un índice de abundancia depende de la capacidad de eliminar el impacto del cambio a través

## 2. Planteamiento de la investigación

del tiempo sobre las tasas de captura por factores distintos a la abundancia (momento y lugar de pesca, flota de pesca y parámetros ambientales) [10]. La estandarización de la CPUE implica la realización de dos procesos. El primero es realizar un modelo estadístico incluyendo todas las fuentes de variabilidad que influyen la CPUE sin incluir la abundancia. El segundo es usar ese modelo para predecir el valor de la CPUE “en condiciones estándar”, es decir, bajo las mismas condiciones todos los años.

Se han desarrollado diferentes métodos para estandarizar los datos de captura y esfuerzo, uno de los primeros fue desarrollado por Beverton & Holt en 1957 [45]. Este método requería la selección de una embarcación estándar y la determinación del poder relativo de pesca para todas las otras embarcaciones [45]. Este método no generaliza fácilmente para lidiar con factores múltiples como mes y área, o cuando no hay embarcaciones que puedan usarse como estándares, y adicionalmente no determina de manera sencilla la precisión de la estimación de la tasa estandarizada de captura [10]. Métodos más recientes [46, 47] para estandarizar la captura y el esfuerzo involucran el uso de modelos estadísticos para ajustar datos de captura y esfuerzo, como los modelos lineales generalizados (GLM, por sus siglas en inglés) y los modelos aditivos generalizados (GAM, también por sus siglas en inglés).

Los GLM se definen por la distribución de la variable respuesta y cómo una combinación lineal de variables explicativas se relacionan con la variable respuesta [10]. Los GLM son una extensión de la teoría de modelos lineales, incluyendo tanto variables de respuesta continuas como discretas. Estos modelos están compuestos por tres componentes, el componente aleatorio (variable explicativa), el componente sistemático (predictor lineal) y la función de enlace, la cual relaciona el componente sistemático con el componente aleatorio. Los modelos GAM son una extensión de los modelos lineales generalizados que reemplazan el predictor lineal por uno aditivo [10]. Estos modelos están compuestos por dos o más funciones que se comportan de manera independiente

## 2. Planteamiento de la investigación

para explicar la variable respuesta.

La aplicación de la ecuación de CPUE para la anchoveta y la múnida, se pueden observar en la Ecuación 2-3 y Ecuación 2-4.

$$C_{Anch} = q_{Anch} E_{Anch} N_{Anch} \quad (2-3)$$

donde  $C_{Anch}$  es la captura de anchoveta,  $E_{Anch}$  es el esfuerzo realizado por la pesquería de anchoveta,  $N_{Anch}$  es la abundancia de anchoveta y  $q_{Anch}$  es la capturabilidad de la anchoveta.

$$C_{Mun} = q_{Mun} E_{Anch} N_{Mun} \quad (2-4)$$

donde  $C_{Mun}$  es la captura de múnida,  $E_{Anch}$  es el esfuerzo realizado por la pesquería de anchoveta,  $N_{Mun}$  es la abundancia de múnida y  $q_{Mun}$  es la capturabilidad de la múnida.

Si relacionamos la Ecuación 2-3 y la Ecuación 2-4 a través de una división tendríamos que las capturas de ambas especies son proporcionales a la abundancia de las especies, relacionadas por el cociente de sus capturabilidades (Ecuación 2-5).

$$\frac{C_{Anch}}{C_{Mun}} = k \frac{N_{Anch}}{N_{Mun}} \quad (2-5)$$

donde  $k$  representa el cociente de la división entre las capturabilidades de anchoveta y de múnida.

## 2. Planteamiento de la investigación

Despejando la abundancia de múnida se tiene como resultado la Ecuación 2-6, donde se observa que la abundancia de múnida es proporcional al cociente de las capturas de ambas especies, multiplicadas por la abundancia de la anchoveta.

$$N_{Mun} = k \frac{C_{Mun}}{C_{Anch}} N_{Anch} \quad (2-6)$$

## 2.4 Justificación del estudio

Desde mediados de la década de 1990 *P. monodon* se ha convertido en una especie muy abundante a lo largo del litoral peruano, siendo actualmente presa importante dentro de la dieta de aves marinas, mamíferos y peces depredadores (merluza, caballa, jurel, cachema). *P. monodon*, al presentar una fuerte sobre posición espacial y compartir nicho ecológico con la anchoveta, es capturado en grandes cantidades de manera incidental dentro de la actividad de la flota anchovetera. La pesquería industrial de anchoveta en Perú genera una gran cantidad de información, en el caso particular del PBP de IMARPE, se generan datos confiables de manera constante con lo cual va a permitir estimar de manera adecuada un índice de abundancia para múnida.

En Perú, la pesquería de múnida permanece aún potencial ya que todavía no se encuentra establecida, ni reglamentada; sin embargo se reporta su utilización como carnada en la pesca de cordel [40]. En Chile es utilizada como materia prima para las líneas de elaboración: fresco- enfriado, conserva y congelado, siendo éste último la línea de mayor importancia para la exportaciones a países como EE.UU, Alemania, Francia y Japón [40]. Desde el año 2013 PRODUCE se encuentra impulsando la pesquería de múnida en Perú [38]

## 2. Planteamiento de la investigación

Debido a que *P. monodon* juega un papel importante dentro de la red trófica y se le viene capturando de manera incidental por varios años, es de suma importancia estimar su abundancia, no sólo en un momento determinado del año sino que es necesario entender cómo es que su abundancia varía mensualmente y qué factores son los más influyentes. La múnida está siendo extraída de manera indirecta, por lo que de ser posible, es necesario también saber si la fracción de la población que es extraída estarían afectando o no a la sostenibilidad de la población.

## 2.5 Objetivos

### 2.5.1 Objetivo general

- Evaluar la abundancia de múnida (*Pleuoncodes monodon*) presente en el litoral peruano, estimada mediante un índice generado a partir de los datos de captura incidental, proveniente de la flota industrial de anchoveta desde, 1997 a 2014.

### 2.5.2 Objetivos específicos

- Determinar el volumen de captura incidental mensual de múnida.
- Diseñar un modelo estadístico para determinar el área de superposición entre múnida y anchoveta.
- Elaborar un índice de abundancia relativa para múnida con datos de captura incidental, desde 1997 hasta 2014.

## 3 Metodología

### 3.1 Diseño metodológico

El presente trabajo de investigación tuvo un enfoque metodológico de tipo cuantitativo, en el cual se utilizaron herramientas de modelado matemático para generar un índice que permita estimar la abundancia relativa de múnida a partir de su captura incidental dentro de la actividad industrial pesquera de anchoveta.

El proyecto constó de dos etapas. En la primera etapa (Figura **3-1**), se utilizaron modelos estadísticos para determinar la relación entre la presencia de múnida y las variables ambientales, lo cual significó encontrar el nicho ecológico de la múnida. Una vez obtenido el modelo de nicho, este se utilizó para predecir la distribución espacio-temporal de múnida dentro del mar peruano en base a sus variables predictoras. Los datos de la actividad pesquera, recolectadas por el PBP se utilizaron para calcular una única área de actividad de la flota anchovetera. Esta área de la actividad pesquera se sobrepuso a la distribución de múnida calculada para cada mes, con lo que se obtuvo una serie de tiempo correspondiente a la fracción de la población de múnida en sobreposición con el área de actividad de la pesquería industrial de anchoveta.

### 3. Metodología

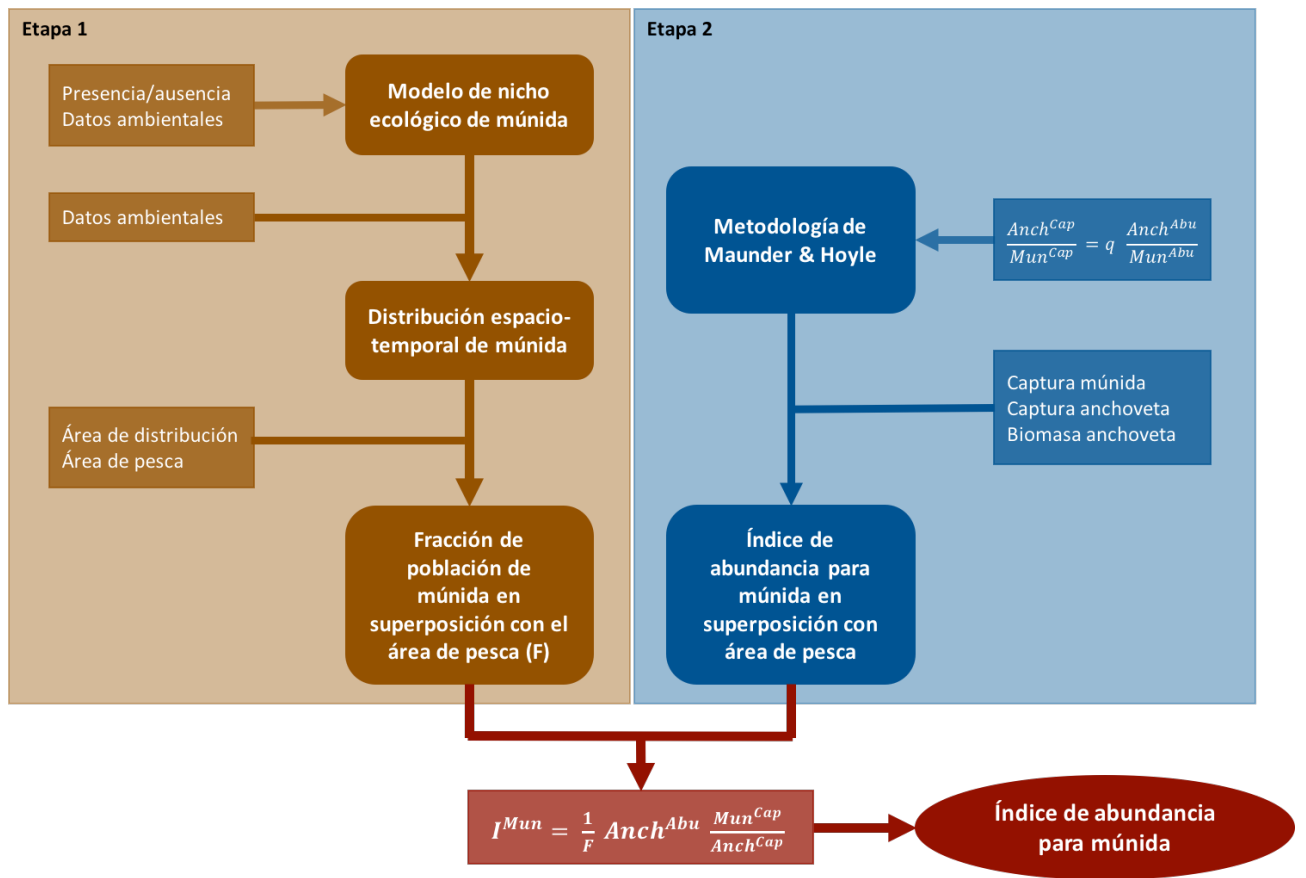


Figura 3-1.: Diagrama que describe el proceso que se siguió para el desarrollo del presente proyecto.

En la segunda etapa del estudio (Figura 3-1), se siguió la metodología propuesta por Maunder & Hoyle [13] para calcular el índice de abundancia relativa de múnida a partir de la relación entre las capturas de anchoveta y múnida; y la abundancia conocida de anchoveta. El índice se corrigió tomando en cuenta las fluctuaciones de la sobre posición entre la actividad industrial anchovetera y la múnida. Con este proceso se produjo un índice de abundancia relativa que integra la información disponible para múnida, tanto de los cruceros de investigación científica como de la pesquería industrial de anchoveta.

## 3.2 Datos

Se trabajó con diferentes grupos de datos durante el desarrollo de la investigación. Para la construcción de los modelos de distribución de múnida se utilizaron datos de presencia y ausencia, estos datos se extrajeron de las prospecciones acústicas realizadas por IMARPE. Los datos ambientales se obtuvieron a partir de bases de datos de teledetección, datos in situ y salidas de modelos, las variables que se usaron fueron: temperatura superficial del mar (tsm) en °C , salinidad superficial del mar (ssm) en ups y producción primaria neta (ppn) en  $gC/m^2/dia$ . El detalle de las variables se puede observar en la Tabla **3-1**. Para obtener la sobre posición de la distribución de múnida con el área de pesca industrial de anchoveta y consecutivamente su abundancia, se utilizaron datos de captura de múnida y anchoveta recolectados por el PBP.

Variable	Datos	Procesamiento
tsm	Resolución de $1/4^\circ$ , periodo de 1997 a 2014 en promedios mensuales.	Datos trabajados para el Perú con OISST según [48] y [49].
ssm	Resolución de $1/2^\circ$ , periodo de 1997 a 2014 en promedios mensuales.	Reanálisis del modelo SODA 3.3.1 para el área peruana [50].
ppn	Resolución de $1/6^\circ$ , periodo de 1997 a 2014 en promedios mensuales.	Modelo VGPM [51].

Tabla **3-1.**: Variables ambientales y el procesamiento que se siguió para obtener los datos de cada una.

### 3. Metodología

Para la elección de las fuentes de datos para las variables ambientales se decidió escoger aquellas que no presenten espacios vacíos, sin datos. Se decidió utilizar los valores de *tsm* estimados por la Interpolación Óptima de Temperatura Superficial del Mar (OISST, por sus siglas en inglés), realizada por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) debido a que los datos se obtienen a través de un análisis que combina observaciones de diferentes plataformas (satélites, barcos y boyas). OISST produce un mapa espacialmente completo mediante interpolaciones para rellenar los espacios vacíos, sin datos. La *ssm* se obtuvo de un reanálisis por medio de la Asimilación Simple de Datos Oceánicos (SODA, por sus siglas en inglés). La versión que se utilizó fue SODA 3.3.1, versión que presenta datos para todo el periodo de estudio. Finalmente los datos de *ppn* se obtuvieron del modelo VGPM.

#### 3.2.1 Periodo de tiempo y área de estudio

Los datos que se utilizaron para el estudio abarcaron el periodo de tiempo, desde el año 1997 a 2014, incluyendo los datos ambientales y de presencia para el cálculo de nicho y predicción de la distribución de múnida, los datos de abundancia de anchoveta, capturas de múnida y anchoveta. El área delimitada para el estudio abarca la distribución de ambas especies. Incluye todo lo largo del litoral peruano, desde el 6° a 20°S y desde 0 a 160Km de la línea de costa.

#### 3.2.2 Bitácoras de Pesca

El Programa de Bitácoras de Pesca (PBP), empezó a ejecutarse en enero de 1996, está a cargo de la Unidad de Investigaciones en Dinámica Poblacional (UIDINP) de la Dirección de Investigación en Recursos Pelágicos del IMARPE. Este programa

### 3. Metodología

cuenta con 20 observadores colocados de manera estratégica en los principales puertos de desembarque de recursos pelágicos Figura 3-2 [52]. Cabe resaltar que la información obtenida por medio de este programa, es una muestra que equivale aproximadamente al 10% del total de viajes registrados por la pesquería industrial de anchoveta en Perú.

El personal del PBP, se instala de manera aleatoria para realizar la toma de datos a bordo de embarcaciones industriales de pesca de anchoveta, en donde colecta información biológica-pesquera durante todo un viaje de pesca. En las bitácoras de pesca se describen todas las actividades que realiza la embarcación desde el momento del zarpe hasta el arribo a puerto, los observadores reúnen información sobre la embarcación, la tripulación y cada lance u operación de pesca. Acerca de este último se anota información biológica como biometría, composición por especies de la captura, hora, profundidad del cardumen, avistamiento de depredadores superiores, entre otros.

