

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERIA



**“RELACIÓN ENTRE ALGUNAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS
Y LA CPUE DE *DOSIDICUS GIGAS* EN EL SUR DEL PERÚ
(PERIODO 2015-2017)”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

ALFREDO JESUS ALVARADO ESPINOZA

LIMA-PERU

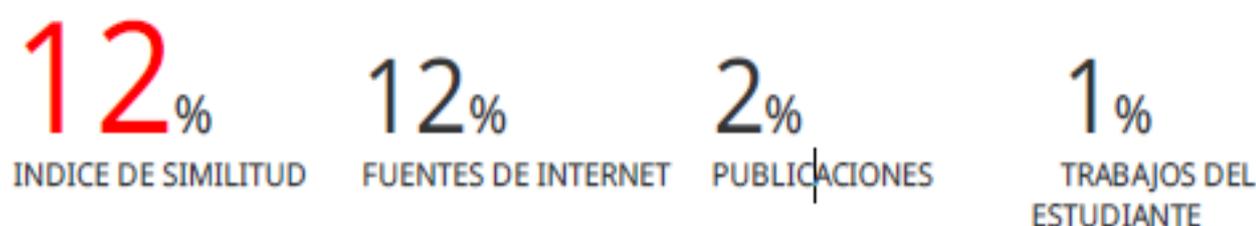
2023

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación

(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

RELACIÓN ENTRE ALGUNAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS Y LA CPUE DE DOSIDICUS GIGAS EN EL SUR DEL PERÚ (PERIODO 2015-2017)"

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.imarpe.gob.pe Fuente de Internet	3%
2	www.cms.int Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.mardelperu.pe Fuente de Internet	1%
6	kipdf.com Fuente de Internet	1%
7	www.subpesca.cl Fuente de Internet	1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA

**“RELACIÓN ENTRE ALGUNAS VARIABLES
OCEANOGRÁFICAS Y LA CPUE DE *DOSIDICUS GIGAS* EN EL
SUR DEL PERÚ (PERIODO 2015-2017)”**

Presentado por:

ALFREDO JESUS ALVARADO ESPINOZA

Tesis para optar el Título:

INGENIERO PESQUERO

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. Jaime Mendo Aguilar
Presidente

M. Sc. Luis Carrillo La Rosa
Miembro

M. Univ. Rosa Cueto Vega
Miembro

Dr. Luis Icochea Salas
Asesor

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Sistema Norte de la Corriente Humboldt y Masas de Agua en el mar peruano	3
2.2 Aspectos Generales <i>Dosidicus Gigas</i>	6
2.2.1 Hábitat y Distribución	6
2.2.2 Ecología trófica	7
2.3 Aspectos Generales de la Pesquería de <i>Dosidicus Gigas</i> en el Perú.....	8
2.4 Relación entre las Variables Oceanográficas y la abundancia y distribución de <i>Dosidicus Gigas</i>	10
III. METODOLOGÍA	12
3.1 Material Utilizado	12
3.1.1 Información Pesquera.....	12
3.1.2 Información Oceanográfica.....	13
3.2 Análisis y Procesamiento de Datos	14
3.2.1 Calculo de la CPUE de <i>Dosidicus gigas</i>	14
3.2.2 Clusterizacion de la Flota Potera del sur del Perú en base a sus datos pesqueros.....	14
3.2.3 Variaciones espacio-temporales de la CPUE de <i>Dosidicus gigas</i> en el sur del Perú durante el periodo 2015- 2017.	15
3.2.4 Matriz de correlación y Análisis descriptivo de las variables oceanográficas y las CPUE de pota.....	16
3.2.5 Estandarización de las Variables Oceanográficas y CPUE de pota	16
3.2.6 Relación entre variables oceanográficas-espaciales y las CPUE promedio de pota usando Modelos Aditivos Generalizados (GAM)	17
3.2.7 Análisis de Componentes Principales (PCA) de algunas variables oceanográficas y su relación con la CPUE estacional de pota.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Clusterizacion de la Flota Potera del sur del Perú en base a sus datos pesqueros.....	20
4.2 Variación estacional de la CPUE de <i>Dosidicus gigas</i> en el sur del Perú	23
4.3 Distribución espacial de la CPUE de <i>Dosidicus gigas</i>	25
4.4 Correlograma de los promedios mensuales de las variables oceanográficas y las CPUE de <i>Dosidicus gigas</i>	30

4.5 Análisis Descriptivo de los promedios mensuales de salinidad del mar a 55m y las CPUE de <i>Dosidicus gigas</i>	31
4.6 Estandarización y promedios estacionales de las variables oceanográficas y CPUE de pota..	35
4.7 Relación entre variables oceanográficas-espaciales y las CPUE promedio de pota usando Modelos Aditivos Generalizados (GAM)	35
4.8 Análisis de Componentes Principales (PCA).....	37
4.9 Patrones oceanográficos y su relación con las CPUE estacional de <i>Dosidicus gigas</i>	37
4.9.1 Verano	37
4.9.2 Otoño.....	40
4.9.3 Invierno	42
4.9.4 Primavera	47
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. BIBLIOGRAFÍA	53
VIII. ANEXOS.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de corrientes en la NSCH con rangos de salinidad y temperatura promedios. Fuente: Chaigneau et al (2013)	4
Figura 2. Esquema de distribución de masas de agua y corrientes en la parte norte del sistema de corriente Humboldt. Fuente: Grados et al (2018).....	6
Figura 3. Modelo Conceptual de la distribución y migración oceánico-costera del calamar gigante (<i>Dosidicus gigas</i>) a lo largo de su ciclo de vida. Fuente: Alegre (2015)	8
Figura 4. Capturas anuales de calamar gigante (<i>Dosidicus gigas</i>) en aguas peruanas 1985-2017. Fuente Csirke et al (2018).....	9
Figura 6. Esquema grillas geográficas.	17
Figura 7. Método de la Silueta en algoritmo K-means para encontrar el numero óptimo de clusters o grupos.....	20
Figura 8. Histogramas de porcentaje de la capacidad de bodega (t) de los registros de pesca de pota en el sur del Perú clasificados según algoritmo K-means durante el periodo 2015-2017. .	20
Figura 9. Histogramas de frecuencia y porcentaje de la capacidad de bodega (t) de los registros de pesca de pota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017.....	20
Figura 10. CPUE (t/viaje) de pota promedio mensual según tipo de flota en el área sur del Perú durante el periodo 2015-2017	22
Figura 11. Conteo de registros de datos de pesca según tipo de flota en el área sur del Perú durante el periodo 2015-2017.	22
Figura 12. CPUE(t/viaje) promedio estacional de pota según tipo de flota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017.	23
Figura 13. CPUE(t/viaje) promedio estacional de pota por años según tipo de flota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017.	24
Figura 14. Distribución espacial de la CPUE (t/viaje) de pota en el área sur del Perú durante el año 2015.....	25
Figura 15. Distribución espacial de la CPUE (t/viaje) de pota en el área sur del Perú durante el año 2016.	26
Figura 16. Distribución espacial de la CPUE (t/viaje) de pota en el área sur del Perú durante el	

año 2017.....	27
Figura 17. Distancia a la costa(mn) promedio mensual de las zonas de pesca según tipo de flota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017.....	28
Figura 18. Diagrama de cajas de los datos diarios de distancia a la costa(mn) de las zonas de pesca según tipo de flota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017	29
Figura 19. Correlograma de los promedios mensuales de las variables oceanográficas y CPUE de pota en el área sur del Perú durante el periodo 2015-2017.....	30
Figura 20. Promedio mensual de Salinidad del Mar (PSU) a los 55m durante el año 2015 en el sur del Perú.....	31
Figura 21. Promedio mensual de Salinidad del Mar (PSU) a los 55m durante el año 2016 en el sur del Perú.....	32
Figura 22. Promedio mensual de Salinidad del Mar (PSU) a los 55m durante el año 2017 en el sur del Perú.....	33
Figura 23. Output Análisis GAM de los datos oceanográficos y pesqueros.....	35
Figura 24. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) de las variables oceanográficas y espaciales en relación a las CPUE (t/viaje) de pota.....	35
Figura 25. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota I en la estación de verano.	38
Figura 26. CPUE(t/viaje) verano promedio de pota (arriba) para el tipo de flota I y salinidad promedio verano superficial y a 55m (abajo) en el sur del Perú.....	39
Figura 27. Relación entre la CPUE (t/viaje) promedio verano de pota y el PC2.....	39
Figura 28. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota I en la estación de otoño.	40
Figura 29. Relación entre la CPUE (t/viaje) promedio de pota en otoño y el PC1.....	41
Figura 30. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota I en la estación de invierno.	42
Figura 31. Relación entre los valores de velocidad de corriente (m/s) a 55m y CPUE (t/viaje) promedio de pota durante invierno.	43
Figura 32. CPUE(t/viaje) invierno promedio de pota (arriba) para el tipo de flota I y velocidad	

de corriente promedio invernal superficial y a 55m (abajo) en el sur del Perú.....	43
Figura 33. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota II en la estación de invierno.....	45
Figura 34. Relación entre la temperatura (°C) y salinidad (PSU) promedio invernal en la superficie (izquierda) y a 55m (derecha) en las zonas de pesca del tipo de flota II.....	45
Figura 35. Relación entre la CPUE (t/viaje) promedio invernal en la superficie y PC1 del tipo de flota II.....	46
Figura 36. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota I en la estación de invierno.	47
Figura 37. Relación entre la CPUE (t/viaje) promedio primaveral de pota y el PC2 (modo Zona Calma) para el tipo de flota I.	48
Figura 38. CPUE(t/viaje) primaveral promedio de pota para el tipo de flota I y velocidad de corriente (m/s) promedio primaveral superficial y a 55m en el sur del Perú.	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales Masas de agua en la parte norte del sistema de corriente Humboldt con rangos de temperatura y salinidad.....	5
Tabla 2. Número de registros diarios u observaciones de captura de Pota durante el periodo de estudio	12
Tabla 3. Cantidad de datos de registro de pesca según tipo de flota y por año	22
Tabla 4. Numero de datos o grillas promedio según estaciones del año según tipo de flota durante el periodo 2015-2017 en el área sur del Perú	35
Tabla 5. Resultados de prueba de correlación de Spearman entre PCs estacionales con eigenvalue mayor a 1 y CPUE estacional de pota.....	37

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Test de Anderson-Darling en datos de CPUE de E/P con capacidad de bodega menor a 10t (Tipo de Flota I)	62
ANEXO 2: Test de Anderson-Darling en datos de CPUE de E/P con capacidad de bodega mayor de 10t (Tipo de Flota II).....	62
ANEXO 3: Test de Wilcoxon (prueba no paramétrica) de comparación de medias de CPUE (t/viaje) entre tipos de E/P poteras según su capacidad de bodega.	62
ANEXO 4: Matriz de Correlación de Spearman de los promedios mensuales de las variables oceanográficas y CPUE de pota en el sur del Perú.....	62
ANEXO 5: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de verano de CPUE y PC1 para el tipo de flota I	63
ANEXO 6: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de verano de CPUE y PC2 para el tipo de flota I	63
ANEXO 7: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de verano de CPUE y PC1 para el tipo de flota II.....	63
ANEXO 8: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de verano de CPUE y PC2 para el tipo de flota II.....	64
ANEXO 9: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de otoño de CPUE y PC1 para el tipo de flota I	64
ANEXO 10: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de otoño de CPUE y PC2 para el tipo de flota I	64
ANEXO 11: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de otoño de CPUE y PC1 para el tipo de flota II.....	65
ANEXO 12: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de otoño de CPUE y PC2 para el tipo de flota II.....	65
ANEXO 13: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de invierno de CPUE y PC1 para el tipo de flota I	65
ANEXO 14: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de invierno de CPUE y PC2 para el tipo de flota I	66

ANEXO 15 Test de Correlación de Spearman entre los promedios de invierno de CPUE y PC1 para el tipo de flota II.....	66
ANEXO 16: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de invierno de CPUE y PC2 para el tipo de flota II.....	66
ANEXO 17: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de primavera de CPUE y PC1 para el tipo de flota I.....	66
ANEXO 18: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de primavera de CPUE y PC2 para el tipo de flota I.....	67
ANEXO 19: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de primavera de CPUE y PC1 para el tipo de flota II.....	67
ANEXO 20: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de primavera de CPUE y PC2 para el tipo de flota II.....	67
ANEXO 21: Salida Estadística Modelo Lineal de Regresión Múltiple de las variables oceanográficas significativas y la CPUE (t/viaje) promedio de pota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017	68

RESUMEN

En la presente investigación se estudió la relación entre algunas variables oceanográficas y las CPUE(t/viaje) de *Dosidicus gigas* en el área sur del Perú, es decir, el área marítima peruana comprendida entre los 14°S hasta la frontera con Chile. Se utilizó datos pesqueros de pota durante el periodo 2015-2017 y datos oceanográficos provenientes del reanalysis oceánico GLORYS12V1 y de AQUA MODIS. El análisis de las CPUE mostró diferencias significativas entre E/P con capacidad de bodega menor a 10t ($CPUE_{promedio} = 5.04$ t/viaje) de las E/P con capacidad de bodega mayor a 10t ($CPUE_{promedio} = 8.54$ t/viaje). Siendo las primeras las que conforman mayoritariamente la flota potera en el sur del Perú. El Análisis espacio-temporal muestra que las zonas de pesca tienden a ser más oceánicas (con respecto a la distancia a la costa) durante invierno y primavera, siendo mayor las CPUE en primavera. La matriz de correlación y los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) entre las variables oceanográficas y las CPUE de pota, mostraron que la salinidad a 55m es la variable que mejor explica las variaciones de la CPUE de pota. El Análisis de Componentes Principales (PCA) reveló la existencia de los siguientes patrones o modos oceanográficos y su relación con las CPUE. En verano: mezcla de Aguas Costeras Frías (ACF) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) con mayor influencia de ASS a nivel subsuperficial produce en promedio mayores CPUE. En Otoño: no se encontró un patrón oceanográfico que muestre relación significativa con las CPUE. En Invierno: zonas de pesca con predominancia de ACF mostraron menores CPUE en promedio, mientras que altos valores de velocidad de corriente superficial y a 55m presentan en promedio mayores CPUE. En primavera: Las zonas de pesca con bajos valores de altura del nivel del mar y velocidad de corriente superficial y 55m, presentan en promedio bajas CPUE.

Palabras claves: Variables oceanográficas, *Dosidicus gigas*, CPUE, zona sur del Perú, variación estacional, PCA, patrones oceanográficos, análisis geoespacial, GAM

ABSTRACT

This study analyzes the relationship between some oceanographic variables and the CPUE (t/fishing trip) of *Dosidicus gigas* in the southern Peru, i.e, the Peruvian maritime area from 14°S to the border with Chile, using *Dosidicus gigas* data during the period 2015-2017 and oceanographic data from global ocean physics reanalysis GLORYS12V1 and NASA database AQUA MODIS. The CPUE analysis showed significant differences between fishing vessel (E/P) with fishing capacity of less than 10t ($CPUE_{mean}= 5.04$ t/fishing trip) and E/P with fishing capacity greater than 10t ($CPUE_{mean}= 8.54$ t/fishing trip). Being the first ones that make up the majority of the giant squid fleet in southern Peru. Spatiotemporal Analysis of CPUE showed that the fishing grounds tend to be more oceanic (with respect to the distance to the coast) in winter and spring, being CPUEs higher in spring. The correlation matrix and the Generalized Additive Models (GAM) between the oceanographic variables and CPUE, showed that salinity at 55m is the variable that best explains the CPUE's variations of giant squid. The Principal Component Analysis (PCA) revealed the existence of the following patterns or oceanographic modes and its relationship with CPUE of giant squid. In summer: mixing of Cold Coastal Water (CCW) and Subtropical Surface Waters (SSW) with greater influence of SSW at the subsurface level produces higher CPUE on average. In autumn: it was not found a significant relationship between oceanographic patterns and CPUE. In winter: fishing grounds with a predominance of CCW show lower CPUE on average, while high values of surface current velocity and at 55m present higher CPUE on average. In spring: fishing grounds with low values of sea level height and surface current speed and at 55m, have low CPUE on average.

Keywords: Oceanographic variables, *Dosidicus gigas*, CPUE, southern Peru, seasonal changes, PCA, oceanographic patterns, geospatial analysis, GAM

I. INTRODUCCIÓN

El calamar gigante *Dosidicus gigas* (Orbingny 1838) es uno de los calamares nectónicos más grandes y abundantes en la zona epipelágica de todo el océano global. En Perú, *Dosidicus gigas* se encuentra en gran abundancia a lo largo de la costa desde 10 hasta más de 500 millas náuticas de la costa (Csirke et al, 2018). Esta especie es comúnmente conocida como “pota”, y su pesquería es la segunda más importante del Perú tanto en términos de volúmenes de captura como valor de exportación (Paredes y De la Puente 2014). Actualmente la pesquería de la pota es exclusivamente artesanal (Yamashiro et al 2018), por lo cual afronta limitaciones de tipo tecnológica y operativas.

Con respecto a la relación entre las variables oceanográficas y *Dosidicus gigas*. Csirke et al (2018) reportan que en Perú las mayores concentraciones se encuentran a lo largo del borde externo de las principales áreas de surgencia, en asociación con el talud continental y el frente oceánico de las aguas oceánicas superficiales algo cálidas (20°C) y aguas costeras frías(17.8-19,6°C), con máximos donde la temperatura superficial del mar está por encima de 18°C. Flores et al (2016) muestra que la variabilidad de la distribución espacial de la pota está influenciada principalmente por el frente oceánico y las masas de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), así como a isotermas de 18 °C a 25 °C e isohalinas de 34,8 ups a 35,5 ups.

En general la literatura sobre la relación entre las variables oceanográficas y *Dosidicus gigas*, se aborda de manera general a nivel del mar peruano, mayormente haciendo énfasis en la zona norte (Flores et al, 2016; Sakai et al, 2012; Paulino et.al, 2016; Csirke et al, 2018). Sin embargo, las condiciones oceanográficas varían según zonas (norte, centro, sur) por lo cual la distribución del recurso podría estar influenciada de manera regional. Asimismo, en el sur del Perú, estudios cuantitativos o estadísticos sobre la relación entre *Dosidicus gigas* y las variables oceanográficas son escasos .

Bajo estos escenarios se plantea el presente estudio que determinará la relación entre las principales variables oceanográficas y su relación con las CPUE de *Dosidicus gigas* en el sur del Perú durante el periodo de estudio 2015-2017, de tal forma que se determine o clarifique las condiciones oceanográficas favorables o desfavorables para este recurso. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- 1) Analizar espacial y temporalmente las variaciones de la CPUE de *Dosidicus gigas* frente a la costa peruana desde los 14°S hasta la frontera con Chile (Sur del Perú) durante el periodo 2015- 2017.
- 2) Analizar algunas variables oceanográficas: temperatura, salinidad, clorofila, velocidad de corriente, altura del nivel del mar; y su relación con la CPUE de *Dosidicus gigas* en la zona sur de Perú durante el período 2015- 2017.
- 3) Analizar la interacción entre las variables oceanográficas (Patrones Oceanográficos) y su relación con las CPUE de *Dosidicus gigas* en la zona sur de Perú durante el período 2015- 2017

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistema Norte de la Corriente Humboldt y Masas de Agua en el mar peruano

El océano tropical de las costas este de Sudamérica destaca por muchas razones, una de ellas es las inusuales aguas frías en áreas cercanas al ecuador en comparación a otras zonas tropicales en las mismas latitudes. Frente a Perú se encuentra el Sistema Norte de la Corriente Humboldt (SNCH) que abarca desde las longitudes 70–90°W y latitudes 0–20°S. El SNCH se destaca por tener mayores peces por unidad de área que otras regiones del mundo, representando menos del 0.1% de la superficie del océano global, pero produciendo cerca del 10% de las capturas marítimas del mundo. Asimismo, llama la atención la presencia de una capa de mínimo oxígeno muy cercana a la superficie (Chavez, 2008).

En el SNCH, la circulación del océano es de sur a norte y hacia el oeste, debido al anticiclón del Pacífico Sur; el cual, genera e impulsa vientos en sentido antihorario en el Pacífico Sur. El efecto combinado de los vientos y la rotación de la tierra (Fuerza de Coriolis) crea un sistema de afloramiento y de transporte Ekman, en el cual las aguas de afloramiento reemplazan a las aguas que son transportadas hacia fuera de la costa por los vientos (Bakun, 1996).

Dentro del SNCH se puede distinguir una serie de sistemas de corrientes (Figura 1). Superficialmente se encuentra la Corriente Costera Peruana (PCC) y la Corriente Oceánica Peruana (POC), las cuales fluyen con dirección al ecuador y forman la Corriente Ecuatorial Sur (SEC), la POC fluye generalmente a más de 150km lejos de la costa. A nivel subsuperficial se encuentran la Contracorriente Peruano-Chilena (PCUC) fluyendo con dirección hacia el polo sur, mientras que en el norte se encuentran los ramales primarios (pSSCC) y secundario (sSSCC) de la Corriente Cromwell (EUC). Por debajo de la PCUC se describe una corriente presente a 500m de profundidad llamada Corriente Costera Profunda

Peruano-chilena (CPDCC) la cual transporta aguas frías con características de las Aguas Antárticas Intermedias hacia latitudes norte (Chaigneau et al, 2013).

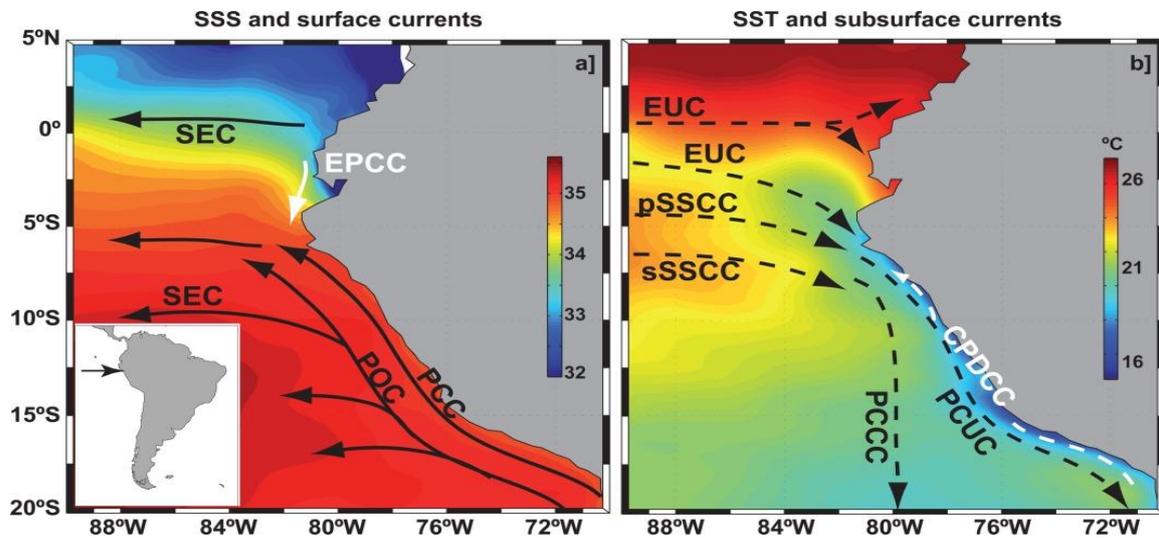


Figura 1. Sistema de corrientes en la NSCH con rangos de salinidad y temperatura promedio. Nomenclatura: SEC: Corriente Ecuatorial Sur; PCC: Corriente Costera Peruana; POC: Corriente Oceánica Peruana; EPCC: Corriente Costera Peruano Ecuatoriana; EUC: Corriente Cromwell; pSSCC: Ramal primario de la Corriente Cromwell; sSSCC: Ramal Secundario de la Corriente Cromwell; PCCC: Contracorriente Peruano Chilena; CPDCC: Corriente Costera Profunda Peruano Chilena Fuente: Chaigneau et al (2013)

Una descripción más reciente de masas de agua en el mar peruano es dada por Grados et al (2018). Las principales masas de agua son: Aguas Costeras Frías (ACF), Aguas tropicales Superficiales (ATS), Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS), Aguas Intermedias del Pacífico Sureste (ESPIW) o reconocidas por Zuta y Guillen (1970) como Aguas Templadas de la subantártica (ATSA) las cuales contribuyen principalmente al afloramiento de la parte sur del Perú, y por último las Aguas Antárticas Intermedias (AAI). Los rangos de temperatura y salinidad de estas masas de aguas se muestran en la Tabla 1, mientras que su distribución se representa en la Figura 2.

