

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERIA



“ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA ILEGAL DE *Dosidicus gigas* POR LA FLOTA QUE OPERA FUERA DE LA ZEE DEL PERÚ (2013-2016)”

Presentado por:

ELOY ARONI SULCA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

Lima- Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERIA

“ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA ILEGAL DE *Dosidicus gigas* POR LA
FLOTA QUE OPERA FUERA DE LA ZEE DEL PERÚ (2013-2016)”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

Presentado por:

ELOY ARONI SULCA

Aprobada por el siguiente jurado evaluador:

Dr. Luis Alfredo Icochea Salas

Presidente

M.Sc. Arcadio Henry Orrego Albañil
Miembro

Ing. Miguel Oswaldo Delgado García
Miembro

Dr. Jaime Humberto Mendo Aguilar
Asesor

DEDICATORIA

*A la comunidad campesina San Juan de Mirata, anexo del distrito de Alcamenca,
provincia de Fajardo en la Región de Ayacucho.
El lugar que me vio nacer.*

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor Dr. Jaime Mendo, asesor de la presente tesis.

A los miembros del jurado evaluador de tesis, profesores Luis, Henry y Miguel...

A mi amigo y co-asesor Han Xu por su paciencia, predisposición y tiempo brindado en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Instituto del Mar del Perú IMARPE, particularmente al Área Funcional de Sensoramiento Remoto, institución que me ha permitido dar los primeros pasos en el camino de la investigación.

A Bjorn Bergman de la ONG Skytruth, por su incondicional apoyo y una amistad sincera desde el inicio hasta al final de esta investigación.

A David Kroodsma de la ONG Global Fishing Watch, por orientarme hacia un nuevo campo en el manejo de las pesquerías.

Al equipo de OCEANA PERÚ, y en especial a Juan Carlos Riveros, Juan Carlos Sueiro y Melanie Pajuelo, personas con las cuales compartí agradables momentos, espacios de discusión y risas compartidas muy oportunas para continuar con el trabajo de investigación.

I. ÍNDICE GENERAL

I.	ÍNDICE GENERAL	
II.	RESUMEN	
III.	INTRODUCCIÓN.....	1
IV.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1	ASPECTOS BIOLÓGICOS DEL CALAMAR GIGANTE.....	3
4.1.1.	UBICACIÓN TAXONÓMICA.....	3
4.1.2.	CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICA.....	3
4.1.3.	DISTRIBUCIÓN DEL CALAMAR GIGANTE	4
4.1.4.	BIOMASA.....	5
4.2	FLOTA PESQUERA INDUSTRIAL.....	5
4.2.1.	RESEÑA HISTÓRICA	6
4.2.2.	DESEMBARQUE DEL CALAMAR GIGANTE.....	8
4.2.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA FLOTA CHINA	9
4.3	PERCEPCIÓN REMOTA	11
4.3.1.	ELEMENTOS DE LA PERCEPCIÓN REMOTA	11
4.3.2.	SATÉLITES	12
4.3.3.	SATÉLITES DMSP-OLS	13
4.3.4.	SATÉLITES SUOMI NPP	14
4.3.5.	RESOLUCIÓN DE UN SISTEMA SENSOR	15
4.4	USO DE IMÁGENES SATELITALES NOCTURNAS.....	16
4.5	SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA (AIS).....	17
4.5.1.	DEFINICIÓN	17
4.5.2.	OBSERVADOR MUNDIAL DE LA PESCA (GFW)	18
V.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
5.1	ÁREA DE ESTUDIO	20
5.2	DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO	21
5.3	ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EMBARCACIONES	23
5.3.1.	ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE EMBARCACIONES USANDO IMÁGENES SATELITALES	23
a)	ESTANDARIZACIÓN.....	23
b)	UMBRAL DE DETECCIÓN	24
c)	SEGMENTACIÓN.....	24

d)	RE-SEGMENTACIÓN	25
e)	CATEGORIZACIÓN	25
f)	VALIDACIÓN	26
g)	CUANTIFICACIÓN	27
5.3.2.	ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE EMBARCACIONES USANDO DATOS DE AIS	27
5.4	ESTIMACIÓN DE LAS EMBARCACIONES ILEGALES	28
a)	EMBARCACIONES NO AUTORIZADAS	29
b)	EMBARCACIONES NO IDENTIFICADAS	29
5.5	ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA ILEGAL	30
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
6.1	ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE EMBARCACIONES USANDO IMÁGENES SATELITALES	32
6.1.1.	DATA SATELITAL	32
6.1.2.	UMBRAL DE DETECCIÓN	32
6.1.3.	VALIDACIÓN	35
6.1.4.	NÚMERO TOTAL DE EMBARCACIONES	37
6.2	ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EMBARCACIONES USANDO DATOS DE AIS	40
6.2.1.	UMBRAL DE VELOCIDAD	40
6.2.2.	NUMERO DE EMBARCACIONES CON DATA AIS	42
6.3	ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EMBARCACIONES ILEGALES	43
6.3.1.	EMBARCACIONES ILEGALES NO IDENTIFICADAS Y NO AUTORIZADAS	43
6.3.2.	NÚMERO TOTAL DE EMBARCACIONES ILEGALES	46
6.4	ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA ILEGAL	49
6.4.1	ESTIMACIÓN DEL NUEVO VALOR DE CPUE	49
6.4.2	CAPTURA ILEGAL	51
VII.	CONCLUSIONES	56
VIII.	RECOMENDACIONES	57
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
X.	ANEXOS	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de días con imágenes satelitales usados para el presente estudio.	32
Tabla 2: Estadística y valores de la regresión lineal entre el número de barcos estimados (VIIRS) y el número de barcos reales (AIS).	37
Tabla 3: Número máximo de embarcaciones estimadas con imágenes nocturnas y lo reportado para el mismo mes según OROP-PS	39
Tabla 4: Comportamiento de una embarcación con sistema de pesca de líneas de fondo (jigging) en función a su velocidad	41
Tabla 5: Ejemplos de casos frecuentes de registros de AIS inconsistente.	45
Tabla 6: Resultado de la cuantificación diaria del número de embarcaciones durante los días de máxima actividad pesquera según imágenes satelitales nocturnas.	48
Tabla 7: Número máximo de embarcaciones según OROP-PS y estimado para el mismo mes con imágenes satelitales.	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Dosidicus gigas</i> , Humboldt o jumbo squid (Pfeffer, 1912).	3
Figura 2: Distribución geográfica del calamar gigante, <i>Dosidicus gigas</i> (Fuente: Nigmatullin et al., 2001).....	4
Figura 3: Estimación de biomasa con el modelo dinámico de biomasa, años 1999-2014. (Fuente: Csirke et al., 2015)	5
Figura 4: Vista de la cubierta de una embarcación potera utilizando potentes focos en babor y estribor (Rodhouse et al., 2001) (izquierda). Aparejo de pesca utilizado para la captura industrial del calamar (SPRFMO, 2017) (derecha).	6
Figura 5: Desembarque de pota (miles de t) de la flota nacional y extranjera en el periodo de 1990-2015 (Fuente: PRODUCE, 2016).....	8
Figura 6: Variación mensual del número de embarcaciones calamareras (izquierda) y el número total de embarcaciones chinas por año (derecha) para el periodo 2012-2016. (SPRFMO, 2017).....	9
Figura 7: Captura anual (barras) y CPUE anual (línea) de la flota calamarera china durante el 2001-2016. (SPRFMO, 2017)	10
Figura 8: Valor de CPUE mensual de los buques chinos que capturan <i>Dosidicus gigas</i> durante 2012-2016. (SPRFMO; 2017)	10
Figura 9: Componentes de la Teledetección. (Fuente: IMARPE).....	12
Figura 10: Orbitas de los satélites; (a) órbita baja; (b) órbita polar; (c) órbita geoestacionaria y (d) órbita elíptica.....	13
Figura 11: Comparación entre una imagen (VIIRS) vs. (OLS), zona de Bangkok en la región del Golfo de Tailandia en la noche del 14 de octubre de 2012. Se muestra una mejor resolución espacial del satélite NPP-VIIRS (Fuente: Elvidge et al., 2015)	14
Figura 12: Características de una imagen satelital, se muestra una matriz de filas y columnas y una resolución radiométrica de 8 Bit.....	16
Figura 13: Entorno de la página web de Global Fishing Watch. El círculo amarillo muestra la flota calamarera extranjera en el límite de la Zona Económica Exclusiva del Perú (Fuente: GFW).....	19
Figura 14: Área de estudio (región de color gris), las regiones en blanco representan la Zonas Económicas Exclusivas y los países costeros.	20
Figura 15: Ejemplo de una imagen satelital nocturna. Las manchas blancas representan a la flota pesquera que opera con luces frente al mar peruano. (Fuente: NOAA)	21
Figura 16: Diagrama de flujo para el procesamiento de la información diaria para la estimación de número de embarcaciones legales $N(e_l)$, ilegal $N(e_i)$, totales $N(e_t)$ y las capturas legales (CL) e ilegales (CI).	22
Figura 17: Los puntos negros representan las posiciones de latitud (X) y longitud (Y) de una embarcación dentro de la base de datos del sistema AIS y el punto rojo es la posición proyectada a la hora y fecha a la que el satélite toma la imagen nocturna.	27

Figura 18: Ejemplo de la distribución de los valores de radiancia de una imagen satelital VIIRS. Los valores altos de radiancia representan las embarcaciones.....	33
Figura 19: Ejemplo de la estimación del valor del umbral de detección para dos imágenes nocturnas. Imagen de la fecha 2016-09-25 (a) e imagen de la fecha 2016-10-25 (b).	34
Figura 20: Distribución mensual de los valores de umbral de detección estimados para cada imagen para el periodo 2013-2016. El área gris oscura representa el nivel de intervalo de confianza al 99%.	35
Figura 21: Relación entre el número de barcos estimados usando imágenes nocturnas y el número de barcos reales con AIS para 240 imágenes diarias. La línea negra representa la regresión lineal.	36
Figura 22: Número de embarcaciones por día según imágenes nocturnas para el periodo 2013-2016.....	38
Figura 23: Número máximo de barcos por mes estimados con imágenes nocturnas (barra gris) y según lo reportado por China a la OROP-PS (barra turquesa).....	39
Figura 24: Velocidad (nudos) de las embarcaciones industriales que capturan el <i>Dosidicus gigas</i> . La línea discontinua representa el valor del umbral de velocidad. El área de color blanco y gris representan horas de día y noche respectivamente. La barra gris oscura es la hora promedio que registra la imagen satelital.	41
Figura 25: Tracks de dos embarcaciones y clasificación en función al umbral de velocidad estimado. Detrás las imágenes nocturnas a la misma fecha y hora y la estimación de la posición (punto gris).	42
Figura 26: Número de embarcaciones por día según datos del AIS para el periodo 2013-2016.	43
Figura 27: Número de embarcaciones ilegales por día identificados dentro de la base de datos del sistema AIS (región en rojo) para el periodo 2013-2016.	46
Figura 28: Número embarcaciones ilegales por día identificadas usando imágenes nocturnas (gris) y usando datos del sistema AIS (rojo) para el periodo 2013-2016. La región azul oscuro representaría el número de embarcaciones legales.	47
Figura 29: Grafico comparando el valor de CPUE según lo reportado por China a la OROP-PS y el valor de CPUE estimado a partir de imágenes satelitales.	49
Figura 30: Corrección de las capturas mensuales de <i>Dosidicus gigas</i> en base a los datos de captura total de la OROP-PS en el área fuera de la ZEE de Perú para el periodo 2013-2016.	52

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Registro de datos de las estimaciones de número de embarcaciones y captura total, legal e ilegal para cada día desde el 2013 al 2016.....	69
ANEXO 2: Ejemplo gráfico para la etapa de validación de una imagen nocturna (fecha 2016-12-07) al correlacionar el número de barcos estimados provenientes de las imágenes nocturnas (puntos rojos) con el número de barcos reales provenientes del sistema AIS (puntos verdes).	70
ANEXO 3: Automatización para el procesamiento de imágenes satelitales nocturnas (NPP-VIIRS) y la estimación del número total de embarcaciones (script en R-Studio).....	71
ANEXO 4: Fórmulas utilizada para calcular la posición proyectada de una embarcación usando datos del sistema AIS a la misma hora que el satélite (NPP-VIIRS) registra la actividad pesquera con luces.	73
ANEXO 5: Automatización del proceso para cuantificar el número de embarcaciones usando la información del sistema AIS contenida en la base de datos del portal web Global Fishing Watch (código SQL BigQuery).....	74
ANEXO 6: Tracks de embarcaciones ilegales que emiten falsas posiciones al sistema AIS. Ejemplo de casos frecuentes.....	76
ANEXO 7: Estimación mensual de la CPUE y los resultados de las capturas mensuales totales, legales e ilegales en toneladas para el periodo 2013 al 2016.....	78
ANEXO 8: Serie de mapas anuales comparando las posiciones estimadas de los barcos usando imágenes satelitales nocturnas (puntos morados) y mediante el sistema AIS (puntos verdes) para el periodo 2013-2016.	80

GLOSARIO

AIS	Sistema de Identificación Automática
CPUE	Captura por unidad de esfuerzo
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
INDNR	Pesca Ilegal, No Declarada y No Reglamentada
IMARPE	Instituto del Mar del Perú
OROP-PS	Organización Regional de Ordenación Pesquera del Pacífico Sur
SNPP	Suomi National Polar Partnership
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
ZEE	Zona Económica Exclusiva

II. RESUMEN

El presente estudio estima la captura ilegal de *Dosidicus gigas* de la flota industrial que operó fuera de la ZEE del Perú entre 2013 y 2016 usando tres bases de datos: i) Datos proporcionados por el satélite Suomi National Polar Partnership (SNPP) que registran diariamente las operaciones de pesca que usan potentes focos hasta 300 kW para atraer al calamar hacia la superficie. ii) Rutas de navegación de los barcos obtenidas del sistema de identificación automática (AIS). iii) Datos de las embarcaciones autorizadas y registradas en la Organización Regional de Ordenación Pesquera del Pacífico Sur (OROP-PS) y que realizaron la captura del calamar gigante en el área FAO-87. El análisis fue realizado para el periodo entre 2013 y 2016 y consistió en la cuantificación del número de embarcaciones usando imágenes satelitales, la cual fue validada con datos reales del sistema AIS obteniendo resultados robustos, un error cuadrático medio (ECM) de 1.98 barcos y un sesgo en la estimación de -0.43 barcos. Los puntos de luces de las embarcaciones pesqueras fueron comparados con los tracks de las embarcaciones pesqueras del sistema AIS. Para lo cual se estimó un valor de umbral de velocidad menor a 2.3 nudos, la cual determina una operación de pesca nocturna. Luego, se comparó con la lista de embarcaciones autorizadas de la OROP-PS para así cuantificar el número de embarcaciones ilegales y utilizando un nuevo valor de CPUE mensual calcular la captura ilegal. Las estimaciones indicaron que la captura ilegal representó el 39.4 % (2013), 30.7 % (2014), 20.0 % (2015) y el 18.4% (2016) y para todo el periodo de estudio (2013-2016) el 27.2% de la captura total registrada oficialmente en la OROP-PS. Esto resultados evidencia la existencia de embarcaciones que operan ilegalmente fuera de la ZEE de Perú y Chile y que pueden ser detectados usando las imágenes nocturnas y los datos AIS. Este nuevo procedimiento plantea la posibilidad de conocer la dimensión real de la flota, así como reconstruir las capturas y estimar la magnitud de la pesca INDNR en pesquerías que usan luces.

Palabras claves: pesca ilegal, *Dosidicus gigas*, NPP-VIIRS, sistema AIS

SUMMARY

The present study estimates the illegal catch of *Dosidicus gigas* by industrial fishing fleet that operated outside the Peruvian EEZ using three databases. First, daily imagery provided by The Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP) satellite and used to detect fishing boats using powerful lamps of up 300 kW to attract the squid to the surface. Second, navigation track information of fishing boats obtained from Automatic Identification System (AIS). Third, registry of the vessels authorized to operate in the South Pacific Regional Fisheries Management Organisation (SPRFMO) area and the catch data for capture of Jumbo flying squid in the South East Pacific (FAO-87). The analysis was performed for the period between 2013 and 2016 and consisted in the quantification of the number of vessels detected with satellite images and validation with AIS information showing robust results including a root-mean-square error (RMSE) of 1.98 ships and a BIAS in the estimate of -0.43 ships. The number of light points of fishing vessels was compared with the tracks of fishing vessels estimated from the AIS analyses. For this, a speed threshold value of fewer than 2.3 knots was estimated, which is consistent with a night fishing operation with lights. Then, it was compared with the list of authorized vessels in the SPRFMO registry to quantify the number of illegal vessels and using a new monthly CPUE value, the illegal catch was calculated. The estimations indicated that the illegal catch represented 39.4% (2013), 30.7% (2014), 20.0% (2015) and 18.4% (2016) and for the entire study period (2013-2016) 27.2% of the total catch officially registered in the SPRFMO. These results demonstrate that unauthorized and unidentified vessels operate outside the EEZ of Peru and Chile and can be detected using nighttime satellite images and AIS information. This new procedure makes it possible to estimate the real size of the fleet as well as reconstruct total catches and estimate the real magnitude of IUU fishing in fisheries where lights are used to attract catch.

Keywords: IUU fishing, *Dosidicus gigas*, NPP-VIIRS, AIS information.

III. INTRODUCCIÓN

La pesquería del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) representa una de las principales pesquerías de cefalópodos del mundo, y se concentra mayormente al Sureste del Océano Pacífico (Área FAO 87) (Xu et al., 2016). En el Perú es la segunda pesquería más importante, tanto en términos de volumen de captura (PRODUCE, 2014), como en términos de valor exportado (PROMPERU, 2014). Este recurso es capturado en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Perú por una flota artesanal (Paulino et al., 2015; Yamashiro et al., 2016), pero también es capturada por una flota industrial que opera fuera de la ZEE de Perú (Liu et al., 2013; Li et al., 2017). Esta flota industrial está compuesta por aproximadamente 250 barcos chinos que durante el periodo 2013-2015 reportaron una captura promedio anual de 350,000 mil Toneladas (Li et al., 2017).

La captura de esta flota industrial es oficialmente reportada a la Organización Regional de Ordenamiento Pesquero del Pacífico Sur (OROP-PS), sin embargo existen sospechas de que el número de embarcaciones industriales que realmente operan difiere de las registradas oficialmente en esta organización. Además, se sabe actualmente que China sobreestima su captura interna y subestima sustancialmente la captura de sus flotas de agua distante o internacionales (Pauly et al., 2014). Por lo tanto, es posible que la información proporcionada por el gobierno Chino a la OROP-PS sobre el número de embarcaciones y las capturas de *Dosidicus gigas* en el sureste del Océano Pacífico no sean confiables.

Sabemos que la pesca ilegal no declarada y no reglamentada (INDNR) puede representar hasta 26 millones de toneladas de pescado al año y es considerada una amenaza a la biodiversidad local y a la seguridad alimentaria en muchos países (FAO, 2016). Estos problemas han contribuido a que las estadísticas mundiales de capturas proporcionadas por los países miembros de la FAO incluyendo China sean poco realistas y muestran una gran incertidumbre respecto a la procedencia de su captura (Pauly et al., 2014; Pauly and Zeller, 2016). Por ello es importante conocer el número real de embarcaciones que capturan el calamar gigante fuera de la ZEE del Perú y así contribuir con información real del esfuerzo pesquero. Ello contribuirá a mejorar los sistemas de control y vigilancia de la operación de esta flota a la vez evaluar con mayor profundidad la veracidad de las capturas por embarcación.

Hasta la actualidad no existen estudios que evalúan la pesca ilegal de la pota fuera de ZEE del Perú, aunque existen indicios que está representada por una cantidad desconocida de embarcaciones, que no cuentan con ningún tipo de seguimiento y monitoreo (OCEANA, 2016). Sin embargo, dado que estas embarcaciones industriales usan luz generada por potentes focos de hasta 300 kW para atraer el recurso hacia la superficie (Rodhouse et al., 2001; Maxwell et al., 2004; Waluda et al., 2005), es posible detectarlas usando imágenes satelitales nocturnas tal como ha sido reportada para la pesca de *Todarodes pacificus*, *Illex argentinus* y también para el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) (Waluda et al., 2004; Waluda et al., 2008; Saitoh et al., 2010). Por lo tanto, las imágenes satelitales nocturnas permiten identificar a la flota calamarera legal (regulada) e ilegal (no regulada) (Waluda et al., 2008; Elvidge et al., 2015).

La cuantificación del número real de embarcaciones legales e ilegales a partir de imágenes satelitales nocturnas (NPP-VIIRS) y sus respectivas capturas no solo al conocimiento sobre la dimensión real de la flota, sino también conocer la magnitud de la pesca ilegal, y la dinámica y distribución del calamar gigante. Esto permitirá obtener información de estadísticas de capturas más realistas y confiables para la implementación de políticas pesqueras, así como para fortalecer la posición de Perú, como miembro pleno de la Organización Regional de Ordenamiento Pesquero del Pacífico Sur (OROP-PS) para conservación y ordenamiento pesquero del calamar gigante (Yamashiro et al., 2016).

En este contexto se plantea el presente estudio, que tiene como objetivo estimar la captura ilegal mensual del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) por la flota industrial que opera fuera de la ZEE del mar peruano para el periodo entre 2013 y 2016. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el número de embarcaciones totales fuera de la ZEE del Perú usando imágenes satelitales nocturnas (NPP-VIIRS)
- Determinar el número de embarcaciones ilegales comparando el número de embarcaciones registradas legalmente en la OROP-PS.
- Estimar la captura ilegal diaria del (*Dosidicus gigas*) fuera de la ZEE de Perú usando información histórica de captura por embarcación de los reportes oficiales de la OROP-PS.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 ASPECTOS BIOLÓGICOS DEL CALAMAR GIGANTE

4.1.1. UBICACIÓN TAXONÓMICA

Filo: Mollusca

Clase: Cephalopoda

Orden: Teuthida

Suborden: Oegopsida

Familia: Ommastrephidae

Subfamilia: Ommastrephinae

Género: *Dosidicus*

Especie: *D. gigas* (d'Orbigny, 1835)

Nombres comunes: Calamar gigante (México, Perú), jibia (Chile, Perú), pota (Perú), calamar rojo (Chile). (Fuente: Pfeffer 1912)

4.1.2. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICA

El calamar gigante es un molusco muy grande, robusto con aletas romboidales y músculos amplios, pueden alcanzar una longitud de manto de 120 cm de longitud y pueden pesar hasta 50 kg (Nesis, 1983). Las hembras de la pota son más grandes y numerosas que los machos (Mariátegui, 2009). Tienen un manto alargado en forma de torpedo, de forma cónica en la parte posterior, con aletas grandes y terminales, cartílago del sifón en forma de T invertida, 8 brazos y 2 tentáculos alrededor de la boca, 2 hileras de ventosas en los brazos y 4 hileras en los tentáculos (Mariátegui, 2009) (**Figura 1**).

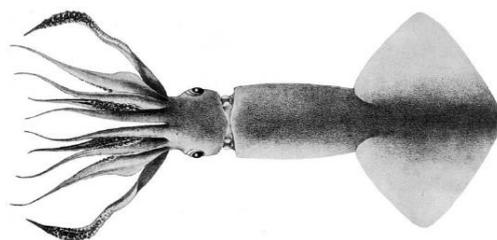


Figura 1: *Dosidicus gigas*, Humboldt o jumbo squid (Pfeffer, 1912).

Una de las características principales de calamar gigante es ser una especie mono-cíclica (con una sola reproducción durante su vida) y con evidencia de desove a lo largo de todo el año, pero principalmente concentrado entre los meses de octubre y enero de cada año (Tafur et al., 2001). Además, es un depredador nocturno, fototrópico, oportunista, altamente migratorio, voraz y muy activo (Nesis, 1983; Nigmatullin et al., 2001; Alegre et al., 2014)

4.1.3. DISTRIBUCIÓN DEL CALAMAR GIGANTE

Dosidicus gigas es el calamar ommastrefido de mayor abundancia y tamaño en el Pacífico Este. Se distribuye desde California (40°N) hasta el sur de Chile (50°S) (**Figura 2**), en la región ecuatorial, la distribución puede extenderse hasta 125°W (Tafur et al., 2001; Alegre, 2011). Con altas densidades en la costa peruana en el hemisferio sur y en el Golfo de California en el hemisferio norte (Taipe et al., 2001; Ruiz-Cooley et al., 2013). Observaciones morfológicas hechas por Clarke y Paliza (2000) concluyen que el calamar gigante de la corriente de Perú, que habita aguas frías representa una población diferente, separada por la contracorriente ecuatorial de la población del norte, la cual vive en aguas cálidas y es de menor tamaño.