Las bitácoras de pesca registran tres tipos de datos. El primer tipo es acerca del barco: nombre, matrícula del barco, capacidad de bodega, TRB (toneladas de registro bruto), material, año de construcción, medidas, sistema de refrigeración, permisos de pesca, tipos y tamaños de redes, entre otros. El segundo es acerca del viaje: se tienen los puertos de salida y llegada, hora de salida y llegada, duración, horas empleadas en la búsqueda de cardúmenes, número de lances efectuados y captura total. El tercer tipo es acerca del lance: hora, posición exacta, duración, captura total, composición y proporción de especies, profundidad, horas de búsqueda previa y tallas para cada especie capturada.

A partir de los datos incluidos en las bitácoras de pesca de IMARPE, se calcularon tres datos para todo el periodo de tiempo. Estos fueron: el área de actividad de la flota industrial anchovetera y las capturas de múnida y anchoveta.

### 3. Metodología

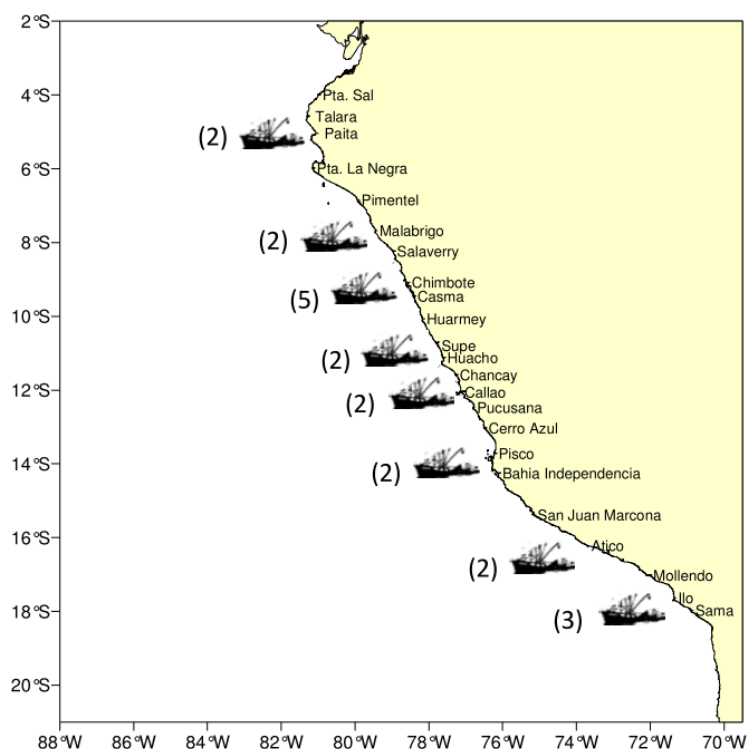


Figura 3-2.: Distribución del personal dentro del Programa de Bitácoras de Pesca [52].

#### 3.2.3 Prospección acústica

La información acústica que se usó fue la recabada por IMARPE, a partir de los diversos cruceros de prospección acústica llevados a cabo entre los años 1997 y 2014. Las evaluaciones acústicas se realizaron con diversas embarcaciones: Buque de Investigación Científica (BIC) Humboldt, BIC Olaya y BIC SNP-2. Para poder cubrir la mayor parte del territorio marítimo peruano, IMARPE realiza transectos de 1 a 200 millas náuticas (mn) de longitud orientados de manera perpendicular a la costa. El diseño de los cruceros es de tipo paralelo sistemático, con la finalidad de proveer similar esfuerzo sobre la totalidad del área que es evaluada, un ejemplo de su diseño se muestra en la Figura 3-3 [53]. Los datos más importantes que se calculan durante estas evaluaciones son los datos de biomasa para las diferentes especies analizadas, siempre con mayor

### 3. Metodología

esfuerzo sobre la anchoveta. Los datos de biomasa se obtienen mediante la integración de información hidroacústica y de captura por tallas [54].

De la base de datos de prospecciones acústicas, se obtuvieron los datos georreferenciados de presencia y ausencia de múnida y se calculó la biomasa de anchoveta para cada mes, siguiendo el modelo de dinámica poblacional basado en tallas [55].

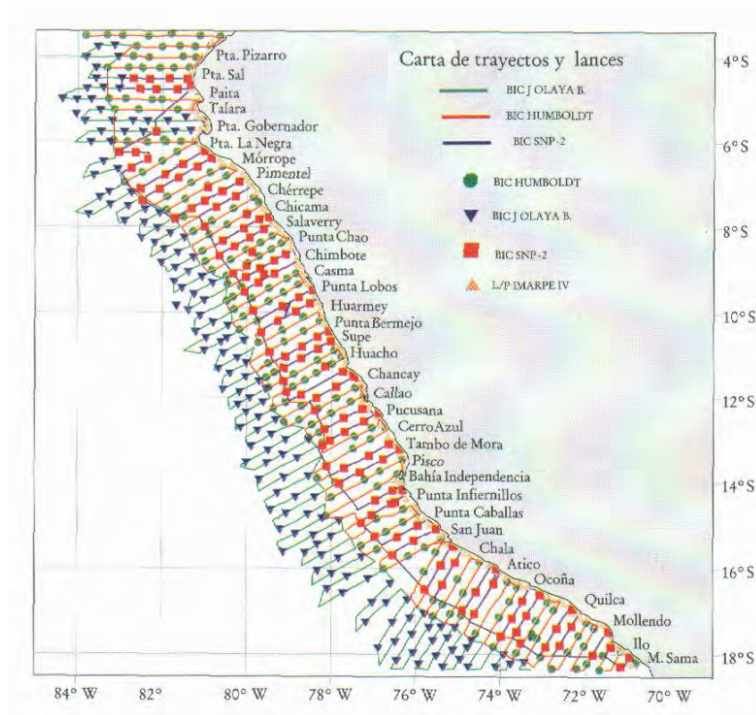


Figura 3-3.: Trayecto y lances de comprobación realizados en el Crucero 0110-11 [53].

## 3.3 Índice de abundancia

### 3.3.1 Distribución espacial de múnida

#### Modelo de nicho ecológico

Se utilizaron modelos GAM para relacionar las variables explicativas (variables ambientales) con la variable respuesta (presencia) y así calcular modelo de nicho ecológico de múnida. Los modelos GAM se calcularon utilizando la función *gam* del paquete *mgcv* [56] en el programa *R*.

El calculo de modelo de nicho ecológico junta dos bases de datos diferentes, lo cual representaba un desajuste ya que los datos de presencia/ausencia se presentaban como puntos georeferenciados, mientras que los datos ambientales hacían referencia a grupos dentro de grillas con diferentes resoluciones. Para solucionar este desajuste se determinó trabajar con los puntos georeferenciados de presencia o ausencia, asignándole a cada uno de estos los valores de las variables ambientales de la grilla dentro de la cual correspondía cada punto.

Para obtener el modelo más adecuado del nicho de múnida se probaron diferentes combinaciones de las variables ambientales (Tabla **3-2**), para las cuales se especificó la interacción entre variables con el suavizamiento de tipo *producto tensorial de spline* (función *te*) implementados en el paquete *mgcv* [56]. Cabe resaltar que para integrar la *ppn* a los modelos de nicho ecológico se debió calcular su logaritmo debido a la alta variabilidad que presentaron sus valores.

### 3. Metodología

Modelo	Formula
Una variable sin interacciones	
mod0.1a	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{tsm}, k=3)$
mod0.2a	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{ssm}, k=3)$
mod0.3a	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{ppn}, k=3)$
mod0.4a	$\text{munida} \sim \text{te}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
Primer orden de interacciones	
mod1.1a	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{tsm}, k=3) + \text{te}(\text{ssm}, k=3)$
mod1.1b	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{tsm}, k=3) + \text{te}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod1.1c	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{ssm}, k=3) + \text{te}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod1.2a	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{tsm}, k=3) + \text{te}(\text{ssm}, k=3) + \text{te}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
Primer y segundo orden de interacciones	
mod2.1a	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{tsm}, \text{ssm}, k=3) + \text{te}(\text{tsm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod2.1b	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{ssm}, \text{tsm}, k=3) + \text{te}(\text{ssm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod2.1c	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{tsm}, \text{ssm}, k=3) + \text{te}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod2.1d	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{tsm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{te}(\text{ssm}, k=3)$
mod2.1e	$\text{munida} \sim \text{te}(\text{ssm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{te}(\text{tsm}, k=3)$
	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) +$
mod2.2a	$\text{ti}(\text{tsm}, \text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\text{tsm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) +$
mod2.2b	$\text{ti}(\text{ssm}, \text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) +$
mod2.2c	$\text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), \text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), \text{ssm}, k=3)$

*(Sigue en la siguiente página)*

### 3. Metodología

Modelo	Formula
mod2.2d	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{ti}(\text{tsm}, \text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\text{tsm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod2.3a	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{ti}(\text{tsm}, \text{ssm}, k=3)$
mod2.3b	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{ti}(\text{tsm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod2.3c	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod2.4a	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{te}(\text{tsm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod2.4b	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{te}(\text{ssm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$
mod2.4c	$\text{munida} \sim \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{te}(\text{tsm}, \text{ssm}, k=3)$
mod2.5a	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{ti}(\text{tsm}, \text{ssm}, k=3)$
mod2.5b	$\text{munida} \sim \text{ti}(\text{tsm}, k=3) + \text{ti}(\text{ssm}, k=3) + \text{ti}(\log_{10}(\text{ppn}), k=3) + \text{ti}(\text{tsm}, \log_{10}(\text{ppn}), k=3)$

Tabla 3-2.: Modelos probados para el nicho ecológico de múnida.

Se eligió el modelo que presentara, tanto un alto valor del área por debajo de la curva (AUC, por sus siglas en inglés), como una interacción entre las variables que encierre una relación convexa para el nicho, como criterio cualitativo para evitar el sobreajuste a los datos. Basándose en lo mencionado previamente, entre aquellos modelos de nicho que presentaron los valores de AUC más altos, se buscó aquel nicho que presente también la relación entre variables más convexa.

#### Distribución espacial y fracción de múnida en área de pesca

Con el modelo de nicho escogido, se realizaron las predicciones de la distribución espacial de múnida para el periodo 1997 a 2014 dentro del mar peruano. La predicción se realizó en una grilla con una resolución de  $1/6^\circ$ , las variables ambientales se interpolaron a esta resolución. Con la distribución predicha sobre la grilla, se calculó el área de distribución para cada mes ( $A_{dist}$ ).

Para finalmente obtener la fracción de múnida en sobre posición con el área de pesca (Ecuación 3-1), se tuvo primero que determinar el área de actividad de la pesquería industrial de anchoveta ( $A_{pesca}$ ). El área de pesca se calculó como una cerradura convexa de todos los puntos de pesca observados durante el periodo evaluado, esto quiere decir que se delimitó un área dentro de la grilla, que encerró todas las celdas en la que en algún momento presentó actividad de la pesquería. Con un  $A_{dist}$  para cada mes y un  $A_{pesca}$  único se calculó el valor de  $F$  para cada paso de tiempo.

$$F = \frac{A_{dist}}{A_{pesca}} \quad (3-1)$$

donde  $A_{dist}$  es el área de distribución de múnida calculada mediante el modelo de nicho ecológico para cada mes y  $A_{pesca}$  es el área de actividad de la pesquería industrial de anchoveta.

### 3.3.2 Índice de abundancia relativa para múnida

Para estimar el índice de abundancia de múnida dentro del área de sobre posición entre la distribución de múnida y el área de actividad de la pesquería industrial de anchoveta se utilizó la metodología propuesta por Mauder & Hoyle [13], la cual se basa en que la relación entre las capturas de ambas especies es proporcional a la abundancia de sus poblaciones (Ecuación 3-2).

$$\frac{A^{Cap}}{B^{Cap}} = k \frac{A^{Abu}}{B^{Abu}} \quad (3-2)$$

donde  $A$  es la especie de captura incidental y  $B$  es la especie para la cual se realiza el esfuerzo pesquero y adicionalmente posee un método confiable para poder estimar su abundancia,  $A^{Cap}$  y  $B^{Cap}$  son las capturas de ambas especies.  $A^{Abu}$  y  $B^{Abu}$  sus abundancias y  $k$  es el cociente de las capturabilidades de ambas especies ( $q_A / q_B$ ).

Asumiendo  $k$  constante, se obtendría un índice de abundancia para múnida como el que se presenta en la Ecuación 3-3

$$I_{Mun} = \frac{Mun^{Cap}}{Anch^{Cap}} Anch^{Abu} \quad (3-3)$$

donde  $I_{Mun}$  es el índice de abundancia para múnida,  $Mun^{Cap}$  y  $Anch^{Cap}$  son las capturas de múnida y anchoveta respectivamente y  $Anch^{Abu}$  la abundancia de anchoveta.

Cabe resaltar que la metodología de Mauder & Hoyle contempla dos hipótesis.

### 3. Metodología

La primera es que la captura es proporcional al esfuerzo multiplicado por la abundancia y la segunda, es que  $q_{Mun}$  y  $q_{Anch}$  cambian de la misma manera para ambas especies, es decir, son proporcionales.

Al aplicar la metodología de Maunder & Hoyle se tuvieron en cuenta dos aspectos. El primero es que la abundancia calculada para la especie incidental será la abundancia de la población que se encuentra dentro del área de pesca. La segunda es que si la especie incidental cambia su abundancia dentro del área de pesca (por cambios en su distribución), esto afecta su capturabilidad de manera independiente a la de la especie objetivo (anchoveta). Debido a estas razones, es que se propuso corregir el índice, considerando la variabilidad de la distribución de múnida dentro del área de pesca, obteniéndose la capturabilidad de múnida representada en la Ecuación 3-4.

$$q_{Mun(t)} = q_0 \times q_{Anch(t)} \times F \quad (3-4)$$

donde  $q_0$  es una constante,  $q_{Anch(t)}$  representa la capturabilidad de múnida proporcional a la capturabilidad de anchoveta y  $F$  representa la fracción de la población de múnida distribuida dentro del área de actividad de la pesquería industrial de anchoveta.

Es importante destacar que para el estudio no se pudo contar con la base completa del PBP, la cual incluye información que describe cada lance (hora, posición, duración, captura, composición por especies, horas de búsqueda previa y tallas). Es por esta razón que sólo se realizó la corrección del índice con la fracción de múnida dentro del área de pesca.

Implementando la corrección propuesta, se obtiene el índice de abundancia para múnida final. Este índice está constituido por la multiplicación del cociente de

### 3. Metodología

las capturas de ambas especies por la abundancia de la población de anchoveta, por el inverso de la fracción de múnida dentro del área de actividad de pesquería industrial de anchoveta (Ecuación 3-5).

$$I_{MunFinal} = \frac{Mun^{Cap}}{Anch^{Cap}} Anch^{Abu} \frac{1}{F} \quad (3-5)$$

Las capturas mensuales de ambas especies se extrajeron de las bitácoras generadas por el PBP de IMARPE, representados en toneladas. La abundancia mensual de anchoveta, también en toneladas, se calculó utilizando el modelo estructurado por tallas de anchoveta [55]. Si se despejan las unidades de los valores que se usan para el cálculo del índice, la unidad que obtendría el índice sería de toneladas, a pesar de esto, el índice se dejó adimensional debido a que es un índice de abundancia relativo, el cual busca estimar la tendencia de la abundancia a través del tiempo de múnida, más no su abundancia total de la población de múnida.