Cabe destacar que el estudio realizado por Zuta y Guillen (1970) a diferencia de Grados et al (2018) hace mención como dos grupos separados a las aguas que se encuentran por debajo de las Aguas Ecuatoriales Superficiales. Según Zuta y Guillen (1970) estas son las Aguas Ecuatoriales Profundas (AEP) y las Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS). Las AESS

son aguas con rango de temperatura entre 15 a 13°C y salinidad entre 34.9-35.1psu o más, mientras que las AEP presentan un rango de temperatura y salinidad de 7-13°C y 34.6-34.9 psu respectivamente y es agua caracterizada por sus bajos contenidos de oxígeno disuelto.

Tabla 1. Principales Masas de agua en la parte norte del sistema de corriente Humboldt con rangos de temperatura y salinidad.

Masa de agua	Grados et al (2018)	Zuta y Guillen (1970)
Aguas Tropicales Superficiales	T:23.5-24.5°C S: 33.5-34.4PSU	T: - S: < 33.8PSU
Aguas Ecuatoriales Superficiales	T:20-24°C S: 34.6-35PSU	T: - S: < 34.8PSU
Aguas Subtropicales Superficiales	T:19-23.5°C S:: >35.4PSU	T:>17°C S: >35.1PSU
Aguas Costeras Frias	T: <19°C S: < 35.0PSU	T: - S: 34.8-35.1PSU
Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales	T:8-14°C S: 34.6-35PSU	T:13-15°C S: 34.9-35.1PSU
Aguas Templadas de la Subantartica	T:12-14°C S: 34.8PSU	T:13-15°C S: 34.6-34.8PSU
Aguas Antarticas Intermedias	T:4-7°C S: 34.5-34.6PSU	T:4-7°C S: 34.45-34.6PSU

Fuente: Grados et al (2018), Zuta y Guillen (1970).

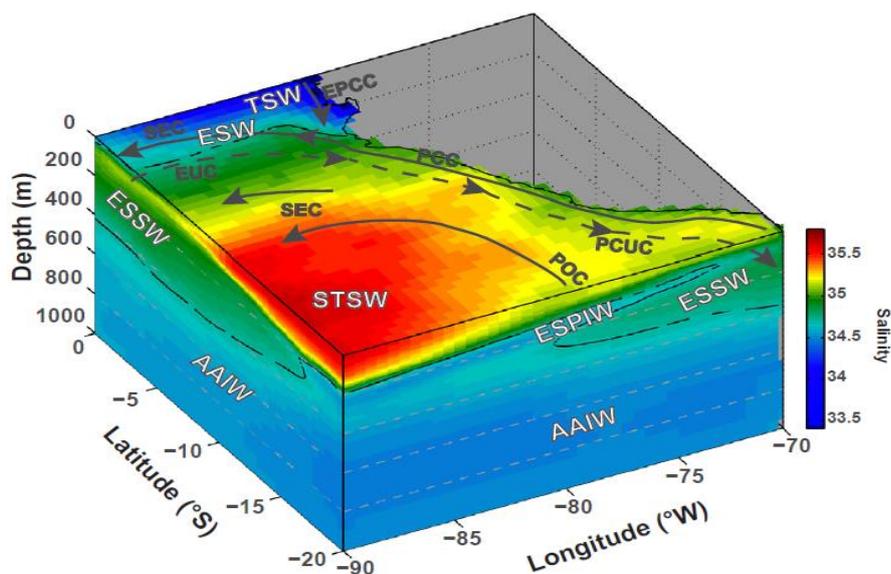


Figura 2. Esquema de distribución de masas de agua y corrientes en la parte norte del sistema de corriente Humboldt. Nomenclatura: TSW: Aguas Tropicales Superficiales; ESW: Aguas Ecuatoriales Superficiales; ESPIW: Aguas Intermedias del Pacifico Sureste; ESSW: Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales; STSW: Aguas Subtropicales Superficiales; AAIW: Aguas Antárticas Intermedias. Fuente: Grados et al (2018)

2.2 Aspectos Generales *Dosidicus Gigas*

2.2.1 Hábitat y Distribución

Es una especie nectónica que forma grandes cardúmenes de individuos de similar tamaño, está ampliamente distribuida en la vertiente continental y en las aguas costeras y oceánicas adyacentes en el Pacífico oriental y sus mayores concentraciones se encuentran generalmente en áreas donde la productividad primaria es alta pero no máxima, y donde la biomasa del zooplancton es relativamente alta y el número de peces meso y batipelágicos es máximo (Nesis 1983 citado por Csirke et al, 2018)

El calamar gigante se caracteriza por ser un depredador muy agresivo, por lo cual la disponibilidad de alimento podría ser un factor más importante que los parámetros oceanográficos en su distribución. Los calamares más jóvenes (Longitud de manto de hasta 30 cm) predominan en aguas oceánicas, mientras que los más grandes tienden a estar más cerca a zonas costeras para alimentarse, y aparearse, para luego migrar hacia aguas oceánicas para desovar (Sakai y Yamashiro, 2013). En lo referente a su distribución vertical, *Dosidicus*

gigas presenta un comportamiento diurno, permaneciendo durante el día debajo de la capa de mínimo oxígeno. Individuos adultos realizando una migración vertical de noche a aguas entre 0 a 200m, mientras que en el día se pueden profundizar a más de 800m. Su alimentación puede ocurrir tanto de noche como de día en la capa de mínimo oxígeno (Jereb y Roper 2010 citados por Alegre, 2015)

El calamar gigante adulto tiene alta tolerancia a los factores oceanográficos, lo que le permite habitar y migrar a profundidades desde la superficie hasta 1200 m en hábitats tropicales y templados del Pacífico oriental (Csirke et al, 2018).

Flores et al (2016) usando método hidroacústico durante el período 1999 - verano 2015 determinan que, frente a las costas de Perú, las mayores concentraciones de calamar gigante están asociadas a salinidades de 35.0 a 35.1 ups, las cuales son características de las aguas de mezcla entre las Aguas costeras frías (ACF) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS). El calamar gigante también presenta una relación con la saturación de oxígeno, siendo más abundante cuando esta es mayor (Alegre, 2015)

2.2.2 Ecología trófica

El calamar gigante presenta un importante rol en la cadena trófica, tanto como presa o predador. Como presa, individuos juveniles pueden ser devorados por grandes peces carnívoros, mientras que como adulto puede ser presa de delfines, atunes y ballenas (Nigmatullin et al., 2001). Como predador, las especies que consumen varían en función a su talla y a distribución espacio-temporal. En estadios juveniles suelen consumir más eufásidos, cefalópodos y peces mesopelágicos, mientras que estadios adultos hay más influencia de canibalismo (Alegre 2011). Asimismo, cuando esta especie se desplaza más al sur del Perú y a aguas oceánicas aumenta la importancia de mictófidios y más al norte aumenta el canibalismo (Schetinnikov, 1986 citado por Alegre 2011)

Alegre (2015) propone un modelo conceptual (Figura 3) para la ecología trófica de *Dosidicus gigas* en el sistema de la Corriente Humboldt. Individuos pequeños (<400mm) están mayormente distribuidos fuera de la costa donde hay gran abundancia de peces

mesopelágicos. A medida que crecen la pota se mueve más cerca hacia la costa e incrementa su consumo de otros cefalópodos. No obstante, a diferencia de otros sistemas de corrientes, el calamar gigante no ocupa en abundancia aguas costeras aun cuando hay una gran biomasa de anchoveta. Se plantea que posiblemente los cardúmenes de pota no se adaptan fácilmente en aguas costeras con baja saturación de oxígeno superficial. En las aguas costeras peruanas la capa de mínima de oxígeno es más superficial, siendo baja la saturación del oxígeno por encima de la oxiclina. Cuando los afloramientos son fuertes, la anchoveta es parcialmente más accesible al calamar gigante en zonas oceánicas.

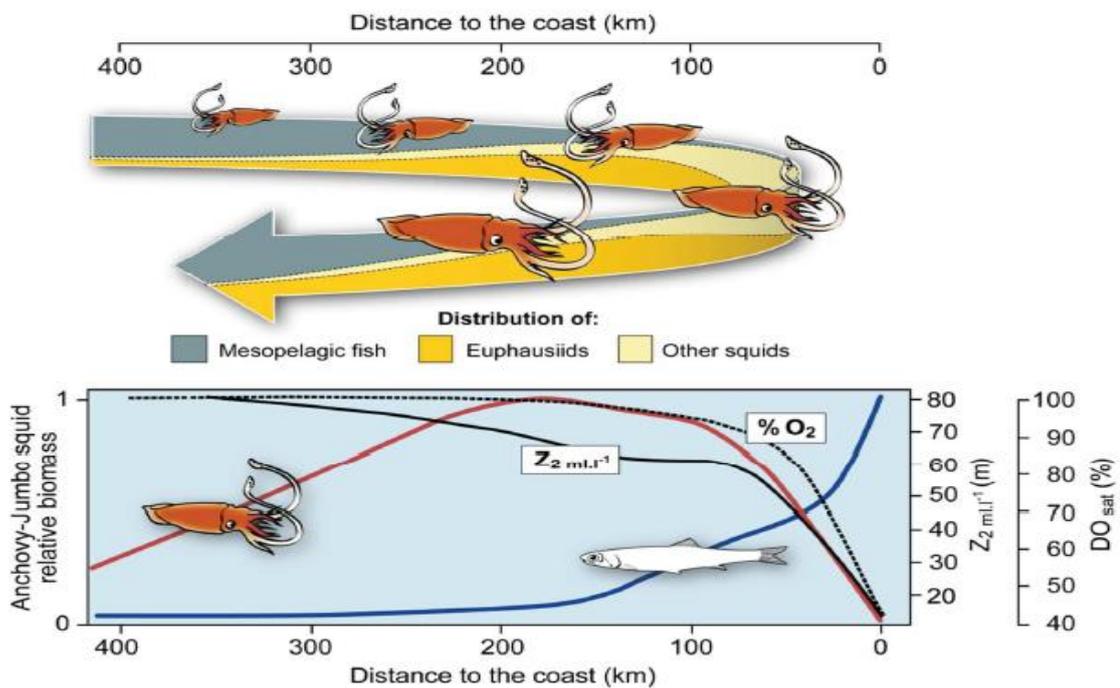


Figura 3. Modelo Conceptual de la distribución y migración oceánico-costera del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) a lo largo de su ciclo de vida. La línea negra punteada(% O₂) representa el porcentaje de saturación de oxígeno, la línea negra sólida (Z_{2 ml.l⁻¹}) representa profundidad de la isoclinia de la oxígeno igual a 2ml/L; la línea roja y negra representan la biomasa acústica de calamar gigante y anchoveta detectada por IMARPE (2011) . Fuente: Alegre (2015)

2.3 Aspectos Generales de la Pesquería de *Dosidicus Gigas* en el Perú

La pesquería del calamar gigante es la segunda más importante del país tanto en términos de volúmenes de captura como valor de exportación. Desde la década de 1980 se reportan capturas por parte de buques-factoría arrastreros de bandera soviética, que capturaron pota

dentro y fuera de las aguas jurisdiccionales peruanas (Figura 4). Propiamente dicho, la pesquería del calamar gigante comenzó en 1991 por parte de las flotas industriales de bandera japonesa y coreana (Paredes y De la Puente 2014). A partir de 1999 se desarrolló en gran medida una pesquería artesanal, mientras que fue reduciendo la actividad industrial. En la parte sur del Perú, la pesca del calamar gigante se inicia propiamente a partir del año 2001, con una flota artesanal que opera desde el puerto de Matarani hacia el sur (Csirke et al, 2018). Debido al Reglamento de Ordenamiento Pesquero de la Pota (D.S. No. 014-2011-PRODUCE), la flota potera es principalmente artesanal, debido a que el acceso a la pesquería de la pota para embarcaciones artesanales solo es necesario contar con el permiso de pesca y cumplir con la normatividad sanitaria vigente, a comparación de los armadores industriales, que cuyo acceso se obtiene por medio de la autorización de incremento de flota y permiso de pesca, siendo las autorizaciones de incremento de flota otorgadas por concurso público. No obstante, a partir del 2012 se dejó de otorgar licencias para la pesca de pota con embarcaciones industriales extranjeras por lo que desde entonces la única flota dedicada a la pesca de pota en aguas peruanas es de tipo artesanal (Csirke et al, 2018).

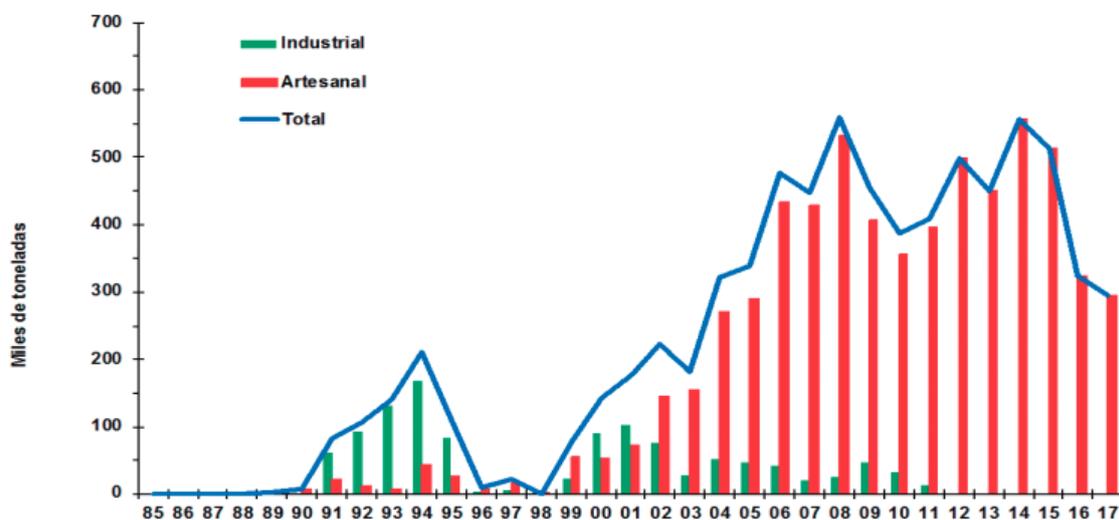


Figura 4. Capturas anuales de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en aguas peruanas 1985-2017. Fuente Csirke et al (2018)

Los desembarques del calamar gigante no presentan la misma intensidad a lo largo de los puertos del litoral peruano, ni son constantes a lo largo del año. La región norte es el área que presenta mayores capturas, siendo Paita el principal puerto de descarga de la pota. En tanto la región centro y sur, a pesar de que los desembarques no son tan grandes, el calamar gigante es el principal recurso desembarcado por la pesca artesanal (Paredes y De la Puente 2014).

La flota artesanal está conformada mayormente por embarcaciones de madera de 2 a 15m³ de capacidad de bodega, las cuales operan principalmente con anzuelos manuales (poteras), además de estas hay otras embarcaciones pesqueras menores a 32.6m³ de capacidad de bodega que pescan tiburones, perico, peces voladores y otros peces oceánicos, pero que además capturan pota cuando se encuentra disponible y disminuye la abundancia de las especies objetivo. La flota artesanal opera principalmente en el norte y sur de Perú, presentando los mayores desembarques en los puertos de Talara y Paita en el norte y Matarani en el sur., operando mayormente hasta las 40 millas náuticas de la línea de costa (Yamashiro et al, 2018)

Finalmente, según Chen et al., (2008a) a partir de septiembre del 2001, frente a Perú fuera de la zona económica exclusiva peruana (PEEZ), se empezó a realizar estudios para la explotación de *Dosidicus gigas* por parte de embarcaciones chinas. Mientras que, a partir del 2012, dicha zona se convirtió la principal área de extracción del calamar gigante (Liu et al., 2013).

2.4 Relación entre las Variables Oceanográficas y la abundancia y distribución de *Dosidicus Gigas*

La mayor parte de la literatura sobre estudios de las relaciones entre variables oceanográficas y CPUE de *Dosidicus gigas* en la zona de altamar del pacífico sureste, están siendo realizadas por investigadores chinos, los cuales analizan la distribución y abundancia del calamar gigante en zonas fuera de la PEEZ, donde opera su flota. Los parámetros oceanográficos que suelen estudiar son los que se pueden obtener a través de detección remota como temperatura

superficial del mar (SST), salinidad superficial del mar (SSS), clorofila a (Chl-a), altura del nivel del mar (SSH) y anomalía de altura del nivel del mar (SLA) (Chen et al, 2021).

Feng et al (2018) analiza la distribución espacio temporal de las CPUE del calamar gigante y su relación con parámetros oceanográficos en áreas fuera de la PEEZ durante el periodo 2009-2013, encontrando que *Dosidicus gigas* prefiere el rango de condiciones ambientales de SST: 20.9-21.9°C; SSS: 35.16-35.32 PSU y SSH en el rango de 27.2-31.5 cm; en las áreas de 78°-80°W/82-84°W y 15-18°S.

Las CPUE de *D gigas* también ha sido relacionada a estructuras oceánicas como los eddies o remolinos, los cuales son detectados por medio de parámetros oceanográficos como temperatura, clorofila a (Chla) y la profundidad de capa de mezcla (MLD). Fang et.al (2021) analiza la relación entre eddies de corta duración y las CPUE de calamar gigante en el pacífico ecuatorial este, encontrando que la presencia de eddies crea ambientes favorables para *D. gigas*, ya que transportan aguas más profundas, ricas en nutrientes a las capas fóticas, promoviendo la reproducción de organismos que son presa de *D. gigas*. Debido a esto, la trayectoria de los eddies puede afectar la distribución de las zonas de pesca de *D. gigas*.

Dentro de la PEEZ, Paulino et.al (2016) analizan la distribución (posiciones de zonas de pesca) de *Dosidicus gigas* y su relación con la temperatura superficial del mar y clorofila a durante el periodo 2004-2012. Encuentran que las operaciones de pesca tienden a ser más frecuentes en áreas de alta temperatura, con mayor incidencia en el rango de 18.4-22°C; mientras que respecto a clorofila-a, tienen un rango amplio de 0 a 0.95mg/m³.

Baltuano (1995) encontró que frente a la Costa Peruana entre noviembre 1992 a setiembre 1993 las mayores capturas y CPUE se alcanzaron cuando la TSM fluctuó entre 17 y 22° C.

III. METODOLOGÍA

3.1 Material Utilizado

3.1.1 Información Pesquera

La información pesquera usada para este estudio provino de los de partes de pesca recolectados por los observadores de campo del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) durante el periodo 2015-2017 en el sur del Perú (Figura 5), los cuales incluyen la siguiente información: Capacidad de bodega de la embarcación pesquera (t), fecha, posición geográfica referencial de la zona de pesca (latitud y longitud), viaje de pesca (numero) y el total desembarcado del recurso (kg).

En la tabla 2 se muestra la cantidad de registros diarios utilizados por año en el área sur del Perú. El número total fue de 22473 observaciones.

Tabla 2. Número de registros diarios u observaciones de captura de Pota durante el periodo de estudio

Año	2015	2016	2017	Total
Nº de registros	8790	8777	4906	22473

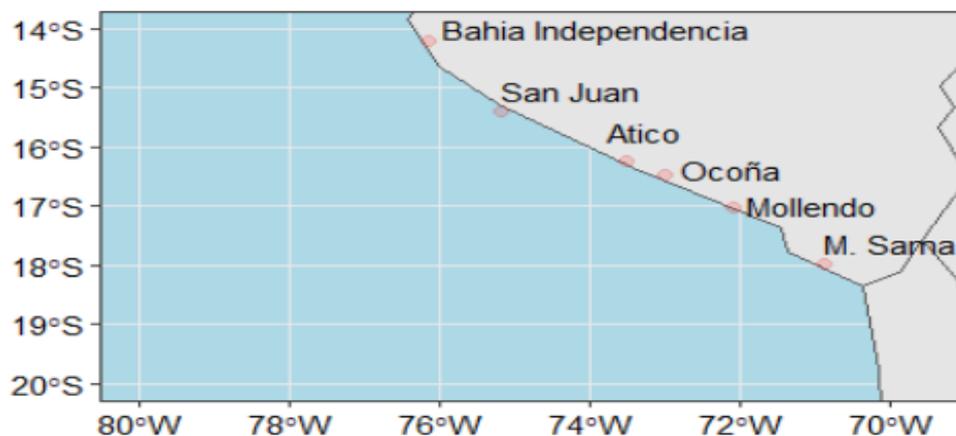


Figura 5. Área o zona de estudio

3.1.2 Información Oceanográfica

Los datos oceanográficos para el presente estudio provinieron de dos fuentes: la primera proveniente del reanalysis oceánico GLORYS12V1 de Copernicus Environment Monitoring Service (CMEMS); cuyos datos se pueden descargar de manera gratuita desde el siguiente enlace web: https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/INFORMATION

La segunda fuente de dato será proveniente de AQUA MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) de la NASA; dichos datos se pueden descargar de manera gratuita en el siguiente enlace web: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/aqua/>.

Los datos oceanográficos utilizados serán del sur del Perú y durante el periodo 2015-2017.

El reanalysis oceánico GLORYS12V1 es un sistema que combina datos del pasado con modelos climáticos actuales para proporcionar una imagen exacta y completa del pasado. GLORYS12V1 posee una resolución de $1/12^\circ$, 50 niveles verticales y abarca el periodo de 1993 a 2019 de forma diaria. Se basa en gran medida en el actual sistema de CMEMS de pronóstico global en tiempo real (Lellouche et al, 2021). La data de este reanalysis es útil para estudios retrospectivos (Campos y Mosquera, 2020) y ha sido utilizado en diferentes estudios en el mar peruano (Echevin et al, 2020; Wang et al, 2019). Las variables oceanográficas seleccionadas fueron: temperatura potencial del mar (a nivel superficial y a 55m), salinidad del mar (a nivel superficial y a 55m), altura del nivel del mar (SSH) y velocidad de corriente (a nivel superficial y a 55m). Se eligió la temperatura, velocidad de corriente y salinidad a 55m (T_55m, S_55m, Curr_55m) como variables debido a que *D. gigas* se suele pescar en promedio a 40-70m (Valles et. al, 2013).

De AQUA MODIS se tomó la data correspondiente a la variable clorofila a (Chla). La resolución espacial y temporal de esta data es de 4km y diaria respectivamente.

La cantidad de datos oceanográficos de cada variable fue la misma que el de la data pesquera, ya que en base a las coordenadas de las zonas de pesca de cada registro se tomó los datos oceanográficos de la posición más cercana a esta en la fecha correspondiente, de tal forma que los datos pesqueros estén asociado a las variables oceanográficas para el análisis.

3.2 Análisis y Procesamiento de Datos

3.2.1 Cálculo de la CPUE de *Dosidicus gigas*

Para el cálculo de la captura (t) se utilizará la siguiente relación

$$\text{Captura}(t) = \text{Desembarque}(t) * 1.15$$

La cual se basa en el que recurso desembarcado generalmente no presenta vísceras, de esta forma datos de desembarque se pueden convertir a datos de capturas (Mariategui, 2007).

La CPUE de *D. gigas* se calculó por medio de la relación:

$$\text{CPUE}(t/\text{viaje}) = \text{Captura}(t)/\text{Viaje de pesca}$$

Se eligió viaje como unidad de esfuerzo debido a que ya ha sido utilizada en otros estudios (Chambilla, 2018), y por estar disponible dentro de los registros de pesca para este estudio. Asimismo, es la más cercana debido a que está basada en el tiempo como las unidades de esfuerzo horas y días que suelen utilizarse en diferentes estudios sobre CPUE y las condiciones oceanográficas (IMARPE, 1996; Valles et al, 2013; Feng et al, 2018; Chen et.al 2021).

3.2.2 Clusterización de la Flota Potera del sur del Perú en base a sus datos pesqueros.

Debido a que la flota potera no es uniforme en términos de su capacidad de bodega, además que este valor determina la máxima captura que puede realizar una embarcación, se efectuó el análisis cluster con objetivo de determinar si existe grupos de embarcaciones pesqueras cuyos valores de CPUE presenten diferencias entre sí.