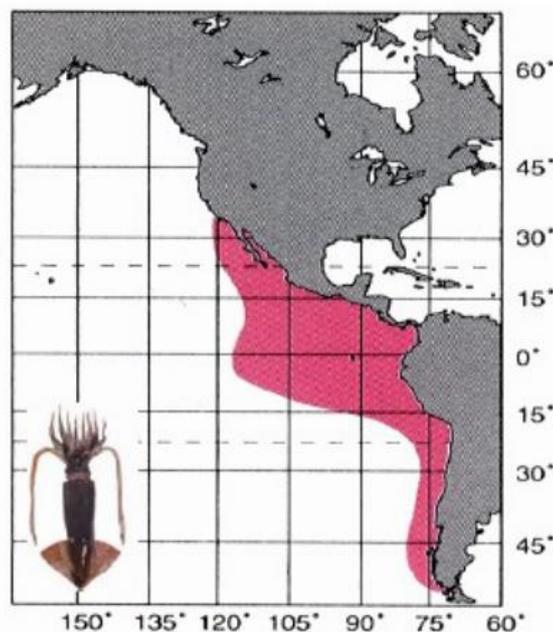


Figura 2: Distribución geográfica del calamar gigante, *Dosidicus gigas* (Fuente: Nigmatullin et al., 2001)

4.1.4. BIOMASA

Clarke et al. (1988) realizó la primera estimación de la biomasa de *Dosidicus gigas* en 8.69 millones de toneladas, al sur-este del Océano Pacífico entre 1959 y 1961 basados en los análisis de contenidos estomacales de cachalotes. Recientemente Csirke et al (2015) evaluó el estado de la explotación del calamar gigante en el Sistema de Corriente de Humboldt peruana utilizando un modelo dinámico de biomasa con datos de captura y esfuerzo de la pesquería industrial y artesanal en aguas jurisdiccionales peruanas y datos de capturas de la flota pesquera industrial de altamar durante el período 1999-2014. Los resultados mostraron que la biomasa de *Dosidicus gigas* es de 4.23 millones y que el rendimiento máximo sostenible (RMS) es de 1.05 millones de toneladas al año (**Figura 3**). Por esta razón el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) considera como subexplotado a este recurso. Sin embargo, según Paredes & De la Puente (2014) existen versiones de algunos actores de la pesquería que sostienen que esto no es tan cierto ya que, si se considera las capturas no declaradas de la flota nacional y las capturas de la flota extranjera que supuestamente pesca ilegalmente dentro y fuera de las 200 millas, probablemente se estaría excediendo el RMS estimado.

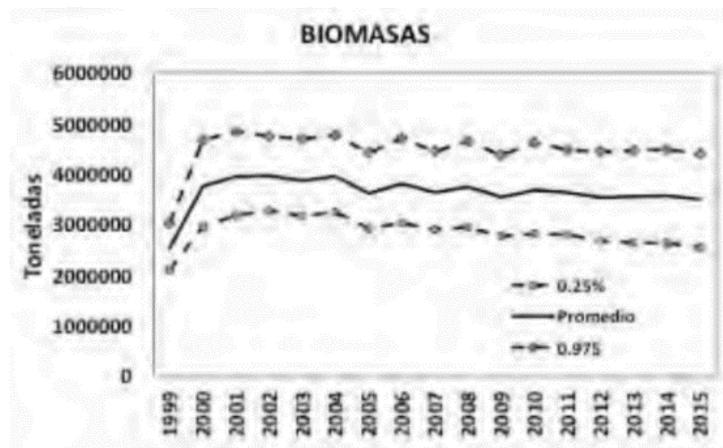


Figura 3: Estimación de biomasa con el modelo dinámico de biomasa, años 1999-2014. (Fuente: Csirke et al., 2015)

4.2 FLOTA PESQUERA INDUSTRIAL

La flota industrial calamarera actual está compuesta por embarcaciones de diferentes países como China, Taiwán y Corea de Sur (SPRFMO, 2016), utilizan poteras (jiggers), y operan durante la noche usando luces potentes en cubierta para atraer el recurso. En general, los

buques poteros tienen entre 800 y 1000 TRB, 50-60 m de largo y llevan entre 120 y 150 lámparas incandescentes (2 KW) a ambos lados de la cubierta sumando 200-300 KW (**Figura 4**) (Rodhouse et al., 2001; Maxwell et al., 2004; Waluda et al., 2005). Sistema de pesca que puede ser captado y registrado por los satélites DMSP-OLS y NPP-VIIRS (Cozzolino & Lasta, 2016).

Para la búsqueda del recurso el patrón utiliza los datos históricos de los caladeros de pesca, las variables oceanográficas y la lectura del ecosonda principalmente para determinar la profundidad a la cual se encuentra el recurso. Para la captura se utiliza un aparejo de pesca que consiste en líneas poteras de 50 a 100 anzuelos que se fijan a intervalos de aproximadamente un metro. Las poteras (coronas de anzuelos) dispuestas en líneas son caladas e izadas de manera motorizada y cada buque lleva entre 50 y 60 máquinas poteras (Cozzolino et al., 2012). Finalmente, la embarcación suelta un ancla de capa en la proa y velas en popa con la finalidad de mantener al barco alineado con la corriente (**Figura 4**) y así evitar que las líneas se enreden.

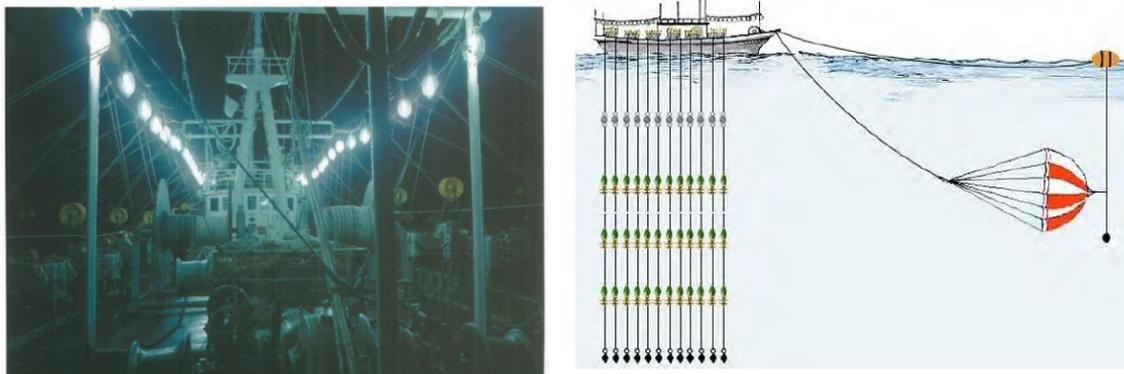


Figura 4: Vista de la cubierta de una embarcación potera utilizando potentes focos en babor y estribor (Rodhouse et al., 2001) (izquierda). Aparejo de pesca utilizado para la captura industrial del calamar (SPRFMO, 2017) (derecha).

4.2.1. RESEÑA HISTÓRICA

En diciembre de 1982 el Perú se adhiere a la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR), pero hasta la fecha no ha ratificado. En el artículo 57 menciona sobre la anchura de la zona económica exclusiva (ZEE), definiendo como

jurisdicción de los Estados ribereños sobre los recursos de la Zona Económica Exclusiva no más de 200 millas marinas contadas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial. Además de la responsabilidad de todos los Estados de administrar y conservar sus recursos biológicos (ONU, 2004).

Durante los años ochenta, la captura de *Dosidicus gigas* representó una parte significativa de la captura total de la antigua flota de arrastre de la Unión Soviética que operaba dentro y fuera de la ZEE peruana (Tafur & Rabí, 1997). A partir de la década de los 90s y en adelante, se inicia la interacción entre la flota extranjera y la flota nacional (Argüelles et al., 2008). En 1991 se apertura la pesca de la pota para la flota industrial japonesa y coreana, equipadas con aparejos mecanizados y especializados para la captura de esta especie (método de pesca denominado *jigging*), flota que fue creciendo rápidamente entre 1991-1994. Con la ocurrencia del fenómeno El Niño 1997/98 que acentuó la reducción progresiva de la biomasa de los recursos costeros, por lo que los pescadores artesanales se aventuran hacia aguas oceánicas en busca de otros recursos como la pota, favoreciendo el crecimiento de esta flota artesanal (Argüelles & Tafur, 2008; Keyl et al., 2011). En el 2001 frente al colapso del stock de merluza peruana y frente a una gran demanda de los países asiáticos, la industria congeladora peruana volcó su interés hacia la pota (Paredes & De la Puente, 2014). La aparición de este nuevo mercado de exportación y la relativa facilidad con la que se capturaba, fueron oportunidades rápidamente aprovechadas por los pescadores artesanales, beneficiando aún más el crecimiento de la flota artesanal nacional.

Paralelo a ello desde el 2001 la flota industrial calamarera china comienza a explorar la pesca de *Dosidicus gigas* en el sur-este del Océano Pacífico fuera de la Zona Económica Exclusiva del Perú (Área FAO 87) (Chen et al., 2016) con una flota industrial inicial de 22 embarcaciones y aumentando progresivamente hasta llegar a 104 embarcaciones en el 2010 (Li et al., 2017). Mientras ello acontecía, la participación de la flota extranjera (japonesa y coreana) en el Perú experimentaba una reducción gradual pero un incremento en la participación de la flota artesanal.

A finales del 2011 se aprueba el Reglamento de Ordenamiento Pesquero (ROP) de la pota, mediante el D.S N° 014-2011-PRODUCE, que determinó que la flota industrial (de bandera extranjera) realizara sus faenas de pesca entre las 80-200 millas náuticas de la costa, que implicaba un incremento del esfuerzo para la captura de este recurso. Así mismo, los

requerimientos de acceso a la pesquería eran significativamente más complejos para las embarcaciones industriales extranjeras que para las embarcaciones artesanales, debido a que la finalidad del reglamento era constituir una pesquería del calamar gigante mediante el desarrollo de una flota nacional. Por lo tanto, la flota extranjera se desplazó fuera de la Zona Económica Exclusiva del Perú, zona donde ya se encontraba operando la flota calamarera China desde el 2001. De esta manera la captura de la pota se convierte en una de las principales pesquerías de aguas distante de China (Li et al., 2017).

4.2.2. DESEMBARQUE DEL CALAMAR GIGANTE

Los desembarques de *Dosidicus gigas* entre 1990 y 2015 muestran dos periodos claramente diferenciados por evento El Niño 97/98 (**Figura 5**). El primero entre 1990 y 1998, un periodo con una interacción en el mar peruano entre la flota pesquera artesanal nacional y la flota industrial (extranjera), con desembarques muy similares y con máximos hasta 200 mil toneladas. En el segundo periodo entre 1999 y 2015, inicia con un gran crecimiento continuo de los desembarques de la flota artesanal nacional hasta el 2002; caso contrario los desembarques de la flota industrial (extranjera) tienen una tendencia decreciente. La flota artesanal nacional en los últimos nueve años tuvo un desembarque de pota hasta cerca de 500 mil t/año. Por otro lado, a partir del 2011 los desembarques de la flota industrial extranjera se reducen a cero debido a cambios en la normatividad que limita la operación de la flota extranjera dentro de la ZZE del Perú. Ello ocasionó que se desplacen al límite de las 200 millas del mar peruano.

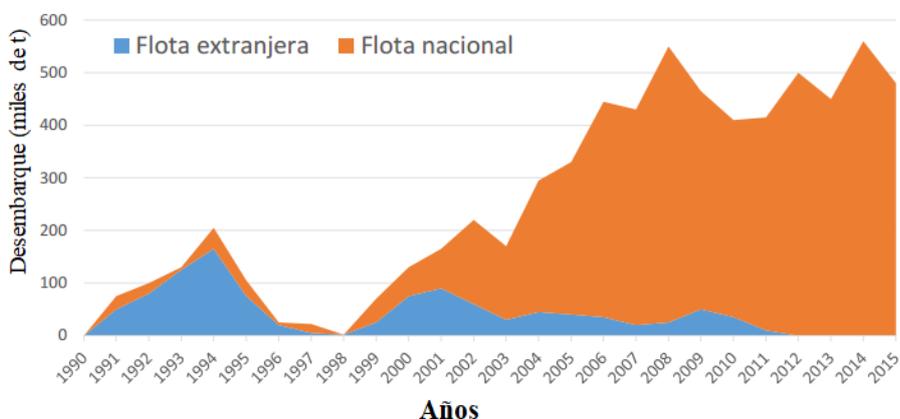


Figura 5: Desembarque de pota (miles de t) de la flota nacional y extranjera en el periodo de 1990-2015 (Fuente: PRODUCE, 2016)

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA FLOTA CHINA

Las embarcaciones calamareras chinas situadas fuera de la Zona Económica Exclusiva del Perú inician sus operaciones con 22 embarcaciones en el 2001 pasando a 172 embarcaciones en el 2011 y 276 en el 2016 (**Figura 6**), convirtiéndose en una de las principales pesquerías de China (Li et al., 2017). El número de embarcaciones mensuales durante el periodo 2001-2016 presenta una variación marcada con los mayores valores en los meses de julio a diciembre y menores valores en los meses de enero a junio. En el 2016 la flota orientada a la captura de *Dosidicus gigas* fuera de la ZEE del Perú estuvo compuesta por 276 embarcaciones chinas, 9 embarcaciones China-Taipéi, 2 coreanas y 6 embarcaciones de otros países (Li et al., 2017).

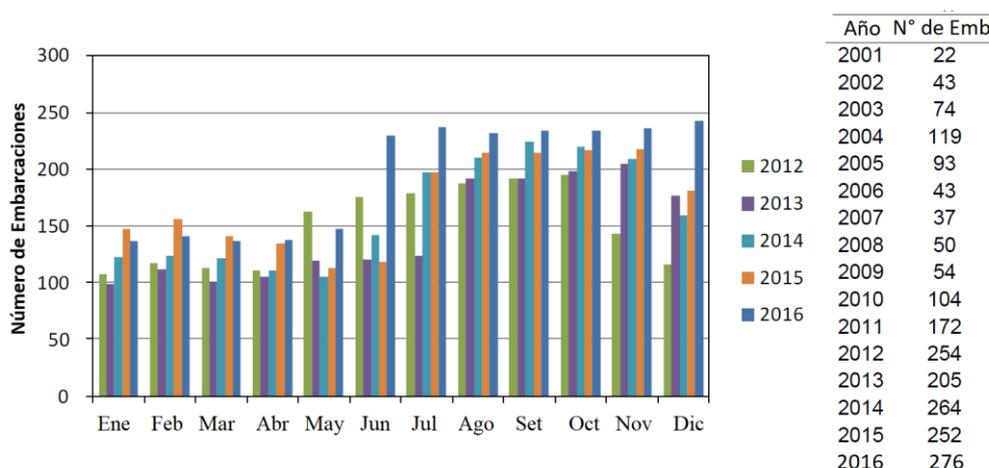


Figura 6: Variación mensual del número de embarcaciones calamareras (izquierda) y el número total de embarcaciones chinas por año (derecha) para el periodo 2012-2016. (SPRFMO, 2017).

La flota calamarera China inició sus operaciones en altamar del sur-este del Océano Pacífico desde el 2001 con 22 embarcaciones que capturaron 17,770 toneladas (**Figura 6 y 7**). Posteriormente las capturas se incrementaron rápidamente llegando a tener una captura promedio de 250 mil toneladas en el periodo de 2011-2015 (**Figura 7**). La captura récord de esta flota la obtuvo en el 2014 con un total de 325 mil toneladas (Li et al., 2017) consolidándose como una de las principales flotas pesqueras orientadas a la captura del calamar gigante en aguas internacionales.

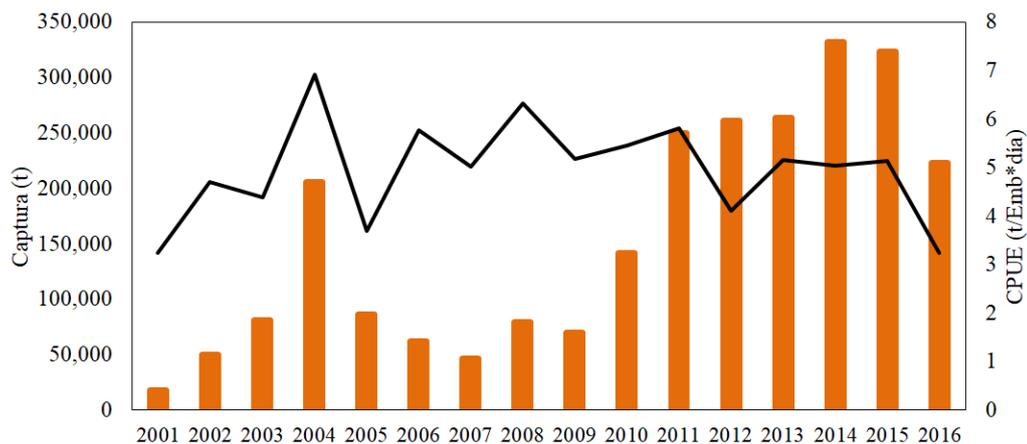


Figura 7: Captura anual (barras) y CPUE anual (línea) de la flota calamarera china durante el 2001-2016. (SPRFMO, 2017)

La CPUE anual entre 2001 y 2010 no evidencia alguna tendencia, presenta un valor mínimo durante el inicio del 2001 con 3.2 (t/emb*día) y creciendo hasta un pico máximo en el 2004 con 6.9 (t/emb*día). Para el período 2011-2015 la CPUE anual presenta un descenso continuo hasta el 2016 con un valor de 3.3 (t/emb*día) (**Figura 7**). Por otro lado, el valor de CPUE mensual entre 2011 y 2016 presenta una variación marcada con mayores valores en los meses de verano y primavera y con valores más bajos en los meses de invierno (**Figura 8**). Este comportamiento es muy similar al número de embarcaciones mensuales presentes en la Figura 6.

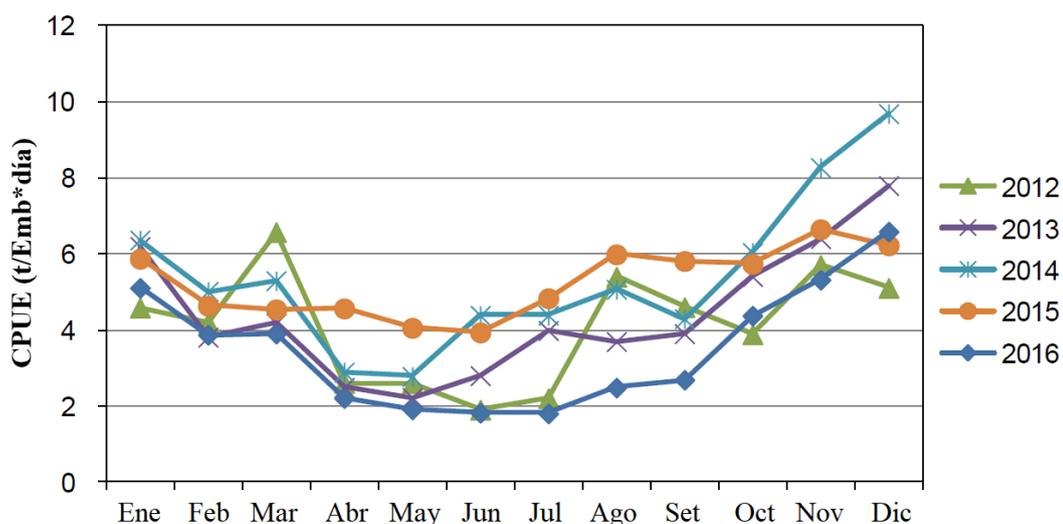


Figura 8: Valor de CPUE mensual de los buques chinos que capturan *Dosidicus gigas* durante 2012-2016. (SPRFMO; 2017)

4.3 PERCEPCIÓN REMOTA

El término “percepción remota” envuelve todo el proceso de adquisición de información proveniente del satélite, mientras que el procesamiento digital de imágenes implica un conjunto de métodos que brinda utilidad a esa información (Mehl, 1997). La teledetección se define como la adquisición de información de un objeto sin estar en contacto físico con él (Gutiérrez et al., 2006). La información se adquiere mediante la detección y la medición de los cambios que el objeto impone en el campo circundante, ya sea una electromagnética, acústica, o potencial (Jensen, 2009).

4.3.1. ELEMENTOS DE LA PERCEPCIÓN REMOTA

La naturaleza de la obtención de datos mediante percepción remota está influenciada por las interacciones de las diferentes partes que la constituyen dentro de un sistema y según Pérez (2005) son los siguientes (**Figura 9**).

- **Fuente de energía**, es el origen del flujo energético detectado por el sensor. La fuente de energía más importante es la energía solar.
- **Objeto para estudiar**, objeto que recibe la señal energética procedente de la fuente de energía y pueden reflejar, absorber o emitir de acuerdo con sus características físicas
- **Sistema sensor**, su función es captar la energía procedente de la cubierta terrestre, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- **Respuesta espectral**, también llamado firma espectral y corresponden a la combinación de respuestas típicas provenientes de un objeto a estudiar observado por un sensor en varias bandas espectrales
- **Sistema de recepción – comercialización**, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado para que el usuario final lo acceda.
- **Analista - usuario final**. Es quien interpreta la información ya sea en un formato digital o análogo, convirtiéndola en una clave temática o cuantitativa.

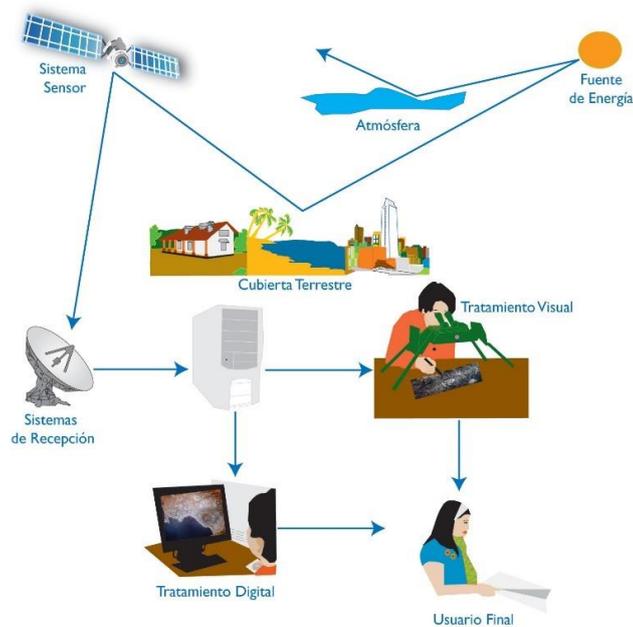


Figura 9: Componentes de la Teledetección. (Fuente: IMARPE)

4.3.2. SATÉLITES

El término satélite se refiere esencialmente a un objeto pequeño, ya sea natural o artificial, que da vueltas, es decir, órbita alrededor de un objeto astronómico de mayor tamaño. Los satélites artificiales son máquinas o, mejor dicho, combinaciones de máquinas que orbitan alrededor de nuestro planeta con diversos propósitos (Rodríguez & Chica, 2012). De acuerdo a su ubicación sobre la superficie terrestre y a las órbitas que describen, según Pérez (2005) las dividen en varios tipos:

- **Satélites de órbita baja (LEO, por sus siglas en inglés).** Los satélites LEO se mueven a 27,360 km/h, por lo que pueden circundar la Tierra en tan solo 90 minutos. Los satélites climáticos y de monitoreo remoto describen este tipo de órbitas y actualmente hay más de 8000 de estos artefactos orbitando nuestro planeta (Figura 10 a).
- **Satélites de órbita polar.** Es un tipo especial de los descritos anteriormente (LEO), la única diferencia es que un satélite en órbita polar viaja en una dirección norte sur, en lugar de la dirección más común (este-oeste) (Figura 10 b).
- **Satélites geostacionarios o de órbita geosincronizada (GEO, por sus siglas en inglés).** Éstos se localizan directamente por encima del Ecuador. A esa distancia, a un satélite le toma exactamente 24 horas dar una vuelta completa al planeta, de manera

que como ese tiempo también coincide con la rotación de la Tierra, la rotación de ambos cuerpos es simultánea (Figura 10 c).

- **Satélites de órbita elíptica.** Describen una trayectoria en forma de óvalo. Un satélite que describa esta órbita tarda unas 12 horas en dar la vuelta completa al planeta se mueve en dirección norte-sur, por lo que puede barrer las zonas polares, lo cual no logran los satélites tipo GEO (Figura 10 d)

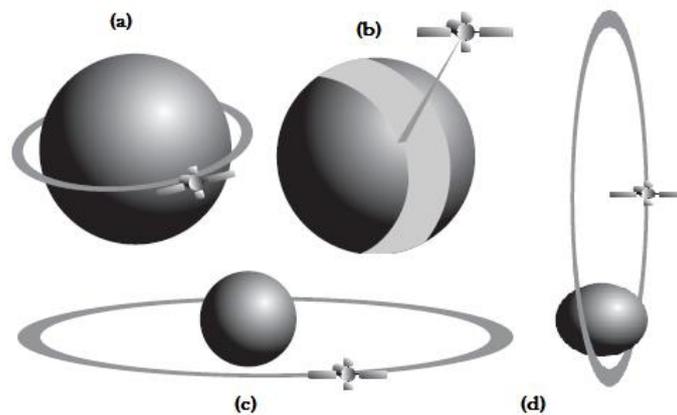


Figura 10: Orbitas de los satélites; (a) órbita baja; (b) órbita polar; (c) órbita geostacionaria y (d) órbita elíptica.

4.3.3. SATÉLITES DMSP-OLS

El DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) es un satélite meteorológico que pertenece a la NOAA, tiene una órbita sincrónica polar y viaja a una altura de 840 km con una cobertura global de dos veces al día. El DMSP lleva 6 sensores incluyendo el OLS que mide la cobertura global de las nubes durante el día y noche a través de dos canales el Visible Infrarrojo - cercano (VNIR) e Infrarrojo Térmico (TIR) (Huang et al., 2014). El rango espectral del VNIR es de (0.4 - 1.1 μm) donde cada pixel tiene una resolución espacial de 1 km aproximadamente y valores entre 0 y 63 con unidades de $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, valores conocidos como “Número Digital” (ND) que representa la intensidad de luz emitida por el pixel (Li et al., 2017; Elvidge et al., 1997).