## 4 Resultados

### 4.1 Distribución espacial de múnida

Se determinó que el mejor modelo para el nicho ecológico de múnida era *mod2.4*, debido al alto valor de AUC que obtuvo (Tabla **A-1**) y a que la interacción que presentó entre sus variables fueron las más convexas de entre el grupo de modelos con mayor valor de AUC (Figura **A-2** y Tabla **A-3**). El modelo de nicho elegido incluye a las tres variables ambientales utilizadas en el estudio (Modelo 4-1), el modelo está compuesto por dos terminos, el primero compuesto sólo por la variable temperatura superficial del mar (*t<sub>sm</sub>*) y el segundo termino por una interacción entre la salinidad superficial del mar (*s<sub>sm</sub>*) y la productividad primaria neta (*p<sub>pn</sub>*), ambos componentes del modelo resultaron ser significativos para el modelo ( $p < 0.0001$ ). El modelo de nicho fue significativo ( $R^2 = 0.754$ ) con lo que se logró explicar el 66.4% de la variabilidad de los datos.

$$munida \sim ti(tsm, k = 3) + te(ssm, log10(ppn), k = 3) \quad (4-1)$$

El área de distribución espacial potencial que se obtuvo como predicción para la múnida con el modelo de nicho elegido (*mod2.4b*) durante el periodo 1997 - 2014,

#### 4. Resultados

abarca en promedio casi la totalidad de la costa peruana (Figura A-1), con algunas variaciones estacionales (Figura 4-1).

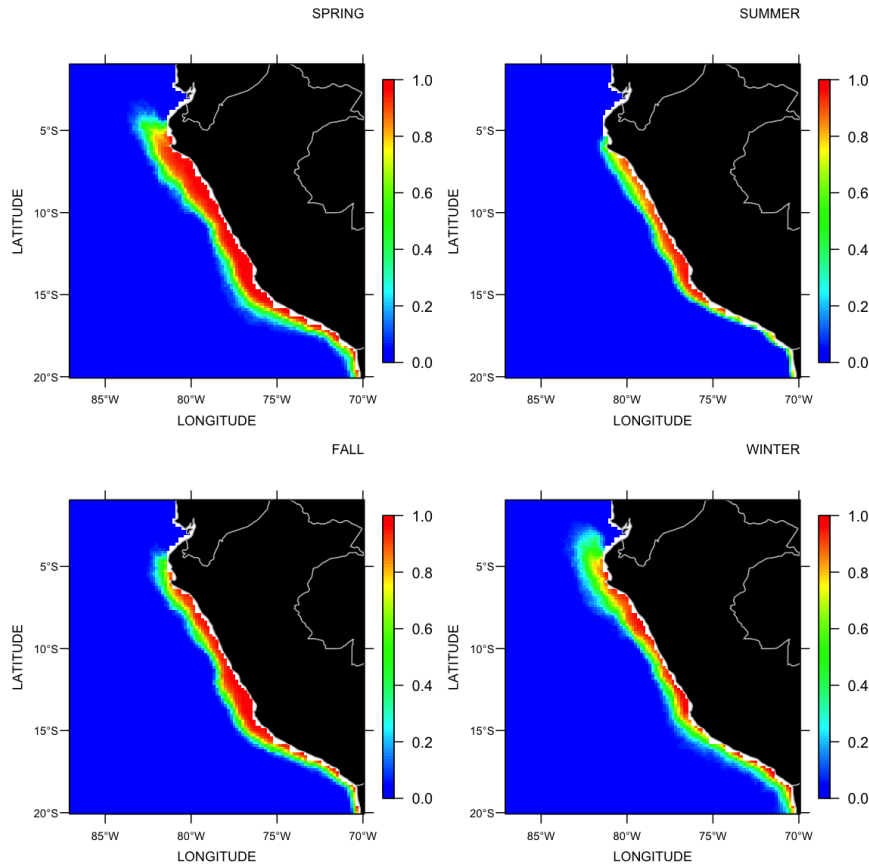


Figura 4-1.: Distribución potencial promedio de múnida dentro del mar peruano según la estacionalidad. La más alta probabilidad de presencia se muestra con el valor más alto (1.0), en color rojo y la menor probabilidad de presencia se muestra con el valor mas bajo (0.0), en color azul.

Durante el verano e invierno la distribución potencial promedio se concentra en la costa, mayormente en la parte central del Perú, mientras que en primavera y otoño la distribución se amplía latitudinal y longitudinalmente. La temporada de primavera es la que presentó la mayor distribución promedio a lo largo de la costa. Esta fue similar a la que se presentó durante el otoño, ampliándose mar adentro, con una mayor

#### 4. Resultados

distribución en la zona Norte y Centro; en la zona Sur aumentó ligeramente, pero siguió presentándose principalmente costera. En promedio, durante todo el año, la zona Sur del mar peruano presentó una distribución potencial bastante baja, presentándose pegada a la línea costera. La zona Centro-Sur del mar peruano es la que presentó la mayor fluctuación de distribución entre las estaciones, con mayor amplitud durante la primavera.

El promedio de área de distribución potencial que se obtuvo para cada mes dentro del periodo 1997 - 2014 se puede observar en la Figura 4-2. Los meses de abril, mayo, noviembre y diciembre fueron los que presentaron mayor área de distribución y la más alta probabilidad de presencia. Entre estos, los meses de verano presentaron, un área más amplia a lo largo de la costa, adentrándose mar adentro, mientras que en los meses de otoño el área de distribución se concentra en la zona Centro y se presentó más costera. Los primeros seis meses del año se caracterizaron por presentar una limitada distribución, mayormente en la zona Centro, mientras que los seis últimos meses presentaron una distribución más amplia, mayormente en la zona Norte y Centro.

La Figura 4-3(a) presenta la serie de tiempo de la superficie de distribución potencial de múnida, es decir el área donde la múnida puede presentarse, desde el año 1997 a 2014. La superficie de distribución potencial sin estacionalidad abarcó principalmente entre 100 y 200 mil Km<sup>2</sup>. Los eventos El Niño representados en esta y las demás gráficas fueron extraídas de los reportes del ENFEN (Tabla A-3 [57]).

## 4. Resultados

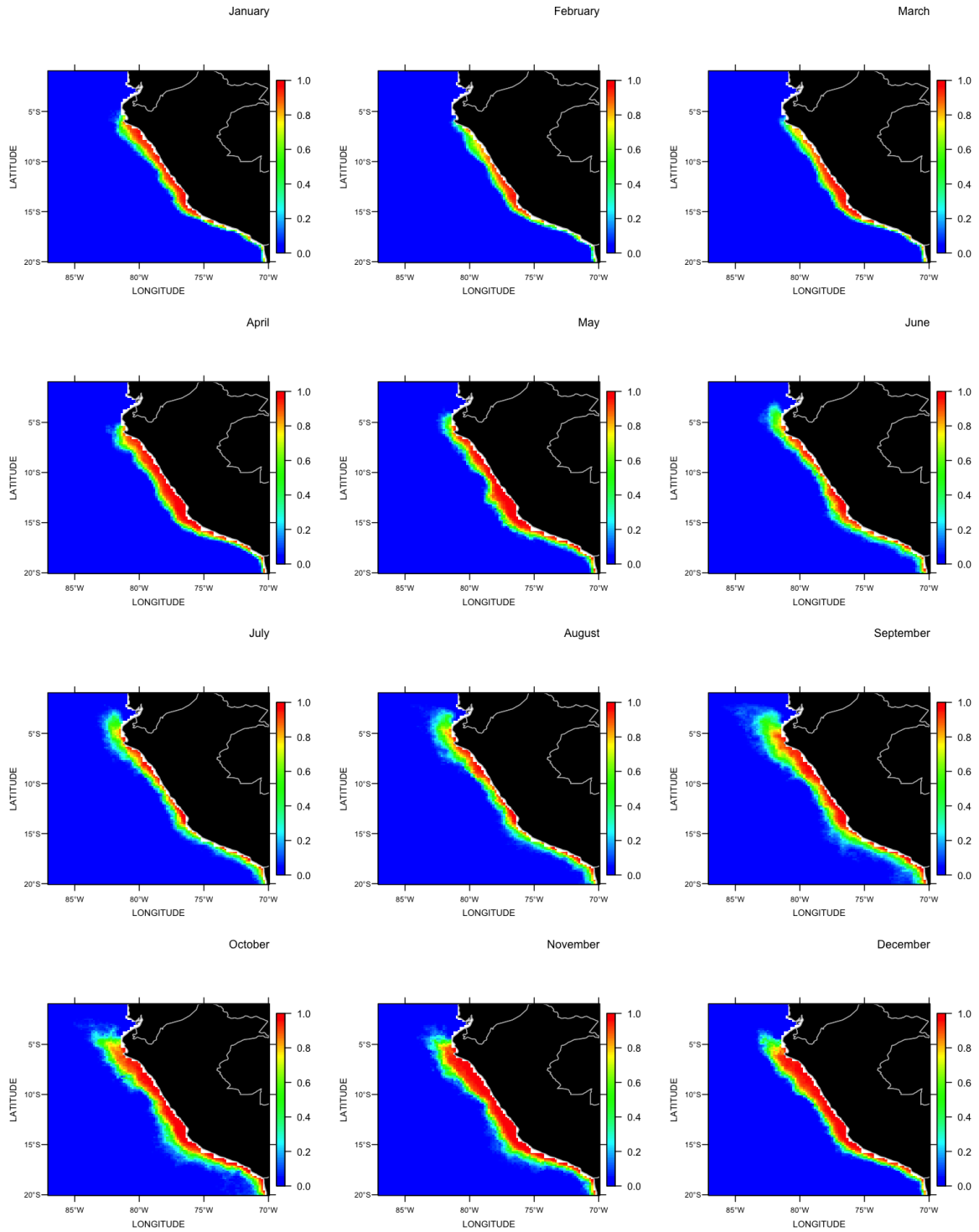


Figura 4-2.: Distribución potencial promedio mensual de la múnida dentro del mar peruano. La más alta probabilidad de presencia se muestra con el valor más alto (1.0), en color rojo y la menor probabilidad de presencia se muestra con el valor más bajo (0.0), en color azul.

#### 4. Resultados

En la Figura 4-3(b) se presenta la serie de tiempo de la fracción de la distribución potencial de múnida que se encuentra en sobre posición con el área de pesca de la flota industrial de anchoveta. El mínimo valor de la fracción fue de 0.3640 y su máximo de 0.9475, con una media de 0.6652. En la Figura 4-3(b) se puede observar que la fracción nunca llega al valor máximo de 1, lo cual se comprobó siendo significativamente diferente a 1.0 ( $p < 0,001$ ), con lo que se comprueba que no existe sobre posición completa de las áreas.

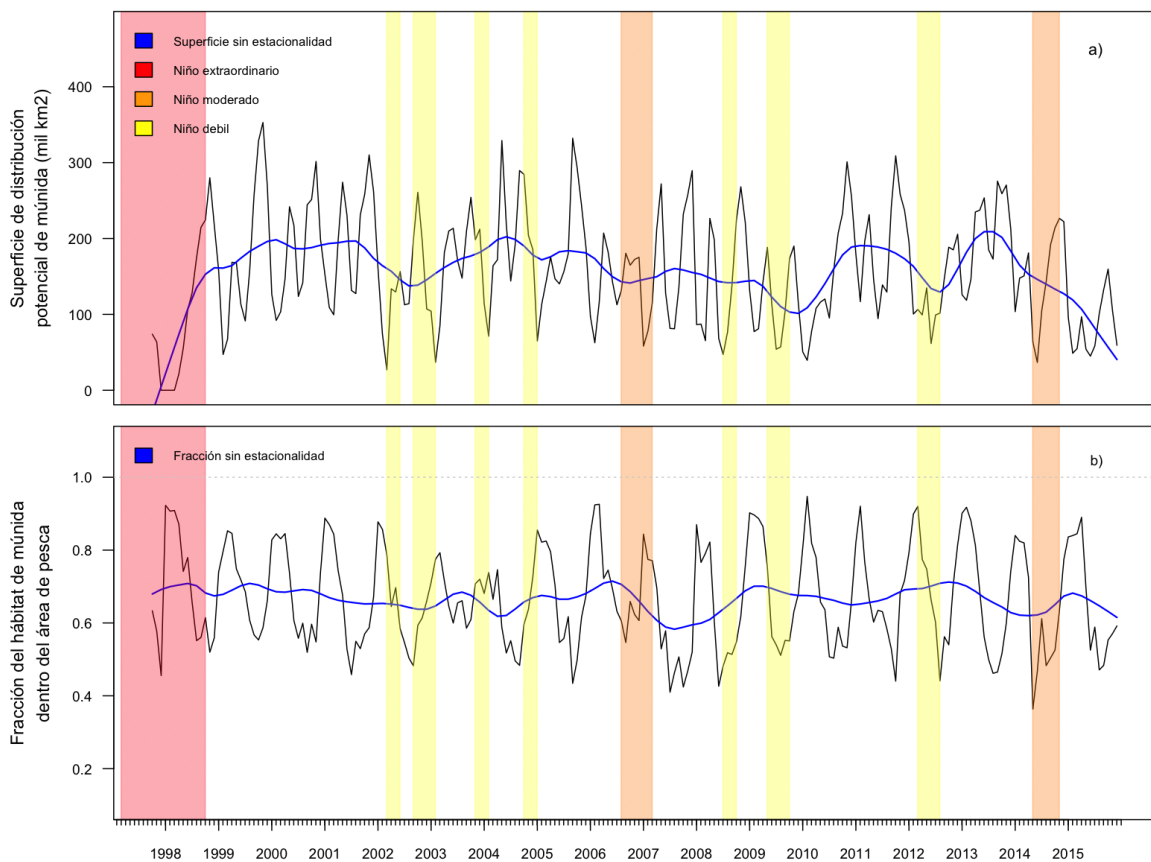


Figura 4-3.: Superficie de distribución potencial de la múnida de 1997 a 2014 (a). Fracción de la distribución potencial de múnida dentro del área de pesca industrial de anchoveta de 1997 a 2014 (b). En rojo se presenta el periodo de Niño extraordinario, en naranja los periodos de Niño moderado y en amarillo los periodos de Niño débil.

## 4.2 Índice de abundancia relativa para múnida

### 4.2.1 Captura de múnida y anchoveta

Los valores de las capturas de anchoveta y múnida del PBP se observan respectivamente, en la Figura 4-4(a) y Figura 4-4(b). Ambas capturas dependen de la apertura de las temporadas de pesca para anchoveta, las cuales suelen darse dos veces al año, por lo que se aprecia una alta estacionalidad en los datos. Se observa que luego de El Niño extraordinario de 97 - 98, las capturas de anchoveta fueron muy bajas; luego de este periodo es que las capturas de múnida empiezan a presentarse de manera más abundante y constante.