Se eligió el método de clusterización de K-means debido a que ha sido usado en estudios de *Dosidicus gigas* en áreas fuera de la Zona Económica Exclusiva Peruana, para determinar clusters (K) de este recurso en base a las CPUE (Feng et al, 2017). En este caso se utilizará para determinar clusters en la flota peruana potera en el sur del Perú. Debido a que el método

K-means necesita definir un número de K para ejecutarse, se efectuó el método de la Silueta el cual consiste en ejecutar el algoritmo K-means sobre los datos con diferentes valores de K, de tal forma que se determine el número de clusters óptimo, lo cual es dado es por el mayor coeficiente de la silueta en un respectivo valor de K (Kassambara; 2017a). Para ejecutar este algoritmo se introdujo una matriz de los datos de pesca y sus respectivas variables: longitud, latitud, CPUE (t/viaje), capacidad de bodega. Para complementar los grupos hallados y determinar si existen diferencias significativas en los valores CPUE de estos grupos, se decidió ejecutar la prueba de Tukey (paramétrica) o Wilcoxon (no paramétrica) en base al resultado de la prueba de Anderson-Darling sobre los grupos hallados, la cual determina si estos siguen una distribución normal.

El análisis de las siguientes secciones se realizó en base a los grupos o clusters de flota pesquera potera determinados.

Adicionalmente, se calculó la cantidad de registros de los grupos determinados y se graficó por medio de diagrama de barras el número de sus registros., de esta forma se determinará qué grupo de flota es la más representativa en el sur del Perú.

3.2.3 Variaciones espacio-temporales de la CPUE de *Dosidicus gigas* en el sur del Perú durante el periodo 2015- 2017.

Variación Estacional de la CPUE de *Dosidicus gigas* en el sur del Perú

Valles et.al (2013) y Flores et al (2016) encuentran diferencias significativas en las CPUE y biomasa de *D. gigas* respectivamente según las estaciones (verano, otoño, invierno, primavera). Tomando en cuenta esto, se analizó la CPUE de pota de manera estacional durante el periodo de estudio. Se calculó los promedios de CPUE según las estaciones y por años.

Variación espacial de las Zonas de Pesca de *Dosidicus gigas*

Los datos de latitud y longitud de los registros de pesca fueron graficados por medio de mapas mensuales, de tal forma que se pueda observar la variación espacial de las zonas de pesca de *D. gigas* en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017. Asimismo, usando los datos de latitud y longitud se calculó la distancia a la costa, la cual fue representada por

medio de diagrama de cajas durante el periodo 2015-2017, de tal modo que se observe los meses en los cuales la pesca de pota suele estar más concentrada cerca a la costa o tienda a ser más alejado de la costa (oceánica).

3.2.4 Matriz de correlación y Análisis descriptivo de las variables oceanográficas y las CPUE de pota

Se efectuó una matriz de correlación entre los promedios mensuales de las variables oceanográficas y la CPUE de *Dosidicus gigas* en toda el área de estudio, con objetivo de dar un panorama de que variables oceanográficas tienden a estar más relacionadas con las CPUE de pota. Seguido, se calculó y represento gráficamente los promedios mensuales de las variables oceanográficas que presentaron mayor coeficiente de correlación en la matriz de correlación por medio de través de mapas durante el periodo de estudio. De esta forma, se puede hacer un análisis descriptivo entre las variables oceanográficas y la CPUE de pota en el sur del Perú.

3.2.5 Estandarización de las Variables Oceanográficas y CPUE de pota

Debido a la resolución de los datos oceanográficos ($1/12^\circ \approx 9$ km), los registros de pesca para una misma fecha que poseen coordenadas muy cercanas entre sí, tienden a tener un mismo valor para las variables oceanográficas, por este motivo, en estudios de relaciones entre condiciones oceanográficas determinadas por métodos de detección remota y recursos pesqueros se suele estandarizar los datos por medio de grillas en las cuales se promedia las variables. Estudios similares sobre la relación entre variables oceanográficas obtenidas por detección remota y CPUE de distintos calamares suelen utilizar grillas de 0.25° a 1° (Fei et al 2022, Feng et al 2018, Tian et al 2009). Para el presente estudio se utilizó grillas de 0.25° latitud x 0.25° longitud.

El esquema de la estandarización de las variables se muestra en la figura 6, donde se promedia las variables oceanográficas y cpue de pesca que estén dentro de las grillas, las cuales tiene una resolución de 0.25° y se encuentran en el área de estudio.

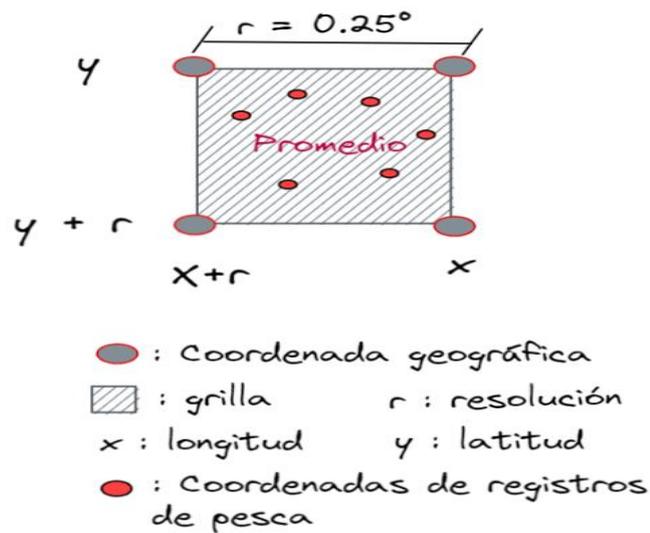


Figura 6. Esquema grillas geográficas.

3.2.6 Relación entre variables oceanográficas-espaciales y las CPUE promedio de pota usando Modelos Aditivos Generalizados (GAM)

Se estudió la relación entre las variables oceanográficas-espaciales y CPUE de pota por medios de Modelos Aditivos Generalizados (GAM), debido a la flexibilidad que ofrecen cuando la relación entre los datos no es lineal y su amplio uso en estudios sobre determinación de relaciones entre CPUE y condiciones ambientales (Feng et al, 2018)

Para ejecutar el Análisis GAM se introdujo todas las variables oceanográficas y los datos espaciales (Latitud, distancia a la costa), correspondientes a una grilla promedio $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ de todo el periodo de estudio. De esta forma se determinará que variables son más relevantes al explicar las variaciones de CPUE de *Dosidicus gigas* en el sur del Perú y la posibilidad de construir un modelo que prediga las CPUE de pota.

3.2.7 Análisis de Componentes Principales (PCA) de algunas variables oceanográficas y su relación con la CPUE estacional de pota

Las variables oceanográficas fueron también analizadas por medio del Análisis de Componentes Principales (PCA) con objetivo de encontrar patrones o interrelaciones entre estas. PCA es una técnica de análisis multivariada que permite reducir una gran cantidad de variables en un nuevo grupo de variables no correlacionadas llamadas componentes

principales (PC), esto sin comprometer la varianza explicada originalmente por los datos (Xue et al, 2011). No obstante, la gran popularidad del PCA en el análisis espacial y temporal en oceanografía y meteorología no es por la reducción de dimensiones o variables, si no es debido a que permite encontrar patrones o modos de variabilidad en grandes grupos de datos. Los modos o patrones de variabilidad representan la dirección de la varianza de los datos, y son usados para representar las variabilidades que presentan grandes grupos de datos. (Preinserdorfer, 1988; Kenfack et.al, 2016; Pauthenet, 2018).

Antes de efectuar el PCA, primero se realizó una estandarización de la data, debido a las diferentes escalas que presentan las variables oceanográficas. Por este motivo se estandarizó las variables para que tengan media igual a cero y desviación estándar igual a uno. Cabe destacar, que en el PCA no está diseñado para identificar la relación entre variables explicativas y una variable respuesta, ni para realizar predicciones o inferencias sobre esta última, por estos motivos no se incluye la CPUE en el PCA. (Kassambara, 2017b)

Los resultados del PCA fueron analizados según criterios dados por Costello y Osborne (2005). Se seleccionó los componentes principales (PCs) cuyos eigenvalue fueron mayor a 1, mientras que las variables oceanográficas significativas de cada PC tienen “loading” o cargas mayores a 0.30, una fuerte carga es caracterizada por valores absolutos mayores a 0.5. Los PCs significativos representan las condiciones oceanográficas o modos de variabilidad oceanográfica predominante en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017. Para complementar la interpretación de los resultados del PCA se usó el grafico “biplot”, que representa las variables originales y los PCs en espacio dimensional usando los puntajes obtenidos (% de varianza contenida o explicada), permitiendo analizar la relación entre las variables oceanográficas entre si y los PCs. En los biplots las variables originales son representados como vectores, mientras que los PC se suele colocar el PC1 y PC2 que corresponden a los PCs que obtuvieron la mayor varianza. El eje del PC1 es el eje x en el cual indica la principal dirección en la cual fluye la mayor variación, mientras que el PC2 (eje y) es la segunda dirección donde fluye la mayor variación y es ortogonal al eje del PC1 (Kassambara, 2017b).

Debido a que las CPUE y biomasa de pota (estimada acústicamente) presentan variaciones estacionales significativas (Valles et al 2013, Flores et al 2016) al igual que las condiciones

oceanográficas. Se efectuó el PCA de las variables oceanográficas de manera estacional y por grupos, los componentes principales (PCs) significativos fueron correlacionados con los datos de CPUE de *Dosidicus gigas*. La correlación significativa fue dada por el p-value, cuyos valores menores a 0.01 indican correlación altamente significativa. Mientras que el coeficiente de correlación fue utilizado para establecer el grado de correlación, así como la dirección (inversa o directa) entre los componentes principales y la CPUE de calamar gigante. Estos resultados se mostrarán por medio de una tabla que presente los p-value y los coeficientes, de tal forma que permitirá resumir lo determinado.

Cabe resaltar que cada componente principal muestra la interacción entre variables oceanográficas con loading significativos que comparten una variación en común. Esto se conoce como patrones o modos de variabilidad oceanográficos. Para una mejor interpretación se graficó los promedios estacionales de las variables oceanográficas más representativas en las zonas de pesca y de las CPUE de pota por medio de mapas para complementar el análisis.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Clusterización de la Flota Potera del sur del Perú en base a sus datos pesqueros

Primeramente, se efectuó el método de la silueta utilizando diferentes valores de clusters (K), la figura 7 muestra los resultados de ejecutar el algoritmo K-means sobre los datos pesqueros de la flota potera en el sur del Perú con diferentes valores de K, se logra observar que el mayor coeficiente de la silueta se encuentra para el valor de 2 clusters.

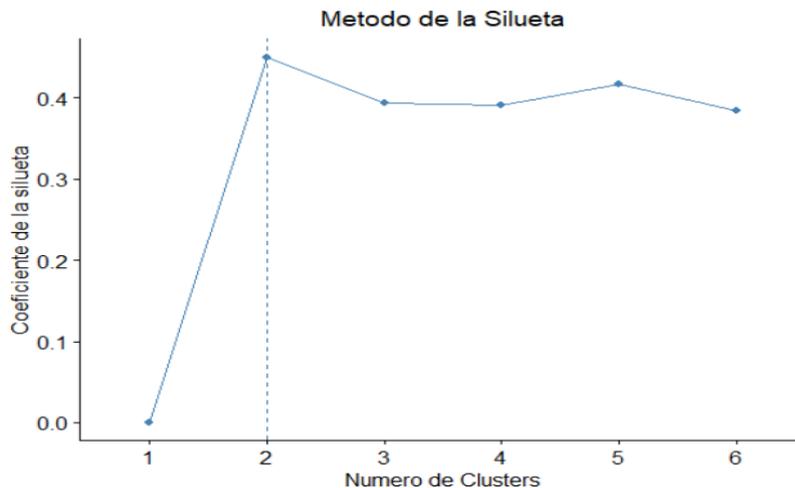


Figura 7. Método de la Silueta en algoritmo K-means para encontrar el número óptimo de clusters o grupos. El valor de K con mayor coeficiente indica el número de cluster óptimo.

La figura 8 muestra la distribución de los datos de capacidad de bodega(t) según los clusters determinados. El cluster 1 representa el 83.2% de los datos pesqueros, lo cual corresponde a 18767 registros, mientras que el cluster 2 representa el 17.8% de los datos. Se logra observar claramente que el cluster 1 está conformado mayoritariamente por embarcaciones pesqueras con capacidad de bodega menores a 10tn, mientras que el cluster 2 está conformado principalmente por embarcaciones pesqueras (E/P) con capacidad de bodega mayor a 10tn. Para complementar este resultado se graficó los histogramas de frecuencia y porcentaje de los datos de capacidad de bodega sin clusterización, observándose que el 79% de los datos

corresponden a E/P con capacidad de bodega entre 0 a 10tn. mientras que lo restante (21%) corresponde a datos de E/P con capacidad de bodega mayor a 10t. En base a estos resultados, se decidió que era más apropiados clasificar la flota potera en el sur del Perú en dos tipos o grupos: Tipo de flota I (capacidad de bodega $\leq 10t$) y Tipo de Flota II (capacidad de bodega $> 10t$)

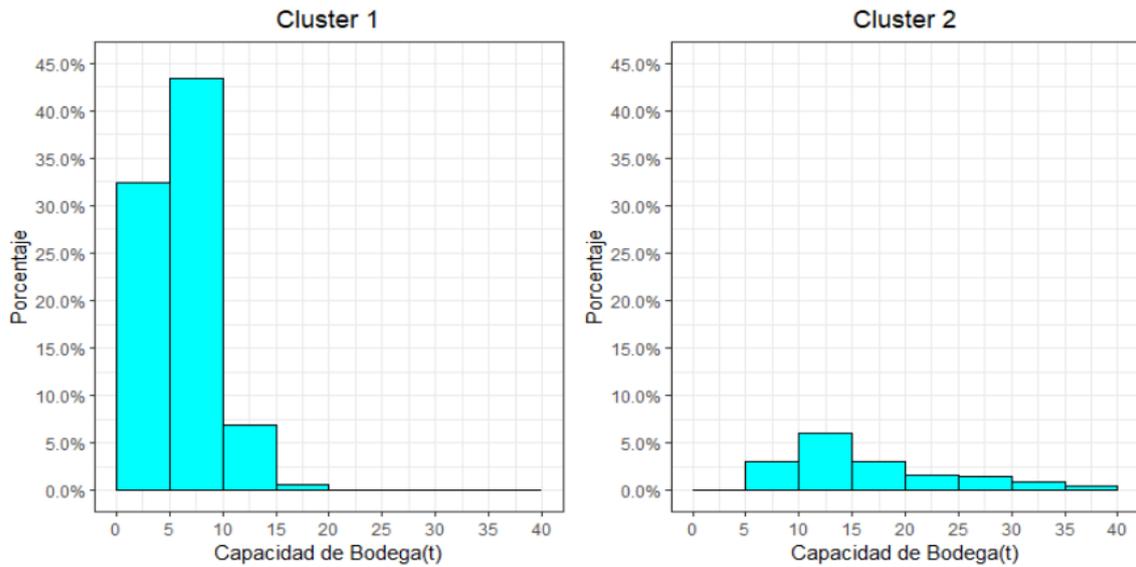


Figura 8. Histogramas de porcentaje de la capacidad de bodega (t) de los registros de pesca de pota en el sur del Perú clasificados según algoritmo K-means durante el periodo 2015-2017. El porcentaje está basado en la suma total de los datos de ambos clusters.

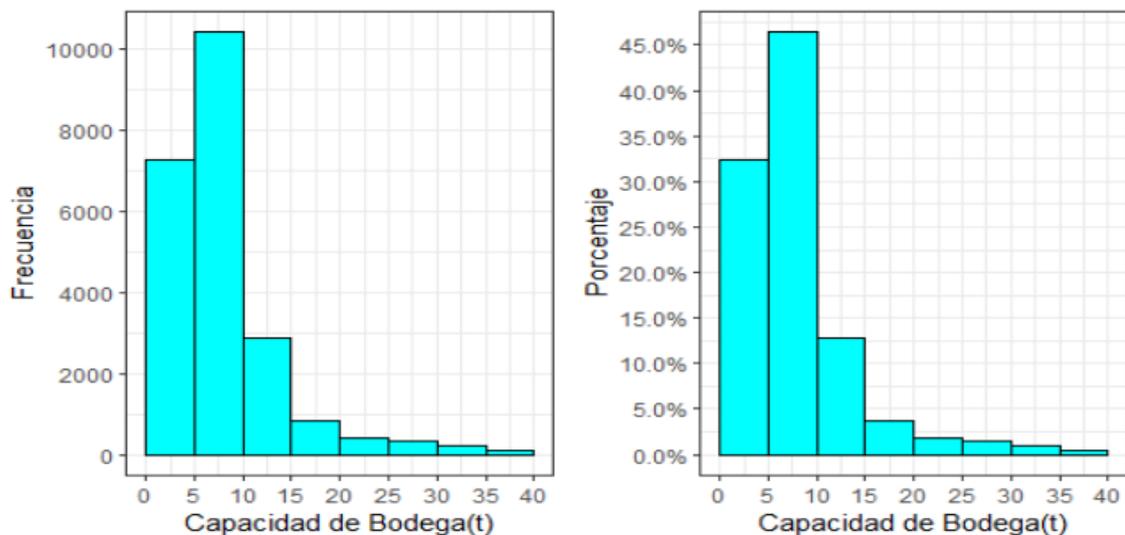


Figura 9. Histogramas de frecuencia y porcentaje de la capacidad de bodega (t) de los registros de pesca de pota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017.

Los tipos de flota fueron sometidos al test de Anderson-Darling, Los resultados del test estadístico se muestran en los anexos 1,2 se logra observar que el p-value para los dos grupos es menor a 0.01 por lo cual no siguen una distribución normal, por consiguiente, para comparar sus CPUE promedio, se usó la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

En el anexo 3 se muestra el resultado del test estadístico de Wilcoxon, se observa que solo la comparación entre el grupo 1 y 2 presenta un p-value mayor a 0.01, por consiguiente, no se puede rechazar la hipótesis nula, es decir, los datos de CPUE de los grupos 1 y 2 se pueden trabajar de manera conjunta. La tabla 3 muestra la cantidad de datos de estos grupos creados por años, se observa la gran predominancia del tipo de flota I sobre el tipo de flota II, siendo muy baja la cantidad de datos para el 2015. Con respecto a los valores promedio de CPUE durante el periodo de estudio, el tipo de flota I presento un valor de 5.041 t/viaje, mientras que el tipo de flota II presento 8.54 t/viaje. Cabe señalar que estas diferencias surgen por el tipo de unidad de esfuerzo utilizado no es uniforme debido al rango amplio de las embarcaciones pesqueras en relación a su capacidad de bodega, no obstante, la unidad de esfuerzo de viajes de pesca es la más práctica, confiable y disponible en los registros de pesca.

Tabla 3. Cantidad de datos de registro de pesca según tipo de flota y por año

Año	2015	2016	2017
Tipo I	8540	7323	4044
Tipo II	250	1454	862

La Figura 10 muestra los promedios mensuales de CPUE de pota durante el periodo de estudio, se logra observar que los dos tipos de grupos presentan tendencia similar, siendo el Tipo de flota II los que presentan mayores CPUE promedio que el Tipo I como se podría esperar debido a su mayor capacidad de bodega. La CPUE promedio mensual del tipo de Flota I presentan valores entre 1.5 t/viaje hasta 8t/viaje, mientras que el Tipo II de 2.9 a 12.5 t/viaje.

La Figura 11 muestra el conteo de registros de datos de pesca (número de datos) según tipo de flota en el área sur del Perú durante el periodo 2015-2017. Se logra observar una amplia

distribución con respecto a la cantidad de datos, siendo mínimo durante abril y mayo del 2015 de los 3 años de estudio, es decir, en los meses de otoño tiende a haber menos pesca en el área sur del Perú. Mientras que la mayor cantidad de datos mensual corresponde a junio y agosto del 2016.

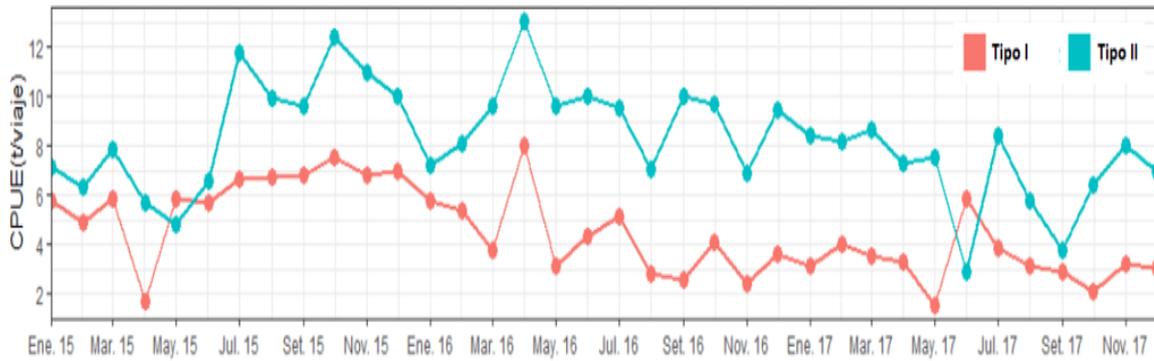


Figura 10. CPUE (t/viaje) de pota promedio mensual según tipo de flota en el área sur del Perú durante el periodo 2015-2017

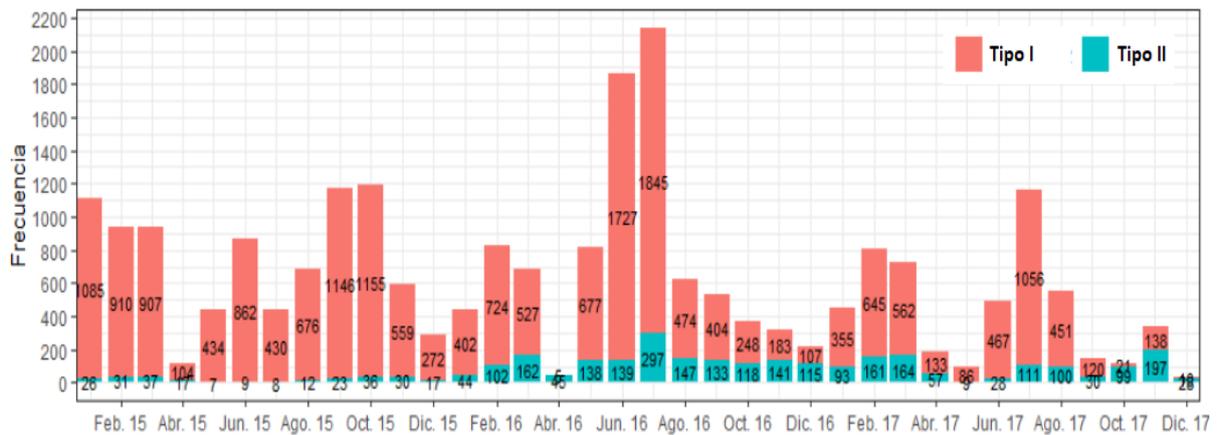


Figura 11. Conteo de registros de datos de pesca según tipo de flota en el área sur del Perú durante el periodo 2015-2017. Los numero representan la cantidad de datos mensual por flota

4.2 Variación estacional de la CPUE de *Dosidicus gigas* en el sur del Perú

La Figura 12 muestra las CPUE(t/viaje) promedio estacional de pota según tipo de flota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017, se observa que para ambos tipos de flota la estación donde se producen las mayores CPUE es primavera, siendo mayor la diferencia en el tipo de flota I, mientras que en el tipo de flota II no hay mucha diferencia entre las CPUE

estacional. En tanto a la estación con menores CPUE es otoño, lo cual corresponde con la menor cantidad de datos para esta estación (Figura 11).

La Figura 13 muestra los promedios estacionales de CPUE por años del periodo del estudio, se observa la presencia de una tendencia descendente a lo largo de los años en los valores de CPUE para el tipo de flota I, siendo el año 2015 el de mayores CPUE, para el tipo de flota II se observa este comportamiento para la estación de primavera e invierno.