4.3.4. SATÉLITES SUOMI NPP

El satélite meteorológico Suomi National Polar-Orbiting Partnership (NPP) de la NOAA fue lanzado el 28 de octubre del 2011. Tiene una órbita helio sincrónica, se encuentra a una altitud de 824 km y cruza el ecuador aproximadamente a las 1:30 GMT (Cozzolino, 2015). El Suomi NPP lleva a bordo 5 sensores, uno de ellos es el Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite (VIIRS) (Chen et al., 2016). El VIIRS se encuentra dentro de una nueva generación de sensores considerados low-light que le permite captar señales lumínicas débiles provenientes de la tierra, esto lo realiza a través de la banda DNB (Day/Night Band) (Lee et al., 2014; Straka et al., 2015). Si bien ya existen sensores que utilizan la luz de la luna para realizar sus mediciones, tal es el caso del sensor OLS, la banda DNB que posee el sensor VIIRS se vale de la Luminiscencia Nocturna (airglow), la luz de las Estrellas (starlight) y la Luz Zodiacal (Zodiacal Light) para detectar las luces (**Figura 11**) (Miller et al., 2013).

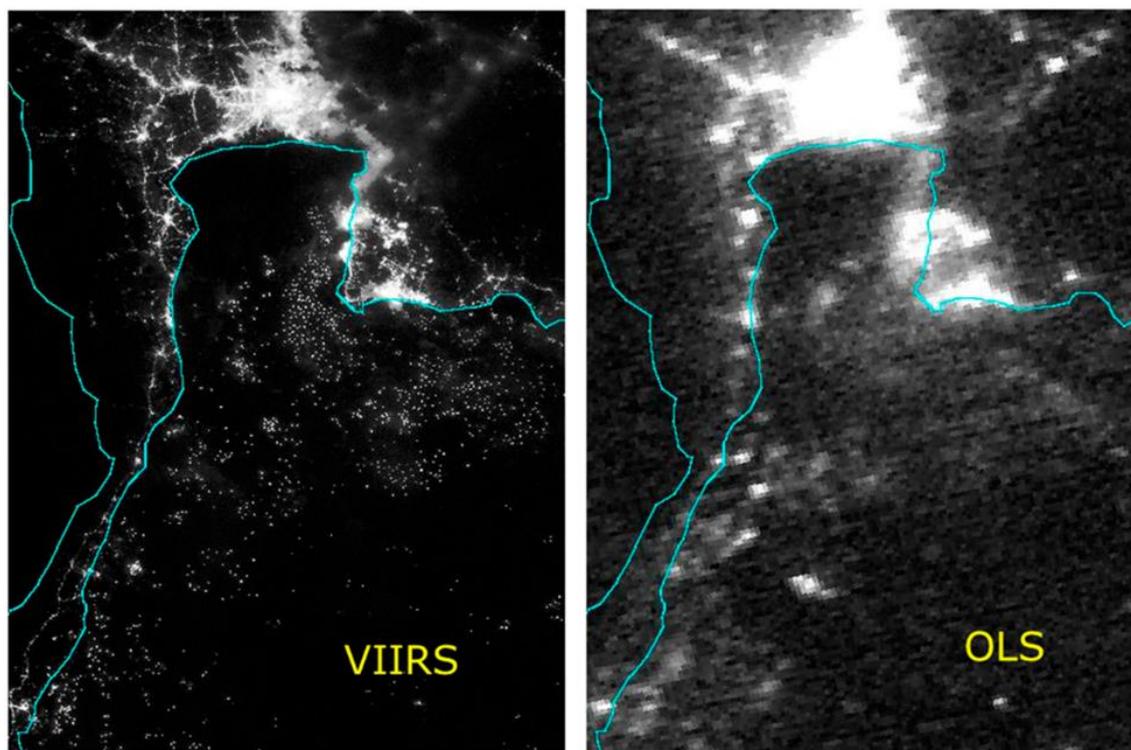


Figura 11: Comparación entre una imagen (VIIRS) vs. (OLS), zona de Bangkok en la región del Golfo de Tailandia en la noche del 14 de octubre de 2012. Se muestra una mejor resolución espacial del satélite NPP-VIIRS (Fuente: Elvidge et al., 2015)

La banda DNB tiene un rango espectral entre 505-890 μm y la resolución espacial de las imágenes generadas es de aproximadamente 0,75 km. Su diseño se basó en el sensor OLS, pero se introdujeron muchas mejoras: calibración radiométrica (a bordo), 15 bits de rango dinámico y mejor resolución espacial (Jing et al., 2015).

4.3.5. RESOLUCIÓN DE UN SISTEMA SENSOR

Los sensores de teledetección son instrumentos que transforman la radiación electromagnética en información perceptible y analizable. Los sensores pasivos detectan la radiación electromagnética emitida o reflejada de fuentes naturales. Mientras que los sensores activos poseen fuentes internas que generan artificialmente la radiación (Jensen, 2009). Una imagen satelital es una matriz digital de puntos (igual a una fotografía digital) capturado por un sensor montado a bordo de un satélite que órbita alrededor de la Tierra (**Figura 12**) (Mehl & Peinado, 1997). Un sistema sensor puede tener varios tipos de resolución (Pérez, 2005).

- **Resolución Temporal:** Es la frecuencia de observaciones del sensor sobre un objeto.
- **Resolución Espacial:** Es el mínimo detalle espacial (pixel) que registra un sensor. Depende del sistema óptico del sensor y de la altitud de la plataforma. Se mide en unidades de longitud (metros sobre el terreno).
- **Resolución Espectral:** Es la cantidad de bandas y sus respectivos rangos espectrales con que se capta la energía electromagnética.
- **Resolución Radiométrica:** Se refiere a la capacidad para detectar variaciones en el valor de radiancia espectral que recibe. El número de valores que incluye ese rango, es decir, el número máximo de niveles digitales de la imagen suele identificarse como la resolución radiométrica del sensor. Actualmente, la mayor parte de los sistemas ofrecen 256 niveles por pixel o 8 bit.

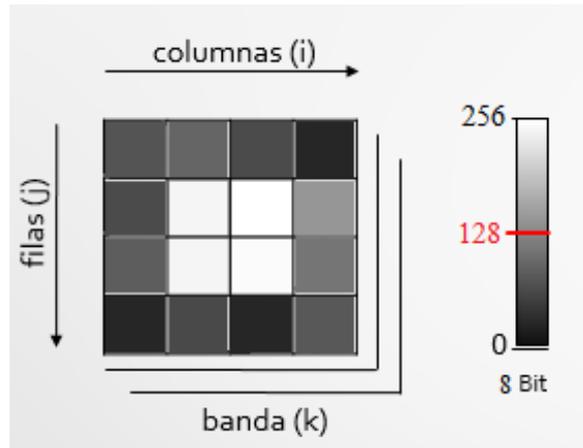


Figura 12: Características de una imagen satelital, se muestra una matriz de filas y columnas y una resolución radiométrica de 8 Bit.

4.4 USO DE IMÁGENES SATELITALES NOCTURNAS

Según Rodhouse et al. (2001) la luz emitida por los buques de pesca para atraer calamares puede ser detectado a través de la teledetección. La distribución de las luces puede usarse también para observar la distribución y abundancia de la flota calamarera, y por inferencia, la distribución de las poblaciones del calamar (Cho et al., 1999; Kiyofuji et al., 2001). A diferencia de los datos sobre las pesquerías convencionales, que están limitados por las fronteras políticas, las imágenes satelitales pueden proporcionar una visión sinóptica de la actividad pesquera tanto en las zonas reguladas como en las no reguladas. Las primeras aplicaciones de imágenes DMSP-OLS fueron hechas en la pesquería del *Illex argentinus* en las aguas de las Islas Malvinas. Según Waluda et al. (2002) se puede calibrar las imágenes conociendo el nivel de esfuerzo pesquero, y así poder estimar los niveles de esfuerzo en alta mar, proporcionando un análisis más completo del impacto global de la pesca sobre el recurso y un análisis a gran escala de su dinámica espacial (Waluda et al. 2008).

Maxwell et al. (2004) midió el nivel de esfuerzo pesquero mediante la detección de luces del sensor OLS-DMSP, validado mediante la comprobación de datos diarios de pesca y confirman que las luces detectadas por los satélites son indicadores fiables del esfuerzo pesquero. Con el fin de cuantificar el esfuerzo pesquero utilizando luces Waluda et al. (2004) obtuvieron datos de distribución y abundancia de buques mediante un seguimiento por satélite utilizando el sistema ARGOS y examinaron cuánta luz (en términos de área) es emitida por un solo barco de pesca de calamar. Trabajos hechos en el Perú sobre la pesquería

del calamar gigante fueron hechos por Paulino & Escudero (2010), quienes describen como se utilizan las imágenes satelitales nocturnas para detectar la ubicación de la flota potera dentro y fuera de la ZEE del Perú con el objetivo de comprender la distribución, concentración y características de la flota pesquera de calamar. Otros resultados en la pesquería del Pacific saury (*Cololabis saira*) muestran que la distribución espacial de la luz de pesca está significativamente relacionada con el número de buques pesqueros (Saitoh et al., 2010). Sugiriendo la posibilidad de estimar el esfuerzo pesquero a partir de imágenes satelitales nocturnas.

El uso de imágenes satelitales nocturnas es una herramienta poderosa e innovadora que ha sido utilizado también para determinar la variabilidad espacial y temporal, migración y la ecología del calamar común japonés (*Todarodes pacificus*) (Kiyofuji & Saitoh 2004; Choi et al., 2008). Los datos de las imágenes satelitales pueden utilizarse para proporcionar imágenes sinópticas de la flota durante periodos cortos de un solo día a varios años, y permite estudiar la actividad de la flota fuera de los límites administrativos y políticos (Waluda et al., 2005).

Los últimos trabajos sobre imágenes satelitales nocturnas han dejado atrás el uso del satélite DMSP-OLS para comenzar a utilizar el NPP-VIIRS, esto debido a sus innumerables ventajas, una de ellas una mejor resolución (0,75 km). Trabajos hechos por Elvidge et al. (2015) y Cozzolino & Lasta (2016) han desarrollado un conjunto de algoritmos para la detección automática de embarcaciones que pescan con luces, proporcionando indicios de la presencia de embarcaciones ilegales en áreas restringidas e incursiones a las Zonas Económicas Exclusivas (ZEE) de los países costeros.

4.5 SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA (AIS)

4.5.1. DEFINICIÓN

El sistema de identificación automática es un sistema universal de buques destinado a mejorar la seguridad y eficiencia de la navegación y a contribuir a la protección del medio marino (Burzigotti et al., 2012). La Organización Marítima Internacional (OMI) ordena que todos los buques de más de 300 toneladas brutas en aguas internacionales emitan su posición

a través del sistema AIS. Sistema que tiene como objetivo principal facilitar un intercambio eficiente de mensajes entre los buques y también entre los buques y las estaciones costeras (Colavolpe et al., 2016). Dicho sistema está diseñado para funcionar de forma autónoma en un radio de aproximadamente 40 millas náuticas. Los receptores AIS cercanos a bordo de los buques o estaciones costeras detectan esta información, proporcionando así una imagen completa del entorno local, complementario a la información del radar (Colavolpe et al., 2016). Cualquier nave equipada con AIS transmite periódicamente mensajes cortos de longitud fija incluyendo los siguientes campos:

- MMSI (Maritime Mobile Service Identity): una serie de nueve dígitos que identifican de manera única a cada barco.
- País de registro
- Nombre del barco: 20 caracteres para representar el nombre del buque;
- Tipo de barco / carga
- Dimensiones del barco - hasta el metro más cercano
- Estado de navegación.
- Velocidad: 0 a 102 nudos con una resolución de 0.1 nudos.
- Posición Longitud y Latitud: a 1 / 10,000 minutos.
- Rumbo verdadero: de 0 a 359 grados desde la brújula giroscópica;
- Fecha y Hora: tiempo de hora universal coordinada (UTC) con precisión al segundo más cercano. (Fiorini et al., 2016)

Una de las grandes debilidades que posee el sistema AIS es la facilidad con la cual los buques pueden engañar al sistema falsificando su ubicación o apagando sus transpondedores AIS a voluntad. Además, es razonable suponer que algunos barcos dedicados a la pesca ilegal intencionalmente no transmitirán su AIS para evitar ser detectados.

4.5.2. OBSERVADOR MUNDIAL DE LA PESCA (GFW)

La sobrepesca amenaza la biodiversidad de los océanos, la seguridad alimentaria mundial y los medios de subsistencia de los pescadores que respetan la ley. Para abordar esta cuestión, la plataforma web Global Fishing Watch (GFW) fue creado para traer transparencia a las

pesquerías mundiales usando informática y análisis de datos. Producto de una asociación entre ONG Oceana, SkyTruth y Google, el Observador Global de la Pesca por sus siglas en inglés (GFW) utiliza la base de datos del Sistema de Identificación Automática, o AIS, para analizar el movimiento de buques en el mar. El AIS proporciona datos de ubicación de buques y GFW (<http://globalfishingwatch.org/map/>) utiliza esta información para rastrear el movimiento global de los buques y aplicar algoritmos para clasificar el comportamiento de los buques como actividad "pesquera" o "no pesquera". Es de acceso libre, cualquier persona con una conexión a internet puede monitorear cuándo y dónde la pesca comercial está ocurriendo en el mundo (**Figura 13**). Cientos de millones de personas en todo el mundo dependen de los océanos para su sustento, y muchos más confían en él para la alimentación. Las diversas aplicaciones de GFW ayudarán a reducir la sobrepesca y la pesca ilegal, restaurar la abundancia del océano y asegurar la sostenibilidad a través de un mejor monitoreo y gobernabilidad de nuestros recursos marinos (Merten et al., 2016; Campbell et al., 2016).



Figura 13: Entorno de la página web de Global Fishing Watch. El círculo amarillo muestra la flota calamarera extranjera en el límite de la Zona Económica Exclusiva del Perú (Fuente: GFW)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio fue realizado en el área comprendida entre (3° – 31° S y 72° – 92° W), fuera del límite de la Zona Económica Exclusiva del Perú, zona donde la flota industrial extranjera realiza sus operaciones de captura de pota (Figura 14). Así lo demuestra el ejemplo de una imagen satelital nocturna en la Figura 15.

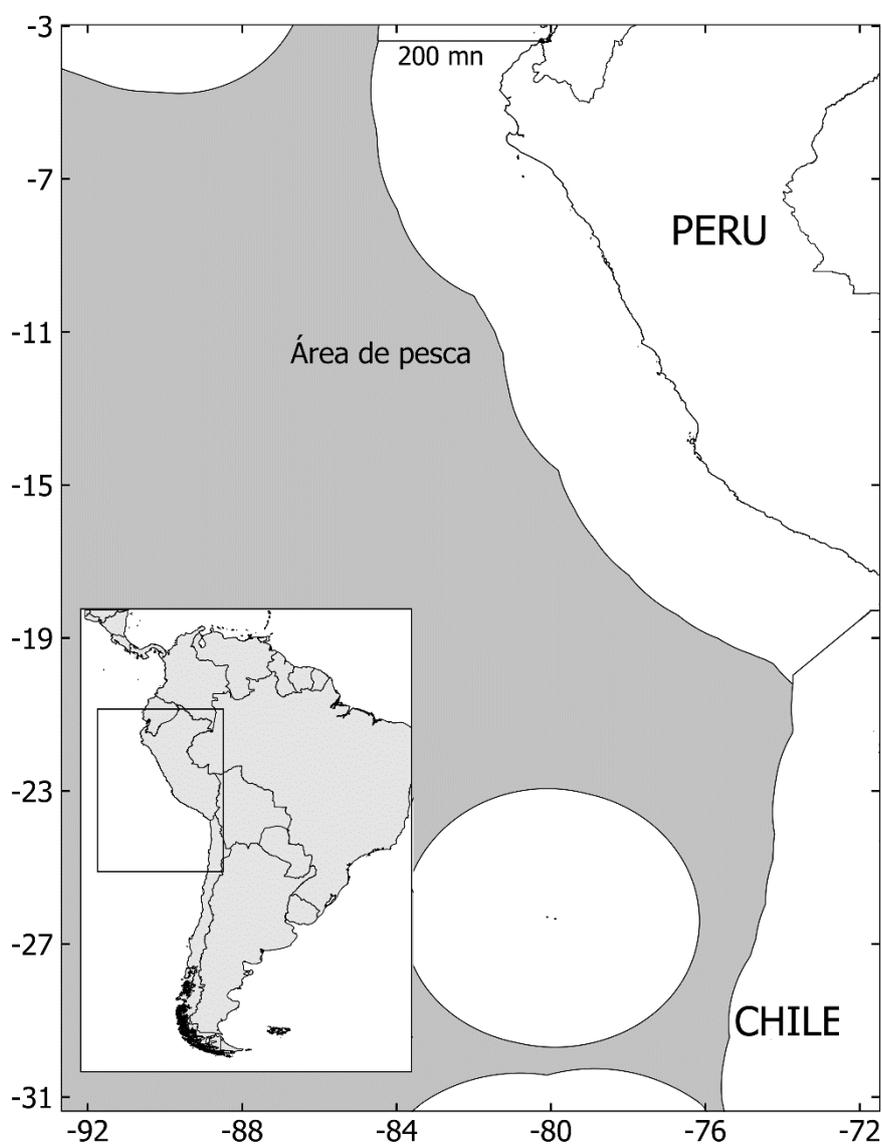


Figura 14: Área de estudio (región de color gris), las regiones en blanco representan la Zonas Económicas Exclusivas y los países costeros.

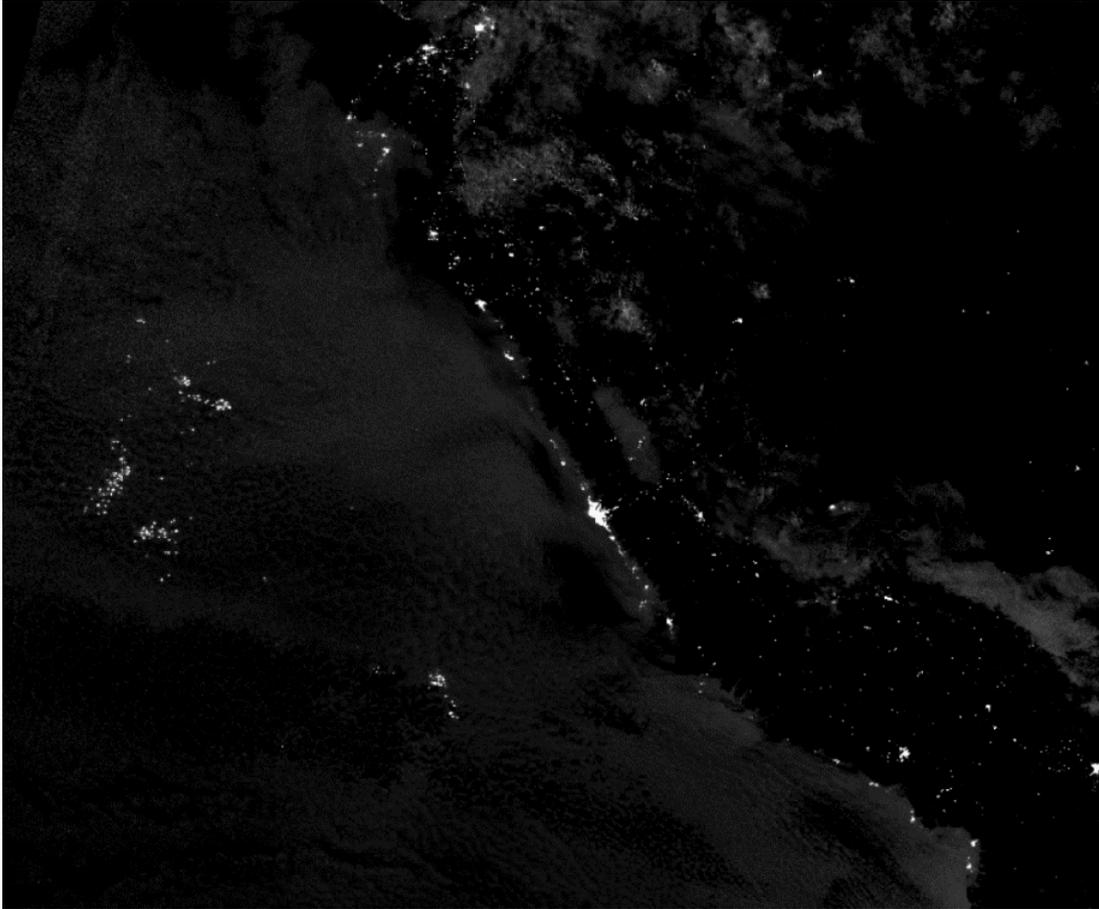


Figura 15: Ejemplo de una imagen satelital nocturna. Las manchas blancas representan a la flota pesquera que opera con luces frente al mar peruano. (Fuente: NOAA)

5.2 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio consistió en la estimación del número total de embarcaciones usando tres fuentes de información: i) Imágenes satelitales nocturnas que fueron proporcionadas por el Instituto del Mar del Perú y complementadas del propio sitio web de la NOAA. ii) Datos del sistema AIS que fueron proporcionadas ONG Global Fishing Watch. iii) Lista de las embarcaciones autorizadas y registradas en la base de datos de la OROP-PS. Con ello se cuantificó el número de embarcaciones ilegales que no cuentan con autorización de pesca, aquellas que envían información inconsistente y que no están registradas en la base de datos del sistema AIS, pero sí han sido detectados mediante las imágenes nocturnas. Finalmente se estimó la captura ilegal proveniente de este grupo de embarcaciones ilegales. La Figura 16 muestra el flujograma del procesamiento realizado hasta la obtención de la captura ilegal.

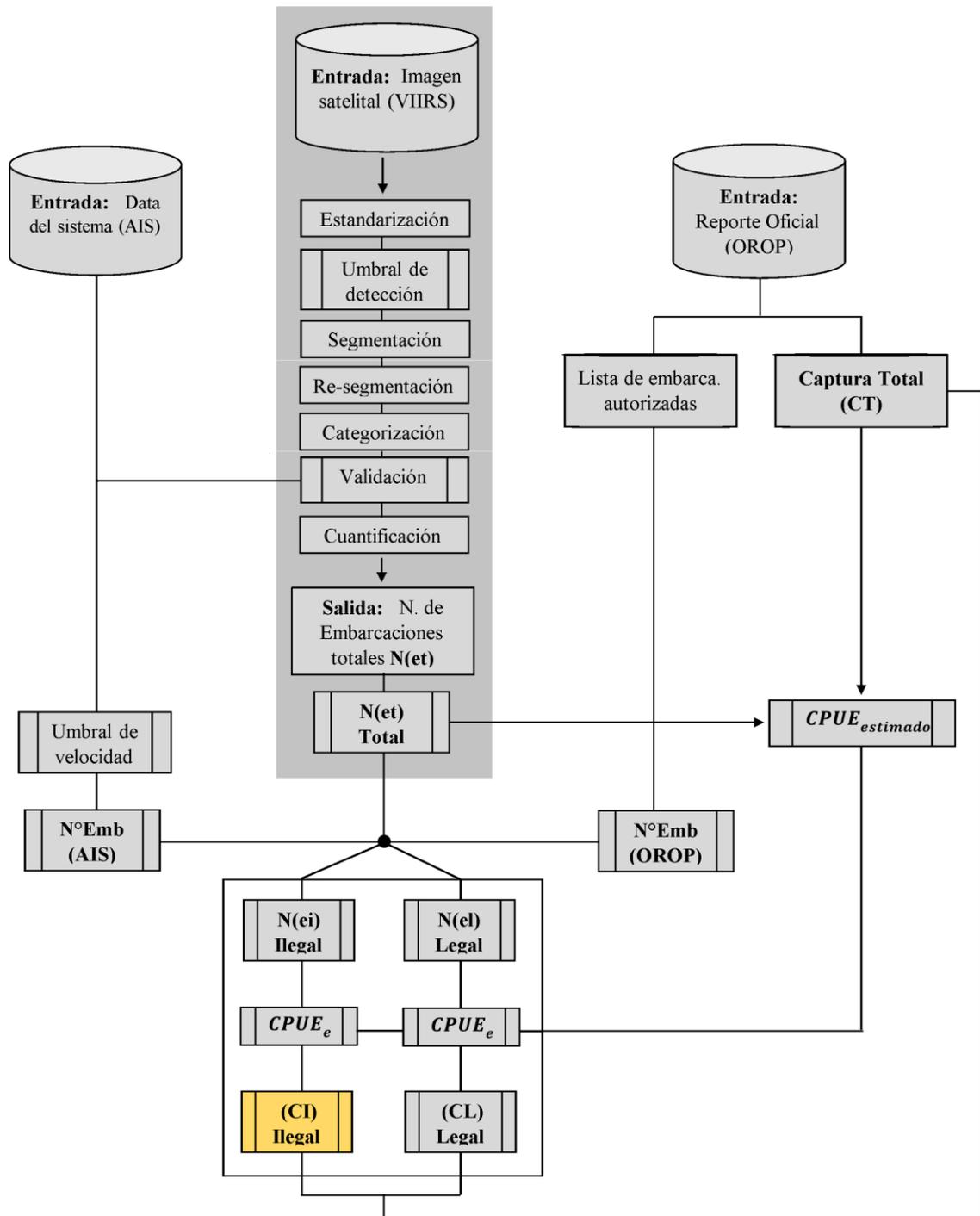


Figura 16: Diagrama de flujo para el procesamiento de la información diaria para la estimación de número de embarcaciones legales $N(e_l)$, ilegal $N(e_i)$, totales $N(e_t)$ y las capturas legales (CL) e ilegales (CI).