#### 4. Resultados

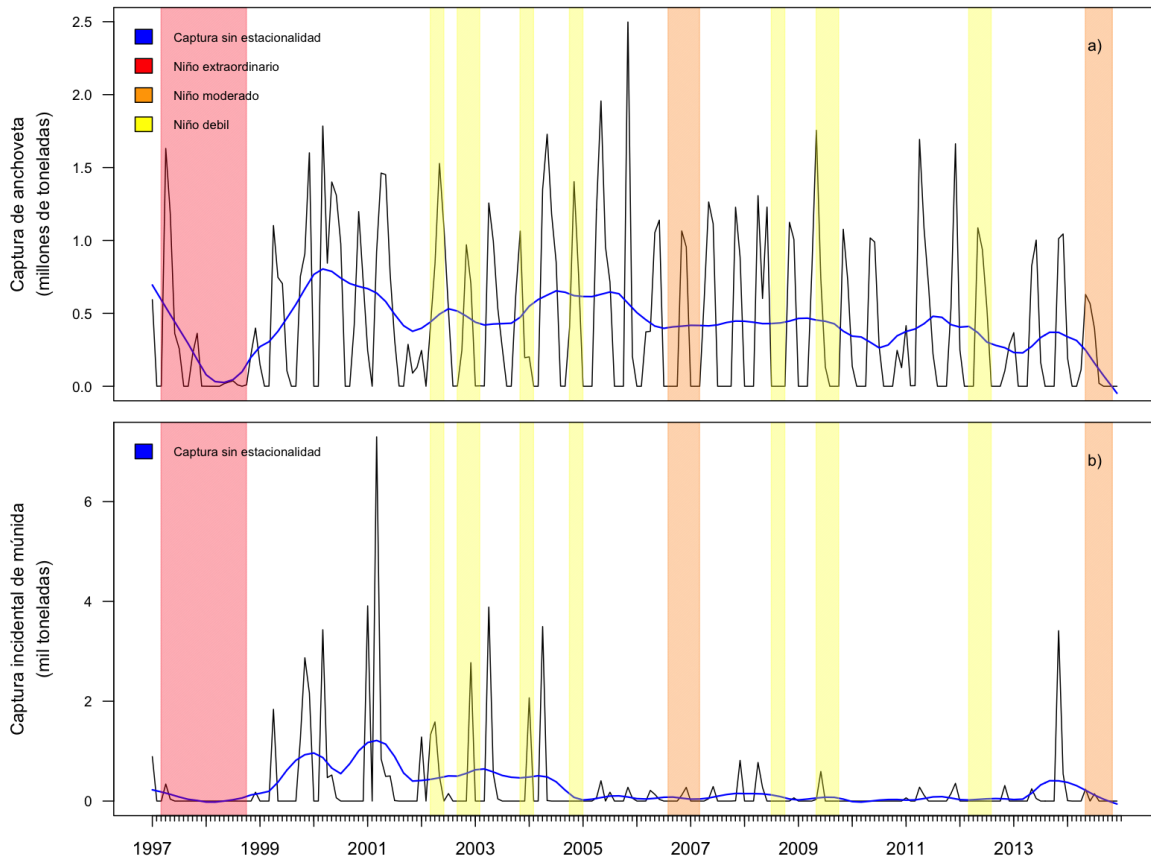


Figura 4-4.: Captura de anchoveta de 1997 a 2014 (a). Capturas incidentales de múnida de 1997 a 2014 (b). En rojo se presenta el periodo de Niño extraordinario, en naranja los periodos de Niño moderado y en amarillo los periodos de Niño débil.

En la Figura 4-5 se presentan los promedios anuales de las capturas tanto de anchoveta (Figura 4-5(a)), como de múnida (Figura 4-5(b)). En la Figura 4-5(a) se observa un mínimo del promedio anual en el año 1996 y un máximo en el año 2000. En la Figura 4-5(b), desde el año 1999 a 2004, se observa un periodo con capturas predominantemente altas comparadas con los promedios de los demás años.

## 4. Resultados

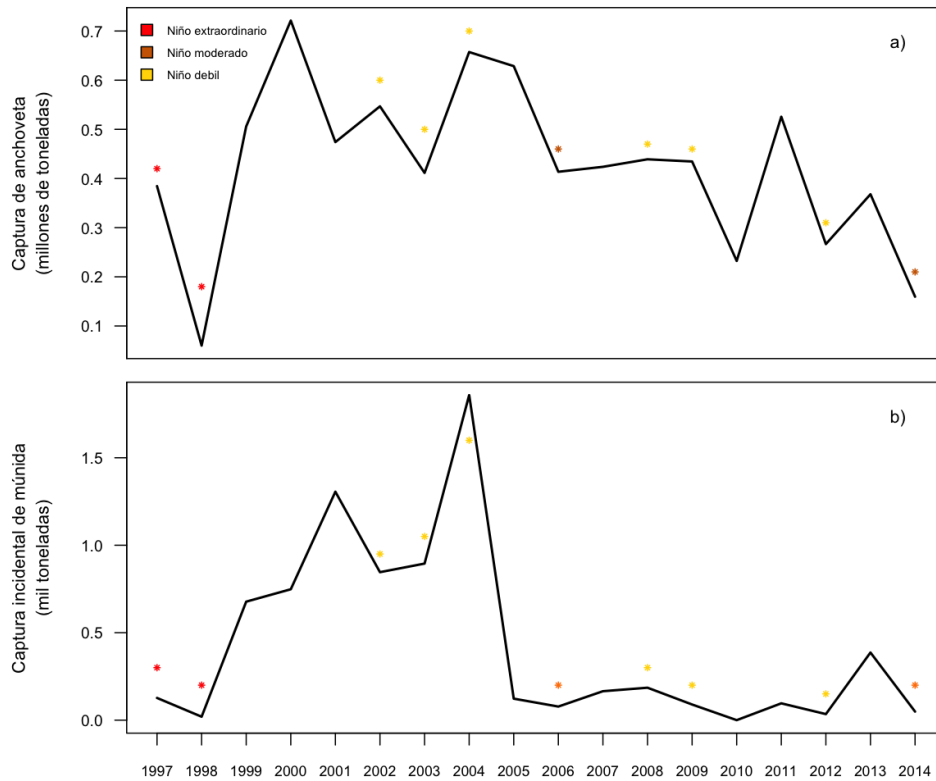


Figura 4-5.: Captura anual de anchoveta desde el año 1997 a 2014 (a) y captura incidental anual de múnida desde 1997 a 2014 (b). En asteriscos se presentan los diferentes eventos El Niño: Niño extraordinario (rojo), Niño moderado (naranja), Niño débil (amarillo).

### 4.2.2 Biomasa de anchoveta

Los datos de biomasa de anchoveta de 1997 a 2014 se presentan en la Figura 4-6. Se puede observar el efecto que el periodo El Niño 97 - 98 tuvo sobre la población de anchoveta, durante este periodo la anchoveta llegó a tener valores menores a los 5 millones de toneladas. Luego de El Niño 2006-2007 también se puede observar una disminución en la biomasa que se mantuvo hasta finales del periodo de estudio.

## 4. Resultados

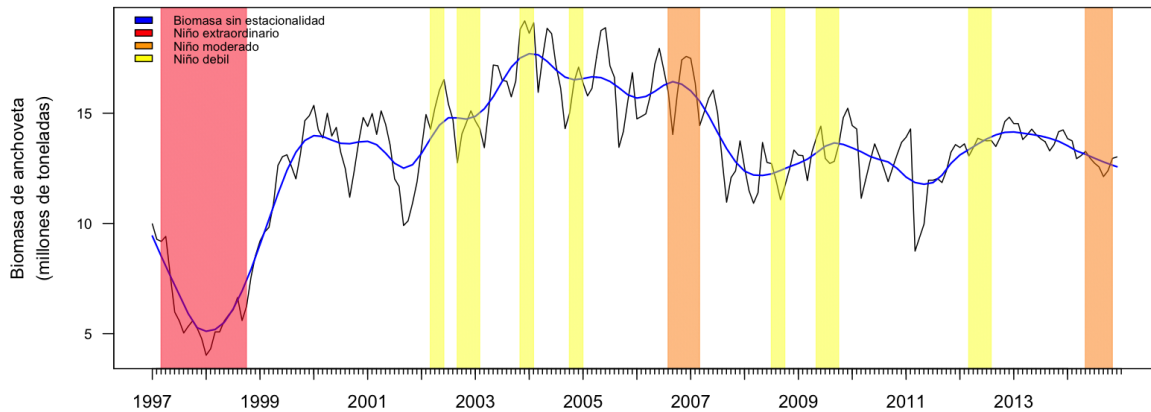


Figura 4-6.: Biomasa de anchoveta de 1997 a 2014, calculada por el modelo estructurado por tallas [55]. En rojo se presenta el periodo Niño extraordinario, en naranja los periodos de Niño moderado y en amarillo los periodos de Niño débil.

### 4.2.3 Índice de abundancia relativa

La Figura 4-7 muestra los valores obtenidos del índice de abundancia relativa para múnida luego de los cálculos anteriormente mencionados. Los valores del índice muestran los cambios que ha presentado la abundancia de múnida a través del tiempo desde octubre de 1997 hasta diciembre de 2014. En la serie de tiempo se pueden observar fácilmente tres periodos. Un primer periodo con valores muy bajos o nulos, desde 1997 hasta mediados de 1999. Un segundo periodo caracterizado por valores altos del índice, desde finales de 1999 a 2004. En este periodo se destacan dos valores, el de enero del año 2001 con 260.80 (Tabla B-1) y el de enero de 2004 con 280.92 (Tabla B-1). Luego se presenta un tercer periodo caracterizado por valores bajos, desde el año 2005 hasta el año 2014. En este periodo también se destacan dos valores, el de noviembre de 2012 con 61.83 (Tabla B-1) y el de noviembre de 2013 con 79.58 (Tabla B-1).

Se puede observar que el índice presenta diferentes vacíos a lo largo de todo

#### 4. Resultados

el periodo de tiempo. La falta de datos (NA) en cualquiera de las capturas de ambas especies ( $Mun^{Cap}$  y  $Anch^{Cap}$  de la Ecuación 3-5) generan la falta de valores para el índice, esto se puede observar tanto en la Figura 4-7, como en la Tabla B-1. Asimismo valores iguales a cero en cualquiera de las capturas generaron valores iguales a cero para el índice (Figura 4-7 y Tabla B-1).

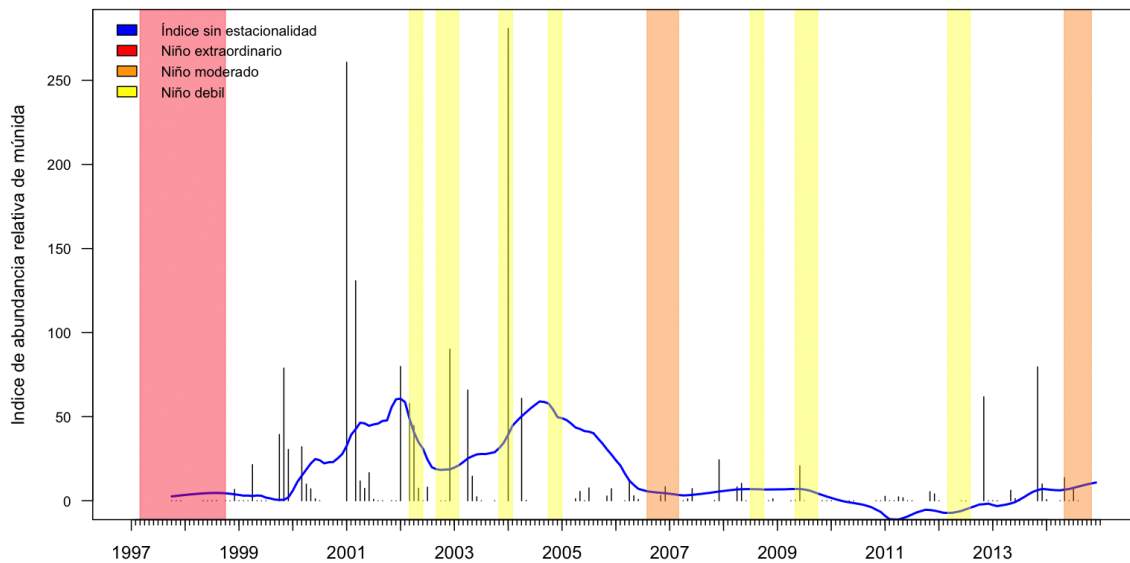


Figura 4-7.: Valores calculados del índice de abundancia relativa para múnida desde el año 1997 a 2014. En rojo se presenta el periodo de Niño extraordinario, en naranja los periodos de Niño moderado y en amarillo los periodos de Niño débil.

En la Figura 4-8 se presentan los promedios anuales de los valores del índice de abundancia relativa de múnida. Al igual que en la Figura 4-7, en la Figura 4-8 se observan tres periodos. Los dos primeros años, 1997 y 1998 presentan valores bajos. Luego, desde el año 1999 se observa un crecimiento en el promedio anual del índice, llegando a su máximo valor durante el año 2004. Desde el año siguiente, hasta finalizar el periodo evaluado, los valores son bajos, menores a 20. En la Figura 4-8 también

#### 4. Resultados

se presentan los valores de la biomasa de múnida estimada a través de prospecciones acústicas realizadas en las temporadas de verano, la correlación de estos valores con los valores promedio anuales del índice tuvo un valor de 0.013 con un valor de  $p=0.969$ , con lo cual no se encontró relación entre los valores.

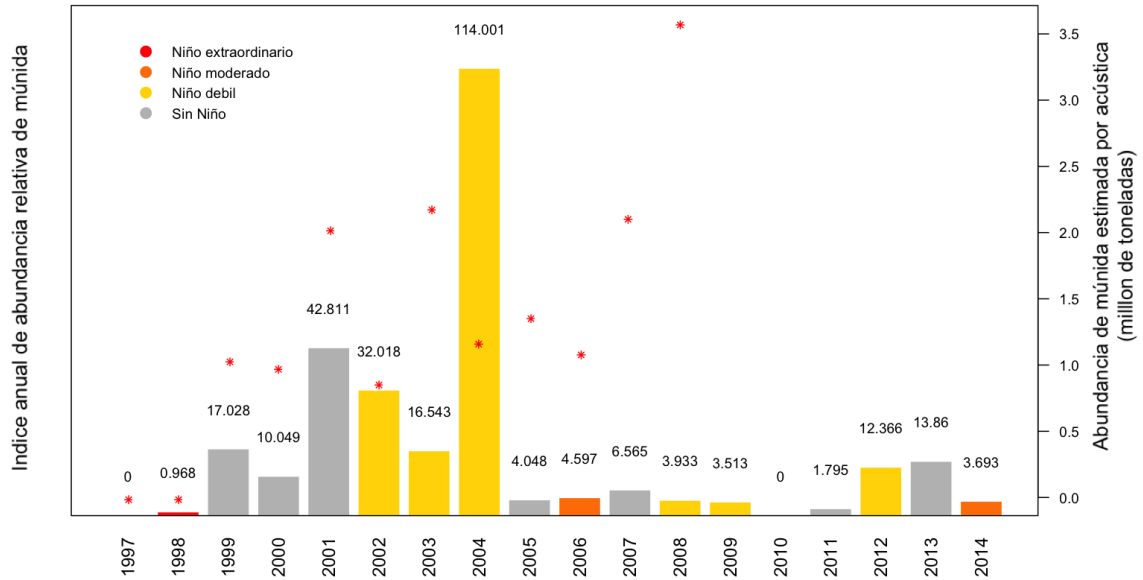


Figura 4-8.: Índice anual de la abundancia relativa de múnida y la abundancia de múnida calculada por acústica (asteriscos). Los colores de las barras representan los eventos El Niño en el mar peruano: Niño extraordinario (rojo), Niño moderado (naranja), Niño débil (amarillo), año sin Niño (plomo).