Estos resultados coinciden con los encontrados por Yu y Chen (2018) solo para el tipo de flota I. Estos investigadores chinos analizan el periodo 2011-2015 encontrado que las mayores CPUE en las áreas entre los 8°S-20°S y fuera de la zona económica exclusiva peruana son en las estaciones de primavera y verano, asociándolo a que esos años las anomalías de SST fueron bajas. Cabe destacar que estos resultados no coinciden con lo encontrado por Valles et al (2013) que encuentra en la estación de otoño la mayores CPUE para los años 1999-2000 para la zona entre los 3 a 16°S. Esto indica que las variaciones estacionales de CPUE de pota para el sur del Perú son distintas con respecto a las zonas norte y centro. Una de las principales razones de estos de resultados se debe a que las condiciones oceanográficas y la estructura de masas de agua es diferente de la zona norte-centro de la zona sur (Zuta y Guillen ,1970; Grados et al, 2018), destacando la influencia de la Corriente Cromwell (EUC) en las CPUE de pota de las zonas norte y centro (Cassani, 2023)

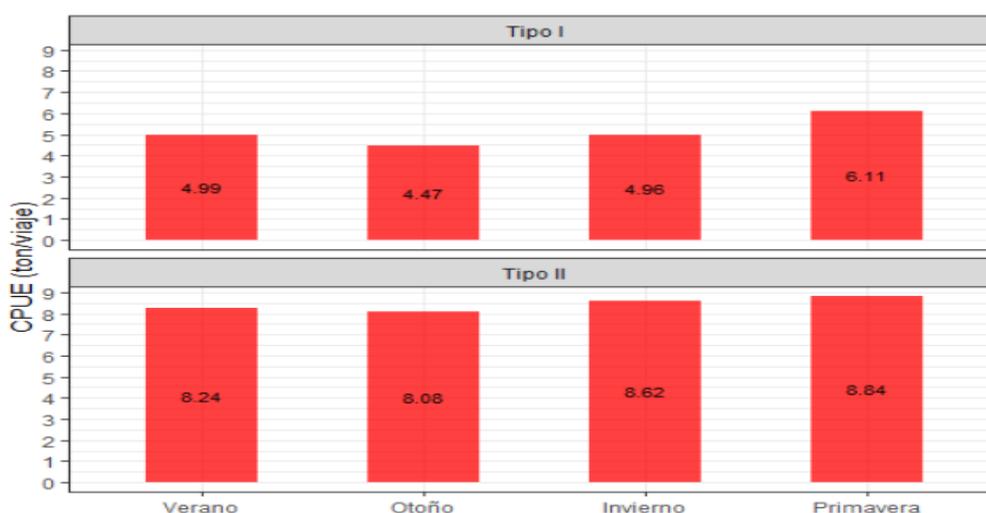


Figura 12. CPUE(t/viaje) promedio estacional de pota según tipo de flota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017. El numero dentro de la barra indica el valor exacto de la CPUE.

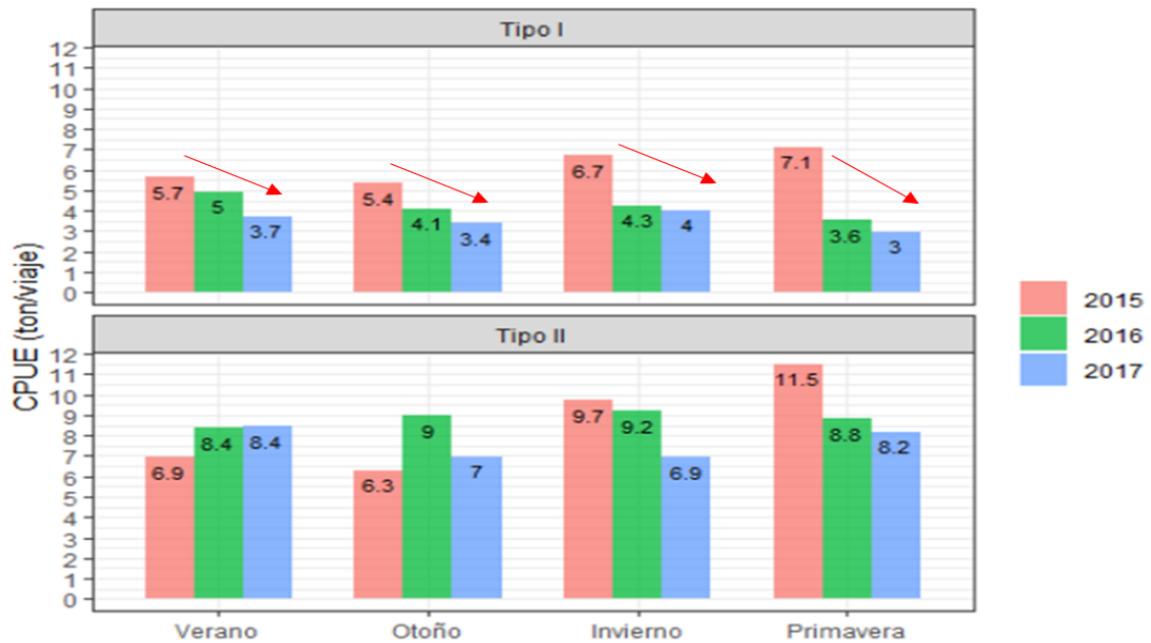


Figura 13. CPUE(t/viaje) promedio estacional de pota por años según tipo de flota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017. El número dentro de la barra indica el valor exacto de la CPUE.

4.3 Distribución espacial de la CPUE de *Dosidicus gigas*

La figura 14 muestra la distribución espacial de la CPUE (t/viaje) de pota en el área sur del Perú durante el año 2015. Se observa una amplia distribución habiendo registros en todo el litoral del área de estudio, destacando la mayor presencia del tipo de flota II entre las latitudes de 14-15°S y alejadas de la costa. A partir de Julio se observa la concentración de la pesca entre los 16 a 18°S, estando las mayores CPUE en la zona frente a Atico y Ocoña.

Distribucion CPUE(t/viaje) Sur del Peru 2015

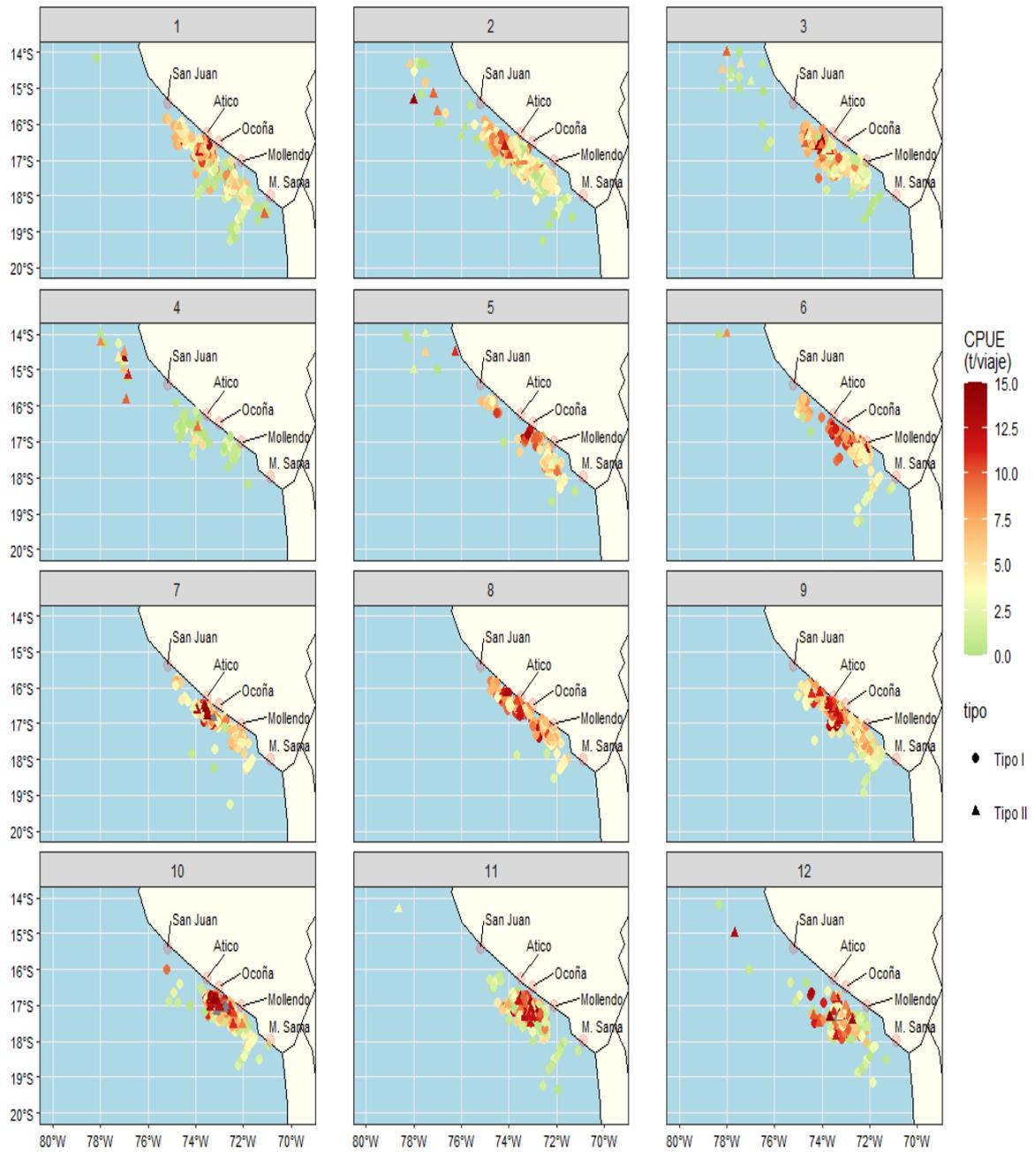


Figura 14. Distribución espacial de la CPUE (t/viaje) de pota en el área sur del Perú durante el año 2015. El tipo de flota se representa por medio de formas, tipo de flota I: círculo; tipo de flota II: triángulo

En el año 2016 (figura 15) se observan altas capturas ente los 14 a 16°S por parte de la flota tipo II entre los meses de febrero a mayo. Destaca el mes de abril donde al sur de San Juan hubo una ínfima cantidad de capturas, estando la pesca entre los 14-16°S y fuera de la costa.

A partir de junio hasta octubre se observa la baja presencia de capturas en la zona entre San Juan y Ático, estando las capturas fuera de esta zona. Este comportamiento abarco todo el invierno del 2016. Mientras que los meses restantes (noviembre y diciembre) las zonas de pesca estuvieron ampliamente distribuidos, pero no muy cercanos a la costa.

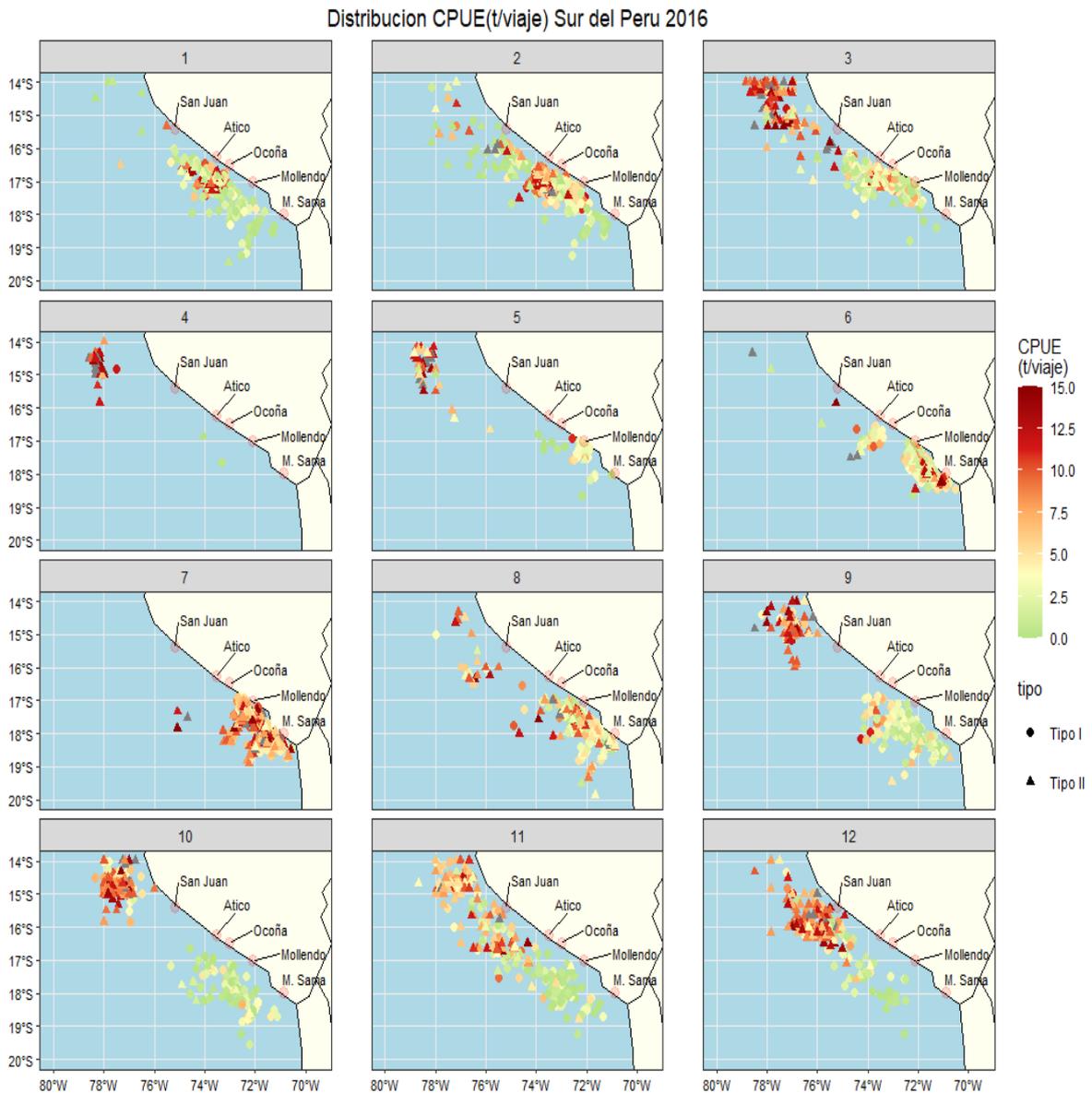


Figura 15. Distribución espacial de la CPUE (t/viaje) de pota en el área sur del Perú durante el año 2016. El tipo de flota se representa por medio de formas, tipo de flota I: círculo; tipo de flota II: triangulo

En el año 2017 (figura 16) de enero a abril se observa una extensa distribución de las zonas de pesca, estando tanto cerca como lejos de la costa. En mayo y junio se reducen la cantidad

de registros, así como los valores de CPUE. De Julio a Septiembre (invierno) se observa que las zonas de pesca estuvieron pegadas a la costa estando las mayores CPUE frente a San Juan, mientras que a partir de octubre hasta diciembre las zonas de pesca se observan en zonas más oceánicas con altas CPUE.

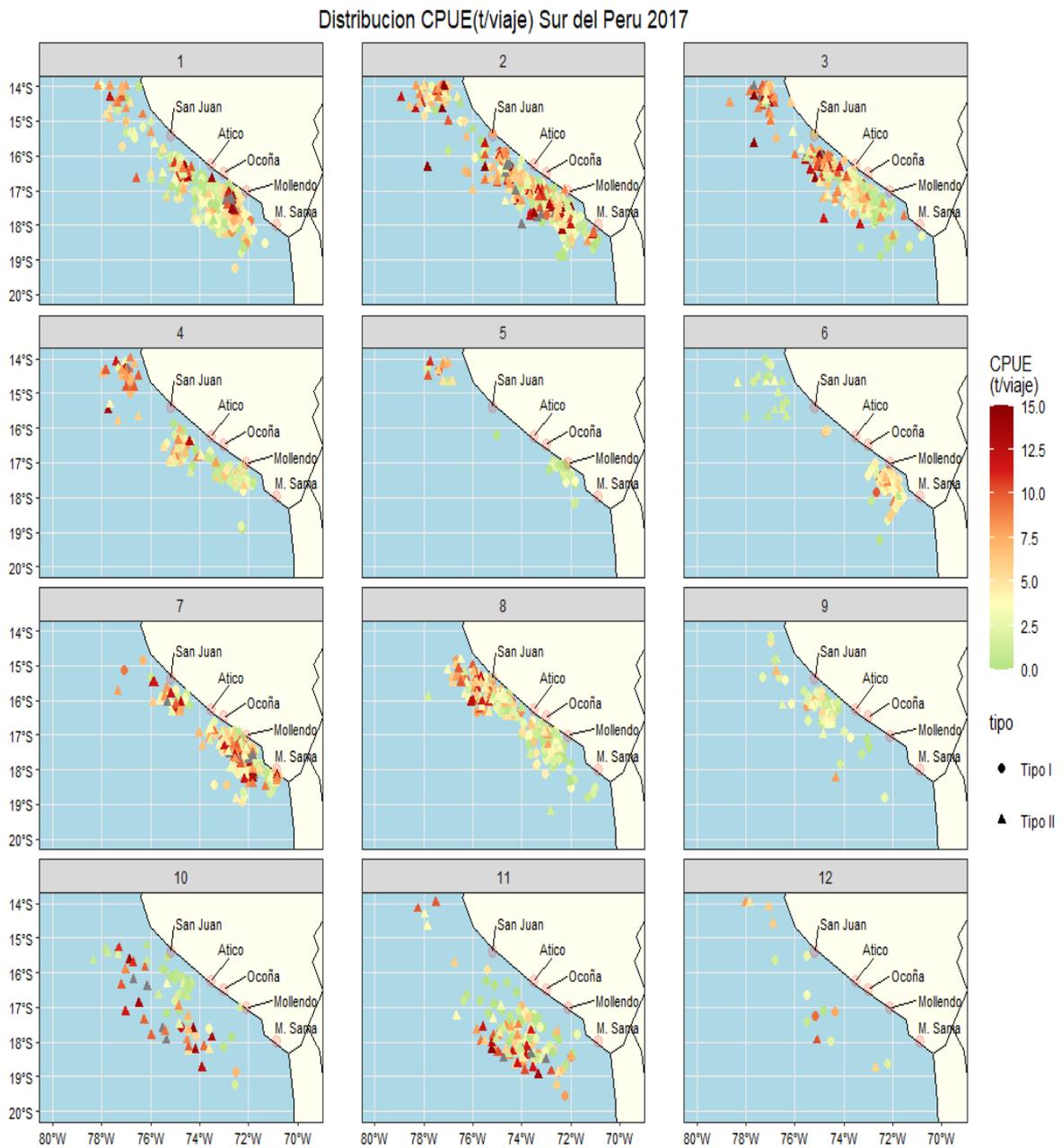


Figura 16. Distribución espacial de la CPUE (t/viaje) de pota en el área sur del Perú durante el año 2017 El tipo de flota se representa por medio de formas, tipo de flota I: círculo; tipo de flota II: triangulo

Con respecto a la distancia a la costa promedio, la figura 17 muestra los promedios mensuales de las zonas de pesca según tipo de flota, se logra observar que las operaciones

del tipo de flota II en promedio son en distancias a la costa mayores que el tipo I. Para el tipo de flota I se observa valores entre 17 hasta 57 mn, mientras que el tipo de flota II varía entre 30 a 94mn, resaltando el máximo en abril-mayo, no obstante, durante estos meses se observa la poca presencia de datos (Figura 11) por lo cual no es muy fiable el tomar en cuenta estos meses para el análisis de la tendencia.

La Figura 18 muestra los datos diarios de distancia a la costa(mn) de las zonas de pesca según tipo de flota, se observa que para ambos tipos de flota la tendencia a aumentar la distancia a la costa en los meses de invierno (junio a septiembre), lo cual corresponde a la estación en las cuales las temperaturas son menores cerca a la costa, así como de intenso afloramiento en la zona de 15-16.5°S y en especial frente a San Juan (Grados et al 2018), esta interpretación se complementa y se puede observar en la Figura 12 y 13 para los años 2015-2016 donde en meses de invierno tiende a ser más reducido la cantidad de capturas frente a esa zona. Cabe resaltar que para el tipo de flota I que corresponda a la representativa de la flota potera en el sur del Perú, los mayores valores de distancia a la costa se observan en primavera, es decir, las zonas de pesca tienden a ser más oceánicas en primavera para el tipo de flota I.

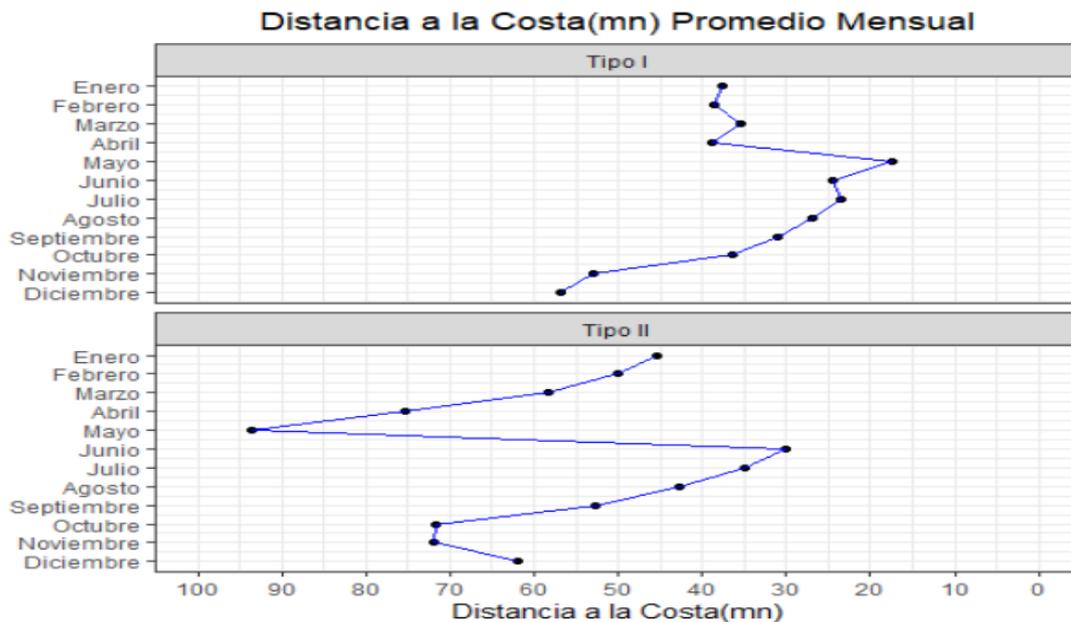


Figura 17. Distancia a la costa(mn) promedio mensual de las zonas de pesca según tipo de flota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017

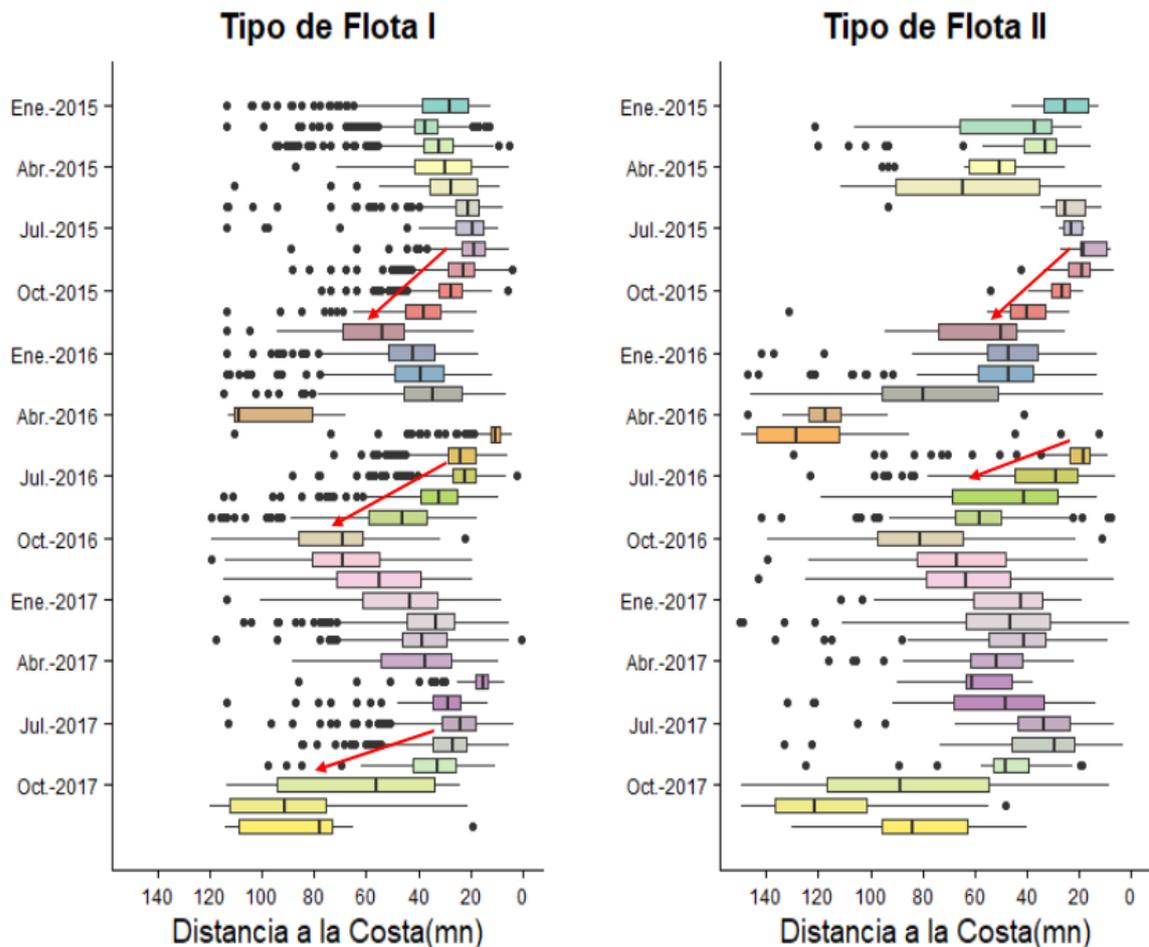


Figura 18. Diagrama de cajas de los datos diarios de distancia a la costa(mn) de las zonas de pesca según tipo de flota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017

4.4 Correlograma de los promedios mensuales de las variables oceanográficas y las CPUE de *Dosidicus gigas*

La figura 19 muestra un Correlograma de los promedios mensuales de las principales variables oceanográficas y la CPUE de pota en el sur del Perú durante el periodo de estudio. Se usó la correlación de Spearman debido a que los datos no siguen una distribución normal. Se observa que las variables oceanográficas que presentan mayor correlación con las CPUE de pota son la Temperatura y Salinidad del mar a los 55m, SSH y la salinidad superficial del mar, estas variables presentan una correlación del tipo directa, es decir, a mayores valores de estas variables mayores CPUE de pota. Los resultados exactos de la matriz de correlación se presentan en el anexo 4.