5.3 ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EMBARCACIONES

5.3.1. ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE EMBARCACIONES USANDO IMÁGENES SATELITALES

La estimación del número total de embarcaciones por día se realizó utilizando las metodologías propuestas por Elvidge et al. (2015) y Cozzolino & Lasta (2016) que consta de las siguientes etapas: a) fase de estandarización; b) estimación del umbral de detección; c) segmentación; d) re-segmentación; e) categorización; f) validación y g) cuantificación. Las siete etapas mencionadas serán repetidas una y otra vez para cada imagen diaria tal como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 16.

a) ESTANDARIZACIÓN

Aquellas imágenes con fechas que coincidieron con la fase de luna llena y las que tuvieron altos porcentajes de nubosidad fueron excluidas del procesamiento previo a la estandarización y así evitar errores en la cuantificación de embarcaciones. La etapa de estandarización permitió mejorar el contraste de la imagen y la preparará para la identificación de barcos. Los datos de los píxeles de las imágenes nocturnas (Figura 11) de la banda DNB se producen en unidades de radiancia. (W/cm²/sr). Los valores de los datos originales tienen de siete a diez ceros después de la coma antes del inicio de la cifra significativa. Para trabajar con valores que faciliten la metodología, a cada imagen de entrada del día (t) a la cual llamaremos "*imagen_DNB*" se procederá a multiplicar los valores de radiancia por mil millones. Seguidamente para mejorar el contraste de la imagen se aplicó el logaritmo en base 10 (log₁₀) a los valores de radiancia mejorando la diferencia de brillo entre el objeto y el fondo. Finalmente, en esta etapa se procedió a transformar los valores de la "*imagen_DNB*" en escala logarítmica a un rango de niveles de gris [0-255] (*imagen_gris*) con las siguientes ecuaciones.

$$pendiente = \frac{254}{max - min} \quad (Ec. 1)$$

$$intercepto = 1 - (pendiente) \times (min) \quad (Ec. 2)$$

$$imagen_gris = (imagen_DNB \times pendiente) + intercepto \quad (Ec. 3)$$

Donde el *min* y *max* son los valores máximos y mínimos en radiancia de la imagen_DNB.

b) UMBRAL DE DETECCIÓN

El "umbral de detección" nos permitirá diferenciar las luces de los barcos (píxeles iluminados) del océano oscuro (píxeles no iluminados), nubes o ruidos atmosféricos. Además, se convierte en una herramienta simple pero efectiva para separar los objetos del fondo. Ello permite diferenciar los píxeles que representan los barcos de los píxeles que representan en océano. En primer lugar, se realizó un filtro de gradientes horizontal que nos permitió mostrar el contraste entre el océano oscuro y el área iluminada de un barco. Una "*imagen_gradiente*" es la diferencia de la radiancia (*imagen_gris*) entre el píxel (i) y el píxel (i + 1). Los valores de gradiente más altos correspondan al inicio de áreas altamente iluminadas de cada barco. El cálculo de la *imagen_gradiente* se realiza siguiendo esta ecuación para cada píxel:

$$Imagen_gradiente_{(i)} = Imagen_gris_{(i+1)} - Imagen_gris_{(i)} \quad (Ec. 4)$$

En segundo lugar, cada valor que supere el valor de la *gradiente media* de la *imagen_gris* (i+1), fue considerado un posible valor de umbral. Con el vector de posibles valores calculamos un valor de umbral mínimo (*umbral_min*) y umbral máximo (*umbral_max*) y finalmente el valor del umbral de detección para la imagen_gris (i) del día (t).

$$umbral_detección = umbral_min - \left(\frac{umbral_max - umbral_min}{2} \right) \quad (Ec. 5)$$

c) SEGMENTACIÓN

La segmentación es un proceso a través del cual clasificaremos los píxeles (valores de radiancia > umbral) de una imagen siguiendo criterios específicos. Teniendo grupos de píxeles que representan posibles embarcaciones, grupos individuales o a veces grupos contiguos. Esta etapa permite agruparlos y diferenciarlos. Para ello se realizó la

segmentación bajo una celdilla de 3x3 (criterio de vecindad de 8 píxeles) y finalmente tener grupos de píxeles que estarán asociados a un barco. Tendremos sus posiciones (latitud y longitud) que nos serán útiles en la siguiente etapa.

d) RE-SEGMENTACIÓN

Esta etapa se realizó solo cuando dos o más barcos se encontraron pescando demasiado juntos, las áreas iluminadas de estos barcos tienden a solaparse dificultando la diferenciación. Para este tipo de situación la re-segmentación calcula el nuevo valor de umbral, como la intensidad media más su desviación estándar de cada grupo de píxeles seleccionados, y nuevamente utilizamos las ecuaciones de la etapa de segmentación hasta lograr la diferenciación de los grupos de píxeles que representan una embarcación. Finalmente, cada grupo de píxeles fue asociado a un barco.

e) CATEGORIZACIÓN

La categorización viene a ser una etapa de control de calidad para excluir las falsas detecciones de embarcaciones, generalmente asociados a presencia de nubes, ruidos ionosféricos o rayos cósmicos a los cuales llamaremos *ruido_circundante*. Para esta etapa la categorización se realizó con los grupos de píxeles que representan posibles embarcaciones. Para categorizarlos y excluirlos se utilizaron las siguientes ecuaciones.

$$prom_grupo = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^X Pixel_i \quad (Ec. 6)$$

Donde X es el número de píxeles del grupo y el *pixel* representa el valor de la radiancia del pixel.

$$ruido_circundante = \left(\frac{Pixel_max - Prom8vecinos}{Pixel_max} \right) \quad (Ec. 7)$$

Donde *Pixel_max* es el valor máximo de radiancia del grupo de píxeles y *Prom8vecinos* es el promedio de los 8 píxeles vecinos alrededor de la posición del pixel máximo.

f) VALIDACIÓN

La etapa de validación nos permitió corroborar que los píxeles identificados realmente pertenecen a los barcos. Para ello se utilizó la información de las posiciones de los grupos de píxeles (latitud y longitud) encontradas en la etapa previa y su posición real mediante el sistema AIS. La precisión de la validación y el análisis estadístico de la metodología para estimar el número total de embarcaciones usando imágenes satelitales fueron aplicados a una muestra de $N=240$ imágenes (5 por cada mes) en días que revelen una alta actividad pesquera de la flota calamarera y fueron ejecutadas en el software estadístico R-Studio utilizando diferentes ecuaciones. El error relativo medio (**ERM**) fue calculado usando la siguiente ecuación:

$$ERM = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^N \frac{|NBarcos_{real, i} - NBarcos_{estimado, i}|}{NBarcos_{real, i}} \times 100 \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde N es el número de comparaciones realizadas, $NBarcos_{real}$ es el número de barcos reales registrados en el AIS y $NBarcos_{estimado}$ es el número de barcos estimado usando las imágenes nocturnas, ambos para una imagen $i=1$.

La precisión también fue calculada con el error cuadrado medio (**ECM**) usando la ecuación:

$$ECM = \sqrt{\frac{1}{X} \sum_{i=1}^N (NBarcos_{real, i} - NBarcos_{estimado, i})^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

El sesgo (**S**) entre el número de embarcaciones reales y estimado se calculó usando la ecuación:

$$S = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^N (NBarcos_{real, i} - NBarcos_{estimado, i}) \quad (\text{Ec. 10})$$

Finalmente se aplicó una regresión lineal entre el número de barcos reales registrados en el AIS ($NBarcos_{real}$) y el número de barcos estimado usando las imágenes nocturnas ($NBarcos_{estimado}$), además se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (CCP) con la finalidad de evaluar el grado de dependencia entre estas variables.

g) CUANTIFICACIÓN

Mediante la cuantificación se determinó el número total de embarcaciones de cada imagen satelital y sus respectivos datos de posición geográfica (latitud y longitud). Finalmente, todas las etapas fueron transformados a un sistema de códigos (scripts) en el lenguaje de programación R-Studio, software muy utilizado para el análisis de imágenes satelitales. Ello con la finalidad de automatizar todo el procedimiento para la estimación del número total de embarcaciones usando imágenes satelitales nocturnas $N(et)_t$. Proceso que fue repetido diariamente para todo el periodo de estudio y registrada en el formato del Anexo 1.

5.3.2. ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE EMBARCACIONES USANDO DATOS DE AIS

La cuantificación diaria de las embarcaciones calamareras se realizó cruzando la información de las posiciones de las embarcaciones identificadas mediante las luces en las imágenes satelitales y la trayectoria de las embarcaciones en la base de datos AIS. La identificación definitiva de cada embarcación calamarera en la base de datos de AIS es aquella cuya aproximación es la más cercana a la posición estimada con la luz de las imágenes satelitales. En el Anexo 4 se muestran las fórmulas utilizadas para proyectar las posiciones más cercanas a la posición de las embarcaciones identificadas como poteras en las imágenes satelitales. La Figura 17 muestra un ejemplo de este procedimiento que fue automatizado usando el programa SQL desarrollado para la cuantificación diaria del número de embarcaciones (Ver Anexo 5).

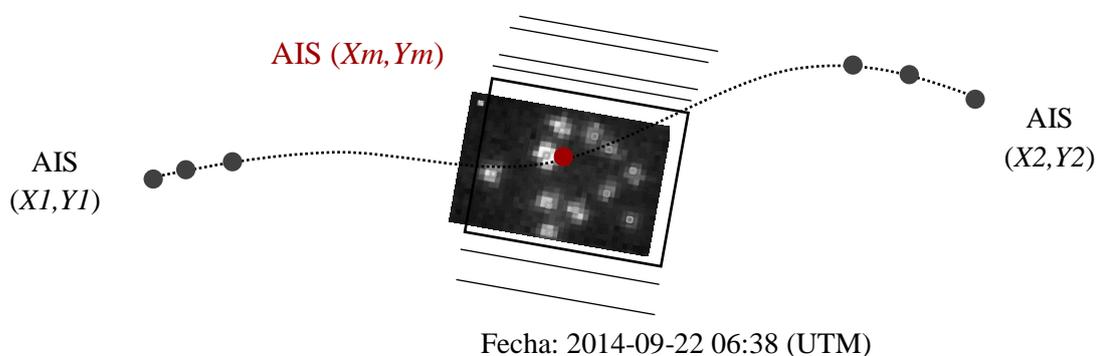


Figura 17: Los puntos negros representan las posiciones de latitud (X) y longitud (Y) de una embarcación dentro de la base de datos del sistema AIS y el punto rojo es la posición proyectada a la hora y fecha a la que el satélite toma la imagen nocturna.

Al final del proceso se obtuvieron las siguientes informaciones correspondiente a las embarcaciones identificadas como calamarereras dentro del sistema AIS:

- Nombre del barco.
- MMSI (Maritime Mobile Service Identity)
- País de registro (bandera)
- Posición latitud y longitud media de cada embarcación (X_m, Y_m) .
- Tipo de barco / carga
- Velocidad en nudos
- Rumbo verdadero
- Fecha y Hora en UTM

Adicionalmente se determinó el tipo de actividad realizada por las embarcaciones en base a la velocidad de navegación. En base a la velocidad de navegación fue posible conocer si la embarcación se encontraba pescando o navegando. Para ello se determinó un ***umbral de velocidad*** que caracterice a las embarcaciones industriales que capturan el calamar gigante, similar a lo propuesto por Joo et al. (2011) para la pesca industrial de la anchoveta peruana. Para determinar este valor se analizó el patrón, trayectoria y la velocidad de 200 embarcaciones industriales registradas en el sistema AIS para la pesca del calamar. Una vez obtenido el valor del ***umbral de velocidad*** todas aquellas embarcaciones que tuvieron una velocidad superior al umbral fueron eliminadas. Finalmente, se obtuvo el número total de embarcaciones con el sistema AIS y que se encuentran realizando la operación de pesca del calamar gigante [N_{AIS}].

5.4 ESTIMACIÓN DE LAS EMBARCACIONES ILEGALES

En el presente estudio se define como una “embarcación ilegal” a aquellas que no cuentan con autorización de pesca, aquellas que envían información inconsistente y que no están registradas en la base de datos del sistema AIS, pero sí han sido detectados mediante las imágenes nocturnas.

a) EMBARCACIONES NO AUTORIZADAS

Para determinar el número de embarcaciones ilegales (No-Autorizadas) inicialmente se cruzó la información de la lista de embarcaciones usando AIS (N_{AIS}) y la base de datos de las embarcaciones autorizadas por la OROP-PS (<https://www.sprfmo.org>) para realizar la captura del calamar gigante. Para ello se utilizó el nombre de embarcación y su código MMSI de la lista de embarcaciones usando AIS (N_{AIS}) y los ingresaremos a la base de datos de OROP-PS con la finalidad de cuantificar el número de embarcaciones que se encuentran capturando el calamar pero que no están autorizadas y no-registrados. Mediante este primer filtro se obtuvo el primer grupo de embarcaciones ilegales no autorizados por la OROP-PS (***NO_OROP***).

b) EMBARCACIONES NO IDENTIFICADAS

Se cuantificó el número de embarcaciones que cuentan con el sistema AIS pero que operan de manera ilegal, emitiendo información de AIS errónea, esto debido a la facilidad con la que el capitán de la embarcación puede manipular dicha información. Según Greenpeace (2015) este es un comportamiento muy frecuente en la flota pesquera China que opera en aguas internacionales. Las embarcaciones manipulan los datos enviando nombres falsos, MMSI inválidos, duplicado de MMSI, banderas de conveniencia, etc. para ocultarse y actuar en la ilegalidad. Obteniendo así el número embarcaciones no identificadas correctamente con AIS (***NO_ID***).

Finalmente, se cuantifico el número de embarcaciones que apagan intencionalmente su sistema AIS para no ser detectado y de aquellas que no tienen ningún sistema de seguimiento satelital, situaciones de ilegalidad según Malarky & Lowell (2018). En el caso de la pesca del calamar gigante, mediante el uso de imágenes satelitales nocturnas es posible detectarlos, debido a que necesariamente tienen que encender sus potentes focos para capturar del recurso, luces que son detectadas a través del sensor VIIRS del satélite NPP, y así podemos cuantificar el número de embarcaciones ilegales que no son detectados con AIS, pero sí con imágenes satelitales.

Para la estimación del “*número de embarcaciones ilegales*” diarias que operan en el límite de la ZEE del Perú se cruzó la información de tres bases de datos: a) imágenes nocturnas. b) datos del sistema AIS y c) base de datos de la OROP-PS (Figura 16). Utilizando la **ecuación 11** se realizó la diferencia entre el “*total de embarcaciones*” (imagen satelital), el “*total de embarcaciones usando AIS*” (N_{AIS}) y los dos grupos de embarcaciones ilegales previamente cuantificados. Es decir, las embarcaciones no autorizadas por la OROP-PS (N_{NO_OROP}) y las embarcaciones no identificadas correctamente en la base de datos del sistema AIS (N_{NO_ID}). Este procedimiento se realizó diariamente desde el 2013 al 2016, y se registró el número de embarcaciones ilegales $N(ei)$ y por diferencia el número de embarcaciones legales $N(el)$ en la tabla del Anexo 1.

$$N(ei) = N(et) - (N_{AIS} - N_{NO_OROP} - N_{NO_ID}) \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde $N(ei)$ es el número de embarcaciones ilegales, $N(et)$ el número de embarcaciones totales proveniente de imágenes nocturnas, N_{AIS} es el número total de embarcaciones que usan el sistema AIS, N_{NO_OROP} es el número de embarcaciones no autorizadas por la OROP-PS y N_{NO_ID} el número de embarcaciones no identificadas correctamente con AIS.

El número de embarcaciones totales, legal e ilegales, fueron comparados mediante un gráfico de tendencia, con la finalidad de identificar las fechas con mayores diferencias entre el número de embarcaciones legales e ilegales y conocer las fluctuaciones a nivel diario y mensual. Adicionalmente se elaboró una serie de mapas temáticos utilizando las posiciones (latitud y longitud) de las embarcaciones legales e ilegales con la finalidad de conocer la interacción entre estos grupos de embarcaciones e identificar las zonas donde operan estas embarcaciones ilegales. Para ello se usó el software libre Qgis con un Sistema de Información Geográfica

5.5 ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA ILEGAL

Para la estimación de la captura ilegal se realizaron los siguientes pasos: i) Se estimó un nuevo valor de CPUE, para lo cual se utilizó el promedio mensual del número total de embarcaciones ET_m obtenidas de las imágenes satelitales nocturnas, los datos de la captura

mensual CT_m proveniente de los reportes de la OROP y el número de días del mes que la flota calamarera estuvo pescando D_m . Con estos tres valores se calculó el nuevo valor de $CPUE_m$ real (t/barco*día) promedio para cada mes con la siguiente ecuación:

$$CPUE_m = \frac{CT_m}{ET_m \times D_m} \quad (\text{Ec. 12})$$

ii) La captura legal (CL_t) e ilegal (CI_t) diaria fue obtenida usando el nuevo de valor de CPUE estimado ($CPUE_m$) y el número de embarcaciones legales ($N(el)_t$) e ilegales ($N(ei)_t$), es decir:

$$CL_t = (N(el)_t) * CPUE_m \quad (\text{Ec. 13})$$

$$CI_t = (N(ei)_t) * CPUE_m \quad (\text{Ec. 14})$$

Adicionalmente se calculó la captura total CT_t mediante la suma entre la captura legal (CL_t) y la captura ilegal (CI_t) para un día, tal como lo muestra la **ecuación 15**. La suma de la captura legal e ilegal en cada mes será igual a la captura mensual reportada por la OROP. Estos datos de captura ilegal (CI), legal (CL) y total (CT) al igual que los datos de número de embarcaciones fueron registrados día a día en un formato que se presenta en el **Anexo 1**.

$$CT_t = CL_t + CI_t \quad (\text{Ec. 15})$$

Finalmente, los resultados de las estimaciones de captura legal e ilegal de la flota calamarera fueron comparados mediante un gráfico de tendencia a nivel mensual. Luego se calculó el porcentaje mensual y anual que representa la captura ilegal respecto a la captura total, así como también se calculó la captura ilegal total para todo el periodo de estudio del 2013 al 2016.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE EMBARCACIONES USANDO IMÁGENES SATELITALES

6.1.1. DATA SATELITAL

Del total de imágenes diarias disponibles del satélite NPP-VIIRS (1460) solo 1214 imágenes tuvieron la calidad adecuada para su procesamiento (**Tabla 1**) y para la cuantificación del número de embarcaciones diarias. La calidad de las imágenes depende del nivel de nubosidad en el día. Cuando existe una nubosidad densa puede llegar a opaca por completo la luz emitida por las embarcaciones. En presencia de nubes delgadas las luces aparecerán más grandes, pero más tenues de lo que aparecerían al no estar las nubes (Baughet al., 2010, Lasta, C. 2012). Por otro lado, la fase lunar, principalmente la luna llena puede también afectar las imágenes. Cuando se presenta una alta iluminación lunar (>50%) puede haber una reflectancia de las nubes en la imagen (Paulino y Escudero, 2010).

Tabla 1: Número de días con imágenes satelitales usados para el presente estudio.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
2013	26	24	23	22	27	24	28	28	26	28	27	25	308
2014	24	22	24	24	21	26	28	27	24	25	22	23	290
2015	27	20	28	23	25	26	27	25	23	22	25	30	301
2016	26	25	25	25	29	24	29	28	26	27	25	26	315
												Total	1214

6.1.2. UMBRAL DE DETECCIÓN

La Figura 18 muestra la distribución de la radiancia luego del proceso de estandarización de una imagen satelital nocturna. Se observa que los nuevos valores de radiancia se encuentran en una nueva escala de 0-255 W.cm²/sr y los valores de las imágenes satelitales en una escala de 130-200 W.cm²/sr, a diferencia de los valores iniciales que contenían de siete a diez ceros después del inicio de los dígitos significativos. Si bien existen algunos autores prefieren trabajar con los valores reales de radiancia (Oozeki et al., 2018) es mucho más fácil para el ser humano trabajar con valores enteros tal como lo detalla Elvidge et al., (2015).

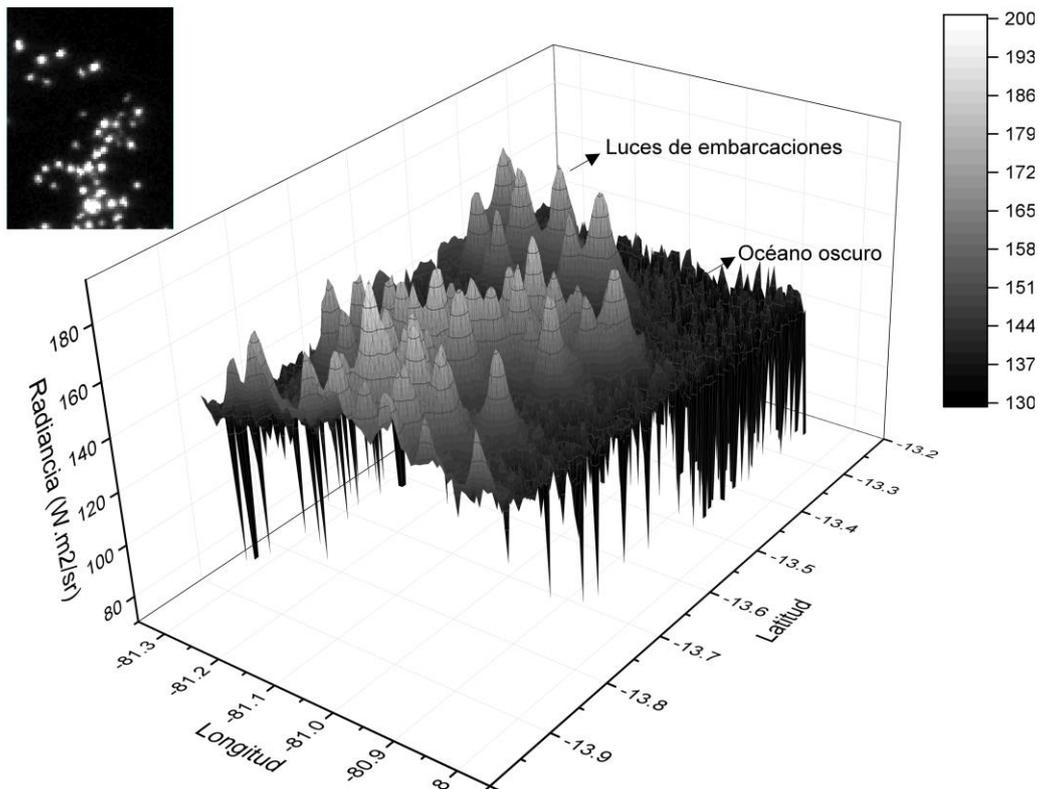


Figura 18: Ejemplo de la distribución de los valores de radiancia de una imagen satelital VIIRS. Los valores altos de radiancia representan las embarcaciones.

La estandarización permitió diferenciar fácilmente las luces provenientes de las embarcaciones y las del océano oscuro (Figura 18). El resultado de esta etapa no solo permite identificar los picos máximos de radiancia que serían las luces de las embarcaciones, sino que también permite conocer la distribución de valores de radiancia de toda la imagen, por ello es importante la etapa de estandarización previo a la determinación del umbral de detección (Gonzalez & Woods, 2002).

La Figura 19 muestra la estimación del valor del umbral de dos imágenes procesadas. En la Figura 19a el valor del umbral fue determinado en 151 $W.cm^2/sr$ mientras que para la Figura 19b el umbral fue de 139 $W.cm^2/sr$. Cabe resaltar que ambas imágenes recibieron los mismos tratamientos previos a la determinación del umbral de detección. La diferencia entre los valores de radiancia de una imagen puede ser explicada por la fase lunar y la presencia de nubes entre otros factores (Paulino y Escudero, 2010). Las imágenes cercanas a la fase de cuarto creciente o luna llena pueden incrementar el valor de radiancia (Figura 19a) o por lo contraria la alta presencia de nubes puede difundir los valores de radiancia (Figura 19b). Por ello creemos que

utilizar un solo valor de umbral para todas las imágenes tal como lo describe Elvidge et al., (2015) pueda llevarnos a sobreestimar la cuantificación del número de embarcaciones. Por tal motivo se decidió trabajar con la metodología propuesta por (Cozzolino & Lasta, 2016), quienes estimaron un umbral de detección para cada imagen y además se adaptó mucho mejor a las imágenes satélites nocturnas para la zona frente a Perú y Chile.

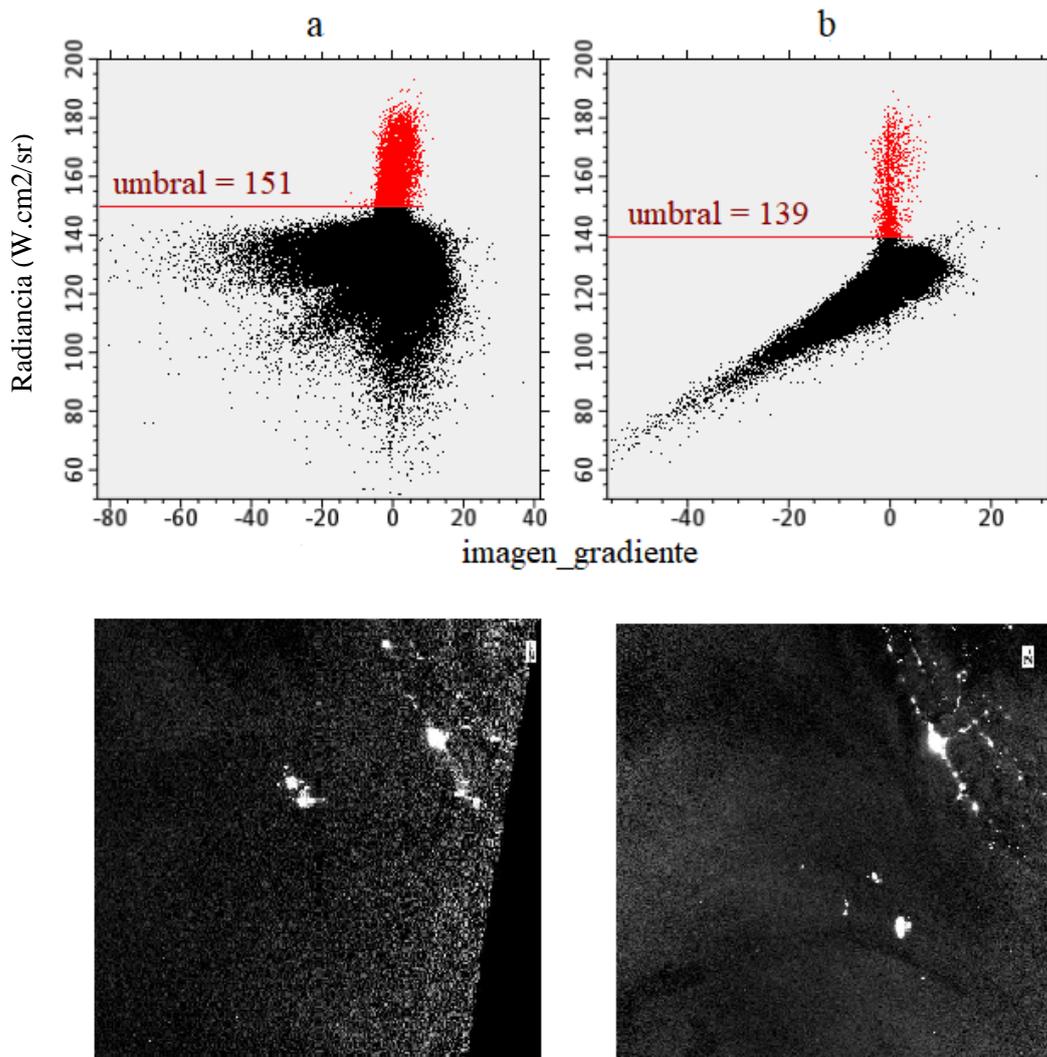


Figura 19: Ejemplo de la estimación del valor del umbral de detección para dos imágenes nocturnas. Imagen de la fecha 2016-09-25 (a) e imagen de la fecha 2016-10-25 (b).