## 5 Discusión de resultados

### 5.1 Distribución espacial de múnida

El nicho ecológico de una especie se puede entender como la suma total de sus necesidades ambientales, pero estas pueden variar según las diferentes poblaciones o sus estadios de crecimiento [58] [59]. La decisión de trabajar con las variables ambientales: *tsm*, *ssm* y *ppn* se debió a diferentes razones. La *tsm* y la *ssm* forman parte de las variables físicas y químicas más usadas para describir el ambiente en el cual una especie se puede presentar. La *ppn* es una variable biológica, que representa la entrada de la energía al ecosistema marino, es la materia orgánica que se forma durante un determinado tiempo. Se decidió utilizar la *ppn* en vez de clorofila-a debido a que esta última es más bien un indicador de la biomasa de fitoplancton. La *ppn* es una variable más directa, que integra a su vez otras variables ambientales: clorofila-a, temperatura y radiación solar [51]. A pesar de que se usaron tres variables para describir el ambiente, desde el inicio del estudio se tuvo la intención de incluir una cuarta, la profundidad de la oxiclina, debido a que en el mar peruano, esta se presenta particularmente superficial [4]. Las dificultades que se tuvieron a la hora de intentar trabajar con la oxiclina y que eventualmente resultaron en la omisión de la variable para el cálculo, fue la falta de datos, no se pudo obtener los

## 5. Discusión de resultados

datos para todo el periodo de estudio.

Los diferentes modelos de nicho que se probaron para múnida (Tabla **3-2**) se formularon tratando de cubrir todas las combinaciones posibles de las variables, incluyendo desde modelos de una sola variable hasta todas las variables e incluyendo términos con y sin interacción entre las variables. Luego de la evaluación de los diferentes modelos que se probaron, se determinó que el *modelo 2.4b* era el más adecuado, a pesar de no obtener el valor más alto de AUC. Entre los modelos de mayor valor de AUC, el modelo *modelo 2.4b*, fue el que mejor logró representar de manera coherente las relaciones entre las variables que lo conformaban (Figura **A-2**); esto quiere decir que las relaciones entre las variables se representaron de forma convexa. Los rangos de tolerancia deben ser continuos, si una especie es tolerante para dos determinados valores de una variable, también debe tolerar el segmento que une estos dos puntos. Los dos términos que conforman el modelo *modelo 2.4b* fueron significativos para el modelo, es decir, ambos términos contribuyeron a explicar la variabilidad de los datos. El porcentaje de variabilidad que explicó el modelo fue de 66.4 %, este valor llega a ser adecuado, ya que explica más de la mitad de la variabilidad de los datos.

El límite inferior del rango de tolerancia de múnida para la variable *tsm* (Figura **A-4**), fue mayor que los límites inferiores calculados por Lujan en el 2016 para los diferentes estadios de desarrollo de la anchoveta en el mar peruano (Figura **A-5**, [60]). El límite superior de *tsm* para múnida fue menor al límite superior de los reclutas y adultos de anchoveta, en casi dos grados de diferencia. La múnida presentó un rango de temperatura más reducido que el de la anchoveta, aunque la segunda tolera valores de hasta 11.69 °C, estos valores se refieren al estadio de pre-reclutas. Los límites máximos difieren en hasta un grado para los otros estadios. Aunque el rango de tolerancia de la múnida (13.85 - 23.67°C) sea menor que el presentado por Lujan para anchoveta adulta (12-19-25.70°C), este reafirma la presencia de la múnida en aguas frías. El rango

## 5. Discusión de resultados

de tolerancia de múnida para *ssm* se asemeja más al rango de tolerancia de adultos de anchoveta que al de pre-reclutas y reclutas. Los rangos de estos estadios sólo difieren con el de múnida en menos de 0.4UPS. Cabe destacar que los rangos de tolerancia de *tsm* y *ssm* para múnida se relacionan más con las masas de aguas frías (ACF) que con cualquier otra masa de agua presente en el mar peruano, esto también es reportado por Santivañes en el 2017 [61]. La ACF se caracteriza por presentar condiciones propicias para el éxito de *P. monodon*. Durante el periodo de desove de la múnida (desde inicios de invierno hasta finales de primavera), la ACF es más extensa debido al incremento en la intensidad del afloramiento costero [62]. El modelo de nicho calculado por Lujan en el 2016 incluye variables ambientales que nos se utilizaron en el cálculo de nicho para múnida. El modelo de nicho de Lujan incluye: temperatura superficial del mar, salinidad superficial, clorofila a superficial (*cl-a*) y profundidad de la oxiclina (*oxi*). Debido a que el modelo de nicho de la anchoveta incluye diferentes variables, los rangos de tolerancia no se pueden comparar en su totalidad pero dejan apreciar que ambas especies tienen rangos de tolerancia similares. más no iguales, como anteriormente se ha reportado [4] [61].

La distribución espacial potencial de la múnida nos muestra dónde es que ha sido más probable que se encuentre la especie, probabilidad proporcionada por el modelo de nicho. Las áreas de distribución que se obtuvieron fueron distintas para las diferentes temporadas. Las temporadas de transición (primavera y otoño), fueron las que presentaron un área de distribución más amplia, lo contrario sucedió en las temporadas de verano e invierno. Durante los meses de primavera (octubre, noviembre y diciembre), la distribución se presentó casi a todo lo largo de la costa peruana, ampliándose mar adentro. En los meses de otoño (abril, mayo y junio), la múnida también se presentó casi a todo lo largo de la costa pero sin ampliarse tanto de manera longitudinal, con excepción de la zona Centro que fue la más amplia longitudinalmente.

## 5. Discusión de resultados

Durante los meses de verano (enero, febrero y marzo), la distribución de múnida se acortó principalmente en la zona Norte, esta reducción latitudinal se podría explicar por el ingreso con dirección Norte - Sur de masas de agua tropicales y ecuatoriales [63]. En la temporada de verano también se mostró una distribución más costera, esto podría ser debido a que en esta zona se encuentran las aguas más frías, recién afloradas y como ya se ha reportado la múnida prefiere aguas no tan cálidas [4]. Cabe destacar que en el SCH, la productividad primaria es alta en verano y baja en invierno [62], a pesar de esto en verano la múnida prefiere refugiarse en la zona costera. En los meses de invierno (julio, agosto y setiembre), al contrario de la temporada de verano, la distribución se amplía de manera latitudinal hacia el Norte, esto se podría explicar por el avance de la ACF de Sur a Norte [63]. Al igual que durante el verano, en invierno, la distribución se vuelve más costera. Esto se podría explicar debido a que durante la temporada de invierno se ha encontrado mayor incidencia de hembras ovígeras [40], con la intención de que los huevos y larvas no se pierdan en la zona pelágica y que tengan un mayor éxito, la múnida se podría estar refugiando en la zona costera. La relación que se encuentra entre la *tsm* y el área de distribución (Figura **A-3**) es significativamente inversa; mientras la *tsm* disminuye, el área aumenta. El efecto de esta relación se puede observar en que la distribución de múnida sea predominante en zonas costeras, donde la temperatura del mar es menor. La relación entre la *ppn* y el área de distribución (Figura **A-5**) se mostró significativamente directa; al aumentar la *ppn*, el área aumenta. El efecto de esta relación se puede mostrar con que la múnida prefiere estar en las zonas costera, las cuales son las más productivas. La relación entre el área de distribución (Figura **A-4**) y la *ssm* no se mostró tan importante como con las otras dos variables ambientales.

Analizando en conjunto las cuatro temporadas, se podría sugerir que la múnida aprovecha las temporadas de transición para expandir su distribución, volverse más pelágica que costera y dispersarse más en vez de concentrarse en la costa del litoral

## 5. *Discusión de resultados*

peruano. Debido a que estas temporadas son más templadas y aunque no presentan los picos más altos de productividad, el constante afloramiento costero permiten que sigan siendo productivas. En la serie de tiempo de la superficie potencial de distribución de múnida (Figura **4-3(a)**) se puede observar que tanto, durante el niño extraordinario, los niños moderados y los débiles; la distribución se ve disminuida. Aunque esta disminución dure apenas un mes, la múnida sí se estaría viendo afectada por los cambios ambientales y estaría siendo forzada a distribuirse en un área más pequeña. En este caso podría estar actuando como la anchoveta lo hace en estos periodos, volviéndose más costera y profundizándose con lo que estaría menos disponible para la pesquería, aunque esto no se refleja en todos los meses con eventos El Niño (Figura **4-4(b)**).

El cálculo de la fracción del hábitat de múnida dentro del área de pesca industrial de anchoveta muestra que la múnida no se encuentra en total sobre posición. A lo largo de la serie de tiempo de la fracción se observan valores muy cercanos a la total de sobre posición (1.0), también se observan valores inferiores a 0.5 (Figura **4-3(b)** y Figura **A-6**), pero en promedio la fracción en sobre posición es un poco más de la mitad (0.6652). La variabilidad a través del tiempo de la fracción en sobre posición nos obliga a realizar el ajuste al índice de abundancia relativa de Maunder & Hoyle. Mediante la introducción de la fracción de hábitat, se calcula la abundancia relativa para toda el área de distribución y no sólo para el área de pesca.

Durante los meses que en promedio, la distribución es más pequeña, la múnida se concentra más y se esperaría encontrar mayores cantidades de captura durante esos meses, en especial durante los meses de verano; durante los cuales la fracción de su distribución que se encuentra en sobre posición con la actividad pesquera es la más alta (Figura **B-1 (d)**). Durante los meses de verano (primeros meses del año), las capturas de múnida presentan mayores valores (Figura **B-1 (a)**), aunque no lleguen a reflejarse en su promedio, es en los primeros meses del año que se dan las grandes capturas de

múnida. Diferente es la situación en la temporada de invierno, que a pesar de presentar una pequeña distribución y estar más concentrada, los valores de las capturas son muy bajos (Figura **B-1 (a)**), al igual que las capturas de anchoveta (Figura **B-1 (b)**), estos bajos valores se pueden deber a que usualmente durante esos meses la pesca de anchoveta no se abre debido a la temporada de desove de la especie [21].

## 5.2 Índice de abundancia

Los efectos de los eventos El Niño se pueden observar fácilmente en la biomasa de anchoveta (Figura **4-6**), se puede apreciar que durante el evento extraordinario de 1997 - 1998, la biomasa disminuye significativamente. Luego, en los eventos moderados de 2006-2007 y 2014 se observa una ligera disminución que ya venía presentándose desde inicios de 2013, pero los Niños débiles parecen no afectarla. Estas variaciones también se observan en las capturas reportadas dentro del PBP, aunque en menor magnitud. La drástica disminución en la biomasa de anchoveta durante El Niño 97-98 se refleja, tanto en las capturas reportadas por el PBP de IMARPE (Figura **4-4(a)**), como por los desembarques totales registrados por PRODUCE (Figura **A-7** [64]). Durante esta temporada la anchoveta no se encuentra ocupando el espacio que habitualmente ocupa en la costa peruana debido a que los drásticos cambios ambientales no se lo permiten. Luego de El Niño 97 - 98 la superficie de distribución potencial calculada para la múnida aumenta.

Aunque los cambios ambientales de cada evento El Niño tienen un efecto de expansión o contracción de la distribución y abundancia de especies pelágicas [65], las especies pueden valerse de diferentes estrategias para poder sobrellevar los eventos desfavorables. Estas estrategias de las especies, sumadas a condiciones favorables, luego de

## 5. *Discusión de resultados*

un evento desfavorable, pueden gatillar su aumento poblacional como sucedió para la anchoveta luego de El Niño 97 - 98 [66]. El cambio de las condiciones ambientales del mar peruano luego de El Niño 97 - 98 generó condiciones favorables para que el área de distribución potencial de múnida se ampliara (Figura **4-3(a)**), dicho aumento en la distribución potencial coincide también con el aumento de sus capturas (Figura **4-4(a)**) y el de su abundancia según el índice de abundancia relativa calculado (Figura **4-7**).

Las evaluaciones acústicas confirman el aumento en la abundancia de múnida, la cual se ha observado desde mediados de la década del noventa, particularmente luego de El Niño 97 - 98 [4], este aumento también se puede observar en las capturas registradas por el PBP (Figura **4-4(b)**). A partir de 1999 empiezan a aumentar las capturas incidentales de múnida y se da una explosión de capturas hasta 2004, este aumento en las capturas registradas por el PBP también se observa, durante el mismo periodo, a través del cálculo de biomasa de manera directa por medio de datos acústicos [61]. Durante este periodo se llegaron a registrar más de 7 mil toneladas de múnida capturadas en el año 2001 registradas en el PBP; mientras que en las evaluaciones acústica de IMARPE llegaron a estimar entre 0.6 y 3.4 millones de toneladas de 1998 al 2005 [4]. Luego de este periodo de grandes cantidades de captura incidental, se observan cantidades mucho más bajas hasta el fin del periodo evaluado, exceptuando los últimos meses del año 2013 en los que se presentó un máximo de casi 4 mil toneladas de múnida capturada en los registros del PBP. Este periodo de disminución en la captura incidental de múnida reportada en las bitácoras también se refleja en los desembarques de múnida que descienden de casi 2 mil toneladas durante los años 2003 y 2004 a menos de 300 toneladas desde el año 2006 al 2010 [2]. Los promedios mensuales de los valores del índice calculado muestran que desde el mes de octubre hasta abril la abundancia presenta valores altos pero que no influyen en el promedio (Figura **B-2**), este periodo pareciera coincidir con el que la fracción en sobre posición presenta sus valores más altos (Figura **B-1(d)**). El patrón

## 5. *Discusión de resultados*

mensual que presenta el índice (Figura **B-2**) pareciera reflejar los patrones mensuales que presentaron la captura de múnida (Figura **B-1(a)**) y la fracción de sobre posición (Figura **B-1(d)**), teniendo valores altos a inicio y fin de año. Asimismo se refleja que en caso no hayan datos de captura o estos sean iguales a cero (Figura **B-1(a)** y Figura **B-1(b)**), el índice no se va a poder calcular o será equivalente a cero (Figura **B-2**). En la Figura **B-3** se puede observar que entre los componentes utilizados para el cálculo del índice de múnida, el cociente de las capturas (Figura **B-3(a)**) parece ser aquel componente que se refleja con mayor intensidad dentro de los valores del índice. Esto indica que el índice, en parte, se comporta como se esperaba; reflejando en su mayoría la proporcionalidad de las capturas, más no la fracción de múnida en el área de pesca. Esta no debe predominar en el valor del índice, tan sólo ajustarlo. Es posible que los valores extremos del índice, en enero de 2001 y 2004, estén encubriendo la influencia de la biomasa de anchoveta en los valores del índice. La biomasa se presenta en poca sincronía con los valores del índice. Cabe destacar que los periodos consecutivos de meses con valores altos del índice coinciden también con valores altos de la biomasa, como los primeros meses de los años 2000, 2001, 2002 y 2003. La influencia del cociente de las capturas sobre el valor del índice hacen necesaria una evaluación más profunda acerca de la naturaleza de los lances en los que se captura múnida y en los que no se captura.