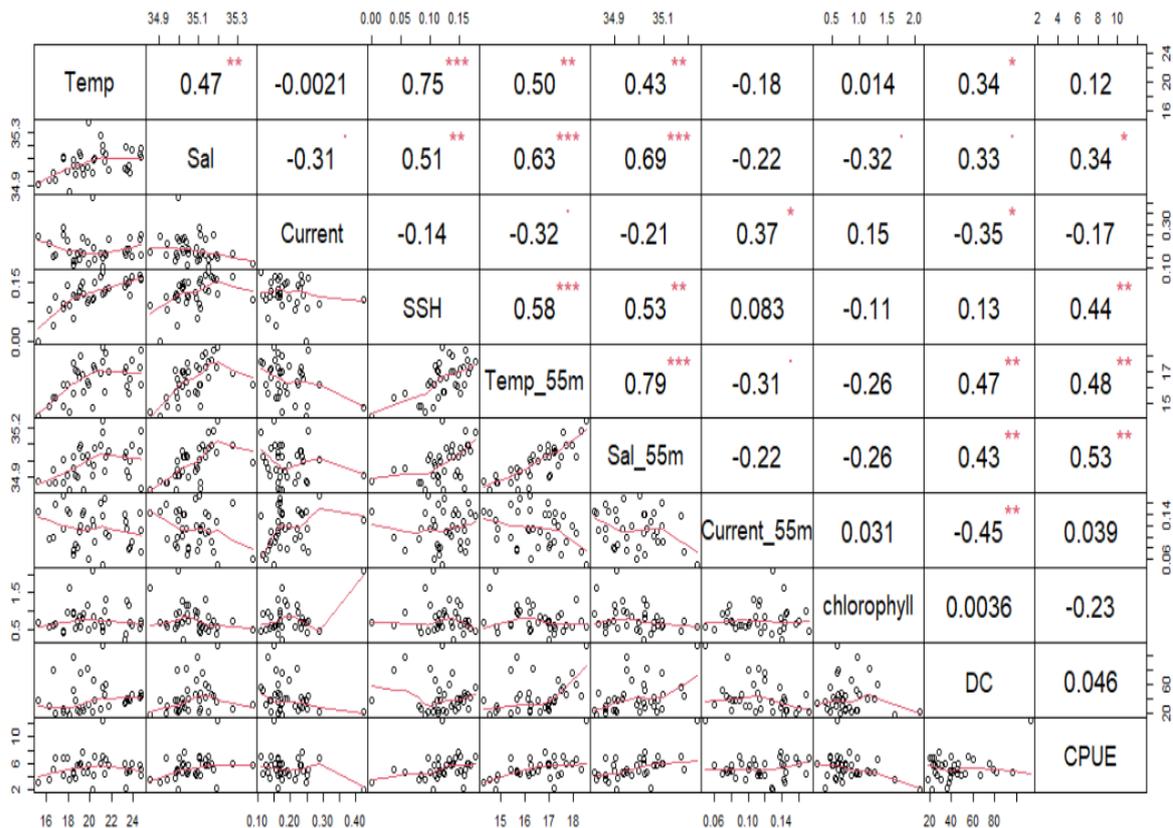


Figura 19. Correlograma de los promedios mensuales de las variables oceanográficas y CPUE de pota en el área sur del Perú durante el periodo 2015-2017. Temp_0m: Temperatura Superficial del Mar, Sal_0m: Salinidad Superficial del Mar, Current_0m: Velocidad de Corriente Superficial, SSH: Altura de nivel del mar, Temp55m: Temperatura del Mar a 55m, Sal_55m: Salinidad del Mar a 55m, Current_55m: Velocidad de Corriente a 55m, chlorophyll: Clorofila a, DC: Distancia a la Costa.

Estos primeros resultados indican que las CPUE de pota en el sur del Perú están más relacionados a las condiciones oceanográficas subsuperficiales (usando como referencia el nivel de 55 metros) a comparación de las superficiales. Esto guarda sentido considerando que las capturas de pota suelen darse en promedio a niveles entre 40-70m (Valles et. al 2013).

4.5 Análisis Descriptivo de los promedios mensuales de salinidad del mar a 55m y las CPUE de *Dosidicus gigas*

Las figuras 20,21 y 22 muestran los promedios mensuales de la salinidad del mar a los 55m en el sur del Perú durante los años 2015,2016,2017. En la Figura 20 se observa que de enero

a abril la presencia de aguas con salinidades > 35.1 (ASS) no es muy cercana a la costa. A partir de mayo se observa una mayor entrada de ASS primeramente en la zona frente a San Juan y en los meses posteriores hasta Ático, esto coincide con la mayor cantidad de registros de pesca con más altas CPUE (mayor cantidad de puntos rojos intenso) que se observa en la figura 14.

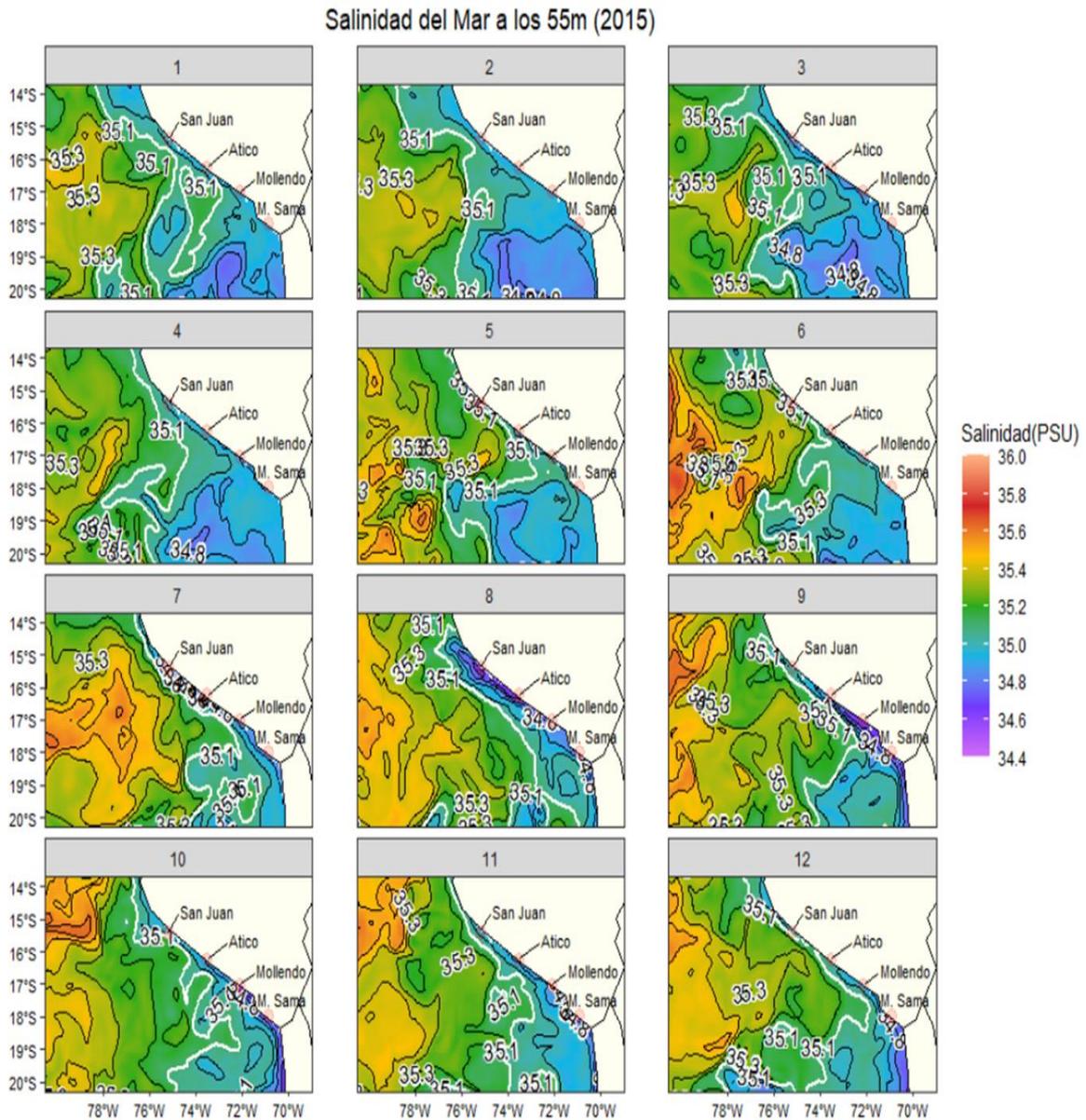


Figura 20. Promedio mensual de Salinidad del Mar (PSU) a los 55m durante el año 2015 en el sur del Perú. La línea marcada de blanco representa la isohalina de 35.1 PSU

En el 2016 (Figura 21) durante los meses de enero a abril se observa una gran presencia de ASS en la zona de 14-16°S, coincidiendo con las altas CPUE de pota (Figura 15). A partir

de mayo se observa la predominancia de ACF cerca a la costa y desde junio la presencia de ATSA (color morado) en la zona de Ático, lo cual es indicio de intensos afloramientos. Visualmente se observa que en presencia de ATSA cerca a la costa no se efectúa capturas de pota (Figura 15)

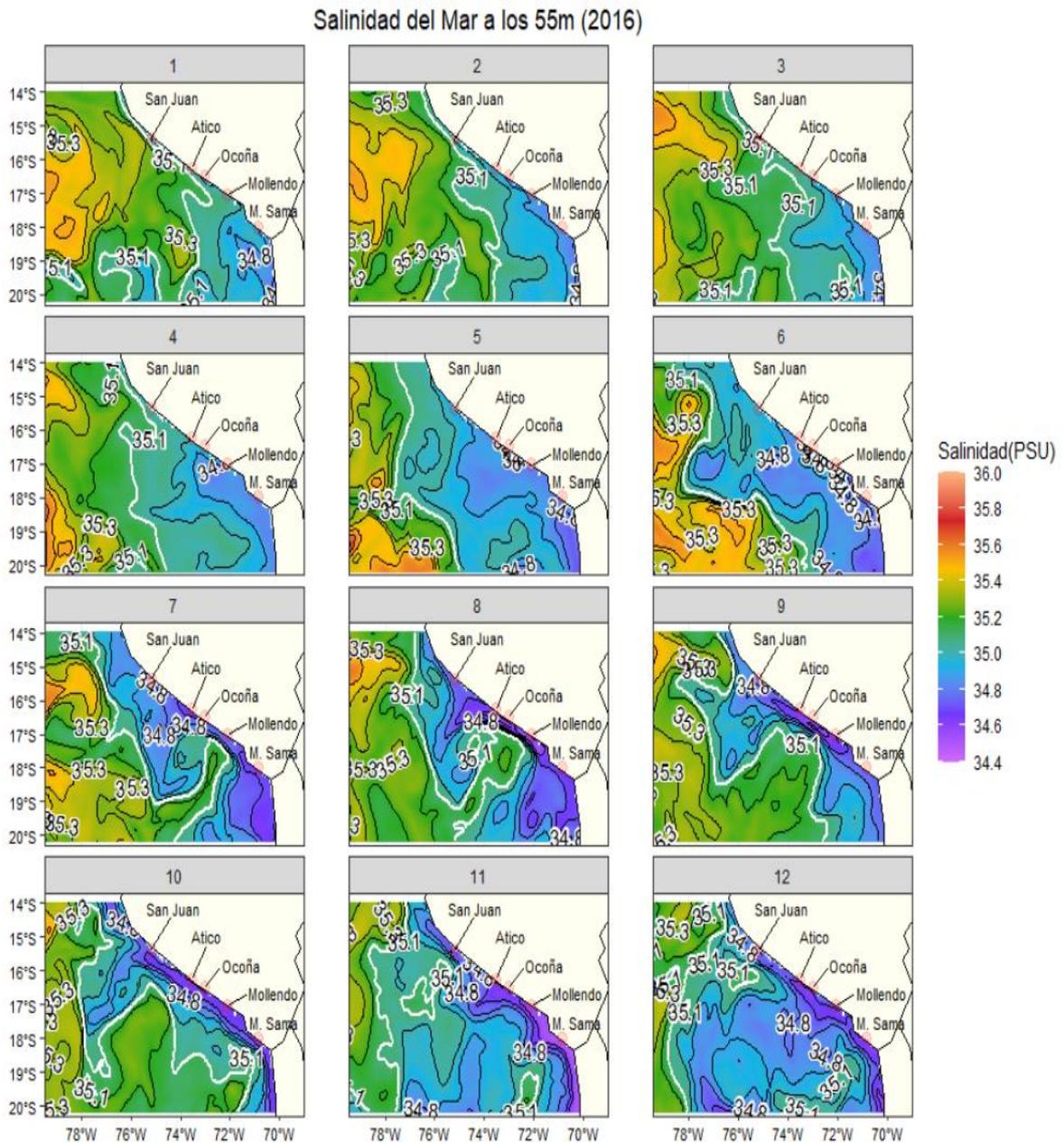


Figura 21. Promedio mensual de Salinidad del Mar (PSU) a los 55m durante el año 2016 en el sur del Perú. La línea marcada de blanco representa la isohalina de 35.1 PSU

Durante el año 2017 (figura 22) se observa mayor presencia de ACF en la zona sur del Perú. De enero a marzo se observa las ASS replegadas fuera de la costa, no obstante, hubo

presencia de regulares CPUE pota entre los 15-18°S (Figura 16), este patrón resulta contrario a lo encontrado para el año 2016. A partir de Julio a septiembre se observa mayor entrada de las ASS coincidiendo con la presencia de capturas de pota a lo largo del sur del Perú, luego desde octubre se observa el repliegue de ASS fuera de la costa coincidiendo con capturas en zonas oceánicas (Figura 16)

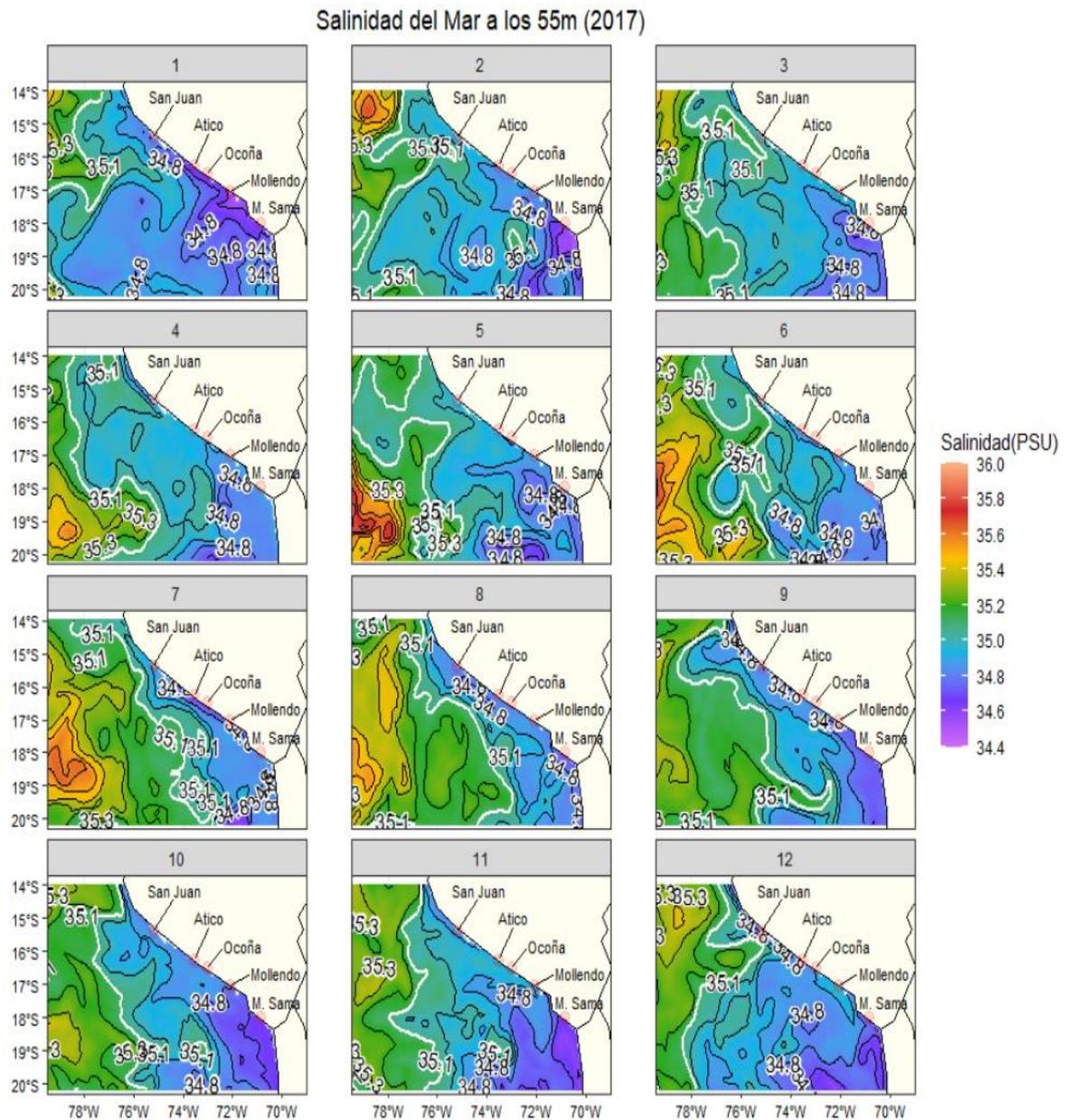


Figura 22. Promedio mensual de Salinidad del Mar (PSU) a los 55m durante el año 2017 en el sur del Perú. La línea marcada de blanco representa la isohalina de 35.1 PSU

4.6 Estandarización y promedios estacionales de las variables oceanográficas y CPUE de pota

Se estandarizó las variables oceanográficas y CPUE de pota por medio de grillas con una resolución de 0.25°, luego se realizó un promedio estacional de las grillas según el tipo de flota. La tabla 4 muestra la cantidad de datos de grillas promedio por estación.

Tabla 4. Numero de datos o grillas promedio según estaciones del año según tipo de flota durante el periodo 2015-2017 en el área sur del Perú

Estación	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Tipo I	983	758	897	812
Tipo II	487	258	503	408

4.7 Relación entre variables oceanográficas-espaciales y las CPUE promedio de pota usando Modelos Aditivos Generalizados (GAM)

El output del Análisis GAM se muestra en la figura 23, se logra observar que las variable Salinidad a 55m y la distancia a la costa presenta una relación altamente significativa con la CPUE, le siguen Temperatura a 55m, la Latitud y Clorofila A. En base a los p-value, la variable que mejor explica las CPUE de pota es la salinidad a 55m.

El Análisis GAM daría la siguiente formula:

$$CPUE = s(Sal_{55m}) + s(Temp_{55m}) + s(D.a\ la\ costa) + s(Clorofila) + latitud$$

Donde “s” es una función de suavizado, la variable latitud no presenta función de suavizado ya que sus grados de libertad estimados (edf) fueron igual a 1. Este modelo presenta un coeficiente de determinación igual a 0.409, lo cual indica que explica el 40.9% de la variación de las CPUE de pota.

La figura 24 muestra los GAM de las variables oceanográficas y las funciones de suavizado que forman en relación a las CPUE de pota. Destaca la relación positiva presentada por la salinidad a 55m con las CPUE de pota entre los intervalos de 34.9 a 35.2 PSU, mientras que, con respecto a la temperatura a 55m, se presenta mayores valores de CPUE a temperaturas

mayores a 18°C. Por otro lado, el GAM de la latitud muestra que mayores valores de CPUE se encuentran al norte de los 17°S.

```

Family: gaussian
Link function: identity

Formula:
CPUE ~ s(Sal_55m) + s(Temp_55m) + s(Sal) + s(Temp) + s(Latitud) +
      s(chlorophyll) + s(dcosta) + s(Current_55m) + s(Current) +
      s(SSH)

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6.3896      0.1387   46.08  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df    F    p-value
s(Sal_55m)    5.695  6.885  4.261 0.000155 ***
s(Temp_55m)   4.030  5.104  3.291 0.006447 **
s(Sal)         1.000  1.000  0.030 0.862005
s(Temp)        2.138  2.731  1.332 0.270200
s(Latitud)     1.000  1.000 10.156 0.001596 **
s(chlorophyll) 3.103  3.864  2.604 0.044606 *
s(dcosta)      3.427  4.290  4.978 0.000535 ***
s(Current_55m) 3.267  4.111  1.860 0.116508
s(Current)     1.000  1.001  1.174 0.279555
s(SSH)         1.007  1.014  0.515 0.472195
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.409  Deviance explained = 45.9%
-REML = 721.27  Scale est. = 5.864      n = 305

```

Figura 23. Output Análisis GAM de los datos oceanográficos y pesqueros.