La Figura 20 muestra todos los valores de umbral que se estimaron para todas las imágenes (1214) entre el 2013-2016. Estos valores estimados estuvieron ampliamente distribuidos entre los 125 y 200 de radiancia (W.cm2/sr), con un valor de umbral máximo de 196 W.cm2/sr, y un umbral mínimo de 130 W.cm2/sr. El umbral promedio para los cuatro años del estudio fue de

163 W.cm2/sr y una desviación estándar DS= 14 que corresponde al intervalo de confianza al 99 %. Finalmente se determinó el océano oscuro a todos los valores de radiancia menores a 120 W.cm2/sr, pixeles que representan el fondo negro de la imagen nocturna (Figura 15).

El valor del umbral promedio de 163 W.cm2/sr de todas las imágenes nocturnas difiere ligeramente al valor encontrado por Cozzolino & Lasta (2016), quien determinó el valor de umbral promedio en 150 W.cm2/sr. Asimismo la radiancia que representa al océano oscuro fue estimado en 120 W.cm2/sr mayor al obtenido por estos autores de 100 W.cm2/sr frente al mar de Argentina. Estas diferencias se deben por un lado a que estos autores usaron solo 7 meses de información (enero-julio) frente al nuestro de 4 años de información usados en este estudio y a la diferencia del nivel de nubosidad que presentan ambas zonas (Océano Atlántico y Pacífico)

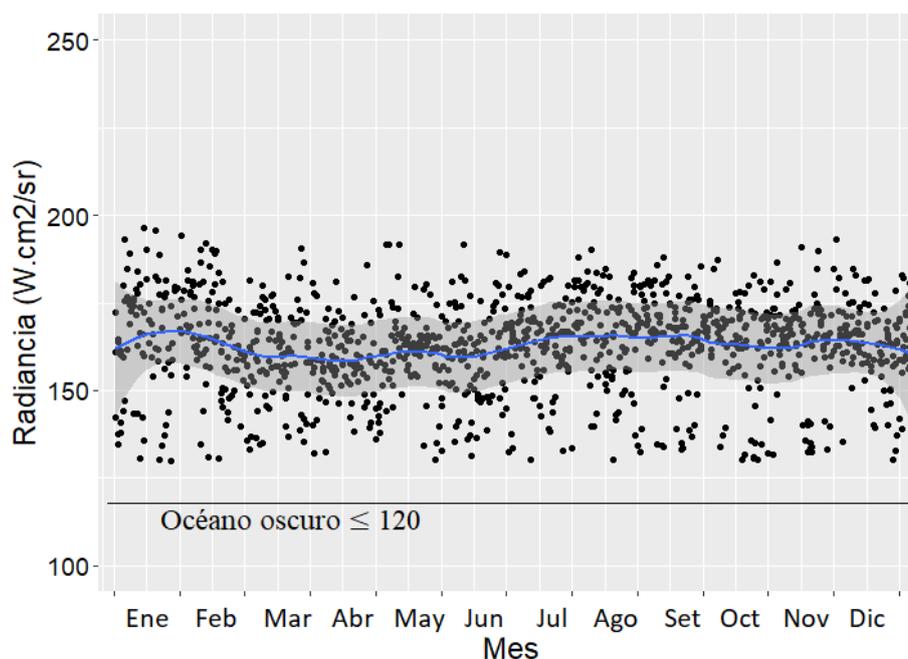


Figura 20: Distribución mensual de los valores de umbral de detección estimados para cada imagen para el periodo 2013-2016. El área gris oscura representa el nivel de intervalo de confianza al 99%.

6.1.3. VALIDACIÓN

El análisis estadístico para validar la metodología de cuantificación del número de embarcaciones totales utilizó un total de 240 imágenes nocturnas (5 por mes) para el periodo

2013-2016, imágenes con alta y baja presencia de la flota industrial calamarera. La relación lineal observada entre el número de barcos estimados usando imágenes satelitales y el número de barcos reales en AIS muestra un ajuste altamente significativo (Figura 21). Asimismo, el coeficiente de correlación de Pearson mostro un resultada similar (CCP=0.99) (**Tabla 2**), confirmando la alta correlación entre lo estimado y lo real.

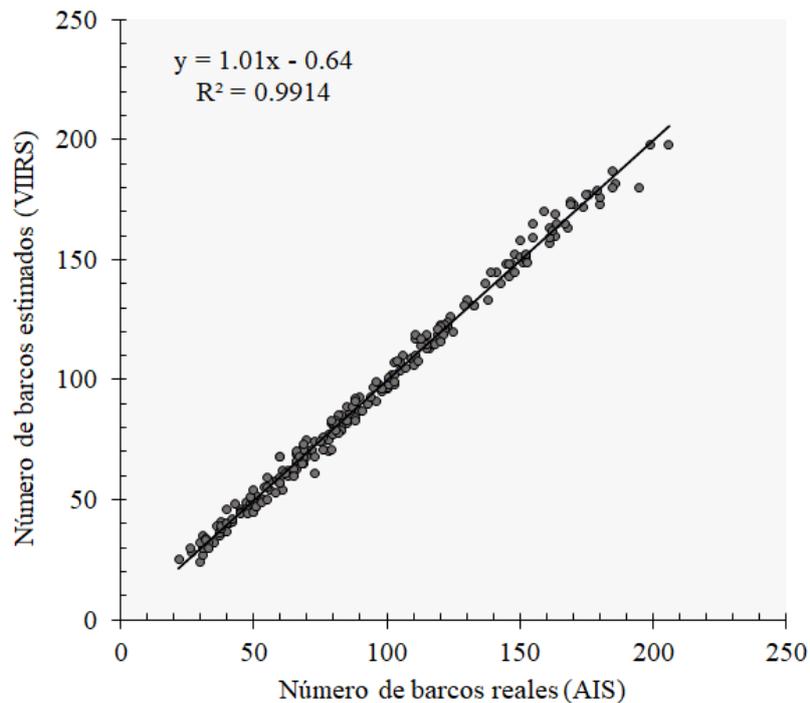


Figura 21: Relación entre el número de barcos estimados usando imágenes nocturnas y el número de barcos reales con AIS para 240 imágenes diarias. La línea negra representa la regresión lineal.

De igual manera, los resultados del ERM % de 0.05 (DS=0.03) indicaron una buena performance de la metodología para la estimación del número de embarcaciones usando imágenes satelitales. Igualmente, un sesgo negativo de -0.43 muestra una ligera tendencia hacia la subestimación del número de embarcaciones. Posiblemente este valor negativo sea explicado por la presencia de una embarcación pescando muy cerca de otro, una situación que no es muy frecuente pero que si se registró durante la etapa de re-segmentación. Por otro lado, el ECM de 1.98 barcos y un sesgo negativo confirman un ligera subestimación entre el número de barcos estimados usando imágenes satelitales respecto al número real de barcos (AIS).

Tabla 2: Estadística y valores de la regresión lineal entre el número de barcos estimados (VIIRS) y el número de barcos reales (AIS).

N = 240				
CPP	ERM %	ERM% (DS)	ECM (barco)	Sesgo (barco)
0.99	0.05	0.03	1.98	-0.43

Cabe destacar un detalle muy importante, las imágenes satelitales nocturnas tienen una resolución de pixel de 750 metros aproximadamente. Esto puede ser un inconveniente al momento de estimar el número total de embarcaciones, debido a que un pixel podría registrar dos embarcaciones, pero visualmente ver solo una. Esto fue descartado en la etapa de validación, mediante el uso de las posiciones reales de las embarcaciones dentro del sistema AIS. El detalle gráfico de la correlación para la validación se muestra en el Anexo 2. En general, los resultados estadísticos mostraron una excelente performance sobre la metodología que fue adaptada en base a lo propuesto por Cozzolino & Lasta (2016). Finalmente, para automatizar el procedimiento una vez validada la metodología para la cuantificación diaria del número total de embarcaciones provenientes de imágenes satelitales todas las etapas fueron transformadas a un código o script en R-Studio lo cual se detalla en el Anexo 3.

6.1.4. NÚMERO TOTAL DE EMBARCACIONES

Lo Figura 22 presenta el número de embarcaciones diarias estimados para el periodo 2013 al 2016. Los meses con el máximo número de embarcaciones que se registró con las imágenes nocturnas fueron setiembre en el 2013 y 2014, agosto en el 2015 y nuevamente setiembre en el 2016 (Tabla 3). El valor máximo del número de embarcaciones se presentó en setiembre del 2016 con 246 embarcaciones. Además, se observaron que durante los años 2015 y 2016 las fluctuaciones diarias del número de embarcaciones fueron mayores que en los años 2013 y 2014.

En ese sentido, las fluctuaciones diarias en la estimación del número de embarcaciones (Figura 22) responderían principalmente a un comportamiento de búsqueda de la flota industrial calamarera hacia nuevas zonas de pesca. Las fluctuaciones diarias bajas presente en los años 2013 y 2014 mostrarían claramente una concentración de barcos y un comportamiento gregario de la flota pesquera, mientras que los años 2015 y 2016 con altas fluctuaciones diarias

responderían al desplazándose en grupos de la flota industrial calamarera hacia nuevas zonas de pesca, según el análisis de centros de gravedad de esta misma flota pesquera (Paulino et al., 2017). De igual manera, la variabilidad anual recurrente en el número de embarcaciones podría deberse al patrón de desplazamiento de *Dosidicus gigas* (Keyl et al., 2008).

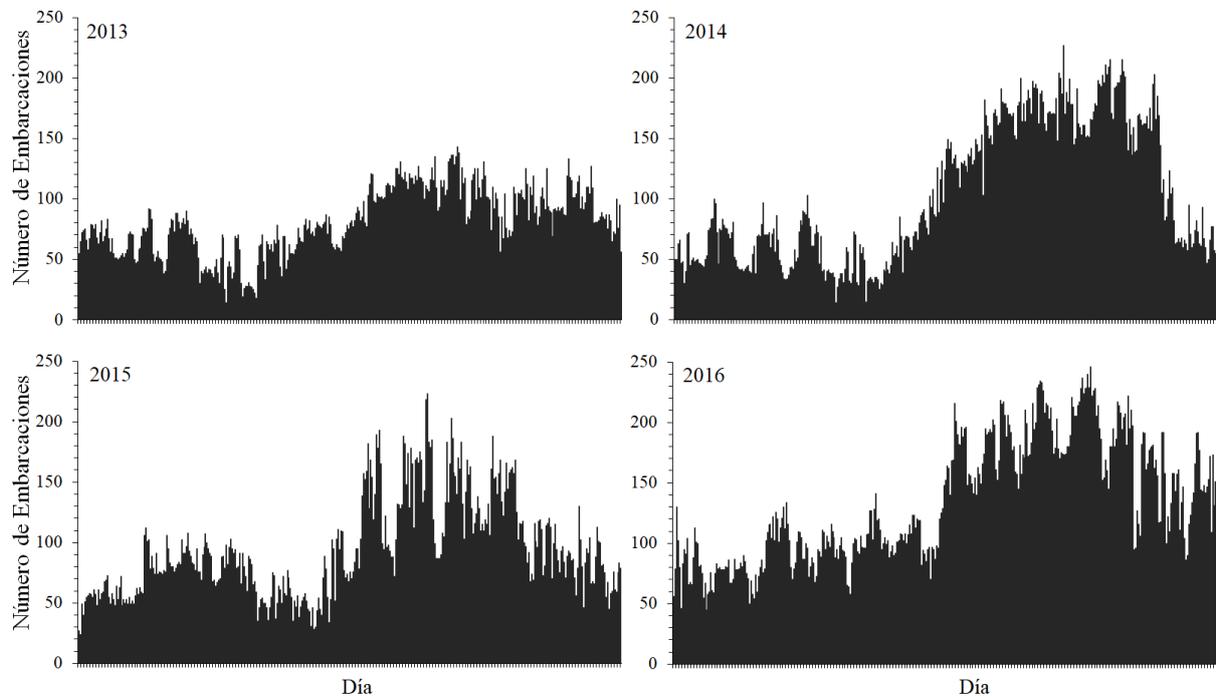


Figura 22: Número de embarcaciones por día según imágenes nocturnas para el periodo 2013-2016.

Por otra parte, la Tabla 3 muestra el mes con el número de embarcaciones estimados con imágenes satelitales y el valor máximo reportado por la OROP-PS para la flota calamarera china que representa el 97% del total de embarcaciones que captura el *Dosidicus gigas* en el área FAO-87 (SPRFMO, 2017). Los valores del número máximo embarcaciones presentan similitudes solo en el año 2014 con 227 estimados con imágenes satelitales y 225 embarcaciones de los registros de la OROPS-PS. Mientras los años 2013, 2015 y 2016 los valores máximos del número de embarcaciones por mes difieren significativamente entre lo reportado y estimado (Figura 23).

Tabla 3: Número máximo de embarcaciones estimadas con imágenes nocturnas y lo reportado para el mismo mes según OROP-PS

Número máximo de embarcaciones			
Año	Mes	Estimado con VIIRS	Reportado por OROP (China)
2013	Setiembre	143	193
2014	Setiembre	227	225
2015	Agosto	223	215
2016	Setiembre	246	235

Asimismo, los picos de máximos actividad pesquera en número de embarcaciones por mes de cuantificado usando imágenes nocturnas (Figura 23) coincide con los resultados obtenidos por Kroodsma et al. (2018), quien analizó los tracks de las embarcaciones chinas que usan AIS y estimo el esfuerzo pesquero diario en horas para el mismo periodo. Por lo que los resultados obtenidos en nuestro estudio son más consistentes y realistas que los reportes oficiales de la OROP-PS. Esto debido a que el estudio se realizó a una frecuencia diaria y

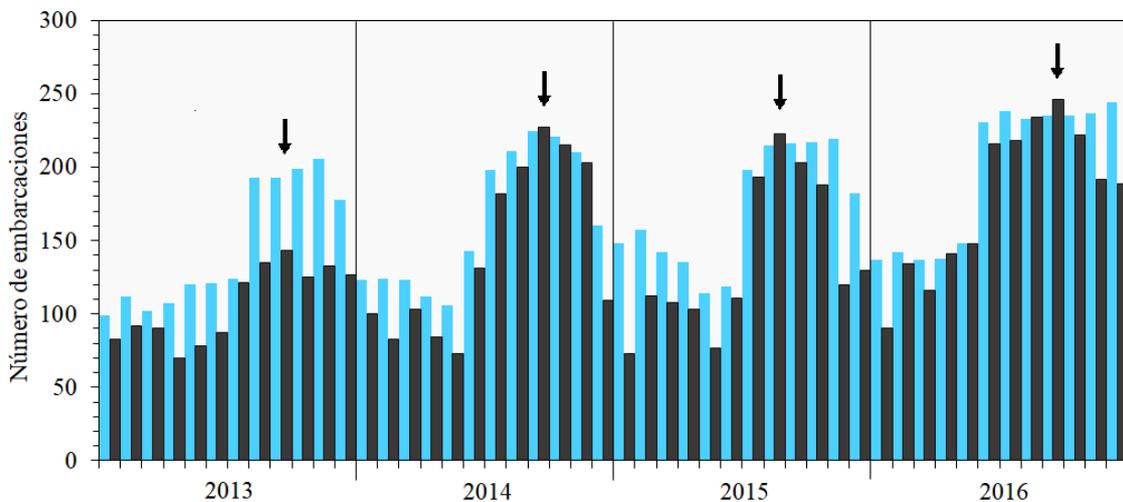


Figura 23: Número máximo de barcos por mes estimados con imágenes nocturnas (barra gris) y según lo reportado por China a la OROP-PS (barra turquesa).

La Figura 23 muestra que durante todo el 2013 y en el primer semestre del 2014, 2015 y 2016 la OROP presenta un número máximo de embarcaciones mayor que lo estimado usando imágenes satelitales. Además, de una tendencia a aumentar la actividad pesquera en los meses finales de cada año, situación contraria en lo estimado usando imágenes nocturnas con una tendencia a disminuir la actividad pesquera a finales de cada año. Lo que demostraría la Figura

23 es que durante esos meses según la OROP-PS posiblemente haya un número mayor de embarcaciones en la zona de pesca; pero nuestros resultados confirman que no todas las embarcaciones estarían pescando, así lo muestran las imágenes satelitales nocturnas. Imágenes que han sido ampliamente usadas para estimar el esfuerzo real en pesquerías que usan luces, debido a que una embarcación calamarera legales o ilegales en actividad pesquera tiene que tener las luces encendidas para realizar la captura al recurso (Waluda et al., 2018; Saitoh et al., 2010). Por lo que la cuantificación del número de embarcaciones usando imágenes nocturnas diarias resulta ser más preciso y confiable que los reportes de la OROP-PS (Cozzolino & Lasta, 2016; Oozeki et al., 2018).

En consecuencia, nuestros resultados evidencian una clara sobrestimación en los reportes del número máximo de embarcaciones activos por mes que envía China a la OROP-PS. Probablemente esta situación responda a la política del Gobierno Chino de subsidiar a su flota pesquera que opera en altamar, por lo que flota calamarera china tiene la necesidad de reportar actividad pesquera aun cuando no esté pescando, así lo demuestra las imágenes nocturnas. El informe presentado por Greenpeace (2016) detalla que el principal subsidio que reciben estas embarcaciones es el combustible. Sabemos también que para China una de sus principales pesquerías de aguas distantes es la captura de la pota al sureste del Océano Pacífico (Xu et al., 2016), por lo que estas embarcaciones tienen la necesidad de reportar actividad pesquera para continuar recibiendo los subsidios, aun cuando no estén pescando.

6.2 ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EMBARCACIONES USANDO DATOS DE AIS

6.2.1. UMBRAL DE VELOCIDAD

En base al análisis de velocidad se estimó el valor del umbral de velocidad en 2.3 nudos. La Figura 24 muestra el comportamiento del recorrido de 30 embarcaciones calamareras que emiten su posición al sistema AIS en función a su velocidad y tiempo (horas del día). De acuerdo con este análisis se clasificó el comportamiento de las embarcaciones en cuatro categorías detalladas en la Tabla 4. Aquellas embarcaciones que durante la noche navegan con velocidades menores a 2.3 nudos (Tabla 4) fueron categorizadas como embarcaciones realizando una operación de pesca con las luces encendidas, mientras que la embarcación que

durante la noche navega con una velocidad mayor a 2.3 fue categorizada como una embarcación en desplazamiento (Tabla 4).

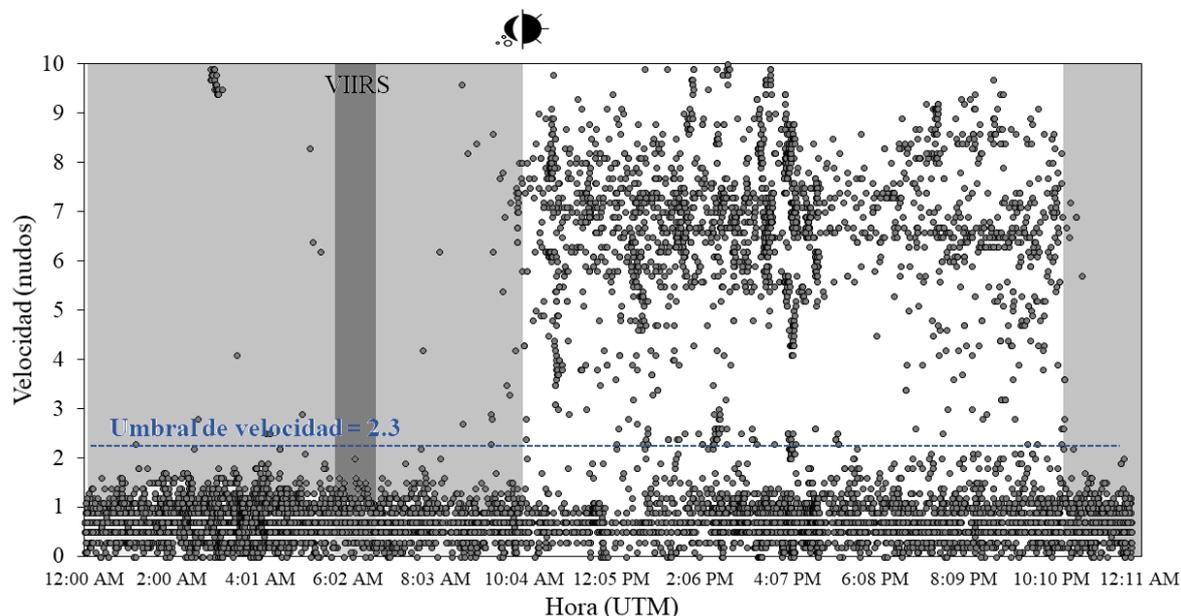


Figura 24: Velocidad (nudos) de las embarcaciones industriales que capturan el *Dosidicus gigas*. La línea discontinua representa el valor del umbral de velocidad. El área de color blanco y gris representan horas de día y noche respectivamente. La barra gris oscura es la hora promedio que registra la imagen satelital.

Tabla 4: Comportamiento de una embarcación con sistema de pesca de líneas de fondo (jigging) en función a su velocidad

	Velocidad (nudos)	Comportamiento de la embarcación
Noche	<2.3	La embarcación tiene el sistema de líneas poteras activo y con las luces encendidas realizando la captura del recurso objetivo
Noche	>2.3	La embarcación se encuentra en desplazamiento.
Día	$0 < v < 3$	La embarcación permanece en la misma zona de pesca
Día	$4 < v < 9$	La embarcación de encuentra en desplazamiento o en búsqueda de una nueva zona de pesca

La Figura 25 muestra un ejemplo de dos tracks de embarcaciones a las cuales se les aplicó el umbral de velocidad de 2.3 nudos, la embarcación de bandera china “HUA YING 817” registrada en la base de datos de la OROP-PS y autorizada para la captura de pota y el “CHANGSGUN1HAO con bandera de Cambodia, aparentemente una embarcación ilegal con un nombre falso y no incluida en a lista de embarcaciones autorizadas por al OROP-PS. Ambas embarcaciones se encuentran realizando una operación de pesca, así lo demuestra la imagen

satelital nocturna para la misma fecha y hora. Por lo tanto, filtrar mediante el umbral de velocidad estimado nos permite identificar en la base de datos del sistema AIS solo las embarcaciones que están realizando una operación de pesca a la misma hora que el satélite toma la imagen nocturna.

Analizar la velocidad es uno de los criterios más usados para identificar los momentos de pesca o cala (Joo et al., 2011), pues en diferentes pesquerías la velocidad es más baja cuando el barco está en una operación de pesca (Bertrand et al., 2005, Chaturvedi et al., 2012). Si bien aún no se ha realizado investigaciones sobre la velocidad de la flota industrial que pesca con líneas de fondo (jigging), es posible identificar las operaciones de pesca por su permanencia en el lugar de pesca (Choi et al., 2017), y el movimiento de la embarcación por efecto de las corrientes (Figura 25). Por lo tanto, el umbral de velocidad estimado está ligado al comportamiento de operatividad de la flota industrial calamarera.

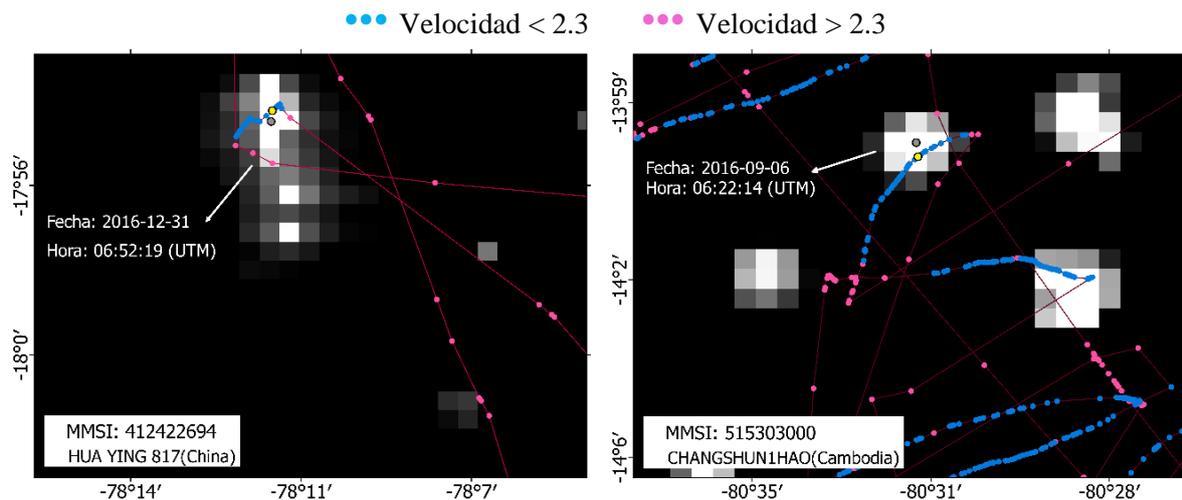


Figura 25: Tracks de dos embarcaciones y clasificación en función al umbral de velocidad estimado. Detrás las imágenes nocturnas a la misma fecha y hora y la estimación de la posición (punto gris).