La disminución en las capturas, luego de 2004, puede deberse a muchas razones. En primer lugar, la captura de múnida en las redes de cerco anchoveteras no son favorables para la industria pesquera ya que esta daña las redes, incluso llegando a romperlas; esto genera pérdidas económicas para la industria. Esta desventaja puede haber inducido un aprendizaje y selectividad de la flota pesquera, generando que los lances se realicen en menor cantidad donde la abundancia de múnida sea preponderante o con presencia de parches grandes de múnida. Por otra parte, el reciente uso e implementación de ecosondas multifrecuencias, aumenta el contraste entre el pez y el zooplancton y mejora así

## 5. *Discusión de resultados*

su discriminación [67]. Dos o más frecuencias les permite a las embarcaciones tener una visión mucho más clara del área adonde se pretende realizar el lance. La realización del lance siempre se va a preferir hacer en aquellas áreas que permiten una mayor ganancia (mayor proporción de anchoveta).

A partir de los valores obtenidos del índice se podría interpretar que la múnida tuvo un periodo de apogeo, desde finales de 1999 hasta inicios del año 2004, durante el cual la tendencia de su abundancia fue permanecer dentro de valores altos. Esto coincide con lo que ya se ha mencionado acerca del aumento de múnida en las costas peruanas desde mediados de 1990, luego de El Niño extraordinario 1997 - 1998. Un evento con cambios tan drásticos sobre las aguas del mar peruano parece haber favorecido a la múnida. La tendencia hacia el incremento en los valores del índice (Figura 4-7) coinciden también con el aumento de la biomasa de anchoveta (Figura 4-6). Pareciera que mientras la anchoveta iba recuperando su abundancia previa al evento extraordinario de El Niño y ocupando su nicho en el ecosistema, la múnida también aumentaba en abundancia. Como ya se ha mencionado, ambas especies comparten nicho ecológico pero la múnida se restringe a zonas más frías y costeras [4]. Se han reportado valores de  $\delta^{15}\text{N}$  similares para ambas especies, pero con diferencias en sus valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , lo cual indica que el hábitat donde se alimentan no se sobreponen completamente [68]. Esta diferencia en su nicho es la que probablemente ayudó a que la múnida pueda aumentar en abundancia y permanecer abundante por varios años a pesar de compartir la misma posición en la red trófica que la anchoveta.

La correlación que se realizó entre los valores de biomasa calculados por acústica y los valores del índice no fue significativa. Esta se hizo entre los valores promedio anuales del índice (basado en capturas) y los del crucero acústico de verano. Se usaron los cruceros de verano debido a que se enfocan más en la estimación de biomasa y realizan una mayor cantidad de lances de comprobación. No se pudo realizar una correlación directa para

## 5. *Discusión de resultados*

cada mes en el que se realizaron las evaluaciones acústicas debido a que en los meses que se realizan las prospecciones acústicas, no se suele abrir la pesca de anchoveta y por consiguiente no se obtuvieron valores para el índice. Cabe resaltar que IMARPE para calcular los valores de biomasa estimados para múnida, hasta el año 2002 la realizaba utilizando la reflectividad (TS, por sus siglas en inglés) calculada para el krill antártico [53]. La falta de un valor de TS específico para múnida hasta el 2003, proporciona estimaciones acústicas con un sesgo difícil de cuantificar y poco confiables, en especial si se desea compararlos con los valores del índice.

El principal problema para la evaluación y manejo de una población, es conocer la cantidad de biomasa que existe de la especie. Debido a que es prácticamente imposible calcular la abundancia absoluta de las especies, en especial de especies marinas, se utilizan índices de abundancia para evaluar las poblaciones. Los índices de abundancia más utilizadas para poblaciones de especies marinas con valor económico son las CPUE, idealmente estandarizadas. El índice que se presenta en este trabajo tiene diversas ventajas, es independiente al esfuerzo, cuya determinación es uno de los problemas más grandes a la hora de calcular la CPUE. Otra ventaja del índice es que se utilizan datos puntuales de la pesquería más importante del Perú, la cual posee gran cantidad de datos. Aunque se realizan estimaciones de la biomasa a partir de evaluaciones acústicas, estas están orientadas a la evaluación de la anchoveta, no de múnida, por lo que contienen el sesgo de se realizan mayor cantidad de lances de comprobación para anchoveta que para las otras especies que también son evaluadas en el mismo crucero. La direccionalidad de las evaluaciones acústicas y el hecho que se realicen en promedio sólo dos veces al año hacen necesaria una evaluación de la población con otra fuente de datos, que en este caso fueron dependientes de la pesquería. Es recomendable hacer una revisión de los estimados de biomasa por acústica para múnida, usando la TS calculada por [53] para todo el periodo de disponibilidad de datos. Una revisión de los valores de biomasa

## 5. *Discusión de resultados*

acústica podría dar luces adicionales sobre los cambios de abundancia de múnida y a su vez esto los haría más comparable con los valores del índice propuesto a partir de la pesquería de anchoveta. Validar el índice propuesto en el presente trabajo con los valores de biomasa por acústica resulta imposible debido a su desfase espacio-temporal, a pesar de esto puede contribuir al índice como comparación. Es necesario realizar un análisis profundo a los lances que se presentan en el PBP para determinar si hay una direccionalidad hacia aquellos parches con menor cantidad de múnida o si la caída en el valor del índice a partir de 2005 se debe a una caída en la abundancia de la población.

## 6 Conclusiones

- Se pudo lograr la estimación de un índice de abundancia a partir de la información de la pesquería industrial de anchoveta y estimados de su población.
- Los valores calculados del índice no presentaron correlación significativa con los valores de biomasa calculados a partir de estimaciones acústicas, cabe resaltar que estos valores no son comparables debido principalmente a su desfase temporal.
- El índice calculado en este estudio permitió obtener estimaciones mensuales gracias a que las embarcaciones pesqueras trabajan durante varios meses, a diferencia de las evaluaciones acústicas, las cuales se realizan dos veces al año.
- El área de distribución de múnida no está incluida en su totalidad dentro del área de actividad de la pesquería industrial de anchoveta, por lo que la corrección del índice de Maunder & Hoyle fue pertinente.
- De acuerdo al índice estimado, la abundancia de múnida en el mar peruano de 1997 a 2014 presenta tres etapas: la primera comprende de 1997 a finales de 1999, en la cual la múnida es muy poco abundante; la segunda etapa abarca hasta el año 2004, en esta etapa la múnida presenta una tendencia alta de abundancia; por último la tercera etapa abarca hasta el año 2014, periodo en el cual la múnida vuelve a presentar valores bajos de abundancia.

## 7 Perspectivas

- Incluir variables adicionales al modelo de nicho ecológico podría afinar y mejorar el modelo de nicho, como la profundidad de oxiclina.
- Incrementar la fracción de la flota anchovetera de la cual se toma muestra en el Programa de Bitácoras de Pesca. El aumento a más del 10% de la flota pesquera, podría permitir estimar la abundancia relativa de múnida con una mayor precisión.
- Calcular el área de actividad de la industria anchovetera para cada mes, lo cual no fue posible usando los datos del Programa de Bitácoras de Pesca de IMARPE, dado a que estos resultaron ser escasos. Se recomienda colaborar con el sector pesquero para tener acceso a una mayor cantidad de datos, esto permitiría una mejor estimación del índice.
- El área de actividad de la industria anchovetera puede ser mejorado utilizando los datos obtenidos a través del Sistema de Seguimiento Satelital de embarcaciones (SISESAT).
- Analizar los datos por de cada lance para averiguar si hay diferencias entre el comportamiento de los lances que presentan munida y los que no. Se debe analizar la hora, posición, duración, captura, composición por especies, horas de búsqueda

## 7. *Perspectivas*

previa y tallas.

- Realizar un análisis de incertidumbre para el índice tomando en cuenta todas las fuentes en las variables usadas en los cálculos: superposición entre áreas, captura de múnida, captura de anchoveta y biomasa de anchoveta.

# A Anexo: Distribución espacial de múnida

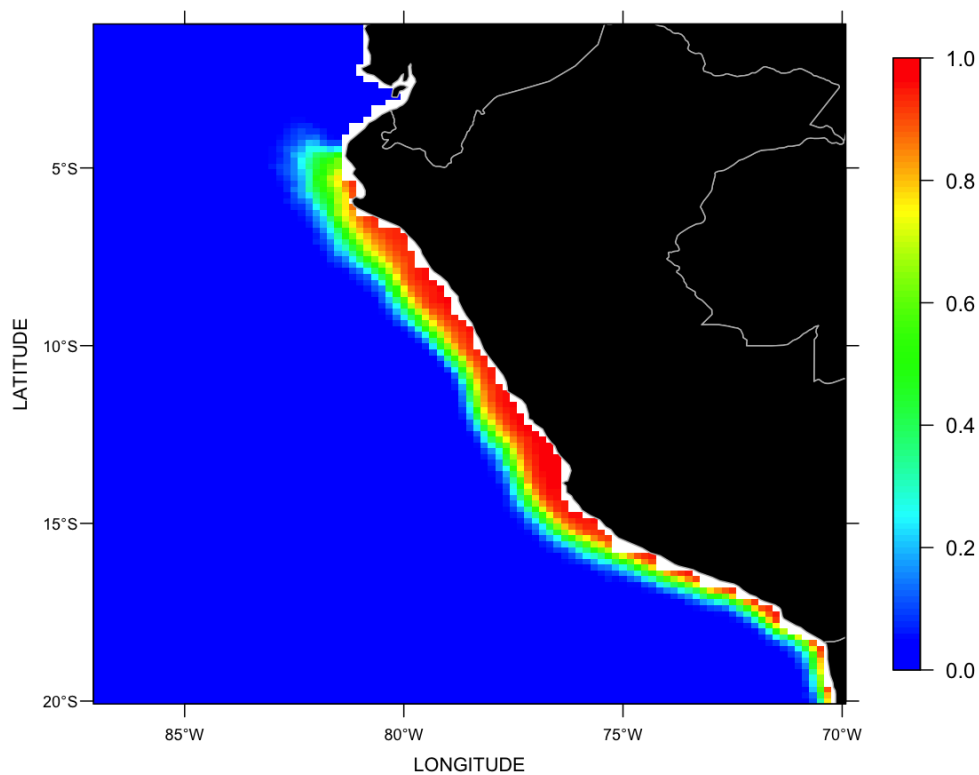


Figura A-1.: Distribución potencial promedio de la múnida dentro del mar peruano. La más alta probabilidad de presencia se muestra con el valor más alto (1.0), representado con el color rojo.

A. Anexo: Distribución espacial de múnida

Modelo	AUC
mod2.2d	0.971847
mod2.4a	0.971498
mod2.3b	0.971445
mod2.5b	0.971445
mod2.1d	0.971238
mod2.3a	0.970235
mod2.5a	0.970235
mod2.2b	0.969925
mod2.4b	0.969792
mod2.1e	0.969750
mod2.4c	0.969410
mod1.2a	0.968768
mod2.1c	0.959125
mod1.1b	0.956661
mod1.1c	0.930882
mod2.2c	0.900294
mod0.4a	0.891704
mod0.3a	0.890004
mod2.3c	0.864123
mod1.1a	0.850155
mod2.2a	0.849879
mod2.1a	0.825363
mod2.1b	0.817680
mod0.2a	0.779758
mod0.1a	0.738674

Tabla A-1.: Modelos probados para el nicho ecológico ordenados de manera descendente según sus valores AUC.

A. Anexo: Distribución espacial de múnida

Modelo	Desviación explicada
mod2.2d	68.3 %
mod2.4a	67.0 %
mod2.3b	67.0 %
mod2.5b	67.0 %
mod2.1d	67.0 %
mod2.3a	67.2 %
mod2.5a	67.2 %
mod2.2b	67.0 %
mod2.4b	66.4 %
mod2.1e	66.4 %

Tabla A-2.: Porcentajes de la desviación explicada por parte de los 10 mejores modelos según su valor de AUC.

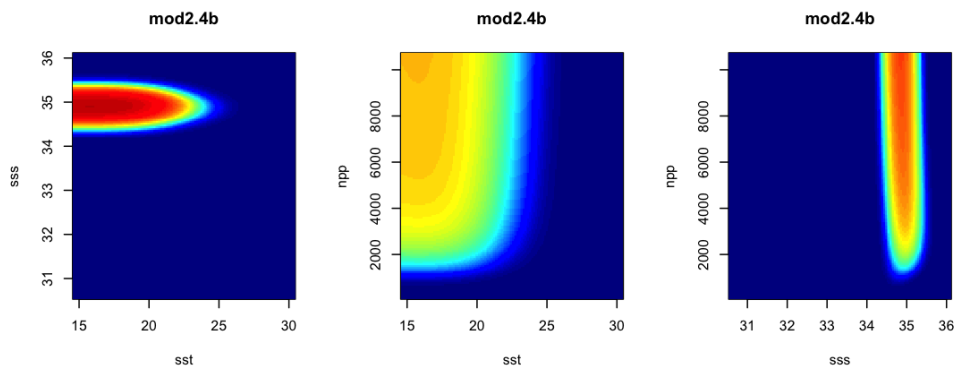


Figura A-2.: Nicho ecológico para múnida según modelo mod2.4b.

A. Anexo: Distribución espacial de múnida

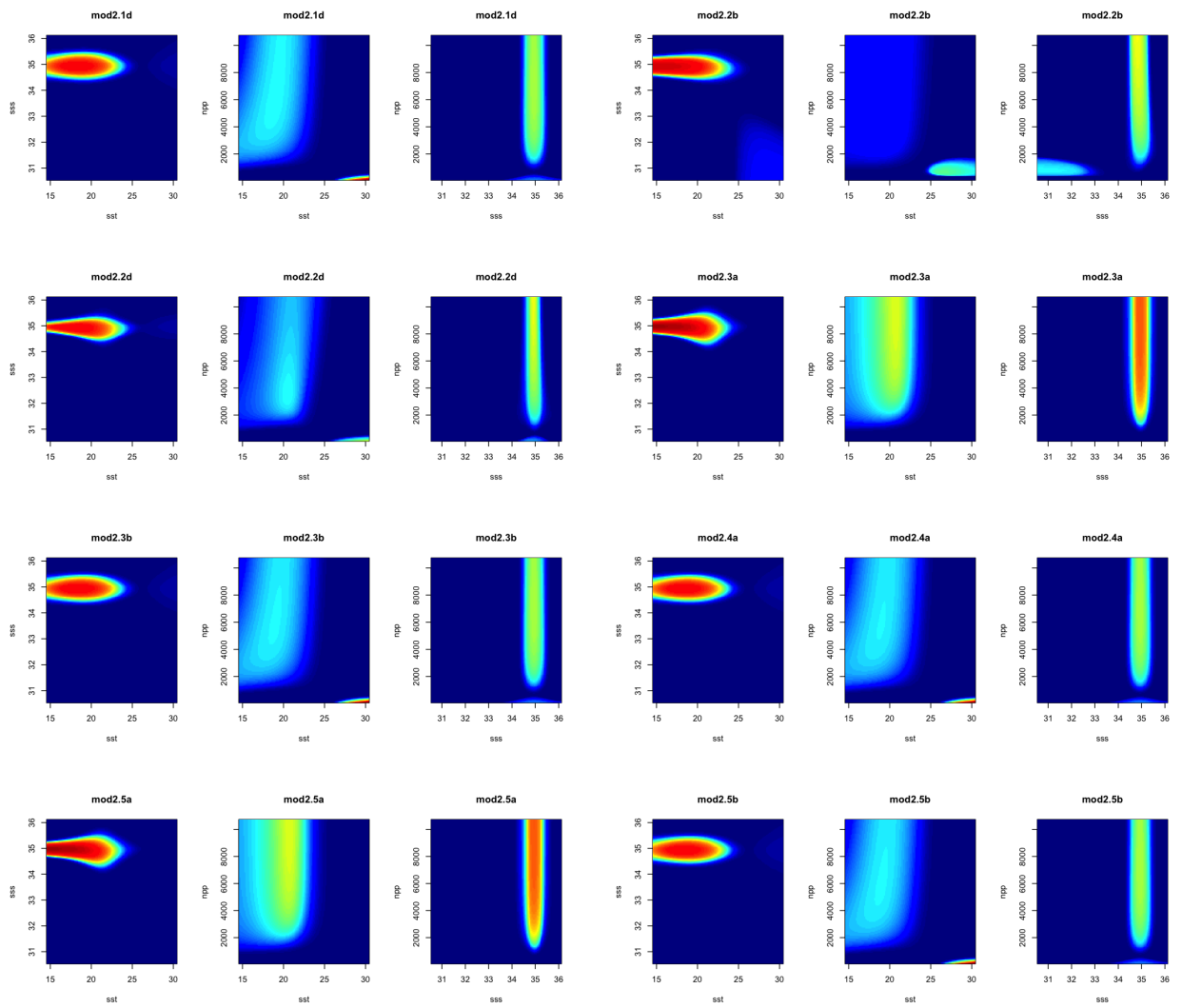


Tabla A-3.: Nichos ecológicos de los modelos que no fueron elegidos a pesar de tener un valor de AUC mas alto que el de mod2.4b.