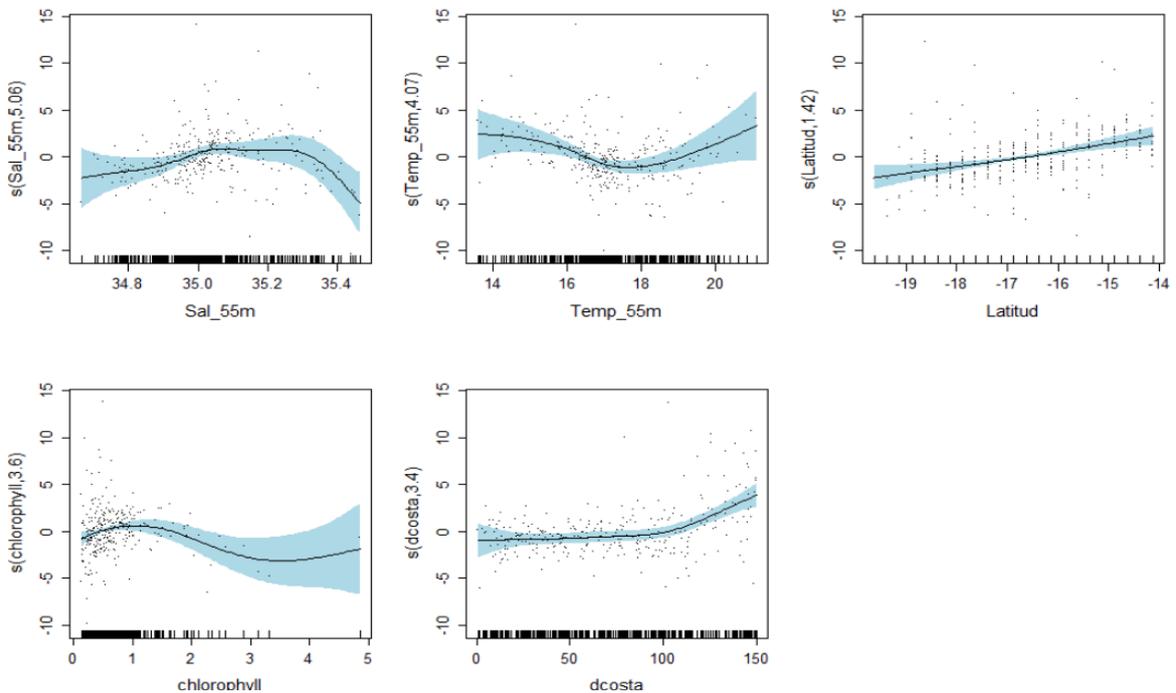


Figura 24. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) de las variables oceanográficas y espaciales en relación a las CPUE (t/viaje) de pota

Debido a que los modelos GAM no poseen una forma explícita que pueda ser escrita de manera práctica en una ecuación, se decidió elaborar un modelo de regresión lineal múltiple por motivos de reproducibilidad obteniéndose la siguiente ecuación:

$$CPUE = 4.291 * Salinidad_{55m} - 0.85 * Temp_{55m} + 1.07 * Latitud - 0.40 * Clorofila + 0.02 * Distancia a la costa$$

La salida estadística de este modelo de regresión lineal múltiple se muestra en el Anexo 21.

4.8 Análisis de Componentes Principales (PCA)

Se efectuó el PCA de los promedios estacionales de las variables oceanográficas estandarizadas, tomando solo en cuenta los componentes principales (PCs) que tuvieron eigenvalues mayores a 1, para posteriormente hacer pruebas de correlación de Spearman entre los PCs y los promedios estacionales de CPUE de pota. Los resultados de estas pruebas se observan en la tabla 5, mientras que las salidas de los test estadísticos se encuentran en el anexo 5 al 20.

En la tabla 5 se puede observar que todas las estaciones a excepción de otoño, presentan una componente principal altamente significativa con la CPUE de pota. Según tipo de flota, el tipo de Flota I presenta relaciones altamente significativas para su PC2 en las estaciones de verano, otoño e invierno, mientras que el tipo de Flota II presenta para su PC1 solo para la estación de invierno.

Tabla 5. Resultados de prueba de correlación de Spearman entre PCs estacionales con eigenvalue mayor a 1 y CPUE estacional de pota. NS: no significativo, *: significativo, **: altamente significativo; rho: coeficiente de correlación de Spearman

Tipo de Flota	Verano				Otoño				Invierno				Primavera			
	PC1		PC2		PC1		PC2		PC1		PC2		PC1		PC2	
	p	rho	p	rho	p	rho	p	rho	p	rho	p	rho	p	rho	p	rho
I	NS	0.03	**	0.31	NS	0.17	NS	0.08	NS	0.1	**	0.43	*	0.15	**	-0.43
II	NS	0.17	NS	0.08	NS	0.04	NS	0.05	**	-0.34	NS	0.04	NS	-0.11	*	-0.19

4.9 Patrones oceanográficos y su relación con las CPUE estacional de *Dosidicus gigas*

Se procede a analizar los componentes principales(PCs) según estación que presentaron correlación altamente significativa con las CPUE estacional de pota. Se analizó el patrón o modo oceanográfico que representa estos componentes principales.

4.9.1 Verano

La figura 25 muestra el biplot obtenido del PCA para el tipo de flota I para la estación de verano, se logra observar que el PC1 explica el 36.2% de la variación de los datos, mientras que el PC2 un 18.1%. El PC2 fue el que mostro correlación altamente significativa de manera directamente proporcional (signo positivo del coeficiente de correlación) con las CPUE estacional de pota (Tabla 5); es decir; mayores efectos del PC2 producen mayores CPUE de pota.

Con respecto a los loadings, en el lado derecho de la figura 25 se logra observar que para el PC2 el loading más significativo y que lo caracteriza es salinidad a 55m; les sigue temperatura a 55m y temperatura en la superficie con signo negativo; es decir; indirectamente proporcional al PC2. Esto se interpreta como que PC2 es un modo oceanográfico que se caracteriza por tener altos valores de salinidad y temperatura a nivel subsuperficial (55m) y valores bajos de temperatura a nivel superficial (debido al signo negativo del loading). En el mar peruano una combinación de este tipo correspondería a aguas de mezcla de ACF y ASS; yaciendo las primeras a nivel superficiales y las segundas a niveles subsuperficiales. Esto se confirma en la figura 26, donde se logra observar que en la zona entre San Juan y Ocoña presenta salinidades promedio superficiales durante el verano menores a 35.1PSU, mientras que a nivel subsuperficial(55m) las salinidades son mayores a 35.2PSU.

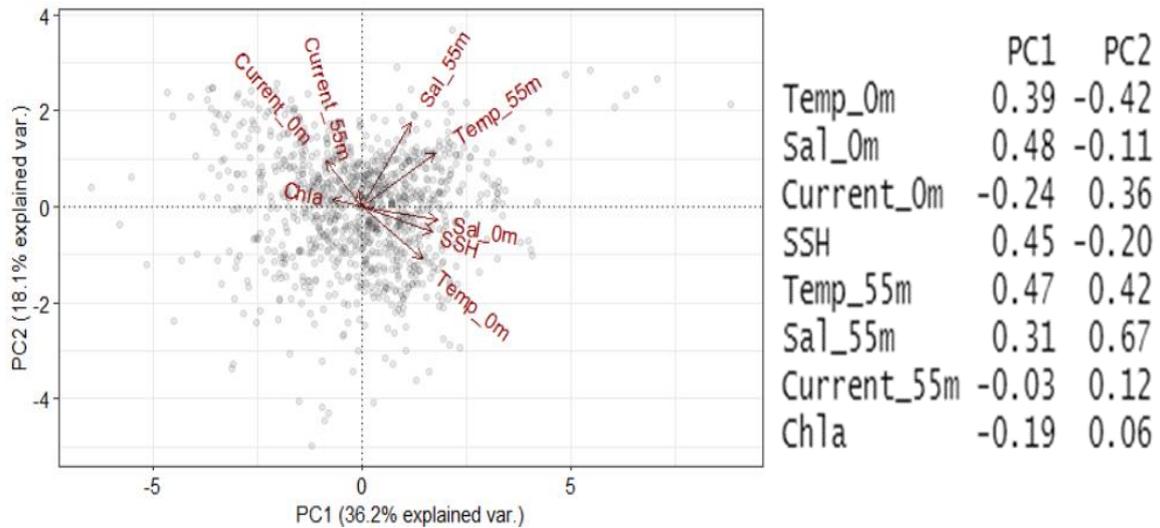


Figura 25. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota I en la estación de verano. Temp_0m: Temperatura Superficial del Mar, Sal_0m: Salinidad Superficial del Mar, Current_0m: Velocidad de Corriente Superficial, SSH: Altura de nivel del mar, Temp55m: Temperatura del Mar a 55m, Sal_55m: Salinidad del Mar a 55m, Current_55m: Velocidad de Corriente a 55m, chla: Clorofila a.

El modo o patrón oceanográfico de aguas de mezcla de ACF y ASS a nivel subsuperficial produce mayores CPUE promedio de pota en el sur del Perú. Asimismo, la influencia de las ASS es mayor que la mezcla en sí, lo cual se muestra en la figura 27 el cual es un gráfico de dispersión de la CPUE promedio verano de pota y el PC2 (modo aguas de mezcla) , donde se muestra la tendencia de aumentar las CPUE promedio de pota a medida que aumenta los valores del PC2 y donde se observa mayor predominancia de puntos rojos, es decir, a medida que hay una mayor entrada de ASS a nivel subsuperficial y por consiguiente mayores valores de salinidad, las CPUE de pota aumentaran.

Los resultados encontrados coinciden con el estudio de Flores et al (2016) sobre las altas concentraciones de pota asociadas a las aguas de mezcla y al frente oceánico entre ASS y ACF, aunque cabe señalar que ellos solo mencionan las condiciones superficiales; el utilizar datos a niveles subsuperficiales muestra que el grado de relación es mayor y de una mayor influencia de las ASS; las cuales en verano pueden ingresar hasta niveles subsuperficiales cerca a la costa en el sur del Perú.

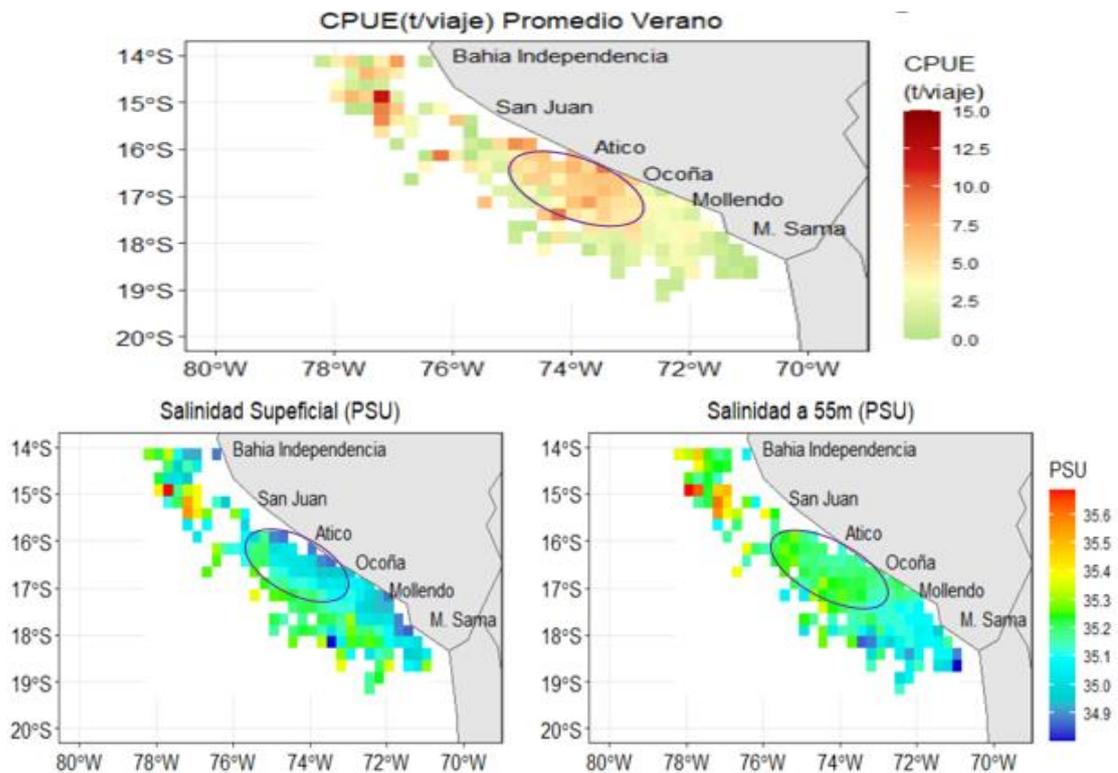


Figura 26. CPUE(t/viaje) verano promedio de pota (arriba) para el tipo de flota I y salinidad promedio verano superficial y a 55m (abajo) en el sur del Perú. En círculos se muestra la zona que presenta mayor coincidencia de la relación directamente proporcional entre las variables.

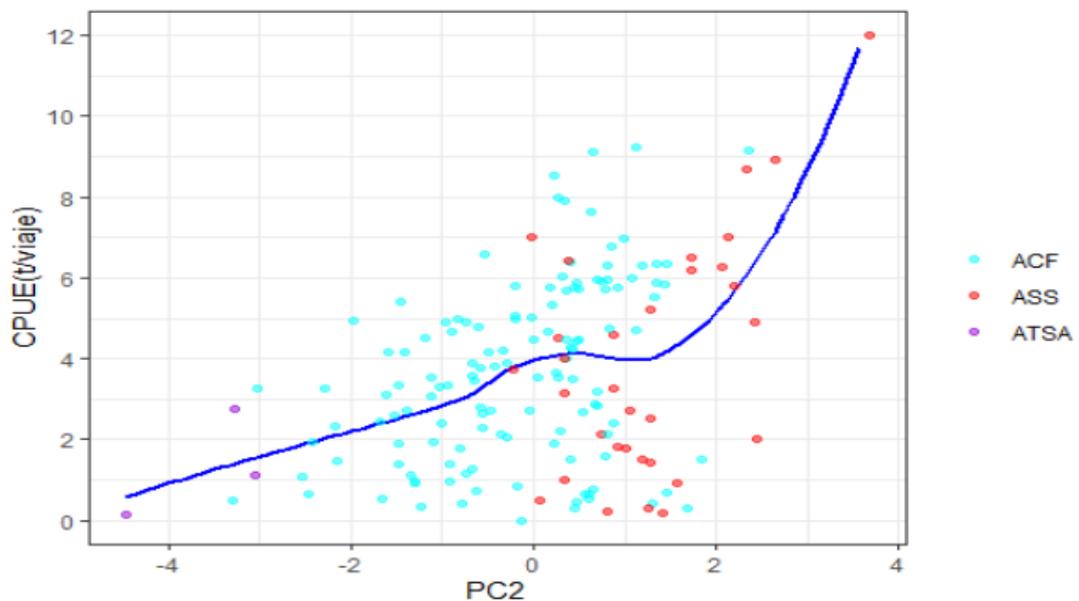


Figura 27. Relación entre la CPUE (t/viaje) promedio verano de pota y el PC2. ACF: Aguas Costeras Frías; ASS: Aguas Subtropicales Superficiales; la línea azul es una función de suavizado que muestra la tendencia promedio. La clasificación en ACF y ASS se realizó utilizando datos de temperatura y salinidad promedio a 55m según los rangos y valores dados por Zuta y Guillen (1970)

4.9.2 Otoño

En el caso de otoño ningún de los dos componentes principales (PC1 y PC2) mostro una relación significativa con las CPUE promedio de pota. Analizando los componentes principales (Figura 28), se encuentra que el PC1 explica el 44.8% de la variación de los datos, lo cual es casi la mitad de la variación de los datos, mientras que el PC2 solamente un 13.6%.

Al analizar el PC1, se observa que presenta loading significativos para temperatura y salinidad en la superficie y en los 55m, así como SSH, los cuales presentan signan positivo. Al representar gráficamente el PC1 y el CPUE (Figura 29), se aprecia que no hay una tendencia o relación entre sus datos. Asimismo, los valores de CPUE tampoco presenta una relación clara en relación a las masas de agua presente en la zona de pesca.

Por otro lado, el PC2 el cual presenta loading significativo para velocidad de corriente en la superficie y altamente significativo para la velocidad de corriente a 55m (Figura 28), el primero con símbolo negativo, mientras que el segundo con símbolo negativo, lo cual claramente indica que sus variaciones siguen direcciones opuestas, es decir, en ciertas zonas de pesca de pota cuando la velocidad de corriente en la superficie tiende a aumentar, también tiende a decrecer al nivel de 55m de profundidad. No Obstante, este patrón tampoco presenta una relación significativa con las CPUE de pota durante la estación de otoño.

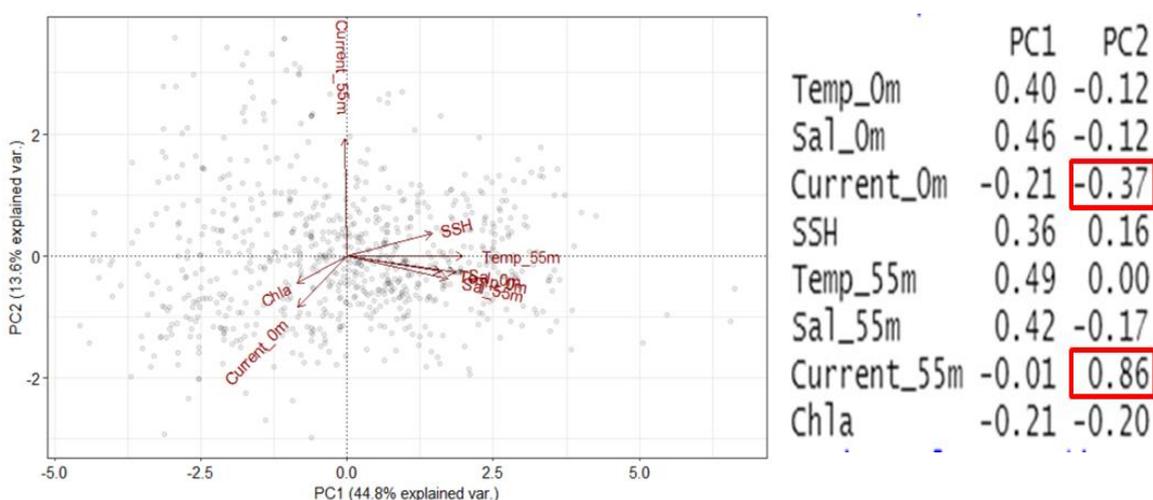


Figura 28. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota I en la estación de otoño. Temp_0m: Temperatura Superficial del Mar, Sal_0m: Salinidad Superficial del Mar, Current_0m:

Velocidad de Corriente Superficial, SSH: Altura de nivel del mar, Temp55m: Temperatura del Mar a 55m, Sal_55m: Salinidad del Mar a 55m, Current_55m: Velocidad de Corriente a 55m, chla: Clorofila a

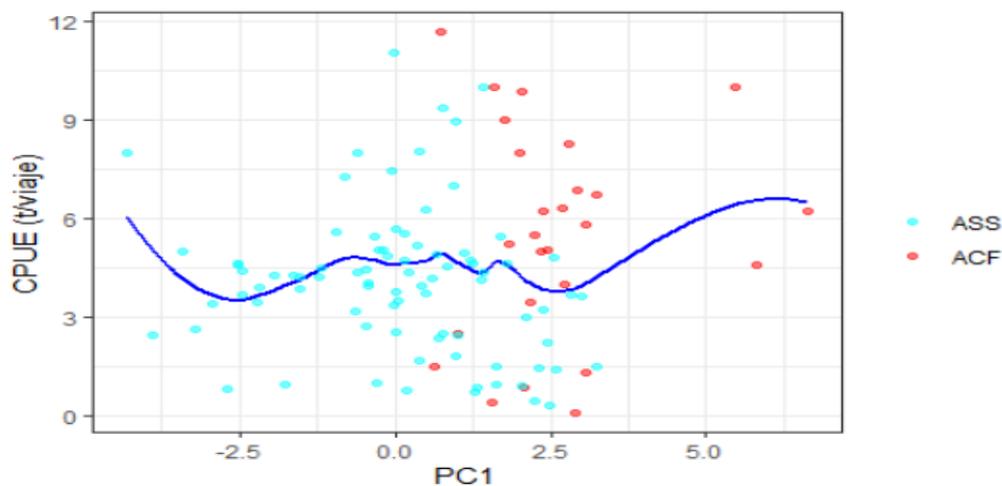


Figura 29. Relación entre la CPUE (t/viaje) promedio de pota en otoño y el PC1. ACF: Aguas Costeras Frías; ASS: Aguas Subtropicales Superficiales; la línea azul es una función de suavizado que muestra la tendencia promedio. La clasificación en ACF y ASS se realizó utilizando datos de temperatura y salinidad promedio a 55m según los rangos y valores dados por Zuta y Guillen (1970)

Cassani (2023) al analizar la relación entre la Corriente Cromwell (EUC) y las CPUE de *Dosidicus gigas* en el periodo 2015-2017 en la zona norte y centro del Perú, encuentra que durante los periodos de tiempo en los cuales la EUC es más intensa, se alcanzan las mayores CPUE de pota. Estos periodos de tiempo corresponden a los meses de abril a junio, los cuales corresponden a la estación de otoño. Asimismo, Valles et al (2013) encuentra que en la estación de otoño se dan las mayores CPUE para los años 1999-2000 en los intervalos de latitud de 3-16°S. Los resultados de estos autores mencionados difieren a lo encontrado en este estudio en el sur del Perú donde en la estación de otoño se presentan las menores CPUE de pota.

Una conjetura a los resultados encontrados y tomando en cuenta los estudios previamente mencionados, serian migraciones latitudinales de *Dosidicus gigas* hacia las zonas norte y centro en la estación otoño. No obstante, el determinar eso escapa al alcance y los datos de este estudio. Asimismo, cabe destacar que parte de la flota potera de menor escala se dedica a otras pesquerías como perico y volador.

4.9.3 Invierno

Para invierno, los dos tipos de flota mostraron correlaciones significativas. El tipo de flota I mostro correlación directa altamente significativa para el PC2, mientras que el tipo de flota II mostro correlación inversa significativa para el PC1.

En la figura 30 se muestra los biplots y loadings para el tipo de flota I, se logra observar que el PC2 muestra un loading alto (0.75) para velocidad de corriente a 55m, y en menor medida a velocidad de corriente superficial; es decir; en invierno cuando la velocidad de corriente se incrementa en la superficie y subsuperficie (55m) se obtuvieron mayores CPUE de pota. Esto se observa en la figura 32, donde se aprecia que los mayores valores de velocidad de corriente entre Atico y Ocoña coinciden con altas CPUE de pota en invierno. Esta tendencia de aumentar las CPUE de pota conforme aumenta la velocidad de corriente se aprecia mejor en la figura 31 donde se representa en un gráfico de dispersión los valores de velocidad de corriente a 55m y CPUE de pota durante invierno, la línea azul es una función de suavizado que muestra la tendencia promedio. Este patrón o modo oceanográfico representado por el PC2 se llamará “Zona de Corriente Intensa”.