6.2.2. NUMERO DE EMBARCACIONES CON DATA AIS

El procedimiento para la estimación del número de embarcaciones por día que usan AIS incluyendo las fórmulas (Anexo 4) y el valor del umbral de velocidad de 2.3 nudos fueron transformados a un código (script) en SQL que se detalla en el Anexo 5, esto con la finalidad de automatizar el procedimiento para todo el periodo de estudio (2013-2016). El número total

de embarcaciones que usaron el sistema AIS para el periodo 2013-2016 se muestra en la Figura 26. Los resultados usando datos AIS muestran una baja actividad en número de embarcaciones en los primeros cuatro meses de cada año al igual que los resultados usando imágenes satelitales (Figura 22), esto debido a que durante ese tiempo la mayor parte de la flota calamarera se encuentra capturando *Illex argentinus* fuera de la ZEE de Argentina, así lo demuestran los resultados obtenidos por Cozzolino & Lasta (2016).

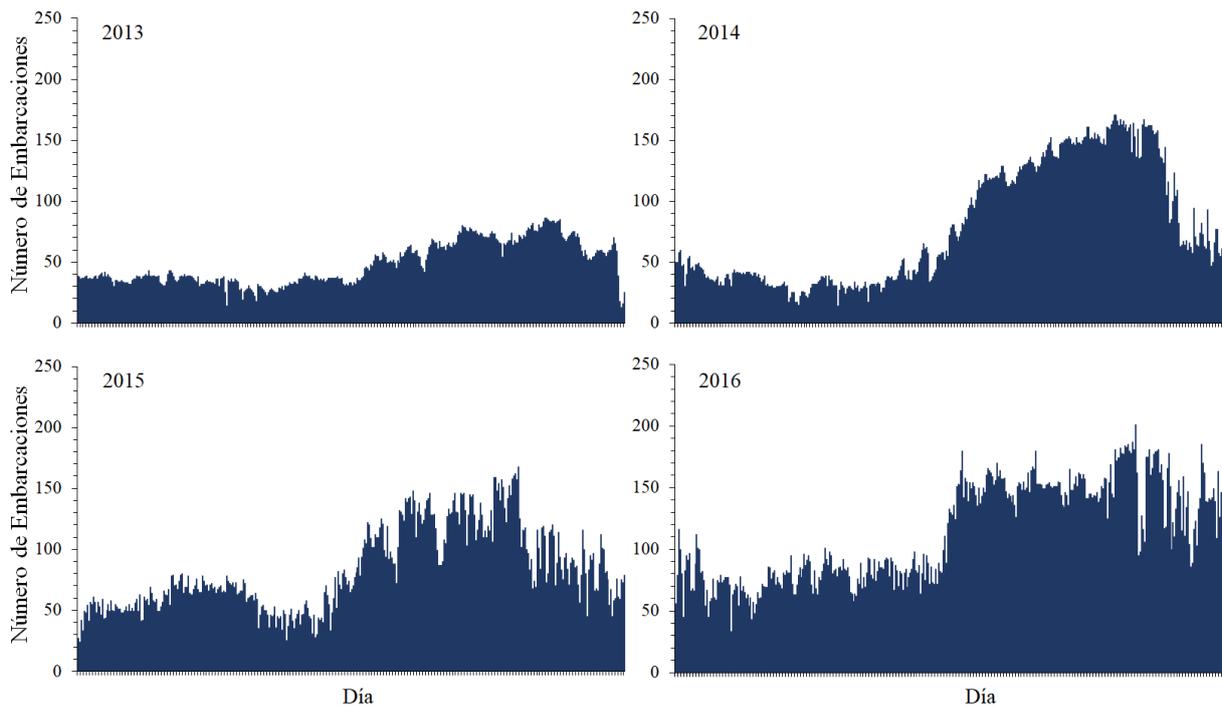


Figura 26: Número de embarcaciones por día según datos del AIS para el periodo 2013-2016.

6.3 ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EMBARCACIONES ILEGALES

6.3.1. EMBARCACIONES ILEGALES NO IDENTIFICADAS Y NO AUTORIZADAS

Del resultado de la cuantificación del número total de embarcaciones que usan AIS (Figura 26) se encontró que existen embarcaciones que operan ilegalmente manipulando los datos enviados al sistema AIS. Inicialmente en la Figura 25 se mostró el track de dos embarcaciones ambas usando AIS, pero una de ellas operando ilegalmente en la zona de pesca (CHANGSGUN1HAO), demostrando así la presencia de embarcaciones ilegales, confirmadas por el análisis de su velocidad y su permanencia en la zona de pesca. En ese sentido, el número de embarcaciones ilegales que se identificaron mediante de la base de datos del sistema AIS se

resumió en dos grandes grupos: i) embarcaciones no identificadas o que envían información de AIS inconsistente y ii) embarcaciones no autorizadas por la OROP-PS. La Tabla 5 ilustra con ejemplos los casos más frecuentes de inconsistencia en los registros de los datos AIS. Los 9 casos más frecuentes se describen a continuación:

CASO 1: Una embarcación con un MMSI (515) correcto, utilizado por Cambodia, pero con un nombre inválido aparentemente chino, tipo de pesca invalido y sin autorización de la OROP-PS. El análisis grafico de velocidad detallada en el Anexo 6, confirma que esta embarcación estuvo operando durante los 4 años de estudio en la misma zona de pesca y con un comportamiento de velocidad similar a las embarcaciones calamareras. Caso frecuente de ilegalidad al manipular el “tipo y nombre de barco”.

CASO 2 Y 3: En ambos casos dos embarcaciones calamareras con distinto MMSI informan al sistema AIS el mismo nombre del barco, generalmente una de las embarcaciones no está autorizado pero utiliza un nombre legal incluida en la lista de la OROP-PS. En el caso del PUYUAN827 con MMSI 900288827 y para el PU YUAN 837 con MMSI 400288837, ambos realizando actividad pesquera fuera de la ZZE de Perú en el periodo 2015-2016 (Anexo 6) e informan un MMSI que no corresponde a ningún país, ejemplos claros de ilegalidad.

CASO 4: El nombre HUA YING 811 está incluida en la lista de embarcaciones autorizadas por OROP-PS. En este caso aparentemente utiliza ambos códigos de MMSI, uno indeterminado e ilegal (902200811) y uno legal (412422696), ambos utilizados frecuentemente durante la noche y en plena operación de pesca (Anexo 6). Probablemente este comportamiento este ligado a sobreestimar el número de embarcaciones y crear un registro (tracks) de conveniencia.

CASO 5: MMSI no identificado e inválido, con un claro comportamiento de una embarcación ilegal calamarera. Lo más característico de estos casos es que son códigos falsos de MMSI que aparecen por un periodo de tiempo corto, Anexo 6.

CASO 6 y 7: Embarcaciones que se encuentran en la zona de pesca y envían información al sistema AIS (Anexo 6), pero no están autorizadas para la captura de *Dosidicus gigas* según la base de datos de la OROP-PS.

CASO 8 Y 9: Uno de los casos más frecuentes, en que las embarcaciones solo envían su código MMSI, pero no se encuentra correspondencia con ninguna embarcación en ninguna base de

datos del mundo. Embarcaciones no identificadas, pero si ubicadas en la zona de pesca desplazándose continuamente con el grupo de embarcaciones calamares, así lo detalla el gráfico en el Anexo 6.

Tabla 5: Ejemplos de casos frecuentes de registros de AIS inconsistente.

Caso	Fecha	MMSI	Nombre	Bandera	Tipo	Situación
1	8/1/2014	515303000	CHANGSHUN1HAO	Cambodia	Reserve future use	Nombre inválido
2	9/14/2016	900288827	PUYUAN827			MMSI inválido
2	9/14/2016	412420251	PUYUAN827	China	Fishing	MMSI inválido
3	8/22/2016	400288837	PUYUAN837			MMSI inválido
3	8/22/2016	412420538	PU YUAN 837	China	Fishing	
4	7/24/2014	902200811	HUAYING811		Fishing	Nombre duplicado
4	7/24/2014	412422696	HUA YING 811	China		Nombre duplicado
5	6/16/2016	773141382			Fishing	MMSI inválido
6	12/22/2016	412673260	DONGYU2016	China	Fishing	No autorizado
7	12/23/2014	412420715	ZHEPUYU71010 6	China	Law Enforcement	No autorizado
7	4/23/2014	412678220	XINJILIYIHAO	China	Fishing	No autorizado
8	10/20/2013	210000187				No identificado
8	9/20/2013	400000009				No identificado
9	7/1/2014	412422704		China		No identificado

La Figura 27 muestra los resultados de la cuantificación diaria del número de embarcaciones ilegales identificadas dentro la base de datos del sistema AIS (región en rojo) en base a los 9 casos de ilegalidad detallado en la Tabla 5 durante el periodo del 2013 al 2016. En el año 2013 se registró los menores casos de ilegalidad, mientras que para los años 2014 y 2016 los mayores casos de embarcaciones ilegales no-autorizadas y no-identificadas coincidieron con los meses de máxima actividad pesquera.

Los resultados de este estudio demuestran algunas debilidades del sistema AIS, que inicialmente fue diseñado con fines de seguridad, y no con fines de control y vigilancia. Por lo tanto, tiene mecanismos de seguridad débiles, haciéndolo más propenso a la manipulación como se detalló anteriormente. Asimismo, Malarky & Lowell (2018) identificaron eventos en los que posiblemente se haya desactivado y manipulado el transpondedor AIS, analizando casos particulares en embarcaciones de cerco (Panamá), palangre (Australia) y arrastre (España), esto con la finalidad de ocultarse en la ilegalidad.

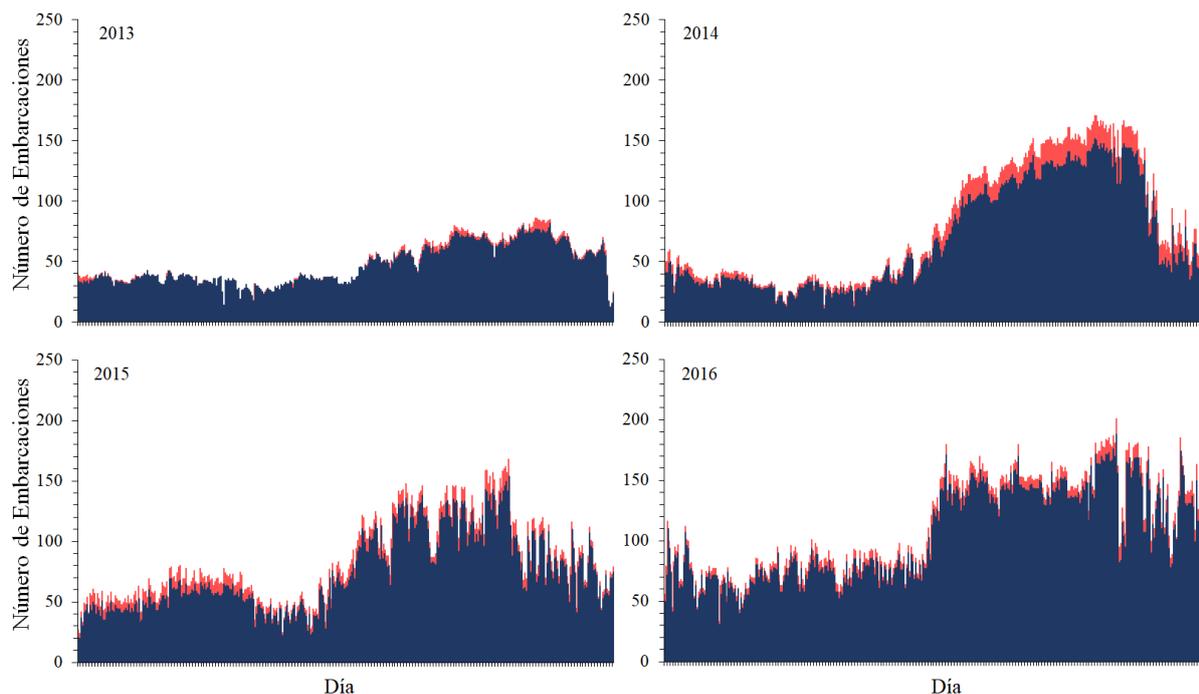


Figura 27: Número de embarcaciones ilegales por día identificados dentro de la base de datos del sistema AIS (región en rojo) para el periodo 2013-2016.

De igual manera, Greenpeace (2015) analizó los datos del sistema AIS de las embarcaciones de arrastre de bandera china que pescaban fuera de la ZEE de Senegal en África Occidental, encontrando casos de inconsistencia de información relacionados con operaciones de pesca ilegal similar a nuestros resultados en la Tabla 5. Uno de los casos más frecuentes en nuestros resultados fue que las embarcaciones envían información falsa al sistema AIS. La suplantación de mensajes según Iphar et al. (2015) es una acción voluntaria, muchas veces realizado por el propio personal del buque, con el fin de engañar al mundo exterior sobre el comportamiento del buque y de obstaculizar los sistemas de vigilancia (Longépé et al., 2017). Con todo ello podemos concluir que nuestros resultados en la cuantificación del número de embarcaciones ilegales usando AIS responden a un problema ya común en los datos de este sistema.

6.3.2. NÚMERO TOTAL DE EMBARCACIONES ILEGALES

El primer grupo de embarcaciones ilegales fue identificado usando datos AIS, representadas en barras de color rojo en la Figura 28, son aquellas embarcaciones no identificadas y que además envían información inconsistente al sistema AIS así como también las embarcaciones no autorizadas por a OROP-PS. Embarcaciones ilegales que tienen el comportamiento en velocidad similar a un barco calamarero (Figura 23 y 24) y se encuentran en la misma zona de

pesca y se desplazan junto con toda la flota industrial que captura el calamar gigante. Al cruzar la información de imágenes satelitales nocturnas y data del sistema AIS, se obtuvo el segundo grupo mucho más representativo de embarcaciones ilegales, que no cuentan con ningún sistema de seguimientos satelital, o aquellas que apagaron intencionalmente el AIS para no ser detectados, barras de color gris (Figura 28). Sin embargo, pudieron ser detectados usando las imágenes nocturnas (Ooseki et al., 2018), debido que tanto las embarcaciones legales e ilegales tienen que encender sus potentes focos para atracción y captura del recurso (Elvidge et al., 2015). Ambos grupos representarían el número diario de embarcaciones ilegales entre el 2013 y 2016.

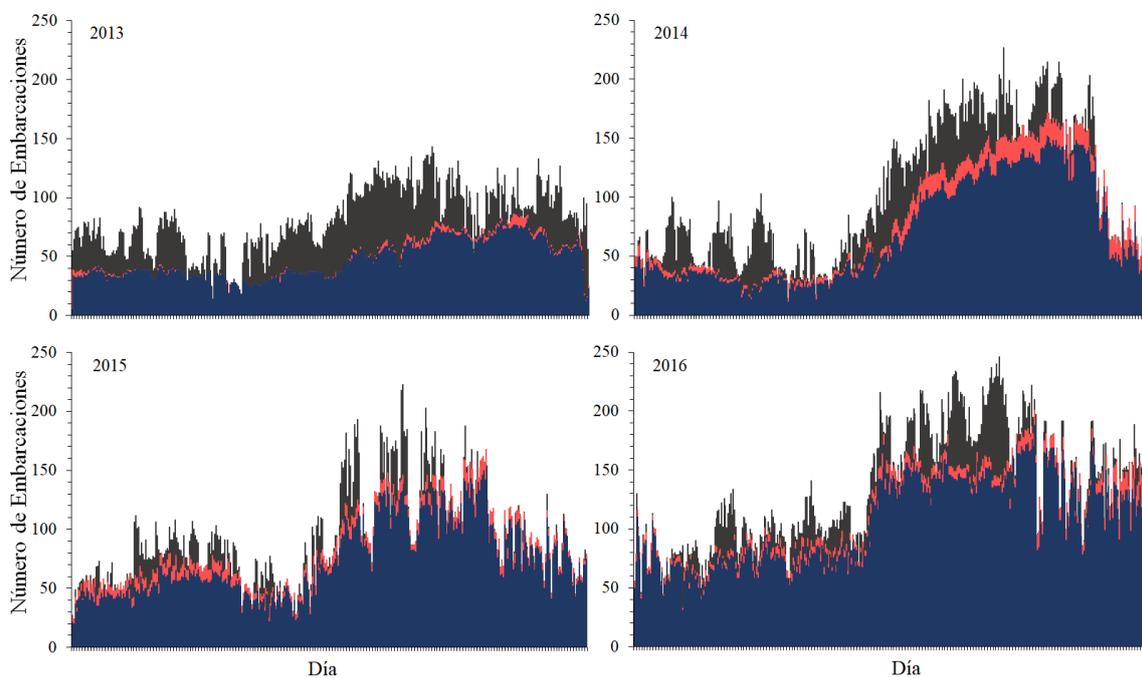


Figura 28: Número embarcaciones ilegales por día identificadas usando imágenes nocturnas (gris) y usando datos del sistema AIS (rojo) para el periodo 2013-2016. La región azul oscuro representaría el número de embarcaciones legales.

La Tabla 6 muestra la cuantificación del número de embarcaciones en los días antes y después del pico de máxima actividad en número de barcos para cada año (Figura 28). En el año 2013 hubo un mayor número de embarcaciones ilegales detectados con las imágenes satelitales (Figura 27) que con el sistema AIS. Las imágenes cuantificaron 143 embarcaciones y solo 75 embarcaciones usando datos de AIS, de estas 75 solo 71 eran embarcaciones legales incluidas en la base de datos de la OROP-PS. Por diferencia un total de 67 embarcaciones ilegales (Tabla 6).

Tabla 6: Resultado de la cuantificación diaria del número de embarcaciones durante los días de máxima actividad pesquera según imágenes satelitales nocturnas.

Fecha	VIIRS	AIS	AIS Legal	AIS Ilegal	Total Ilegal	% Ilegal
2013-09-11	135	72	68	4	67	50
2013-09-12	143	75	71	4	72	50
2013-09-13	138	74	71	3	67	49
2014-09-18	187	151	129	22	58	31
2014-09-19	227	151	128	23	99	44
2014-09-20	170	153	131	22	39	23
2015-08-22	218	142	132	10	86	39
2015-08-23	223	146	138	8	85	38
2015-08-24	183	140	131	9	52	28
2016-09-06	229	144	137	7	92	40
2016-09-07	246	143	136	7	110	45
2016-09-08	222	146	140	6	82	37

Situación diferente en el año 2014, donde hubo un incremento en el número de embarcaciones ilegales identificado con el sistema AIS, 22 embarcaciones en promedio para los tres días de máxima actividad (Tabla 6). Durante los años 2015 y 2016 el número de embarcaciones ilegales fue representado casi en igual proporción con imágenes satelitales y con datos AIS. Pero manteniendo siempre una alta diferencia en los días de máxima actividad (Figura 28), tal como lo detalla la Tabla 6. Por otra parte, se muestra una tendencia clara en el aumento progresivo del número de embarcaciones según las imágenes satelitales, desde el 2013 con un máximo de 143 barcos, 2014 con 227 barcos, 2015 con 223 y finalmente el año 2016 con 246 barcos (Tabla 6), incremento que también se ve reflejado en el aumento de autorizaciones a embarcaciones de bandera china para la captura del calamar gigante en los últimos 5 años (SPRFMO, 2017).

En base a estos resultados, nosotros podemos concluir que hacer una cuantificación diaria del número de embarcaciones total, legales e ilegales nos permitió obtener resultados más confiables y sólidos que posteriormente fueron usados para estimar el nuevo valor de CPUE y las capturas correspondientes. Si bien algunos trabajos similares encontraron que el número total de embarcaciones se mantiene casi constante en el periodo de tiempo de 7 a 10 días y prefirieron armonizar los resultados de la cuantificación del número de embarcaciones mediante imágenes satelitales y mostrar resultados cada 7 días (Cozzolino & Lasta, 2016) o cuantificar cada 10 días tanto las imágenes satelitales como data AIS (Oozekia et al., 2018)

nosotros optamos por realizar una cuantificación diaria. Esto debido a que nuestra investigación tiene por objetivo final la reconstrucción de las capturas por lo que se necesita estimar un nuevo valor de CPUE (ton/barco*día) y para ello necesitamos conocer el número de embarcaciones y días que estuvieron pescando, por ello se decidió trabajar la cuantificación de embarcaciones a una frecuencia diaria.

6.4 ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA ILEGAL

6.4.1 ESTIMACIÓN DEL NUEVO VALOR DE CPUE

La estimación del nuevo valor de Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) se calculó en función a la captura total oficial (OROP-PS) y el promedio del número total de barcos por día (t/barco-día) estimados mediante la cuantificación con las imágenes nocturnas (Figura 22). Estos nuevos valores de CPUE fueron comparados con los valores de CPUE de la flota China, que representan el 97% del total de embarcaciones que captura *Dosidicus gigas* en el área FAO-87 (SPRFMO, 2017).

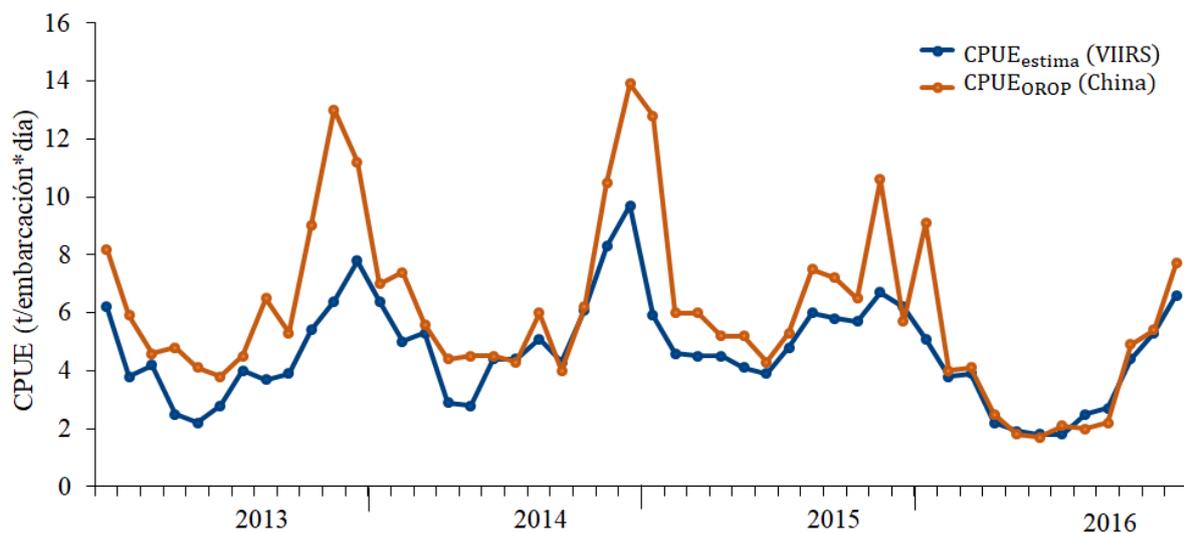


Figura 29: Grafico comparando el valor de CPUE según lo reportado por China a la OROP-PS y el valor de CPUE estimado a partir de imágenes satelitales.

En la Figura 29 se compara los valores mensuales del CPUE estimado según los resultados de la cuantificación del número de embarcaciones usando las imágenes nocturnas y el valor de CPUE según lo reportado por la OROP-PS para el periodo del 2013 al 2016. Al analizar el

CPUE estimado nos muestran una tendencia cíclica anual, con valores en el primer semestre (enero-junio) muchos menores al segundo semestre de cada año (julio-diciembre). Estos bajos valores de CPUE en el primer trimestre responden principalmente a un menor número de embarcaciones, debido a que la flota se encuentra capturando el *Illex argentinus* fuera de la ZEE de Argentina (Cozzolino & Lasta, 2016), situación que afectó el valor de la CPUE mensual.

Además, en los meses de mayor actividad pesquera (Figura 22) de los años 2013, 2014 y 2015 se muestra diferencias entre la CPUE oficial y estimada (Figura 29), esto debido a que el número total de embarcaciones cuantificado difiera mucho a lo reportado por la OROP-PS. Ya que los valores de CPUE estimados fueron calculados con el número de embarcaciones pescando, y no con el número de embarcaciones presentes en la zona de pesca (Figura 23). Por otro lado, el año 2016 muestra solo una ligera diferencia entre la CPUE oficial y estimada, debido principalmente a la disminución progresiva de las capturas en los meses de mayor actividad pesquera desde el 2014 al 2016 (Figura 29), igualmente la disminución en las capturas totales anuales que pasaron de 332 500 ton en el 2014 a 223 300 ton en el 2016 (SPRFMO, 2017).

Tabla 7: Número máximo de embarcaciones según OROP-PS y estimado para el mismo mes con imágenes satelitales.