A. Anexo: Distribución espacial de múnida

Variable	Rango
TSM	13.85 - 23.67 °C
SSM	34.44 - 35.39 UPS
PPN	1 265.15 - 11 637.61 gC/m <sup>2</sup>

Tabla A-4.: Límites de tolerancia calculados para el nicho ecológico de múnida. Las variables ambientales utilizadas fueron: la temperatura superficial del mar (TSM), la salinidad superficial del mar (SSM) y productividad primaria neta (PPN).

Estadio	Variable	Rango
Pre-reclutas	TSM	11.69 - 18 °C
	SSM	34.80 - 35.15 UPS
	CL	0.45 - 12.88 mg/m <sup>3</sup>
	OXI	1.20 - 57.54 m
Reclutas	TSM	12.24 - 25.34 °C
	SSM	34.65 - 35.15 UPS
	CL	0.43 - 20.42 mg/m <sup>3</sup>
	OXI	0.85 - 72.44 m
Adultos	TSM	12.19 - 25.70 °C
	SSM	34.5 - 35.20 UPS
	CL	0.35 - 28.18 mg/m <sup>3</sup>
	OXI	0.98 - 107-15 m

Tabla A-5.: Límites de tolerancia del nicho ecológico de anchoveta por estadios de desarrollo en la costa peruana. Las variables ambientales presentadas son: la temperatura superficial del mar (TSM), la salinidad superficial del mar (SSM), la concentración de clorofila a superficial (CL) y la profundidad de la oxiclina (OXI). Modificado del trabajo de Luján del 2016 [60].

**Superficie de distribución de múnida y temperatura superficial del mar**

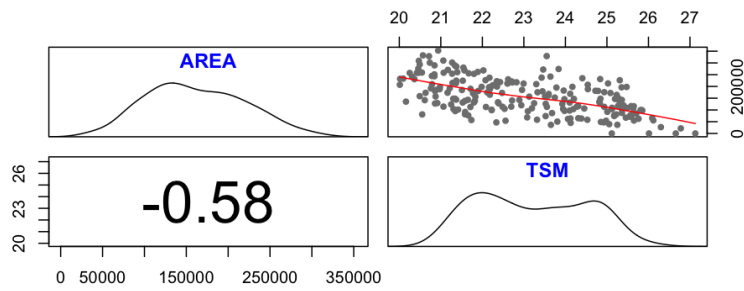


Figura A-3.: Gráfica de dispersión que relaciona el área de distribución calculada para múnida de 1997 a 2014 con los promedios mensuales de la variable ambiental temperatura superficial del mar.

**Superficie de distribución de múnida y salinidad superficial del mar**

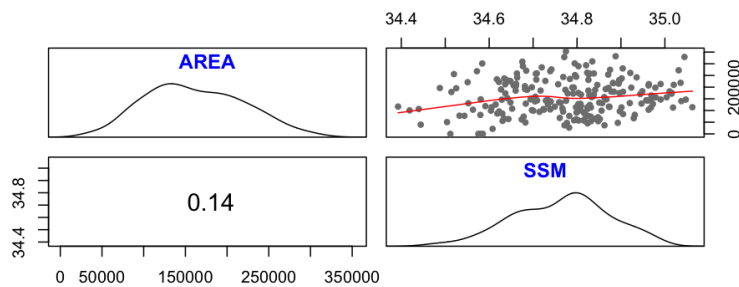


Figura A-4.: Gráfica de dispersión que relaciona el área de distribución calculada para múnida de 1997 a 2014 con los promedios mensuales de la variable ambiental salinidad superficial del mar.

**Superficie de distribución de múnida y productividad primaria neta**

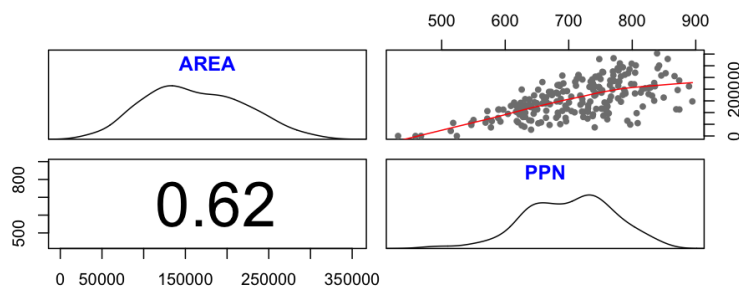


Figura A-5.: Gráfica de dispersión que relaciona el área de distribución calculada para múnida de 1997 a 2014 con los promedios mensuales de la variable ambiental productividad primaria neta.

A. Anexo: Distribución espacial de múnida

Año inicial	Mes inicial	Año final	Mes final	Duración (meses)	Magnitud
1997	3	1998	9	19	Extraordinario
2002	3	2002	5	3	Débil
2002	9	2003	1	5	Débil
2003	11	2004	1	3	Débil
2004	10	2004	12	3	Débil
2006	8	2007	2	7	Moderado
2008	7	2008	9	3	Débil
2009	5	2009	10	6	Débil
2012	3	2012	7	5	Débil
2014	5	2014	10	6	Moderado
2015	4	2016	6	15	Fuerte

Tabla A-6.: Eventos El Niño en la costa de Perú desde 1997 hasta 2015, elaborado a partir de datos publicados por ENFEN [57].

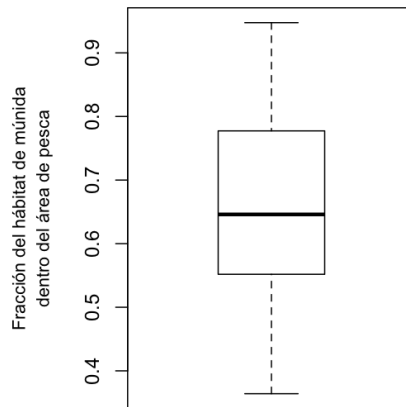


Figura A-6.: Fracción del hábitat de múnida dentro del área de pesca, Min=0.3640, Max=0.9475, Mean=0.6652.

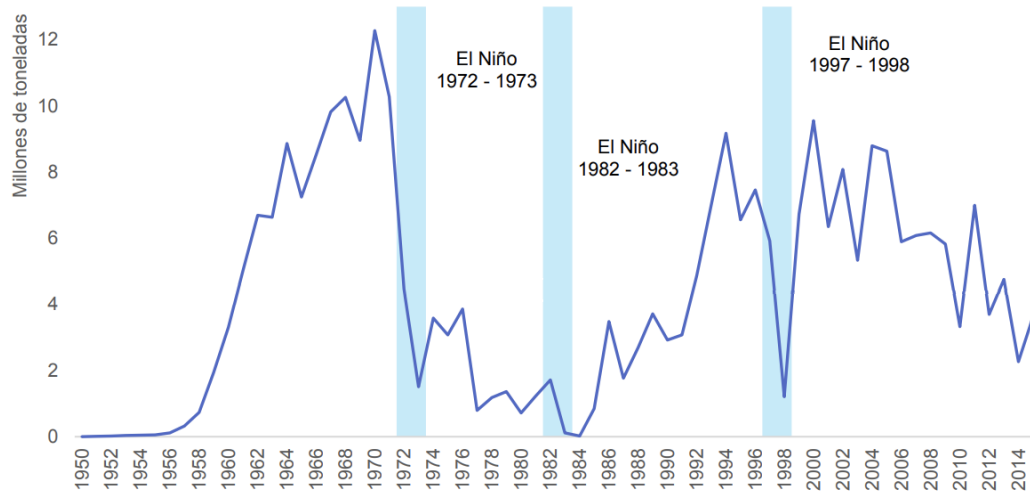


Figura A-7.: Desembarques de anchoveta en millones de toneladas desde 1950 hasta 2015, modificado del Documento de Trabajo del Ministerio de Producción N° 01-2016-DECHI [64].

## B Anexo: Índice de abundancia relativa para múnida

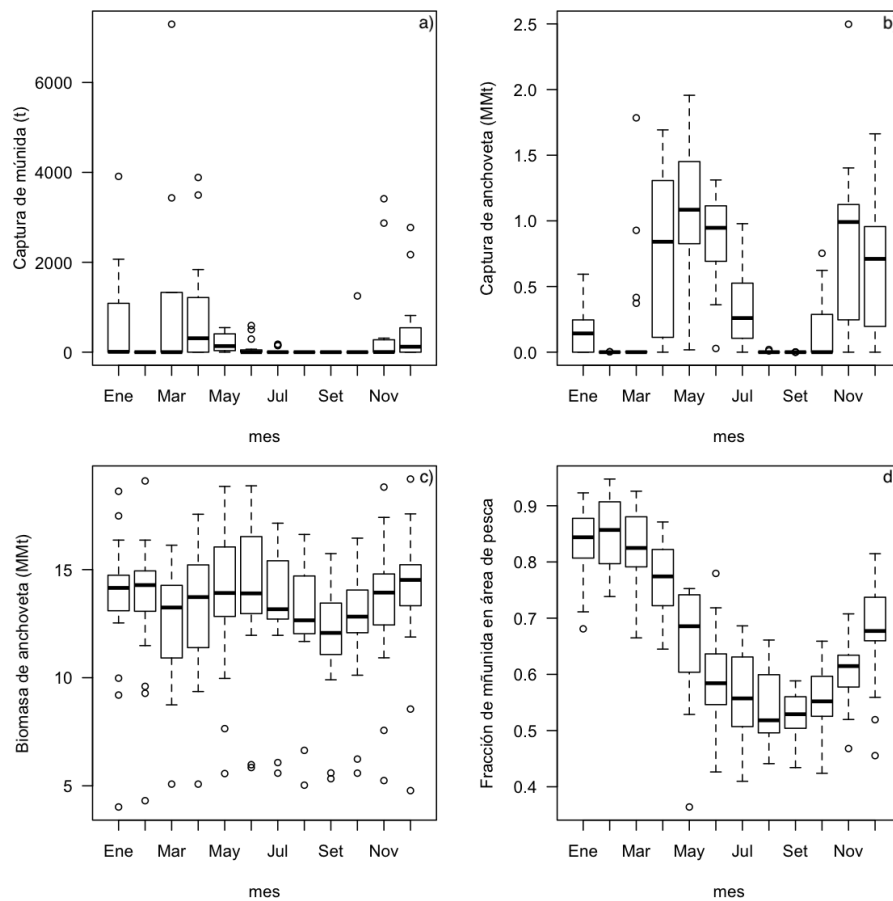


Figura B-1.: Boxplot de los valores promedio mensuales de las capturas de múnida (a) y anchoveta (b), biomasa de anchoveta (c) y la fracción de múnida en el área de pesca (d).

B. Anexo: Índice de abundancia relativa para múnida

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1997	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	0
1998	NA	NA	NA	NA	0	0	0	0	NA	0	0	6.68
1999	0	0	0	21.47	0	0	0	NA	NA	39.40	78.91	30.49
2000	NA	NA	32.12	9.88	7.06	1.19	0	NA	NA	NA	NA	NA
2001	260.80	NA	130.83	11.74	7.31	16.67	0.76	0	0	NA	0	0
2002	79.84	NA	57.90	44.75	7.41	0	8.08	NA	NA	0	0	90.18
2003	NA	NA	NA	65.79	14.59	2.33	0	NA	NA	0	NA	NA
2004	280.92	NA	NA	60.90	0.18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2005	NA	NA	NA	1.18	5.54	0	7.62	NA	NA	NA	2.80	7.16
2006	NA	NA	0	12.38	2.96	0.77	NA	NA	NA	NA	3.15	8.32
2007	NA	NA	NA	0	1.13	7.24	NA	NA	NA	NA	0.10	24.36
2008	NA	NA	NA	8.20	10.32	0	NA	NA	NA	NA	0	1.14
2009	NA	NA	NA	0	0.36	20.72	0	NA	NA	NA	0	0
2010	0	NA	NA	NA	0	0	NA	NA	NA	NA	0	0
2011	2.63	0	0	2.30	1.79	0	0	NA	NA	NA	5.39	4.04
2012	0	NA	NA	NA	NA	0	0	NA	NA	NA	61.83	0
2013	0	0	NA	NA	6.21	1.26	0	NA	NA	NA	79.58	9.97
2014	0.63	NA	NA	0	13.78	0.02	7.73	0	NA	NA	NA	NA

Tabla B-1.: Valores calculados del índice de abundancia relativa para múnida desde 1997 hasta 2014.