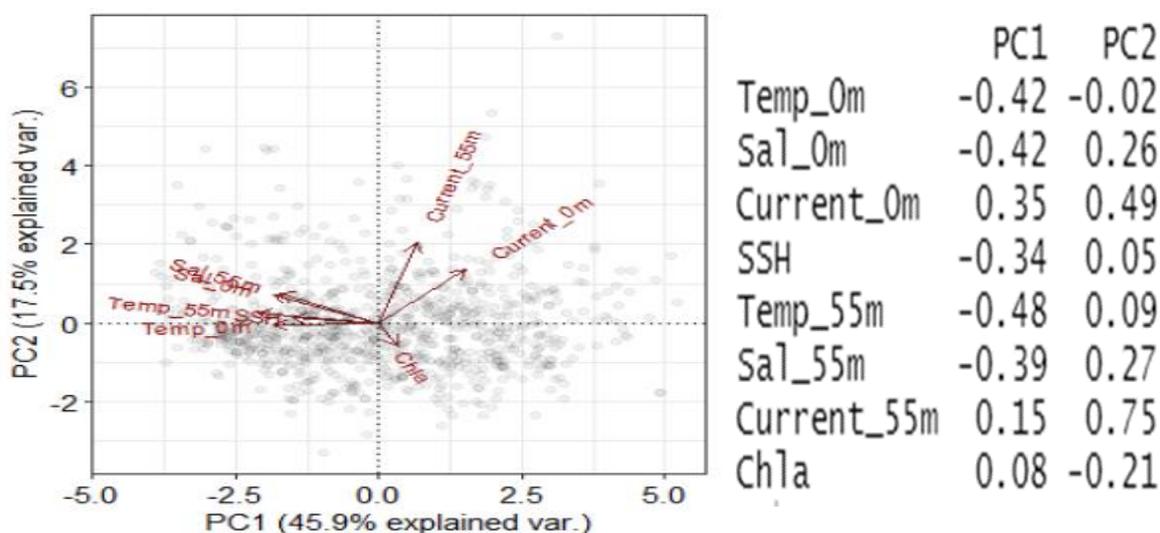


Figura 30. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota I en la estación de invierno. Temp_0m: Temperatura Superficial del Mar, Sal_0m: Salinidad Superficial del Mar, Current_0m: Velocidad de Corriente Superficial, SSH: Altura de nivel del mar, Temp55m: Temperatura del Mar a 55m, Sal_55m: Salinidad del Mar a 55m, Current_55m: Velocidad de Corriente a 55m, chla: Clorofila a

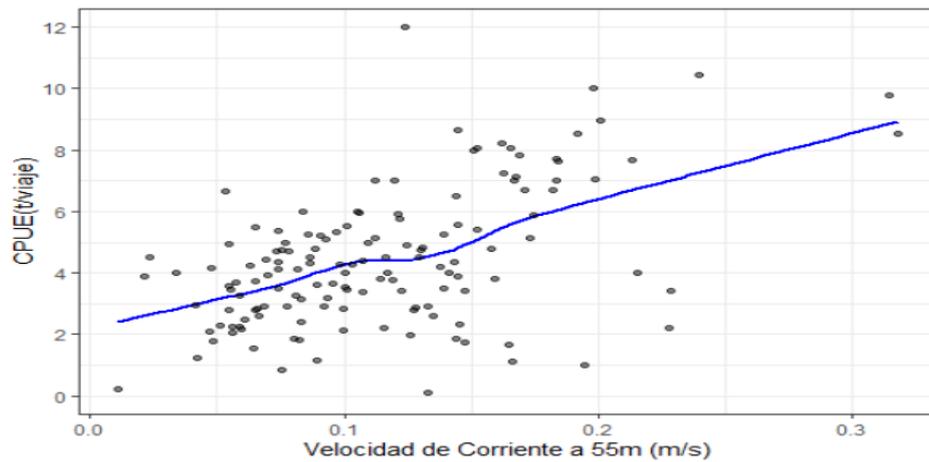


Figura 31. Relación entre los valores de velocidad de corriente (m/s) a 55m y CPUE (t/viaje) promedio de pota durante invierno, la línea azul es una función de suavizado que muestra la tendencia promedio entre la CPUE(t/viaje) y la velocidad de corriente a 55m (m/s)

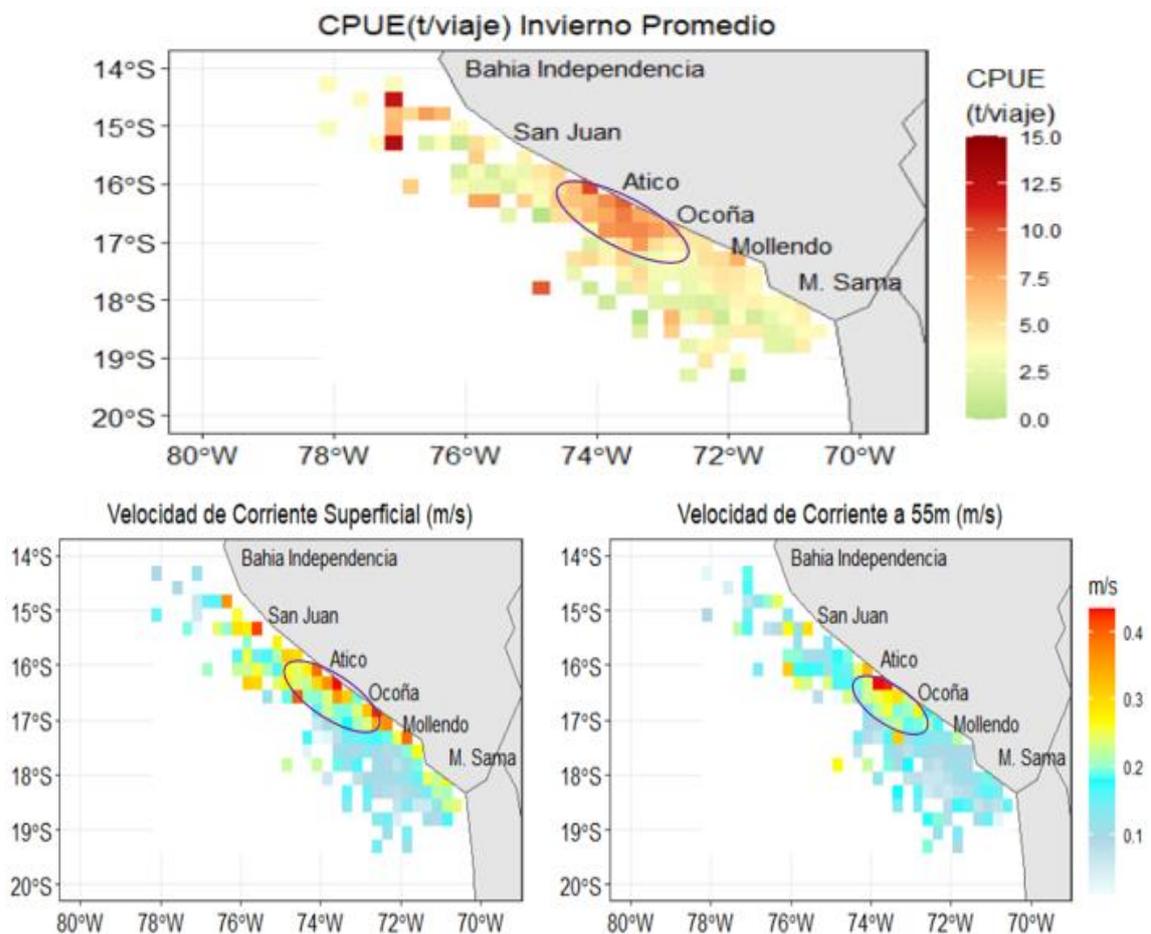


Figura 32. CPUE(t/viaje) invierno promedio de pota (arriba) para el tipo de flota I y velocidad de corriente promedio invernal superficial y a 55m (abajo) en el sur del Perú. En círculos se muestra la zona que presenta mayor coincidencia de la relación directamente proporcional entre las variables.

La relación entre velocidad de corriente y CPUE de *Dosidicus gigas* ha sido estudiado de manera indirecta, en la cual la velocidad de corriente es utilizada como parámetro para la detección de remolinos o eddies (Fang et al 2021), donde estos tienden a producir surgencia de aguas ricas en nutrientes que aumentan la producción de organismos presa del calamar gigante. Asimismo, en estudio de velocidad de corriente y otros calamares, los valores mayores de velocidad de corriente cerca a los centros de los remolinos produce los mayores valores en índices de idoneidad de hábitat (Igarashi et al 2017). Por consiguiente, este patrón de corriente intensa estaría asociado a eventos de surgencia que son de mayor frecuencia y magnitud en invierno (Manay et al 2021)

Para el tipo de flota II que mostro correlación inversa altamente significativa para su PC1, su biplot y loading se muestra en la figura 33. Se observa que muestra loadings significativo para temperatura y salinidad en la superficie como en los 55m, así como velocidad de corriente superficial, los cuales tienen el mismo signo (negativo), esto indica, que estos parámetros comparten la misma dirección en su variación. Una mejor interpretación de esto se observa en la figura 34 donde se muestra los valores de temperatura y salinidad promedio invernal en la superficie y en los 55m, se aprecia la tendencia promedio (línea azul) de relación directa entre la temperatura y salinidad para ambos niveles, es decir, la variación se mueve en la misma dirección por lo cual los loading del PC1 tienen el mismo signo. Asimismo, se logra observar una mayor predominancia de las ACF sobre las ASS en las zonas de los registros de pesca durante invierno, siendo mayor la predominancia a 55m. Esto coincide con lo señalado por Grados et al (2018) para la estación de invierno donde las aguas de la Corriente Humboldt (ACF) alcanzan mayor amplitud y repliegan fuera de la costa a las ASS. El modo o patrón oceanográfico representado por el PC1 es de “ACF predominantes” a nivel superficial como subsuperficial, lo cual tiende a producir en promedio menores CPUE de pota.

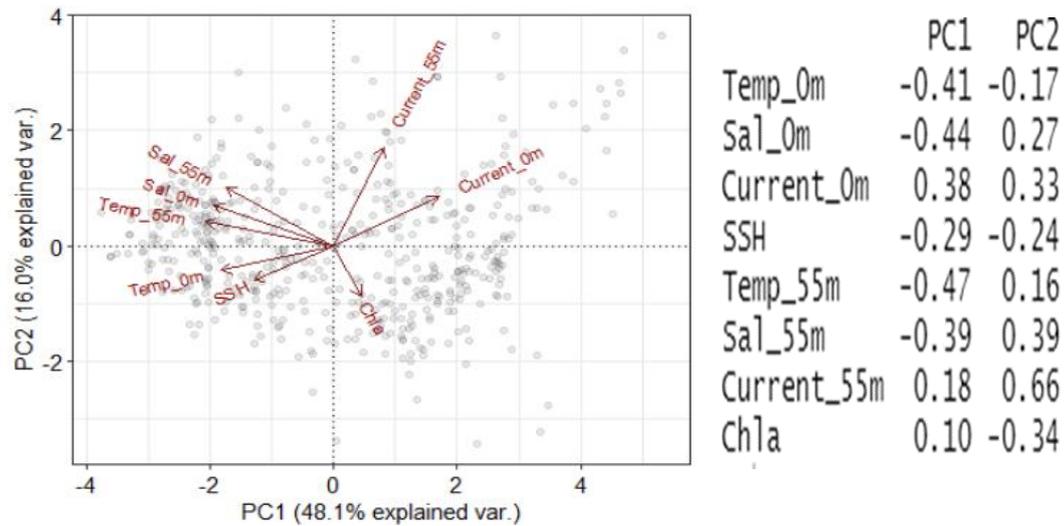


Figura 33. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota II en la estación de invierno. Temp_0m: Temperatura Superficial del Mar, Sal_0m: Salinidad Superficial del Mar, Current_0m: Velocidad de Corriente Superficial, SSH: Altura de nivel del mar, Temp55m: Temperatura del Mar a 55m, Sal_55m: Salinidad del Mar a 55m, Current_55m: Velocidad de Corriente a 55m, chl_a: Clorofila a

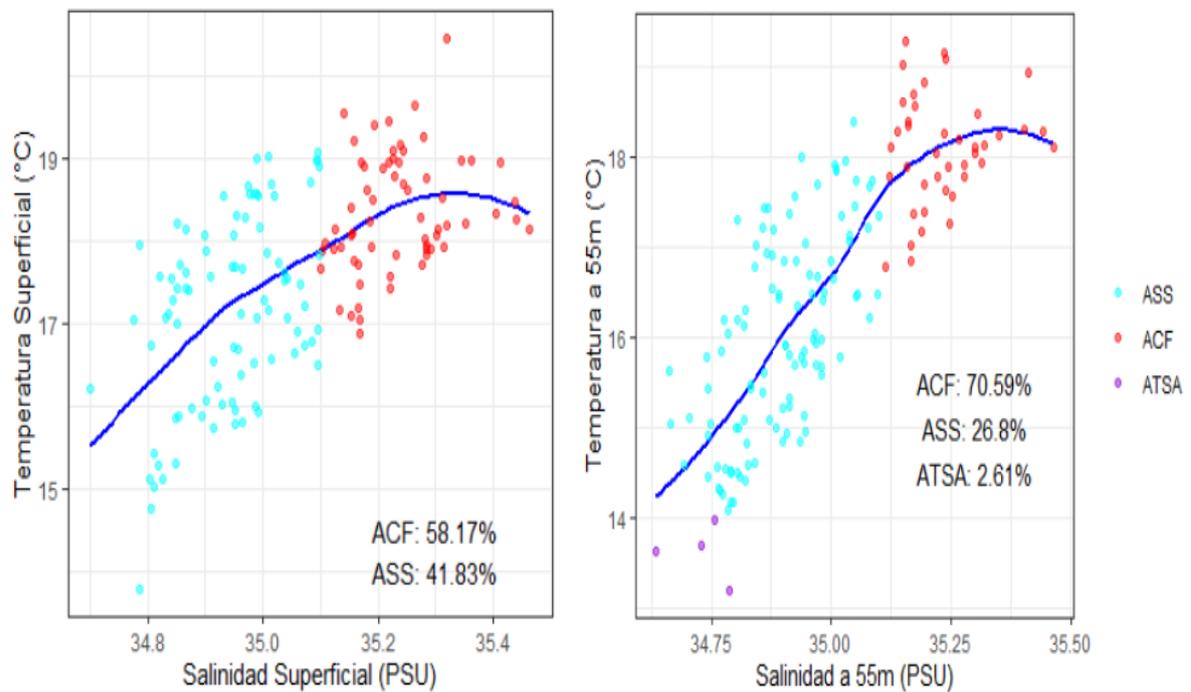


Figura 34. Relación entre la temperatura (°C) y salinidad (PSU) promedio invernal en la superficie (izquierda) y a 55m (derecha) en las zonas de pesca del tipo de flota II. ACF: Aguas Costeras Frías; ASS: Aguas Subtropicales Superficiales; ATSA: Aguas Templadas de la Subantártica; la línea azul es una función de suavizado que muestra la tendencia promedio entre las variables.

La figura 35 muestra los valores de CPUE promedio invernal y los del PC1 (modo ACF predominantes) para el tipo de flota II, se observa una ligera tendencia a menores CPUE de pota cuando las condiciones oceanográficas son de predominancia de ACF, es decir, cuando los valores del PC1 aumentan. Asimismo, también se observa una ligera presencia de ATSA. Visualmente se confirma lo mostrado por la prueba de correlación de Spearman (tabla 5), donde el PC1 muestra una relación inversa con las CPUE de pota; es decir; a mayores condiciones oceanográficas representadas por el PC1 (modo ACF predominantes) menores CPUE de pota.

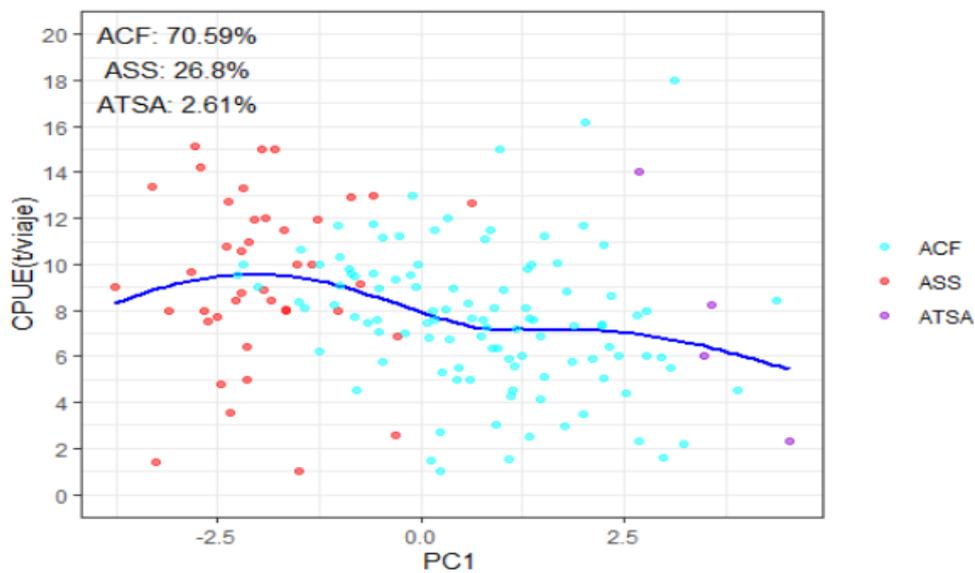


Figura 35. Relación entre la CPUE (t/viaje) promedio invernal en la superficie y PC1 del tipo de flota II. ACF: Aguas Costeras Frías; ASS: Aguas Subtropicales Superficiales; ATSA: Aguas Templadas de la Subantártica; la línea azul es una función de suavizado que muestra la tendencia promedio entre el PC1(modo ACF predominantes) y CPUE(t/viaje) de pota. La clasificación en ACF, ASS, ATSA se realizó utilizando datos de temperatura y salinidad promedio a 55m según los rangos y valores dados por Zuta y Guillen (1970)

4.9.4 Primavera

La figura 36 muestra el biplot obtenido del PCA para el tipo de flota I para la estación de verano, se logra observar que el PC1 explica el 42.3% de la variación de los datos, mientras que el PC2 un 19.8%. El PC2 fue el que mostro correlación inversa altamente significativa (signo negativo del coeficiente de correlación) con las CPUE estacional de pota (tabla 5); es decir; mayores efectos del PC2 producen menores CPUE de pota. Los loadings significativos

para el PC2 son velocidad de corriente superficial y a 55m y en menor medida altura del nivel del mar (SSH); estas variables presentan signos negativos en los loadings; es decir, su relación con el PC2 es inversa. Este patrón o modo oceanográfico se llamará “Zona Calma” la cual sería el patrón opuesto al encontrado en invierno

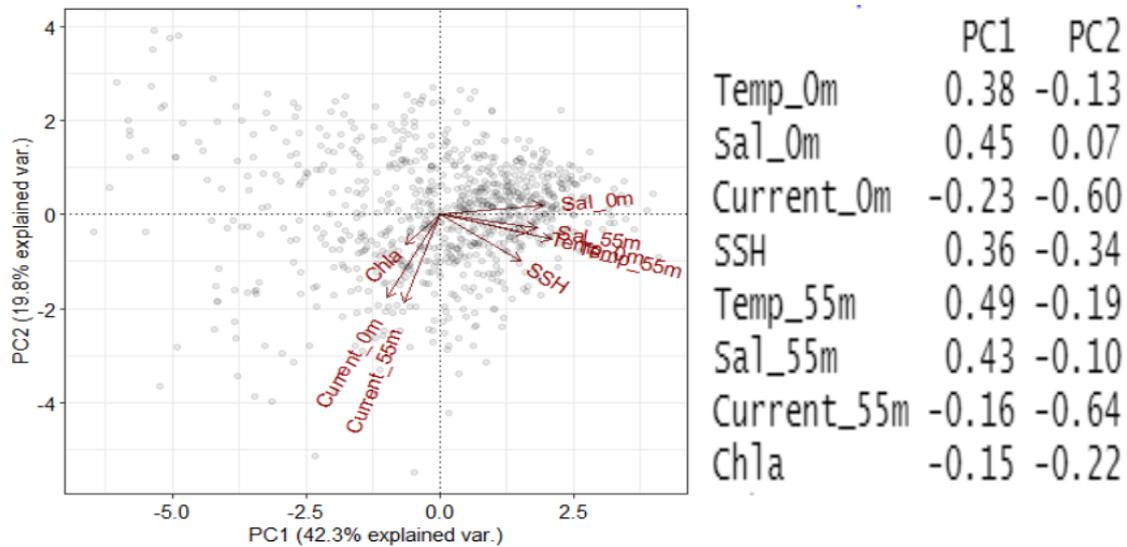


Figura 36. Biplot(izquierda) y Loadings(derecha) del PCA efectuado para el tipo de flota I en la estación de invierno. Temp_0m: Temperatura Superficial del Mar, Sal_0m: Salinidad Superficial del Mar, Current_0m: Velocidad de Corriente Superficial, SSH: Altura de nivel del mar, Temp55m: Temperatura del Mar a 55m, Sal_55m: Salinidad del Mar a 55m, Current_55m: Velocidad de Corriente a 55m, chla: Clorofila a

En la Figura 37 se muestra la relación entre el PC2 (modo Zona Calma) y la CPUE promedio primaveral de pota, se logra observar que a partir de valores positivos del PC2 las CPUE empiezan a decrecer; debido a que la relación del PC2 con sus loading es inversa significaría que esto ocurre cuando la velocidad de corriente superficial y a 55m y SSH tienden a valores bajos. Asimismo, se puede dar el caso contrario donde mayores valores de velocidad de corriente y ssh producen mayores CPUE en promedio debido a la relación inversa del PC2 y sus loadings significativos. La figura 38 muestra las CPUE promedio primaveral y las velocidades de corriente promedio primaveral en el sur del Perú, se logra observar dos zonas de coincidencias del patrón representado por el PC2 (modo Zona Calma), una entre Mollendo y Morro Sama donde las bajas CPUE de pota coinciden con las bajas velocidades de corriente, la otra es frente a Bahía Independencia donde mayores CPUE de pota coinciden parcialmente con mayores velocidades de corriente.

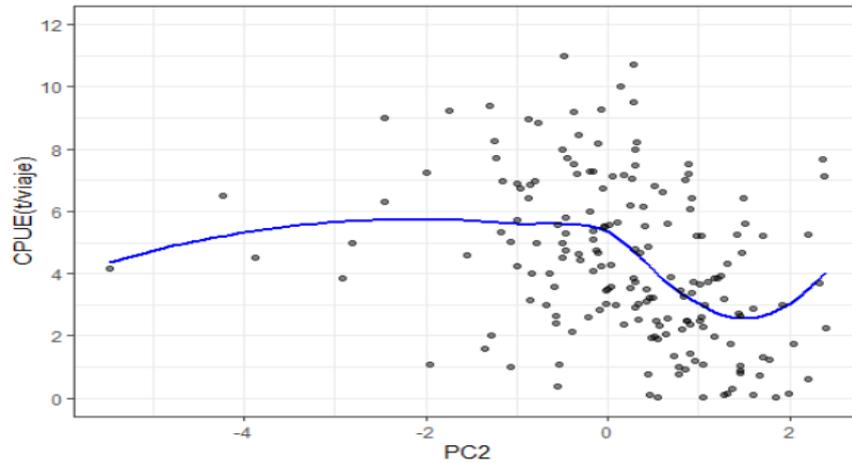


Figura 37. Relación entre la CPUE (t/viaje) promedio primaveral de pota y el PC2 (modo Zona Calma) para el tipo de flota I. La línea azul es una función de suavizado que muestra la tendencia promedio entre las variables.

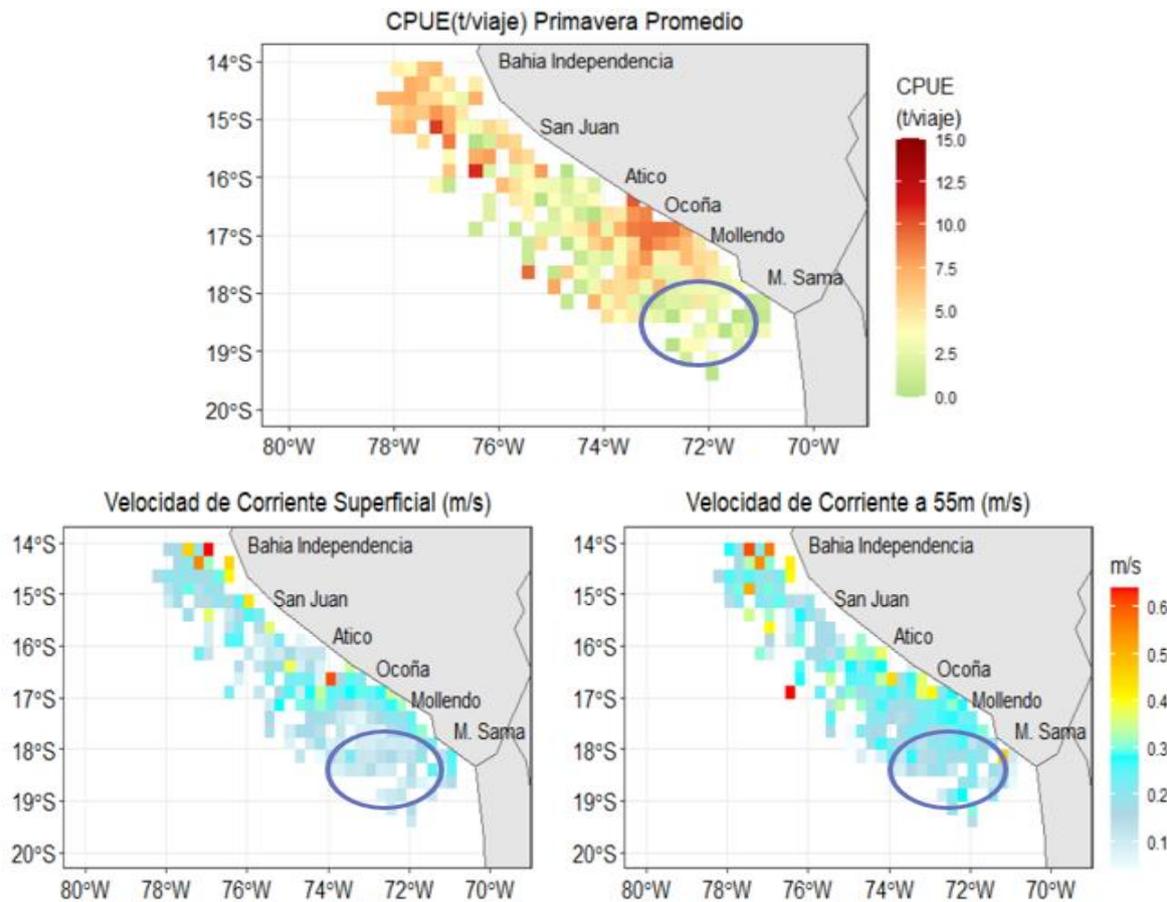


Figura 38. CPUE(t/viaje) primaveral promedio de pota (arriba) para el tipo de flota I y velocidad de corriente (m/s) promedio primaveral superficial y a 55m (abajo) en el sur del Perú. En círculos se muestra la zona que presenta mayor coincidencia de la relación entre las variables.