Número Máximo de embarcaciones				
Año	Mes	Reportado OROP (China)	Estimado con VIIRS	
2013	Noviembre	206	133	
2014	Setiembre	225	227	
2015	Noviembre	219	120	
2016	Diciembre	242	189	

De acuerdo con los resultados del sub-capítulo 4.1 se concluyó que existe una alta sobreestimación en los reportes de la OROP sobre el número de embarcaciones que realmente se encuentran pescando. La Tabla 7 detalla nuevamente el tema de sobreestimación entre lo reportado y lo real. En 2013 China reportó a noviembre como el mes de máxima actividad pesquera, con un registro de un pico máximo de 206 embarcaciones. Mientras que lo que se estimó con imágenes nocturnas fue de solo 133 embarcaciones en promedio para el mismo mes. Podría haber 206 embarcaciones en la zona de pesca tal como lo indica China, pero como

máximo solo 133 embarcaciones encendieron sus luces, luces que son un indicador de actividad pesquera (Waluda et al., 2008; Paulino et al., 2017), por lo que el valor de CPUE tendría que ser calculado usando como referencia las 133 embarcaciones en actividad.

La OROP-PS no tiene modo de validar la información que China reporta, pero si podemos validar indirectamente usando las imágenes satelitales nocturnas, un indicador de que la embarcación se detuvo en la zona de pesca, activó las líneas de fondo y encendió las luces para atraer al recurso hacia la superficie. Concluyendo así que las imágenes nocturnas permiten cuantificar el número total de embarcaciones legales e ilegales que encienden sus luces para la captura del recurso y la CPUE es un indicador que debe ser calculado con el total de barcos pescando, no con el total de barcos presentes en la zona de pesca.

6.4.2 CAPTURA ILEGAL

Las capturas totales (captura legal e ilegal) que se muestran en la Figura 30 representan los valores provenientes de los reportes oficiales de la OROP-PS. Usando los valores de la CPUE estimada de la Figura 29 y la cuantificación del número de embarcaciones legales e ilegales (Figura 28) reconstruimos las capturas legales e ilegales mensuales. Asimismo, representamos en porcentaje del valor de la captura legal (CL) y captura ilegal (CI) respecto a la captura total (CT) entre el 2013 y 2016. Los valores mensuales de captura de la Figura 30 se detallan en el Anexo 7

La figura 30 muestra los resultados de la reconstrucción de las capturas mensuales legales e ilegales de *Dosidicus gigas* por la flota que operó fuera de la ZEE del Perú desde el 2013 al 2016. El mes de marzo del 2014 fue quien represento los mayores valores de captura ilegal, con 61 % de la captura total (Anexo 7), coincidentemente es el mes que registró la mayor presencia de embarcaciones ilegales (Figura 28). Además, fue el mes dónde se cuantificó el menor número de embarcaciones usando AIS, 30 embarcaciones con AIS en promedio donde el máximo fue de 103 embarcaciones totales (Figura 26). Mientras que la captura ilegal mínima se registró en los meses de diciembre del 2015 (8% de la CT) y octubre del 2016 (10 % de la CT), detallados en el Anexo 7.

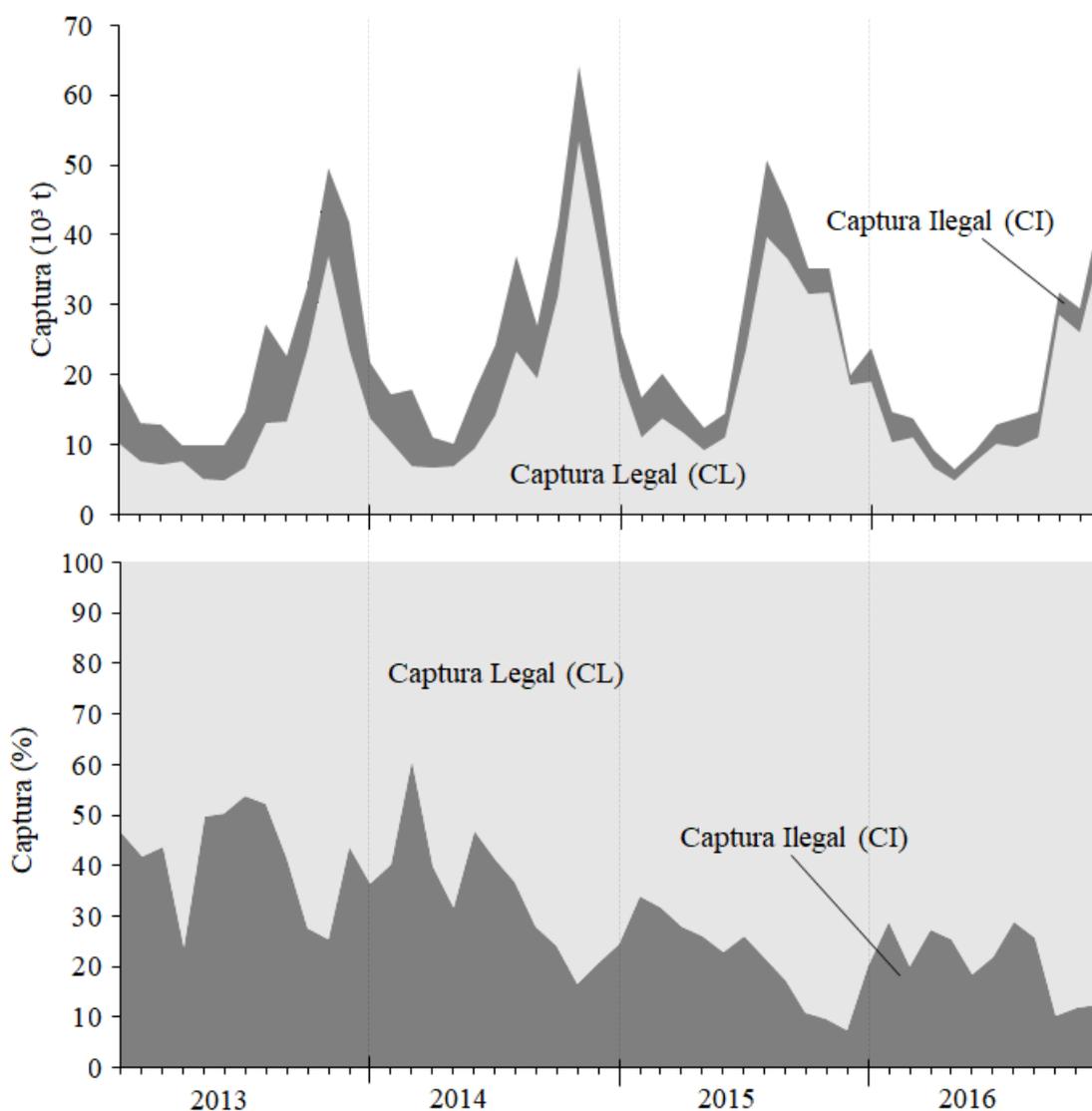


Figura 30: Corrección de las capturas mensuales de *Dosidicus gigas* en base a los datos de captura total de la OROP-PS en el área fuera de la ZEE de Perú para el periodo 2013-2016.

Por otro lado, las estimaciones anuales indicaron que la captura ilegal representó el 39.4 % (2013), 30.7 % (2014), 20.0 % (2015) y el 18.4% (2016) de la captura total registrada oficialmente en la OROP-PS (Anexo 7) y una captura ilegal de 27.2 % en los cuatro años de estudio (2013-2016). Esta tendencia anual entre el 2014 al 2016 a disminuir el porcentaje de la captura ilegal responde principalmente al aumento progresivo del número de embarcación de bandera China que han ido incluyéndose en la base de datos de la OROP-PS (Li et al., 2017). Embarcaciones que antes operaban ilegalmente o con códigos de MMSI inválidos (Tabla 5), han ido entrando a la legalidad gradualmente, disminuyendo el número de embarcaciones ilegales y su respectiva captura.

Esta reducción del porcentaje de la captura ilegal mensual en los últimos dos años también responde a la disminución de la captura total anual del calamar gigante fuera de la ZEE del Perú, que cayó del 2014 con 336 300 t al 2016 con 240 700 t (SPRFMO, 2017). Debido principalmente a la baja disponibilidad del recurso, ocasionando que la flota calamarera salga en búsqueda de nuevas zonas de pesca, desplazados más hacia el sur en 2015 (30°S latitud) y más hacia el norte en 2016 (2°S latitud). Esto según los registros de sus posiciones con las imágenes satelitales nocturnas y con la data AIS del portal web Global Fishing Watch (Anexo 8).

Además, las embarcaciones ilegales dependen mucho, si la flota legal encuentra o no una nueva zona de pesca. Situación que no ha ocurrido durante el 2015 y 2016, ocasionando posiblemente que las embarcaciones ilegales al no encontrar fácilmente el recurso se dirijan principalmente hacia los mares de Argentina a la captura del *Illex argentinus* tal como se detalla en el CASO 1 del Anexo 6. Coincidentemente para el año 2016 Argentina reportó varios casos de embarcaciones ilegales de bandera china que invadieron su Zona Económica Exclusiva. El caso más emblemático fue el hundimiento de la embarcación china “Lu Yan Yuan Yu 010” que en marzo del 2016 fue sorprendida pescando de manera ilegal en la ZEE de Argentina (BBC, 2016), esta embarcación en el año 2014 estuvo capturando calamar gigante fuera de la ZEE Perú. Esta situación del comportamiento y desplazamiento de las embarcaciones ilegales entre los mares de Perú y Argentina explicaría la variación intra e inter anual de la captura ilegal entre los años 2013 y 2016.

La Figura 30 muestra que la captura ilegal es constante mensualmente, esto debido a la presencia continua de embarcaciones ilegales durante cada mes (Figura 28), confirmando que estas embarcaciones ilegales no retornan a ningún puerto a realizar la descarga de su captura. Por lo que la única opción que tendrían sería de realizar el transbordo de su captura hacia los buques de refrigeración legalmente autorizados para recepcionar la captura del *Dosidicus gigas*. Escenario que fue reportado por Kroodsma et al. (2017), quien reportó que fuera de la ZEE de Perú y Chile existe una alta actividad de transbordo entre barcos de pesca y barcos de refrigeración. Además, menciona que el transbordo es una vía importante para que el pescado capturado ilegalmente ingrese al mercado como productos pesqueros legítimos.

En ese sentido, Greenpeace (2015) también ha documentado operaciones de transbordo desde el 2001 y ha expuesto casos ilegales en África Occidental que involucran embarcaciones de bandera china. Catalogando estas situaciones como un lavado de captura ilegal. Teniendo en cuenta estos antecedentes y los resultados de nuestro trabajo podríamos concluir que la flota ilegal que captura el calamar gigante fuera de la ZZE de Perú y Chile realiza el transbordo de su captura ilegal hacia los buques de refrigeración, quienes finalmente se encargan de transportarlo hacia puerto y reportarlo como una captura legal ante la OROP-PS.

En ese sentido, tanto el número de embarcaciones que reportan actividad y las capturas totales que China envía a la OROP-PS están claramente sobreestimadas. Debido a que estas capturas totales de China (Figura 30) incluyen las capturas ilegales que provienen de una actividad de transbordo de una flota que opera ilegalmente (Figura 28). Buques de refrigeración de bandera china se encargarían de blanquear la captura ilegal e incluirlo dentro de sus capturas oficiales. Esta situación en la sobrestimación de las capturas de la flota pesquera de bandera China que opera en aguas internacionales ya ha sido previamente registrada en los trabajos hechos por Pauly et al. (2014) y Pauly and Zeller (2016). Por lo que nuestros resultados pretenden al igual que los trabajos previos a disminuir la gran incertidumbre que hay respecto a la sobrestimación y procedencia de las capturas de calamar gigante en el área FAO-87 por la flota pesquera China. Además, estos resultados están alineados con la necesidad de recuperar data histórica de las capturas reales en la pesquería de *Dosidicus gigas*, según las conclusiones del último encuentro del Comité Científico de la OROP-PS (SPRFMO, 2017)

Por otro lado, la combinación del uso de imágenes satelitales nocturnas y la base de datos del sistema AIS muestra ser una herramienta muy útil, no solo para cuantificar el número de embarcaciones totales, legales o ilegales sino también para estimar sus respectivas capturas y finalmente conocer la magnitud real de la pesca ilegal. En ese sentido, Watson & Tidd (2018) utilizaron datos del sistema AIS para mapear la pesca a nivel mundial e identificar la pesca INDNR. Igualmente, Kroodsma et al. (2018) cuantificó el esfuerzo pesquero (horas/km²) a nivel mundial usando solo datos del sistema AIS. Demostrando así la validez que tiene el uso de los datos AIS para cuantificar embarcaciones y medir el esfuerzo pesquero.

Finalmente, el reciente trabajo publicado por Ooseki et al. (2018) con una metodología similar a la nuestra, usando imágenes satelitales nocturnas y datos del sistema AIS para la flota china que opera con luces y captura *Scomber japonicus* en el mar de Japón estimó que su captura real

fue más del 80% de la captura total permitida, dando evidencias de la presencia de embarcaciones ilegales. Estos antecedentes respaldan y validan nuestra metodología usada para la estimación de la captura ilegal de *Dosidicus gigas* por la flota industrial que operó fuera de la ZEE del Perú durante el periodo 2013 al 2016.

VII. CONCLUSIONES

1. El número de embarcaciones calamareras totales estimadas usando imágenes nocturnas (VIIRS), mostró valores máximos de 143 embarcaciones en setiembre del 2013, 227 en setiembre del 2014, 223 en agosto del 2015 y 246 embarcaciones en setiembre del 2016.
2. El número estimado de embarcaciones ilegales diarias presentó un valor máximo de 72 embarcaciones en el 2013, 99 en el 2014, 85 en las 2015 y 110 embarcaciones en el 2016.
3. La captura ilegal máxima mensual y su porcentaje respecto a la captura total fue de 18,255 t (43.6%) en diciembre del 2013, 13,588 t (36.8%) en agosto del 2014, 11,122 t (21.6%) en agosto del 2015 y 6,021 t (13.4 %) en diciembre del 2016.
4. La captura total para el 2013 fue de 168,220 t (34%), para el 2014 105,928 t (30.7%), para el 2015 67,657 t (20.0%) y para el 2016 44,378 t (18.4%). Para el periodo 2013 al 2016 la captura ilegal acumulada fue de 327,538 t, es decir el 27.3% de la captura total registrada oficialmente en la OROP-PS (1,200,962 t).

VIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que la OROP-PS implemente un sistema de observadores a bordo en la pesquería industrial de *Dosidicus gigas* con la finalidad de validar la información de capturas. Así como un sistema de sanciones aquellas embarcaciones que manipulan y envían información falsa al sistema AIS.
2. Se recomienda incluir en la plataforma web de la ONG Global Fishing Watch una capa en tiempo real con la cuantificación del número de embarcaciones usando imágenes satelitales nocturnas, información que sería de gran utilidad a instituciones como IMARPE, PRODUCE y DICAPI.
3. Se recomienda usar esta nueva metodología en otras pesquerías, como la pesquería artesanal que también usan luces, con la finalidad de conocer la dimensión real de la flota, reconstruir sus capturas y así estimar la magnitud de la pesca INDNR.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre, A. R. (2011). Relaciones ontogénicas y espacio-temporales en la dieta del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Perú, utilizando un Modelo Aditivo Generalizado. Tesis para optar el título de Maestría en Estadística Aplicada, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. 100 p.

Alegre, A., Menard, F., Tafur, R., Espinoza, P., Argüelles, J., Maehara, V., ... & Bertrand, A. (2014). Comprehensive model of jumbo squid *Dosidicus gigas* trophic ecology in the Northern Humboldt Current System. *PLoS One*, 9(1), e85919.

Argüelles, J., Tafur, R., Taipei, A., Villegas, P., Keyl, F., Dominguez, N., & Salazar, M. (2008). Size increment of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* mature females in Peruvian waters, 1989–2004. *Progress in Oceanography*, 79(2), 308-312.

Baugh, K., Hsu, F. C., Elvidge, C. D., & Zhizhin, M. (2013). Nighttime lights compositing using the VIIRS day-night band: Preliminary results. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 35, 70-86.

British Broadcasting Corporation BBC. (2016). Barco guardacostas argentino hunde a pesquero de bandera china. Disponible en: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/03/160315_buque_argentino_derriba_barco_chino_prefectura_bm

Bertrand, S. (2005). Analyse comparée des dynamiques spatiales des poissons et des pêcheurs: mouvements et distributions dans la pêcherie d'anchois (*Engraulis ringens*) du Pérou, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. Docteur de l'ENSAR. Mention : Halieutique.

Burzigotti, P., Ginesi, A., & Colavolpe, G. (2012). Advanced receiver design for satellite-based automatic identification system signal detection. *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 30(2), 52-63.

Campbell, L. M., Gray, N. J., Fairbanks, L., Silver, J. J., Gruby, R. L., Dubik, B. A., & Basurto, X. (2016). Global Oceans Governance: New and Emerging Issues. *Annual Review of Environment and Resources*, 41, 517-543.

- Chaturvedi, S. K., Yang, C. S., Ouchi, K., & Shanmugam, P. (2012). Ship recognition by integration of SAR and AIS. *The Journal of Navigation*, 65(2), 323-337.
- Chen, X., Wu, A., Xiong, X., Lei, N., Wang, Z., & Chiang, K. (2016). Using Ground Targets to Validate S-NPP VIIRS Day-Night Band Calibration. *Remote Sensing*, 8(12), 984.
- Chen X J, Liu B L, Chen Y. (2008) A review of the development of Chinese distant-water squid jigging fisheries. *Fisheries research*, 89:211-221.
- Choi, K., Lee, C. I., Hwang, K., Kim, S. W., Park, J. H., & Gong, Y. (2008). Distribution and migration of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in the southwestern part of the East (Japan) Sea. *Fisheries Research*, 91(2), 281-290.
- Choi, K., Lee, C. I., Shin, S., Lee, Y., Kim, E., Chung, S., An, D. (2017). The Observer report on Jumbo Flying Squid Jigging Fishery in the SPRFMO Convention Area. 5th Meeting of the Scientific Committee.
- Cho K, Ito R, Shimoda H, Sakata T (1999). Technical note and cover fishing fleet lights and sea surface temperature distribution observed by DMSP/OLS sensor. *Int J Remote Sens*: 20: 3-9.
- Clarke, R., & Paliza, O. (2000). The Humboldt current squid *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835). El calamar de la corriente de Humbolt *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835)]. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 35(1), 1Á39.
- Clarke R, O Paliza & A Aguayo L. 1988. Sperm whales of Southeast Pacific. Part IV. Fatness, food and feeding. *Investigations on Cetacea* (ed G. Pilleri) 21: 53-195.
- Colavolpe, G., Foggi, T., Ugolini, A., Lizarraga, J., Cioni, S., & Ginesi, A. (2016). A highly efficient receiver for satellite-based automatic identification system signal detection. *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 34(1), 57-73.
- Cozzolino, E; Lasta, C; Brunetti, N; Bouno, J. 2012. Monitoreo y Cuantificación de las Flotas Poteras a Partir del uso de imágenes Satelitales Nocturnas DMSP-OLS: Desarrollo de un software Específico. Informe Técnico Oficial N° 13, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina.

Cozzolino, E. 2015. Uso de Imágenes Satelitales Nocturnas NPP VIIRS/DNB para el monitoreo y cuantificación : Desarrollo de un software Específico. Informe Técnico Oficial N° 40, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina.

Cozzolino, E., & Lasta, C. A. (2016). Use of VIIRS DNB satellite images to detect jigger ships involved in the *Illex argentinus* fishery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 4, 167-178.

d'Orbigny, A. 1835-1843. Voyage dans l'Amérique méridionale exécuté pendant les années 1826-1827, 1828, 1829, 1830, 1831, 1832, et 1833. Paris et Strassbourg, Tom V pt. 3: Mollusques, Cephalopoda: 1-64, pp. 1-4.

Csirke, J., Alegre, A., Argüelles, J., Guevara, R., Segura, M., Tafúr, R., & Yamashiro, C. (2015) Main biological and fishery aspects of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Peruvian Humboldt Current System.

Elvildge C. D., Baugh K. E., Kihn E. A., Kroehl H.W., Davis E. R., 1997. Mapping city light with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, pp. 727-734.

Elvidge, C. D., Zhizhin, M., Baugh, K., & Hsu, F. C. (2015). Automatic boat identification system for VIIRS low light imaging data. *Remote Sensing*, 7(3), 3020-3036.

FAO. 1995. in Code of Conduct for Responsible Fisheries.

FAO. 2001. Plan de Acción Internacional para Prevenir, Desalentar y Eliminar la Pesca Ilegal, No Declarada y No Reglamentada (PAI-INDNR). Roma.

FAO. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 pp.

Fiorini, M., Capata, A., Bloisi, D.D.: AIS data visualization for Maritime Spatial Planning (MSP). *Int. J. E-Navig. Marit. Econ.* 5, 45–60 (2016).

Greenpeace (2015) Africa's Fisheries' Paradise At a Crossroads: Investigatiing Chinese Companies' Illegal Fishing Practices in West Africa. Greenpeace Report: 29.

Greenpeace (2016) Give a Man a Fish—Five Facts on China's Distant Water Fishing Subsidies. Greenpeace Report: 10 p. Disponible en:

https://www.greenpeace.org/eastasia/PageFiles/299371/FINAL_The%20problem%20with%20China's%20distant%20water%20fishing%20industry%20subsidies_.pdf

Gutiérrez, C. P., & Nieto, Á. L. M. (2006). *Teledetección: nociones y aplicaciones*. Salamanca, España.

Hu G Y, Fang Z, Liu B L, Yang D, Chen X J, and Chen Y, 2016. Age, growth and population structure of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* off the Peruvian Exclusive Economic Zone based on beak microstructure. *Fisheries Science*. DOI 10.1007/s12562-016-0991-y.

Gonzales, R.C & Woods, R.E. (2002). *Digital Image Processing*, 2nd edn. Prentice Hall. 75-81. ISBN 0-201-18075-8

Huang, Q., Yang, X., Gao, B., Yang, Y., & Zhao, Y. (2014). Application of DMSP/OLS nighttime light images: A meta-analysis and a systematic literature review. *Remote Sensing*, 6(8), 6844-6866.

Iphar, C., Napoli, A., Ray, C., (2015). Detection of false AIS messages for the improvement of maritime situational awareness. In: *Oceans2015*, Washington, DC, United States.

Jensen, J. R. (2009). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective* 2/e. Pearson Education India.

Jing, X., Shao, X., Cao, C., Fu, X., & Yan, L. (2015). Comparison between the Suomi-NPP Day-Night Band and DMSP-OLS for Correlating Socio-Economic Variables at the Provincial Level in China. *Remote Sensing*, 8(1), 17.

Joo, R., Bertrand, S., Chaigneau, A., & Niquen, M. (2011). Optimization of an artificial neural network for identifying fishing set positions from VMS data: an example from the Peruvian anchovy purse seine fishery. *Ecological Modelling*, 222(4), 1048-1059.

Keyl, F., Wolff, M., Arguelles, J., Mariategui, L., Tafur, R., Yamashiro, C. 2008. A hypothesis on range expansion and spatio-temporal shifts in size-at-maturity of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Eastern Pacific Ocean. *Cal. Coop. Ocean. Fish. Inv. Rep.*, 49, 119-128.

Keyl, Friedemann, Argüelles, Juan y Tafur, Ricardo. 2011. Interannual variability in size structure, age, and growth of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) assessed by modal progression analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 68 (3): 507-518

Kiyofuji H, Saitoh S, Sakurai Y, Hokimoto T, Yoneta K (2001) Spatial and temporal analysis of fishing fleet distribution in the southern Japan Sea in October 1996 using DMSP/OLS visible data. In: Nishida T, Kailola PJ, Hollingworth CE (eds) Proc First Int Symp Geographical Information System (GIS) in Fishery Science, Fishery GIS Research Group, Saitama, p 178–185.

Kiyofuji, H., & Saitoh, S. I. (2004). Use of nighttime visible images to detect Japanese common squid *Todarodes pacificus* fishing areas and potential migration routes in the Sea of Japan. *Marine Ecology Progress Series*, 276, 173-186.

Kroodsma, D. A., N. A. Miller, and A. Roon. (2017). “The Global View of Transshipment: Preliminary Findings”. Global Fishing Watch and SkyTruth, February 2017. Available online at <http://globalfishingwatch.org>.

Kroodsma, D. A., Mayorga, J., Hochberg, T., Miller, N. A., Boerder, K., Ferretti, F., ... & Woods, P. (2018). Tracking the global footprint of fisheries. *Science*, 359(6378), 904-908.

Lee, S., Chiang, K., Xiong, X., Sun, C., & Anderson, S. (2014). The S-NPP VIIRS Day-Night Band on-orbit calibration/characterization and current state of SDR products. *Remote Sensing*, 6(12), 12427-12446.

Lee, S., & Cao, C. (2016). Suomi NPP VIIRS Day/Night Band Stray Light Characterization and Correction Using Calibration View Data. *Remote Sensing*, 8(2), 138.

Li, Q., Lu, L., Weng, Q., Xie, Y., & Guo, H. (2016). Monitoring urban dynamics in the southeast USA using time-series DMSP/OLS nightlight imagery. *Remote Sensing*, 8(7), 578.

Lim, J.S. *Two-Dimensional Signal and Image Processing*; Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ, USA, 1990.

Liu, B., Chen, X., Chen, Y., Tian, S., Li, J., Fang, Z., & Yang, M. (2013). Age, maturation, and population structure of the Humboldt squid *Dosidicus gigas* off the Peruvian Exclusive Economic Zones. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 31, 81-91.

Li, G., Chen, X., Zou, X., & Liu, B. (2017). China's Annual Report to the 2017 SPRFMO scientific Committee Part II: the squid Jigging fishery: The Squid Jigging Fishery.