## B. Anexo: Índice de abundancia relativa para múnida

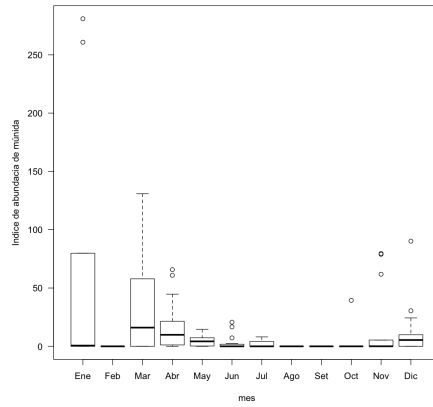


Figura B-2.: Boxplot de los valores promedio mensuales de índice de abundancia relativa calculado para múnida

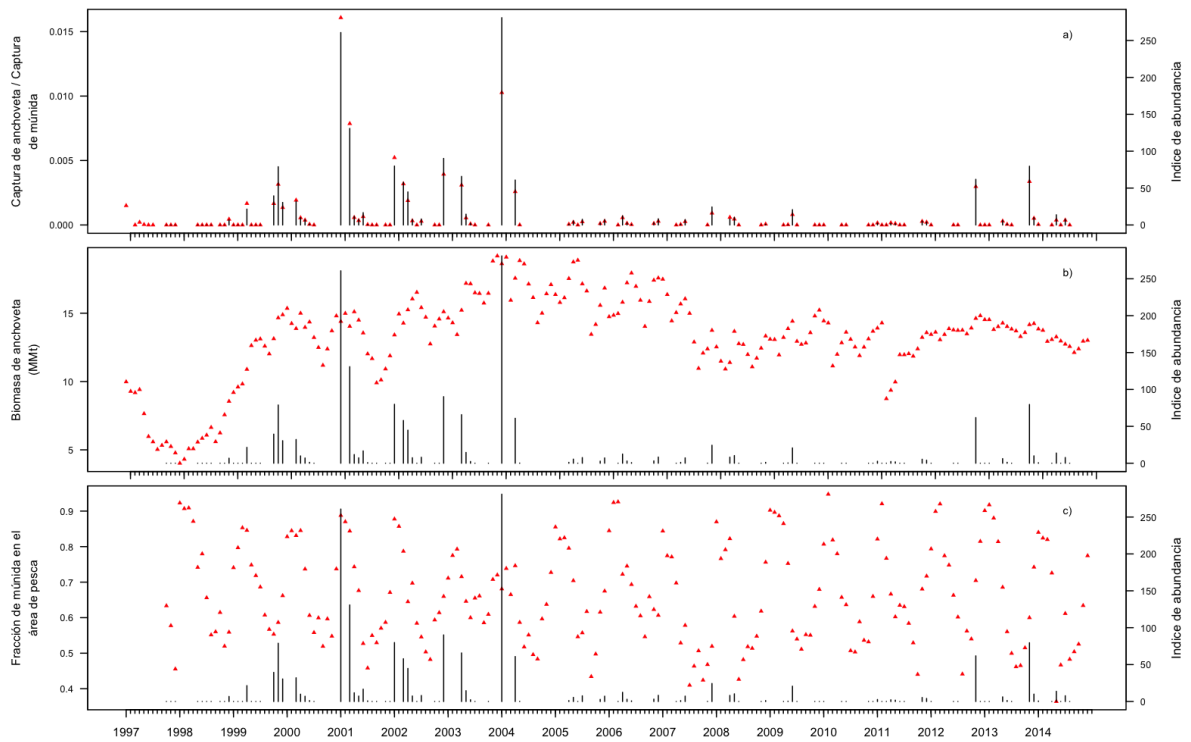


Figura B-3.: Valores de los componentes utilizados para el calculo del índice de múnida desde 1997 hasta 2014. Cociente de la captura de múnida y la captura de anchoveta se muestra (a), biomasa de anchoveta en MMt (b) y la fracción de la población de múnida distribuida dentro del área de pesca (c).

# Bibliografía

- [1] Ayón P, Swartzman G, Espinoza P, Bertrand a. Long-term changes in zooplankton size distribution in the Peruvian Humboldt Current System: conditions favouring sardine or anchovy. *Marine Ecology Progress Series*. 2011;422:211–222.
- [2] Saldarriaga Mendoza MS. Análisis de la captura incidental en la pesquería industrial de cerco anchovetera en el litoral peruano durante el período 2003-2011. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2015.
- [3] Roa R, Tapia F, Cid L, Quiñones R, Ernst B, Figueroa D, et al.. Evaluación directa del stock de langostino colorado en la zona centro sur Informe final proyecto FIP. Universidad de Concepción, Chile; 1997.
- [4] Gutiérrez M, Ramirez A, Bertrand S, Móron O, Bertrand A. Ecological niches and areas of overlap of the squat lobster 'munida' (*Pleuroncodes monodon*) and anchoveta (*Engraulis ringens*) off Peru. *Progress in Oceanography*. 2008;79(2-4):256–263.
- [5] Melstrom RT. Cyclical Harvesting in Fisheries with Bycatch. *Resource and Energy Economics*. 2015;42:1–15.
- [6] Anderson LG. An Economic Analysis of Highgrading in ITQ Fisheries Regulation Programs. *Marine Resource Economics*. 1994;9:209–26.

## Bibliografía

- [7] Harrington J, Myres R, Rosenberg A. Wasted fishery resources: discarded by-catch in the USA. *Fish and Fisheries*. 2005;6(4).
- [8] Kappel C. Losing pieces of the puzzle: threats to marine, estuarine, and diadromous species. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2005;3(5).
- [9] Vignaux M. Analysis of spatial structure in fish distribution using commercial catch and effort data from the New Zealand hoki fishery. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1996;53(5).
- [10] Maunder M, Punt A. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries Research*. 2004;70(2-3):141–159.
- [11] Baranov FI. On the Question of the Biological Basis of Fisheries. *Nauchn Issled Ikhtiologicheskii Ist Izv*. 1918;1:81–128.
- [12] Csirke J. Changes in the catchability coefficient in the Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) fishery. *The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions*. 1989;(January 1989):207–219.
- [13] Maunder M, Hoyle S. A novel method to estimate relative abundance from purse-seine catch-per-set data using known abundance of another species. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2007;53:1689–1699.
- [14] Bakun A, Weeks SJ. The marine ecosystem off Peru: What are the secrets of its fishery productivity and what might its future hold? *Progress in Oceanography*. 2008;79(2-4):290–299.
- [15] Chavez FP, Bertrand A, Guevara-Carrasco R, Soler P, Csirke J. The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography*. 2008;79(2-4):95–105.

## Bibliografía

- [16] FAO. The State of the World Fisheries and Aquaculture 2008. Rome: Department of Fisheries and Aquaculture; 2009.
- [17] Bertrand A, Chaigneau A, Peraltilla S, Ledesma J, Graco M, Monetti F, et al. Oxygen: A fundamental property regulating pelagic ecosystem structure in the coastal southeastern tropical pacific. PLoS ONE. 2011;6(12):2-9.
- [18] GEF, ONUDI, IMARPE, IFOP. Manejo integrado gran ecosistema marino de la corriente de Humboldt: Modulo II Recursos y Pesquerías; 2002.
- [19] Espinoza P, Bertrand A. Revisiting Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) trophodynamics provides a new vision of the Humboldt Current system. Progress in Oceanography. 2008;79(2-4):215-227.
- [20] Chirichigno N, Vélez J. Clave para identificar los peces marinos del Perú. 2nd ed. Instituto del Mar del Perú; 1998.
- [21] Bouchon M, Ayón P, Mori J, Peña C, Espinoza P, Hutchings L, et al. Biología de la anchoveta peruana, *Engraulis ringens*. Boletín del Instituto del Mar del Peru. 2010;25:23-30.
- [22] Ñiquen M, Bouchon M. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2004;51(6-9):563-574.
- [23] IMARPE. Anchoveta (*Engraulis ringens*): ficha tecnica; 2007. Available from: [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/recursos\\_pesquerias/adj\\_pelagi\\_adj\\_pelagi\\_anch\\_mar07.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/recursos_pesquerias/adj_pelagi_adj_pelagi_anch_mar07.pdf).
- [24] Ñiquen M, Freon P. A new record set by the Peruvian fishery: 2.5 million tonnes of anchovy landed in November 2005. 2006;p. 56-57.

## Bibliografía

- [25] Fréon P, Bouchon M, Mullon C, García C, Ñiquen M. Interdecadal variability of anchoveta abundance and overcapacity of the fishery in Peru. *Progress in Oceanography*. 2008;79(2-4):401–412.
- [26] Chuenpagdee R, Morgan LE, Maxwell SM, Norse EA, Chuenpagdee R, Morgan LE, et al. Shifting Gears: Assessing Collateral Impacts of Fishing Methods in US Waters. *Ecological Society of America*. 2003;1(10):517–524.
- [27] PRODUCE. RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 249-2009-PRODUCE. Lima; 2009.
- [28] Haig J. The crustacea anomura of Chile. *Reports of the Lund University Chile Expedition*; 1955.
- [29] Paredes F, Elliott W. Estudio biológico pesquero de *Pleuroncodes monodon* frente a Pucusana, Lima; 1997.
- [30] Arias-Schreiber M. Informe sobre el estado de conocimientos y conservación de los mamíferos marinos en el Perú. Informe Provisional del Instituto del Mar del Perú No. 38. Instituto del Mar del Perú; 1996.
- [31] Jahncke J, García-Godos A, Goya E. Dieta del guanay *Leucocarbo boougainvillii* del piquero peruano *Sula variegata* y otras aves de la costa peruana en abril y mayo de 1997. Informe del Instituto del Mar del Perú 126. Instituto del Mar del Perú; 1997.
- [32] Palma S. Distribución y abundancia de larvas de langostino colorado *Pleuroncodes monodon* frente a la costa de Concepción, Chile. *Investigaciones marinas*. 1994;22:13–29.
- [33] Gallardo V, Bustos E, Acuña A, Díaz L, Erbs V, Meléndez R, et al.. Relaciones ecológicas de las comunidades bentónicas y bentodemersales de la plataforma

## Bibliografía

- continental de Chile central. División de Asistencia Técnica - Universidad de Concepción.; 1980.
- [34] Haye PA, Salinas P, Acuña E, Poulin E. Heterochronic phenotypic plasticity with lack of genetic differentiation in the southeastern Pacific squat lobster *Pleuroncodes monodon*. *Evolution and Development*. 2010;12(6):628–634.
- [35] Franco-Meléndez M. Comportamiento reproductivo y variación de la proporción sexual de *Pleuroncodes monodon* (Crustacea: Galatheididae) en la costa peruana. *Ciencias Marinas*. 2012;38(2):441–457.
- [36] SERNAPESCA. Anuario Estadístico de Pesca 2001. Santiago de Chile: Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Servicio Nacional de Pesca.; 2001.
- [37] Chimpen C. Nuevas alternativas tecnológicas para recursos pesqueros no explotados. *Revista Focus*, Instituto Tecnológico Pesquero del Perú; 1999.
- [38] PRODUCE. RESOLUCIÓN MINISTERIAL N.º 264-2013-PRODUCE. Lima; 2013.
- [39] Rodríguez L, Bahamonde R. Contribución al conocimiento de *Munida subrugosa* (White, 1847) de la XII Región, Chile. In: Arana P, editor. *La pesca en Chile*. Escuela de Ciencias del Mar. Universidad Católica de Valparaíso; 1986. .
- [40] Franco-Meléndez M. Aspectos biológico-pesqueros del camaroncito rojo *Pleuroncodes monodon* (m. Edwards, 1837) en el litoral peruano. Universidad Nacional Del Callao; 2003.
- [41] Wells JV, Richmond ME. Populations, metapopulations, and species populations: what are they and who should care? *Wildlife Society Bulletin*. 1995;23(3):458–462.

## Bibliografía

- [42] Pope KL, Lochmann SE, Young MK. Methods for Assessing Fish Populations. Inland fisheries management in North America. 2010;p. 325–351.
- [43] Anderson D. Response to Engeman: Index Values Rarely Constitute Reliable Information. Wildlife Society Bulletin. 2003;31(1):288–291.
- [44] Hopkins H, Kennedy M. An assessment of indices of relative and absolute abundance for monitoring populations of small mammals. Wildlife Society Bulletin. 2004;32(4):1289–1296.
- [45] Beverton R, Holt S. On the dynamics of exploited fish population. London: Fish. Invest.; 1957.
- [46] Gavaris S. Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. Can J Fish Aquat Sci. 1980;37:2272–2275.
- [47] Kimura DK. Standardized measures of relative abundance based on modelling log (CPUE), and their application to Pacific ocean perch (*Sebastes alutus*). Journal du Conseil, Conseil International pour l'Exploration de la Mer. 1981;39:211–218.
- [48] Reynolds RW, Smith TM, Liu C, Chelton DB, Casey KS, Schlax MG. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. Journal of Climate. 2007;20:5473–5496.
- [49] Banzon V, Smith TM, Chin TM, Liu C, Hankins W. A long-term record of blended satellite and in situ sea-surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies. Earth Syst Sci Data. 2016;8:165–176.
- [50] Carton JA, S GB. A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). Mon Wea Rev. 2008;136:2999–3017.

## Bibliografía

- [51] State O. Ocean Productivity;. Available from: <http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/>.
- [52] IMARPE. Programa Bitácoras de Pesca (PBP); 1996. Available from: [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_otropr\\_bitaco\\_otro\\_progra\\_set10.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_otropr_bitaco_otro_progra_set10.pdf).
- [53] Gutierrez M, Peraltilla S, Castillo R, Ganoza F, Aliaga A, Herrera N, et al. Abundancia acustica de recursos marinos peruanos evaluados en la primavera 2001. Callao: Instituto del Mar del Perú; 2004.
- [54] Simmonds EJ, Gutiérrez M, Chipollini A, Gerlotto F, Woillez M, Bertrand A. Optimizing the design of acoustic surveys of Peruvian anchoveta. *ICES Journal of Marine Science*. 2009;66:1341–1348.
- [55] Oliveros-Ramos R. En revisión. A new model for population estimates of Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) using length frequency dynamics. In: IMARPE, editor. Tercer libro de la Anchoveta Peruana. Instituto del Mar del Perú; 2018. .
- [56] Wood SN. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)*. 2011;73(1):3–36.
- [57] ENFEN. Eventos El Niño y La Niña Costeros;. Available from: [http://www.met.igp.gob.pe/elnino/lista\\_eventos.html](http://www.met.igp.gob.pe/elnino/lista_eventos.html).
- [58] Odum E. Fundamentos de Ecología. Primera ed ed.; 1986.
- [59] Smith L, Smith T. *Elements of Ecology*. Eighth ed. Pearson Education; 2012.
- [60] Lujan C. Factores determinantes de la variabilidad espacial de la anchoveta peruana-

## Bibliografía

- na (*Engraulis ringens*) en el Pacífico Sudoriental. Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2016.
- [61] Santivañez Yuffra MA. Caracterización y comparación de patrones espaciotemporales y nichos ecológicos de la múnida (*Pleuroncodes monodon*) y la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el mar peruano desde 1998 hasta 2013. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2017.
- [62] Echevin V, Aumont O, Ledesma J, Flores G. The seasonal cycle of surface chlorophyll in the Peruvian upwelling system: A modelling study. *Progress in Oceanography*. 2008;79(2-4):167–176.
- [63] Morón O. Características del ambiente marino frente a la costa peruana. *Boletín del Instituto del Mar del Peru*. 2000;19(1-2):179–204.
- [64] Yonashiro CA, Balbín NA. Documento de Trabajo N° 001-2016-DECHI - Las cuotas individuales transferibles en la pesquería Stock Norte - Centro de anchoveta peruana (*Engraulis ringens*). 2016;p. 1–37.
- [65] Gutiérrez M, Castillo R, Segura M, Peraltilla S, Flores M. Trends in spatio-temporal distribution of Peruvian anchovy and other small pelagic fish biomass from 1966-2009. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 2012;40(3):633–648.
- [66] Bertrand A, Segura M, Gutiérrez M, Vásquez L. From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: A habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. *Fish and Fisheries*. 2004;5(4):296–316.
- [67] Ballón M, Bertrand A, Lebourges-Dhaussy A, Gutiérrez M, Ayón P, Grados D, et al. Is there enough zooplankton to feed forage fish populations off Peru? An acoustic (positive) answer. *Progress in Oceanography*. 2011;91(4):360–381.

## *Bibliografía*

- [68] Espinoza P, Lorrain A, Ménard F, Cherel Y, Tremblay-Boyer L, Argüelles J, et al. Trophic structure in the northern Humboldt Current system: new perspectives from stable isotope analysis. *Marine Biology*. 2017;164(4):86. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00227-017-3119-8>.