Este modo o patrón oceanográfico encontrado en primavera es el opuesto al encontrado en invierno, donde los altos valores de velocidad de corriente superficial y a 55m producen mayores CPUE de pota. En el caso de primavera el PC2 (modo Zona Calma) capta mayormente los decrementos de CPUE y los cuales estarían asociados a bajas velocidades de corriente y SSH. Esto se puede observar en la figura 31, donde la mayor cantidad de puntos se encuentran en el área donde refleja la tendencia a decrecer las CPUE. La principal diferencia entre estas 2 estaciones corresponde a que en invierno los valores de velocidad de corriente suelen ser mayores producto de los vientos, asimismo, los afloramientos son intensos en invierno (Manay et al, 2021), y luego tiende a decaer en primavera.

Comparando los resultados obtenidos por el Análisis GAM (Figura 23 y 24) con el análisis estacional por medio del PCA, destaca la poca relevancia por parte de la variable clorofila A cuando se analiza estacionalmente, a comparación de cuando se analizó por medio de promedios durante todo el periodo de estudio. Esto fue debido a que presento muy bajos loadings en los resultados de los análisis de componentes principales ejecutados de manera estacional. Estos resultados indican que la variable clorofila A no se interrelaciono ni formo patrones oceanográficos con las demás variables oceanográficas durante el periodo de estudio en el sur del Perú.

V. CONCLUSIONES

- Las capturas de *Dosidicus gigas* en promedio tienden a ser más oceánicas (con respecto a la distancia a la costa) en las estaciones de primavera, la cual también presenta mayores CPUE en promedio.
- El Análisis por medio de modelos GAM, muestra que las variables salinidad a 55m, distancia a la costa, temperatura a 55m, latitud y en menor medida clorofila explican mejor las variaciones de CPUE de pota en el sur del Perú. Destaca la salinidad a 55m, al ser la variable que mejor explica las CPUE de pota y su relación positiva entre los intervalos de 34.9 a 35.2 PSU.
- El Análisis de Componentes Principales mostro la presencia de patrones oceanográficos que presentaron relaciones altamente significativas en las estaciones de verano, primavera e invierno.

VI. RECOMENDACIONES

- Estudiar la relación de las variables oceanográficas a distintos niveles de profundidad y las CPUE de *Dosidicus gigas* en el Sur del Perú
- Estudiar el efecto de los remolinos o eddies y su relación con las CPUE de *Dosidicus gigas* en el área sur del Perú.
- Estudiar la relación de los eventos ENSO en las variaciones de las CPUE de pota en el sur del Perú
- Utilizar una unidad de esfuerzo más adecuadas para el cálculo de las CPUE como las horas por hombre.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alegre, A. (2015). Trophic ecology of jumbo squid and predatory fishes in the Northern Humboldt Current System. Other [Tesis Doctoral Université Montpellier]
- Alegre A. (2011). Relaciones ontogénicas y espacio-temporales en la dieta del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Perú, utilizando un Modelo Aditivo Generalizado. [Tesis Maestría, UNALM]
- Argüelles, J., Tafur, R., Taípe, A., Villegas, P., Keyl, F., Domínguez, N., & Salazar, M. (2008). Size increment of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* mature females in Peruvian waters, 1989–2004. *Progress in Oceanography*, 79(2-4), 308–312. doi:10.1016/j.pocean.2008.10.003
- Artana, C, Ferrari, R, Bricaud, C, Lellouche, J.-M., Garric, G, Sennéchaël, N, Provost, C. (2021). Twenty-five years of Mercator Ocean Reanalysis GLORYS12 at Drake Passage: Velocity assessment and total volume transport. *Advances in Space Research*, 68(2), 447–466. doi:10.1016/j.asr.2019.11.033
- Baltuano, E.(1995). Análisis de la actividad pesquera a bordo de embarcaciones calamareras frente a la costa peruana durante noviembre 1992 – setiembre 1993. [Trabajo Profesional para optar el título de Ingeniero Pesquero, Universidad Nacional Agraria La Molina]

- Bakun, A. (1996). Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant, in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Mexico.
- Campos, F., Mosquera, K. (2020). Validación del ciclo anual de la temperatura superficial del mar de dos reanalysis (GLORYS12V1 y PSY4V3) frente a la costa peruana. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 7 N° 04. pág. 12 -16.
- Ccasani, Michael. (2023). Variación de la CPUE de *Dosidicus Gigas* en el Perú y su relación con la Corriente Cromwell. [Manuscrito no publicado]
- Chavez, F. P., Bertrand, A., Guevara-Carrasco, R., Soler, P., & Csirke, J. (2008). The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography*, 79(2-4), 95 -105. doi:10.1016/j.pocean.2008.10.012
- Chaigneau, A., Dominguez, N., Eldin, G., Vasquez, L., Flores, R., Grados, C., & Echevin, V. (2013). Near-coastal circulation in the Northern Humboldt Current System from shipboard ADCP data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(10), 5251–5266. doi:10.1002/jgrc.20328
- Chambilla, Juan. (2018). Abundancia relativa y talla promedio de captura del calamar gigante *Dosidicus gigas* en la zona sur durante los años 2014 al 2016. [Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero, Universidad Nacional De San Agustín]
- Chen, X., Liu, B., & Chen, Y. (2008). A review of the development of Chinese distant-water squid jigging fisheries. *Fisheries Research*, 89(3), 211–221. doi:10.1016/j.fishres.2007.10.012
- Chen, P., Chen, X., Yu, W., & Lin, D. (2021). Interannual abundance fluctuations of two oceanic squids in the Pacific Ocean can be evaluated through their habitat temperature variabilities. *Frontiers in Marine Science*, 8, 770224.

- Csirke J, Argüelles J, Alegre A, Ayón P, Bouchon M, Castillo G, Castillo R, Cisneros R, Guevara-Carrasco R, Lau L, Mariátegui L, Salazar C, Tafur R, Torrejón J, Yamashiro C. (2018). Biología, estructura poblacional y pesquería de pota o calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Perú. Bol Inst Mar Perú. 33(2): 302-364.
- Costello A, Osborne J. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: four or analysis: four recommendations for getting the most from your analysis. <https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1156&context=pars>
- Echevin, V; Gévaudan, M; Espinoza, D; Tam, J ; Aumont, O ; Gutiérrez, D ; Colas, F. (2020). Physical and biogeochemical impacts of RCP8.5 scenario in the Peru upwelling system. Biogeosciences. 17. 3317-3341. 10.5194/bg-17-3317-2020.
- Fang X, Yu W, Chen X and Zhang Y. (2021) Response of Abundance and Distribution of Humboldt Squid (*Dosidicus gigas*) to Short-Lived Eddies in the Eastern Equatorial Pacific Ocean From April to June 2017. Front. Mar. Sci. 8:721291. doi: 10.3389/fmars.2021.721291
- Fei, Yingjie, Shenglong Yang, Wei Fan, Huimin Shi, Han Zhang, and Sanling Yuan. 2022. "Relationship between the Spatial and Temporal Distribution of Squid-Jigging Vessels Operations and Marine Environment in the North Pacific Ocean" *Journal of Marine Science and Engineering* 10, no. 4: 550. <https://doi.org/10.3390/jmse10040550>
- Feng, Y., Chen, X., & Liu, Y. (2017). A comparative study of spatially clustered distribution of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) offshore Peru. *Journal of Ocean University of China* 16(3):490-500 DOI:10.1007/s11802-017-3214-y
- Feng, Y., Chen, X., & Liu, Y. (2018). Examining spatiotemporal distribution and CPUE-environment relationships for the jumbo flying squid *Dosidicus gigas* offshore

Peru based on spatial autoregressive model. *Journal of Oceanology and Limnology*, 36(3), 942–955. doi:10.1007/s00343-018-6318-3

- Finley, A; Banerjee,S. (2017). MBA: Multilevel B-Spline Approximation. <https://cran.r-project.org/web/packages/MBA/index.html>
- Flores O, Segura M, Aliaga A. (2016). Biomasa y distribución del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el mar peruano aplicando el método hidroacústico: 1999 - verano 2015. *Inf Inst Mar Perú*. 43(1): 5-10
- Kassambara, Alboukadel. (2017). Practical Guide to Cluster Analysis in R: Unsupervised Machine Learning. Multivariate Analysis. STHDA
- Kassambara, Alboukadel. (2017). Practical Guide to Principal Component Methods in R. Multivariate Analysis II. STHDA
- Grados, C., Chaigneau, A., Echevin, V., & Dominguez, N. (2018). Upper ocean hydrology of the Northern Humboldt Current System at seasonal, interannual and interdecadal scales. *Progress in Oceanography*, 165, 123–144. doi: 10.1016/j.pocean.2018.05.005
- Hartmann, K., Krois, J., Waske, B. (2018): E-Learning Project SOGA: Statistics and Geospatial Data Analysis. Department of Earth Sciences, Freie Universitaet Berlin.
- Hijmans, R. (2021). Geosphere: Spherical Trigonometry. <https://cran.r-project.org/web/packages/geosphere/index.html>
- Icochea, L. (1985). Oceanographic Changes and their important relationship with the Japanese common squid *Toradores pacificus*. [Tesis Doctoral, Hokkaido University].

- Igarashi, H., Saitoh, S.-I., Ishikawa, Y., Kamachi, M., Usui, N., Sakai, M., & Imamura, Y. (2017). Identifying potential habitat distribution of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) off the eastern coast of Japan in winter. *Fisheries Oceanography*, 27(1), 16–27. doi:10.1111/fog.12230
- Instituto del Mar del Perú (IMARPE). (1996). Jumbo Flying Squid Fishery in Peru. International Symposium on Pelagic Large Squids. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/1394/1/JUMBO%20FLYING%20SQUID.pdf>
- Liu, B., Chen, X., and Yi, Q. (2013). A comparison of fishery biology of jumbo flying squid, *Dosidicus gigas* outside three exclusive economic zones in the Eastern Pacific Ocean. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 31, 523–533. doi: 10.1007/s00343-013-2182-3
- Kenfack, S; Francois, M; Alory, G; Hounkonnou, M; Vondou. (2016). Sea surface temperature patterns in Tropical Atlantic: principal component analysis and nonlinear principal component analysis. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*. 1. 10.3319/TAO.2016.08.29.01.
- Kermarrec, G; Morgenstern, P. (2022). Multilevel T-spline Approximation for Scattered Observations with Application to Land Remote Sensing. *Comput. Aided Des.* 146: 103193. <https://arxiv.org/pdf/2201.04432.pdf>
- Lellouche, J; Eric, G; Romain, B; Garric, G; Angélique, M; Drevillon, M; Bricaud, C; Mathieu, H. (2021). The Copernicus Global 1/12° Oceanic and Sea Ice GLORYS12 Reanalysis. *Frontiers in Earth Science*. 9. 698876. 10.3389/feart.2021.698876.
- Nigmatullin, C. (2001). A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fisheries Research*, 54(1), 9-19. doi:10.1016/s0165-7836(01)00371-x

- Manay, R., Montes, I., Campos, F., Segura, B. (2021). El afloramiento costero en el sistema de corrientes de Humboldt frente a Perú. Boletín científico El Niño, Instituto Geofísico del Perú, Vol. 8 n.o 04 , págs. 16-21
- Mariátegui, R, L. (2007). Pesquería sostenible del calamar gigante *Dosidicus gigas* (orbigny, 1835) en el mar peruano [Tesis de Maestría, Universidad Villareal, Lima, Perú]
- Martina, J. (2004). Análisis de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la Anguila Común (*Ophichthus pacifici*) y su relación con la Corriente Cromwell”. [Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero, Universidad Nacional Agraria La Molina]
- Paulino, C., Segura, M., and Chacón, G. (2016). Spatial variability of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) fishery related to remotely sensed SST and chlorophyll-a concentration (2004-2012). Fish. Res. 173, 122–127. doi: 10.1016/j.fishres.2015.10.006
- Pauthenet, E. (2018). Unraveling the thermohaline structure of the Southern Ocean using functional data analysis. Stockholm University. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1255795/FULLTEXT02.pdf>
- Paredes; C; De la Puente, S. (2014). Situación Actual de la Pesquería de la Pota (*Dosidicus Gigas*) en el Perú y recomendaciones para su mejora. Consorcio de Investigación Económico y Social.
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/AF579F67269CB59505257D8E004DCB6F/\\$FILE/1.doc.final.cies.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/AF579F67269CB59505257D8E004DCB6F/$FILE/1.doc.final.cies.pdf)
- Preisendorfer, R. W. (1988), Principal components analysis in Metereology and Oceanography, Elsevier, Amsterdam.

- PRODUCE (2011). DECRETO SUPREMO N°014-2011-PRODUCE: Reglamento de Ordenamiento Pesquero del Calamar gigante Pota (*Dosidicus Gigas*).
- PRODUCE. (2019). PRODUCE establece una cuota de 450.000 toneladas para el 2019 del recurso pota o calamar gigante. <https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/28648-produce-establece-una-cuota-de-450-000-toneladas-para-el-2019-del-recurso-pota-o-calamar-gigante/>
- Raschka, S. (2015) Principal Component Analysis in 3 Simple Steps. https://sebastianraschka.com/Articles/2015_pca_in_3_steps.html
- Rosales, G. (2017). Variaciones de la Corriente Cromwell y su influencia en la abundancia relativa de la merluza (*Merluccius gayi*) durante el periodo 2003-2013. [Tesis de Pregrado. UNALM]
- Sakai M, Yamashiro C, Mariátegui L, Wakabayashi, T, Tello E, Kato Y, Tafur R, Blascovic V, Torres E, Sanjinez M, Ayon P, Romero M, Suda K, Dioses T. (2012). Crucero de investigación conjunta del calamar gigante *Dosidicus gigas*, BIC Kaiyo Maru 2011-2012 (16 de diciembre del 2011 al 10 de enero de 2012). Informe Final Fishery Agency of Japan/Instituto del Mar del Perú, 77 p.
- Tian, Siquan & Chen, Xinjun & Chen, Yong & Xu, Liuxiong & Dai, Xiaojie. (2009). Standardizing CPUE of *Ommastrephes bartramii* for Chinese squid-jigging fishery in Northwest Pacific Ocean. Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 27. 729-739. 10.1007/s00343-009-9199-7.
- Valles, J; Iannacone, J; Espino, M; Mariátegui, L. (2013). Estimation of the catch per unit effort (CPUE) and medium size of giant squid (*Dosidicus gigas*) using different types of jigs in Peru. The Biologist (Lima). 11. 131-149.

- Xue, J., Lee, C., Wakeham, S. G., & Armstrong, R. A. (2011). Using principal components analysis (PCA) with cluster analysis to study the organic geochemistry of sinking particles in the ocean. *Organic Geochemistry*, 42(4), 356–367. doi:10.1016/j.orggeochem.2011.01.012.
- Yamashiro C, Mariátegui L, Tafur R, Castillo G, Argüelles J, Goicochea C, Alegre A, Sánchez J, Taípe A, Sanjinez M. (2018). Sistema de monitoreo de la pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Perú. *Bol Inst Mar Perú*. 33(2): 222-252
- Yu, W., & Chen, X. (2018). Ocean warming-induced range-shifting of potential habitat for jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean off Peru. *Fisheries Research*, 204, 137–146. doi:10.1016/j.fishres.2018.02.016
10.1016/j.fishres.2018.02.016
- Wang, G; Shi, X. (2019). A Numerical Study on the Impact of High-Frequency Winds on the Peru Upwelling System During 2014–2016. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(5), 161. doi:10.3390/jmse7050161
- Wickham, H. (2016). *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <http://ggplot2.org>.
- Zuta, S., y Guillén, O. (1970). Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Boletín institucional del Mar del Perú*. V. 2. N°5: P.157-324. <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Test de Anderson-Darling en datos de CPUE de E/P con capacidad de bodega menor a 10t (Tipo de Flota I)

Anderson-Darling normality test

```
data: tipo1$CPUE
A = 16.475, p-value < 2.2e-16
```

ANEXO 2: Test de Anderson-Darling en datos de CPUE de E/P con capacidad de bodega mayor de 10t (Tipo de Flota II)

Anderson-Darling normality test

```
data: tipo2$CPUE
A = 29.045, p-value < 2.2e-16
```

ANEXO 3: Test de Wilcoxon (prueba no paramétrica) de comparación de medias de CPUE(t/viaje) entre tipos de E/P poteras según su capacidad de bodega. Tipo de Flota 1: < 10t; Tipo de Flota 2: >10t

wilcoxon rank sum test with continuity correction

```
data: CPUE by Tipo_de_Flota
W = 13509535, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

ANEXO 4: Matriz de Correlación de Spearman de los promedios mensuales de las variables oceanográficas y CPUE de pota en el sur del Perú

	Temp	Sal	Current	SSH	Temp_55m	Sal_55m	Current_55m	chlorophyll	DC	CPUE
Temp	1.00	0.47	0.00	0.75	0.50	0.43	-0.18	0.01	0.34	0.12
Sal	0.47	1.00	-0.31	0.51	0.63	0.69	-0.22	-0.32	0.33	0.34
Current	0.00	-0.31	1.00	-0.14	-0.32	-0.21	0.37	0.15	-0.35	-0.17
SSH	0.75	0.51	-0.14	1.00	0.58	0.53	0.08	-0.11	0.13	0.44
Temp_55m	0.50	0.63	-0.32	0.58	1.00	0.79	-0.31	-0.26	0.47	0.48
Sal_55m	0.43	0.69	-0.21	0.53	0.79	1.00	-0.22	-0.26	0.43	0.53
Current_55m	-0.18	-0.22	0.37	0.08	-0.31	-0.22	1.00	0.03	-0.45	0.04
chlorophyll	0.01	-0.32	0.15	-0.11	-0.26	-0.26	0.03	1.00	0.00	-0.23
DC	0.34	0.33	-0.35	0.13	0.47	0.43	-0.45	0.00	1.00	0.05
CPUE	0.12	0.34	-0.17	0.44	0.48	0.53	0.04	-0.23	0.05	1.00

ANEXO 5: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de verano de CPUE y PC1 para el tipo de flota I

Spearman's rank correlation rho

```
data: CPUE_Verano and PC1_Verano
S = 710316, p-value = 0.6679
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
0.03375467
```

ANEXO 6: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de verano de CPUE y PC2 para el tipo de flota I

Spearman's rank correlation rho

```
data: CPUE_Verano and PC2_Verano
S = 504232, p-value = 4.209e-05
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
0.3140909
```

ANEXO 7: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de verano de CPUE y PC1 para el tipo de flota II

Spearman's rank correlation rho

```
data: CPUE_Verano and PC1_Verano
S = 586618, p-value = 0.02853
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.1720989
```

ANEXO 8: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de verano de CPUE y PC2 para el tipo de flota II

Spearman's rank correlation rho

```
data: CPUE_Verano and PC2_Verano
S = 648503, p-value = 0.2835
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.0847609
```

ANEXO 9: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de otoño de CPUE y PC1 para el tipo de flota I

Spearman's rank correlation rho

```
data: CPUE_Otoño and PC1_Otoño
S = 586618, p-value = 0.02853
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.1720989
```

ANEXO 10: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de otoño de CPUE y PC2 para el tipo de flota I

```
Spearman's rank correlation rho

data: CPUE_Otoño and PC2_Otoño
S = 202969, p-value = 0.3775
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.08496048
```

ANEXO 11: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de otoño de CPUE y PC1 para el tipo de flota II

```
Spearman's rank correlation rho

data: CPUE_Otoño and PC1_Otoño
S = 205874, p-value = 0.6342
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.0460863
```

ANEXO 12: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de otoño de CPUE y PC2 para el tipo de flota II

```
Spearman's rank correlation rho

data: CPUE_Otoño and PC2_Otoño
S = 204859, p-value = 0.5999
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.05078911
```

ANEXO 13: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de invierno de CPUE y PC1 para el tipo de flota I

```
Spearman's rank correlation rho

data: CPUE_Invierno and PC1_Invierno
S = 427692, p-value = 0.2193
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.1037299
```

ANEXO 14: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de invierno de CPUE y PC2 para el tipo de flota I

```
Spearman's rank correlation rho

data: CPUE_Invierno and PC2_Invierno
S = 271604, p-value = 8.699e-08
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.4308277
```

ANEXO 15 Test de Correlación de Spearman entre los promedios de invierno de CPUE y PC1 para el tipo de flota II

```
Spearman's rank correlation rho

data: CPUE_Invierno and PC1_Invierno
S = 802996, p-value = 1.237e-05
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
-0.3452689
```

ANEXO 16: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de invierno de CPUE y PC2 para el tipo de flota II

```
Spearman's rank correlation rho

data: CPUE_Invierno and PC2_Invierno
S = 569598, p-value = 0.5745
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.04574667
```

ANEXO 17: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de primavera de CPUE y PC1 para el tipo de flota I

```
Spearman's rank correlation rho

data: CPUE_Primavera and PC1_Primavera
S = 875525, p-value = 0.03364
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
0.1567054
```

ANEXO 18: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de primavera de CPUE y PC2 para el tipo de flota I

```
Spearman's rank correlation rho

data: CPUE_Primavera and PC2_Primavera
S = 1487625, p-value = 8.425e-10
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
      rho
-0.432861
```

ANEXO 19: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de primavera de CPUE y PC1 para el tipo de flota II

```
Spearman's rank correlation rho
data: CPUE_Primavera and PC1_Primavera
S = 1017516, p-value = 0.113
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
-0.1198721
```

ANEXO 20: Test de Correlación de Spearman entre los promedios de primavera de CPUE y PC2 para el tipo de flota II

```
Spearman's rank correlation rho
data: CPUE_Primavera and PC2_Primavera
S = 1081687, p-value = 0.01133
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
-0.1904987
```

ANEXO 21: Salida Estadística Modelo Lineal de Regresión Múltiple de las variables oceanográficas significativas y la CPUE (t/viaje) promedio de pota en el sur del Perú durante el periodo 2015-2017

```
> summary(mod)
```

```
Call:
```

```
lm(formula = CPUE ~ Sal_55m + Temp_55m + Latitud + chlorophyll +  
    dcosta, data = df_gam)
```

```
Residuals:
```

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max  
-9.2408 -1.4270 -0.0436  1.2357 13.7939
```

```
Coefficients:
```

```
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) -1.132e+02  9.297e+01  -1.217  0.22451  
Sal_55m      4.291e+00  2.694e+00   1.593  0.11219  
Temp_55m    -8.532e-01  2.574e-01  -3.315  0.00103 **  
Latitud     1.070e+00  1.802e-01   5.939  7.94e-09 ***  
chlorophyll -4.084e-01  3.515e-01  -1.162  0.24623  
dcosta      2.680e-02  5.586e-03   4.798  2.53e-06 ***
```

```
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 2.749 on 299 degrees of freedom
```

```
Multiple R-squared:  0.2513,    Adjusted R-squared:  0.2388
```

```
F-statistic: 20.07 on 5 and 299 DF,  p-value: < 2.2e-16
```