Longépé, N., Hajduch, G., Ardianto, R., de Joux, R., Nhunfat, B., Marzuki, M. I., ... & Farhan, R. (2017). Completing fishing monitoring with spaceborne Vessel Detection System (VDS) and Automatic Identification System (AIS) to assess illegal fishing in Indonesia. *Marine pollution bulletin*.

Lucio, L., Solano, A., Rebaza, V., Alfaro, S., Tresierra, A. y Campos, S. 2013. La pesca artesanal marina en la Región La Libertad, Perú. *Informe del Instituto del Mar Del Perú*, 40(1-2): 31–134.

Malarky, L., & Lowell, B. (2018). Avoiding Detection: Global Case Studies of Possible AIS Avoidance. OCEANA. Disponible en: <http://usa.oceana.org/publications/reports/avoiding-detection-global-case-studies-possible-ais-avoidance>

Mallory, T.G. (2013) China's distant water fishing industry: evolving policies and implications. *Marine Policy* 38, 99–108.

Mariátegui Rosales, L. R. (2009). Pesquería sostenible del calamar gigante *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) en el mar peruano. Tesis para optar el título de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Federico Villareal, Perú. 195 p.

Maxwell, M. R., Henry, A., Elvidge, C. D., Safran, J., Hobson, V. R., Nelson, I., ... & Hunter, J. R. (2004). Fishery dynamics of the California market squid (*Loligo opalescens*), as measured by satellite remote sensing. *Fishery Bulletin*, 102(4), 661-670.

Mehl, H., & Peinado, O. (1997). Fundamentos del procesamiento digital de imágenes. *En: Aplicación de la teledetección y de los sistemas de información geográfica en la gestión de recursos naturales*, 63-101.

Mendo, J and Wosnitza-Mendo, C. (2014). Reconstruction of total marine fisheries catches for Peru: 1950-2010. Fisheries Centrel Working Paper #2014-21, 23 p.

Merten, W., Reyer, A., Savitz, J., Amos, J., Woods, P., & Sullivan, B. (2016). Global Fishing Watch: Bringing Transparency to Global Commercial Fisheries. *arXiv preprint arXiv:1609.08756*.

Miller, S. D., Straka, W., Mills, S. P., Elvidge, C. D., Lee, T. F., Solbrig, J., ... & Weiss, S. C. (2013). Illuminating the capabilities of the suomi national polar-orbiting partnership (NPP) visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) day/night band. *Remote Sensing*, 5(12), 6717-6766.

Ministerio del Ambiente (MINAM). 2015. Estudio de Desempeño Ambiental (ESDA) del 2003-2013. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/esda/>

Munaylla, U. 2012. Panorámica de los Recursos y Pesquerías de Cefalópodos en Latinoamérica. Congreso Mundial de Cefalópodos (CONXEMAR). FAO.

Naciones Unidas. (2004). *Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar*. Dirección de Intereses Marítimos. Fondo de Publicaciones.

Nesis, K. 1983. *Dosidicus gigas*. In: Boyle, P. (Ed.), *Cephalopod Life Cycles*. Volume 1. Academic Press, London, 215-231 p.

Nigmatullin, C. M., Nesis, K. N., & Arkhipkin, A. I. (2001). A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fisheries Research*, 54(1), 9-19.

OCEANA. 2016. Seminario sobre Tecnología Satelital y Gestión Pesquera. Disponible en: <http://peru.oceana.org/es/prensa-e-informes/comunicados-de-prensa/tecnologia-satelital-una-aliada-para-la-vigilancia-y-gestion>

OCEANA, 2017. No More Hiding at Sea: Transshipping Exposed. Disponible en: <http://usa.oceana.org/TransshippingExposed>

Oozeki, Y., Inagake, D., Saito, T., Okazaki, M., Fusejima, I., Hotai, M., ... & Miyahara, M. (2018). Reliable estimation of IUU fishing catch amounts in the northwestern Pacific adjacent to the Japanese EEZ: Potential for usage of satellite remote sensing images. *Marine Policy*, 88, 64-74.

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. Informe final Proyecto MEDIANO BREVE CIES (Consortio de Investigación económica y social).

Paulino, C., & Escudero, L. (2010). Use of Night Satellite Imagery to Monitor the Squid Fishery in Peru. Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation. Applications for Marine Living Resources. Conservation and Management. EU PRESPO and IOCCG. Dartmouth. Canada. pp. 143-152.

Paulino C, Segura M, Chacón G. 2015. Spatial variability of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) fishery related to remotely sensed SST and chlorophyll-a concentration (2004-2012). *Fisheries Research*, 173(2), 122-127.

Paulino, C., Aroni, E., Xu, H., Alburqueque, E., & Demarcq, H. (2017). Use of nighttime visible images in the study of the spatial and temporal variability of fishing areas of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) outside Peruvian EEZ 2004–2015. *Fisheries Research*, 191, 144-153.

Pauly, D., Belhabib, D., Blomeyer, R., Cheung, W. W., Cisneros-Montemayor, A. M., Copeland, D., ... & Österblom, H. (2014). China's distant-water fisheries in the 21st century. *Fish and Fisheries*, 15(3), 474-488.

Pauly, D., & Zeller, D. (2016). Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. *Nature communications*, 7.

Pérez, G.U. 2005. La percepción remota. Laboratorio de Información Geográfica. Universidad de Tolima, Febrero 2005. pp 34.

Pfeffer, G. 1912. Die Cephalopoden der Plankton-Expedition. Zugleich eine monographische Übersicht der oegopsiden Cephalopoden. *Ergeb. Plankton-Exped. Humboldt-Stiftung*, Bd. II, F. a. Lipsius and Tischer. Kiel and Leipzig. 815 pp, 48.

Pikitch, E. K. et al. Ecosystem-based Fishery Management. *Science* 305, 346–347 (2004).

PRODUCE. (2014) Estadísticas pesqueras disponibles en el portal oficial del Ministerio de la Producción del Perú. Información disponible en: <<http://www.produce.gob.pe/index.php/component/content/article/189informacion-estadistica/2520-informacion-estadistica>>

PROMPERU. (2014) Desarrollo del comercio exterior pesquero. Informe anual 2013. Promoción del Perú para la Exportación y Turismo (PROMPERU). Lima, Perú. 90p

Rodhouse, P. G., Elvidge, C. D., & Trathan, P. N. (2001). Remote sensing of the global light-fishing fleet: an analysis of interactions with oceanography, other fisheries and predators. *Advances in Marine Biology*, 39, 261-303.

Robinson, C. J., Gómez-Gutiérrez, J., & de León, D. A. S. (2013). Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) landings in the Gulf of California related to remotely sensed SST and concentrations of chlorophyll a (1998–2012). *Fisheries Research*, 137, 97-103.

Rodríguez Galiano, V., & Chica Rivas, M. (2012). Clasificación de imágenes de satélite mediante software libre: nuevas tendencias en algoritmos de Inteligencia Artificial. In *XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Madrid, AGE-CSIC*. pp. 19.

Ruiz-Cooley, R. I., Ballance, L. T., & McCarthy, M. D. (2013). Range expansion of the jumbo squid in the NE Pacific: $\delta^{15}\text{N}$ decrypts multiple origins, migration and habitat use. *PLoS One*, 8(3), e59651.

SPRFMO. 2016. South Pacific Regional Fisheries Management Organization. The Fourth Scientific Committee Meeting. Disponible en: <https://www.sprfmo.int/meetings/4th-sc-meeting/>

SPRFMO. 2017. South Pacific Regional Fisheries Management Organization. The Fourth Scientific Committee Meeting. Disponible en: <https://www.sprfmo.int/meetings/meeting-archive/scientific-committee/sc5/>

Saitoh, S. I., Fukaya, A., Saitoh, K., Semedi, B., Mugo, R., Matsumura, S., & Takahashi, F. (2010). Estimation of number of Pacific saury fishing vessels using night-time visible images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38(Part 8), 1013-1016.

Sandoval-Castellanos, E., Uribe-Alcocer, M., & Díaz-Jaimes, P. (2007). Population genetic structure of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) evaluated by RAPD analysis. *Fisheries Research*, 83(1), 113-118.

Straka, W. C., Seaman, C. J., Baugh, K., Cole, K., Stevens, E., & Miller, S. D. (2015). Utilization of the suomi national polar-orbiting partnership (npp) visible infrared imaging radiometer suite (viirs) day/night band for arctic ship tracking and fisheries management. *Remote Sensing*, 7(1), 971-989.

Tafur, Ricardo y Rabí, Miguel. 1997 Reproduction of the jumbo flying squid, *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) (Cephalopoda: Ommastrephidae) off Peruvian coasts. *Scientia Marina*, 61(Supl. 2): 33-37.

Tafur, R., Villegas, P., Rabí, M., & Yamashiro, C. (2001). Dynamics of maturation, seasonality of reproduction and spawning grounds of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in Peruvian waters. *Fisheries Research*, 54(1), 33-50.

Taipe, A., Yamashiro, C., Mariategui, L., Rojas, P., & Roque, C. (2001). Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999. *Fisheries Research*, 54(1), 21-32.

Tume, J., & Marcial, R. (2016). SIG Teledetección y modelos basados en variables oceanográficas aplicados a la pesquería de la pota (*Dosidicus gigas*) en Paita, 2010-2011. *Ciencia y Desarrollo*, 16(2), 25-39.

Vela Meléndez, L., Álvarez Tello, G., Cossio Flores, J., Helguero Muro, B., Martínez Sancarranco, M., & Santacruz Fernández, R. P. (2014). Diagnóstico estratégico del sector pesquero peruano.

Vernov, S.N.; Gorchakov, E.V.; Shavrin, P.I.; Sharvina, K.N. 1967. Radiation Belts in the Region of the South-Atlantic Magnetic Anomaly. *Space Sci. Rev*, 7, 490–533.

Waluda, C.M; Trathan, P.N; Elvidge, C.D; Hobson, V.R; Rodhouse, P.G. 2002. Throwing light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 91; pp. 129-133

Waluda, C. M., Yamashiro, C., Elvidge, C. D., Hobson, V. R., & Rodhouse, P. G. (2004). Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing. *Remote sensing of environment*, 91(2), 129-133.

Waluda, Claire M.; Rodhouse, Paul G. (2005) *Dosidicus gigas* fishing grounds in the Eastern Pacific as revealed by satellite imagery of the light-fishing fleet. *Phuket Marine Biological Center Research Bulletin* (66). 321-328.

Waluda, C. M., Yamashiro, C., & Rodhouse, P. G. (2006). Influence of the ENSO cycle on the light-fishery for *Dosidicus gigas* in the Peru Current: an analysis of remotely sensed data. *Fisheries Research*, 79(1), 56-63.

Waluda, C. M., Griffiths, H. J., & Rodhouse, P. G. (2008). Remotely sensed spatial dynamics of the *Illex argentinus* fishery, Southwest Atlantic. *Fisheries Research*, 91(2), 196-202.

Watson, R. A., & Tidd, A. (2018). Mapping nearly a century and a half of global marine fishing: 1869–2015. *Marine Policy*, 93, 171-177.

Wormuth, J. H. 1998. Workshop deliberations on the Ommastrephidae: A brief history of their systematics and a review of the systematics, distribution and biology of the genera *Martialia* Rochebrune and Mabile, 1889, *Todaropsis* Girard, 1890, *Dosidicus* Steenstrup, 1857, *Hyaloteuthis* Gray, 1849 and *Eucleoteuthis* Berry, 1916. Systematics and Biogeography of Cephalopods. *Smithsonian Contr. Zool.*, 586, 373-383.

Xu, L., Li, B., Chen, Y., Chen, X., Li, G. (2016) standardization of Chinese *Dosidicus gigas* fishery in South-east Pacific Ocean. National Report of China to the 2016 SPRFMO Science Committee. The Squid Jigging Fishery.

Yamashiro, C., Marín, W., & Argüelles, J. (2016). El recurso calamar gigante en la costa peruana y El Niño.

X. ANEXOS

ANEXO 1: Registro de datos de las estimaciones de número de embarcaciones y captura total, legal e ilegal para cada día desde el 2013 al 2016.

		VIIRS	AIS (T)					
		N(et)	OROP_N(el)	AIS_N(ei)	N(ei)	CT	CL	CI
Mes 1	Día 1							
	Día 2							
	Día 3							
	Día 4							
	Día 5							
							
							
	Día 26							
	Día 27							
	Día 28							
	Día 29							
	Día 30							
Mes 2	Día 1							
	Día 2							
	Día 3							
	Día 4							
	Día 5							
							
							
	Día 26							
	Día 27							
	Día 28							
	Día 29							
	Día 30							

Abreviaturas: N(et):. Número de embarcaciones totales, N(el):. Número de embarcaciones legales, N(ei):. Número de embarcaciones ilegales, CT.:. Captura Total, CL.:. Captura Legal, CI.:. Captura Ilegal.

ANEXO 3: Automatización para el procesamiento de imágenes satelitales nocturnas (NPP-VIIRS) y la estimación del número total de embarcaciones (script en R-Studio)

```
1. #####Cuantificación del número de embarcaciones totales (NPP-VIIRS)#####
2. library(raster)
3. library(igraph)
4. library(base)
5. library(matrixcalc)
6. library(reshape2)
7. library(rasterVis)
8. library(maptools)
9. library(rgeos)
10. #####1.Estandarización#####
11. inputo_NPP <- raster("C:/Tesis/GDNBO-SVDNB_npp_d20130114_t0722469.tif")
12. inputo_NPP <- reclassify(inputo_NPP, cbind(-9999.000000, NA))
13. inputo_NPP <- log10(inputo_NPP) #valores de radiancia del cada pixel
14. inputo_NPP[is.infinite(inputo_NPP)] <- NA
15. max=maxValue(inputo_NPP)
16. min=minValue(inputo_NPP)
17. slope=254/(max-min) #transformar a escala [0-255]
18. intercept=1-(slope*min)
19. image_grey=inputo_NPP*slope+intercept
20.
21. #####2.Umbral de detección#####
22. image_grey <- reclassify(image_grey, cbind(-NA, NA))
23. image_grey1 <- as.matrix(image_grey)
24. image_grey1 = shift.right(image_grey,1)
25. image_grey1 = raster(image_grey1) #(i+1)
26. imagen_gradiente = overlay(image_grey,image_grey1,
                             fun=function(x,y){return(x-y)})
27. umbralmax=maxValue(imagen_gradiente)
28. umbralmin=minValue(imagen_gradiente)
29.
30. umbral = umbralmin - (umbralmax-umbralmin)/2
                                     #valor del umbral
31. image_umbral[ imagen_gradiente[] < umbral ] <- NA
                                     #eliminando valores < umbral
32. image_umbral
33.
34. #####3.Segmentación#####
35. library(sp)
36. library(rgdal)
37. library(tiff)
38. imagen_seg1 <- clump(image_umbral)
39. matriz <- as.matrix(imagen_seg1)
```

```

40. lapply(seq_len(imagen_seg1 @data@max), function(x) {
41.   inds <- which(matriz == x, arr.ind = TRUE)
42.   nrow <- diff(range(inds[, "row"])) + 1
43.   ncol <- diff(range(inds[, "col"])) + 1
44.   matrix(1, ncol = ncol, nrow = nrow) })
45. lista_emb<- hclust(dist(data.frame(rownames=rownames(matriz@data),
      x=coordinates(matriz)[,1],
      y=coordinates(matriz)[,2])), method="complete")
46. lista_emb <- SpatialPointsDataFrame(matrix(c(x,y), ncol=2),
      data.frame(ID=seq(1:length(x))),
      proj4string=CRS("+proj=longlat +ellps=WGS84 +datum=WGS84"))
47. imagen_seg1 <- as.raster(matriz)
48. embarcaciones1 <- write.csv(lista_emb,
      'C:/Tesis/listaEmbarcaciones1.csv', overwrite=TRUE)
49. #####4.Validación#####
50. embarcaciones1 <- read.csv("C:/Tesis/listaEmbarcaciones1.csv")
51. imput_dataAIS <- read.csv("C:/Tesis/embarcacionesAIS.csv")
52. regresion <- lm(embarcaciones1 ~ imput_dataAIS, data=embarcaciones1)
53. imagen_seg1
54. #####5.Re-Segmentación#####6.Categorización#####7.Cuantificación#####
55. library(imager)
56. imagen_seg1 <- mutate(imagen_seg1, index=as.data.frame(i.max)$value)
57. regs <- dplyr::group_by(imagen_seg1, value) %>%
58.   dplyr::summarise(mx=mean(x), my=mean(y), scale.index=mean(index))
59. p <- ggplot(as.data.frame(imagen_seg1), aes(x,y))
60.   +geom_raster(aes(fill=value))
61.   +geom_point(data=regs, aes(mx, my, size=scale.index), pch=2, col="red")
62. p+scale_fill_gradient(low="black", high="white")
63.   +scale_x_continuous(expand=c(0,0))
64.   +scale_y_continuous(expand=c(0,0), trans=scales::reverse_trans())
65. centers <- ddply(imagen_seg2,.(value), summarise, mx=mean(x), my=mean(y))
66. centers <- dplyr::group_by(imagen_seg2, value) %>%
      dplyr::summarise(mx=mean(x), my=mean(y))
67. imagen_seg2 <- as.data.frame(imagen_seg2) %>% subset(value>0)
68. embarcaciones2 <- write.csv(imagen_seg2,
      'C:/Tesis/listaEmbarcaciones2.csv', overwrite=TRUE)
69. #####

```

ANEXO 4: Fórmulas utilizada para calcular la posición proyectada de una embarcación usando datos del sistema AIS a la misma hora que el satélite (NPP-VIIRS) registra la actividad pesquera con luces.

Distancia:

$\varphi_1 =$ latitud inicial

$\lambda_1 =$ longitud inicial

$\varphi_2 =$ latitud final

$\lambda_2 =$ longitud inicial

$$a = \sin^2(\Delta\varphi/2) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin^2(\Delta\lambda/2)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$d = R \cdot c$$

Donde: $\Delta\varphi$ es la diferencia de latitud, $\Delta\lambda$ es la diferencia de longitud, R es el radio de la tierra (Radio medio = 6,371km)

Distancia en el tiempo t:

$$\Delta D = \Delta t \cdot \Delta v$$

Donde: v es la velocidad de la embarcación, t es la hora de registro de la imagen satelital nocturna.

Latitud y longitud media:

$$a = \sin((1-f) \cdot D) / \sin D$$

$$b = \sin(f \cdot D) / \sin D$$

$$x = a \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \lambda_1 + b \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos \lambda_2$$

$$y = a \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \lambda_1 + b \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin \lambda_2$$

$$z = a \cdot \sin \varphi_1 + b \cdot \sin \varphi_2$$

$$X_m = \text{atan2}(z, \sqrt{x^2 + y^2})$$

$$Y_m = \text{atan2}(y, x)$$

Donde: X_m es latitud media, Y_m es la longitud media, D es la distancia en el tiempo t.

ANEXO 5: Automatización del proceso para cuantificar el número de embarcaciones usando la información del sistema AIS contenida en la base de datos del portal web Global Fishing Watch (código SQL BigQuery)

```

1. //////////////////////////////////////////////////////////////////// //Base de datos de las embarcaciones dentro del sistema
AIS ////////////////////////////////////////////////////////////////////
2. SELECT
3. FROM (
4. a.mmsi AS mmsi, //código mmsi
5. a.lat lat, //latitud
6. a.lon lon, //Longitud
7. IF(point_n
8. AND point_p, lat_center, NULL) lat_center,
9. IF(point_n
10. AND point_p, lon_center, NULL) lon_center,
11. a.timestamp AS time,
12. a.speed AS speed, //velocidad
13. a.shipname AS shipname, //nombre
14. a.country_name AS country_name, //bandera
15. a.imo AS imo, //código IMO
16. a.shiptype_text AS shiptype_text, //tipo de barco
17. a.average_length AS average_length,
18. a.known_length AS known_length, //eslora del barco
19. b.geartype AS sprfmo_geartype, //lista de barcos
20. b.startdate AS sprfmo_startdate, //autorizados por
21. b.enddate AS sprfmo_enddate //OROP-PS
22. ////////////////////////////////////////////////////////////////////
23. //Fórmula para estimar la posición media de un barco data AIS////////////////////////////////////////////////////////////////////
24. FROM (
25. SELECT
26. mmsi,
27. CASE
28. WHEN diff_p != 10000000000 AND diff_n != 10000000000 THEN
29. lat_p*(diff_n/(diff_p+diff_n)) + lat_n*(diff_p/(diff_p+diff_n))
30. WHEN diff_p = 10000000000 THEN lat_n - COS(RADIANS(course_n))*diff_n/(1000000*3600)*speed_n/
60
31. WHEN diff_n = 10000000000 THEN lat_p + COS(RADIANS(course_p))*diff_p/(1000000*3600)*speed_p/
60
32. END lat,
33. CASE
34. WHEN diff_p != 10000000000 AND diff_n != 10000000000 THEN
35. lon_p*(diff_n/(diff_p+diff_n)) + lon_n*(diff_p/(diff_p+diff_n))
36. WHEN diff_p = 10000000000 THEN lon_n - SIN(RADIANS(course_n))*diff_n/(1000000*3600)*speed_n/
60
37. WHEN diff_n = 10000000000 THEN lon_p + SIN(RADIANS(course_p))*diff_p/(1000000*3600)*speed_p/
60
38. END lon,
39. lat_p*(diff_n/(diff_p+diff_n)) + lat_n*(diff_p/(diff_p+diff_n)) lat_center,
40. lon_p*(diff_n/(diff_p+diff_n)) + lon_n*(diff_p/(diff_p+diff_n)) lon_center,
41. lat_n - COS(RADIANS(course_n))*diff_n/(1000000*3600)*speed_n/60 lat_projected_n,
42. lon_n - SIN(RADIANS(course_n))*diff_n/(1000000*3600)*speed_n/60 lon_projected_n,
43. lat_p + COS(RADIANS(course_p))*diff_p/(1000000*3600)*speed_p/60 lat_projected_p,
44. lon_p + SIN(RADIANS(course_p))*diff_p/(1000000*3600)*speed_p/60 lon_projected_p,
45. IF(diff_p != 10000000000, TRUE, FALSE) point_p,
46. IF(diff_n != 10000000000, TRUE, FALSE) point_n,
47. IF(diff_n < diff_p, diff_n/(1000000*60*60),
48. diff_p/(1000000*60*60))*(speed_p + speed_n)/2 nm_distance,
49. IF(diff_n < diff_p, diff_n/1000000, diff_p/1000000) diff_seconds,
50. pings
51.
52. ////////////////////////////////////////////////////////////////////
53. //Cruce de información data AIS y Data satelital VIIRS////////////////////////////////////////////////////////////////////

```

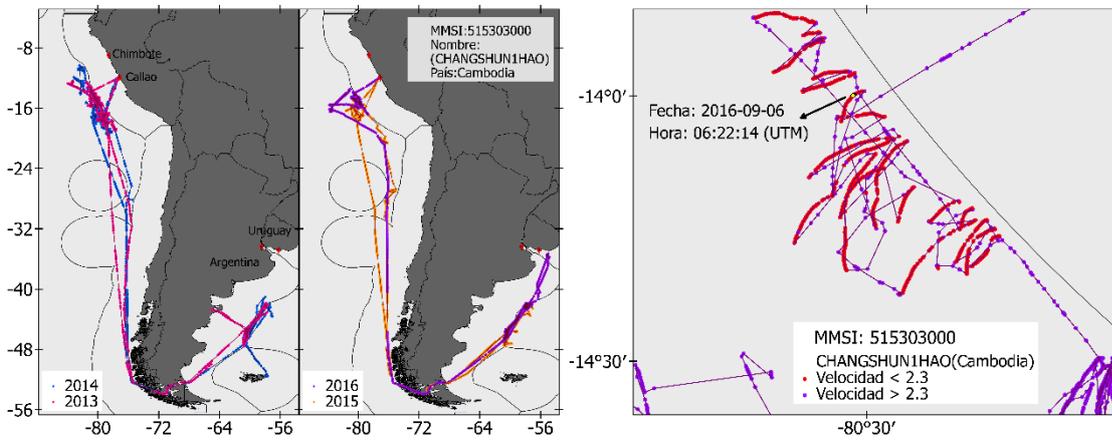
```

54. FROM (
55.   SELECT
56.     mmsi,
57.     timestamp AS next_timestamp,
58.     lat AS next_lat,
59.     lon AS next_lon,
60.     speed AS next_speed,
61.     course AS next_course,
62.     hours_diff AS next_hours_diff,
63.   FROM (
64.     SELECT
65.       mmsi,
66.       timestamp,
67.       lat,
68.       lon,
69.       speed,
70.       course,
71.       (timestamp - TIMESTAMP
72.        ('2016-11-17 06:29:52'))/(3600 *1000000) //hora del satélite
73.     AS hours_diff
74.   FROM
75.     TABLE_DATE_RANGE([pipeline_p_p550_daily.classify_],
76.      TIMESTAMP('2016-11-16 00:00:00'),
77.      TIMESTAMP('2017-11-18 23:59:59'))
78.   WHERE
79.     lat > -15.3 //latitud
80.     AND lat < -17.8 //posicion de barcos
81.     AND lon > -82.1 //imagen satelital
82.     AND lon < -79.2) //longitud
83.   WHERE
84.     before IS TRUE)
85.   WHERE
86.     rank = 1)
87. GROUP BY
88.   mmsi)))) )
89. ///////////////////////////////////////////////////
90. //Lista de embarcaciones autorizadas para pescar calamar gigante OROP-PS/////
91. LEFT JOIN (
92.   SELECT
93.     *
94.   FROM
95.     [world-fishing-827:vessel_database.sprfmo_bestmatches_20170821],
96.     [world-fishing-827:vessel_database.update_china_sprfmo_20171123]) b
97. ON
98.   a.mmsi = b.mmsi

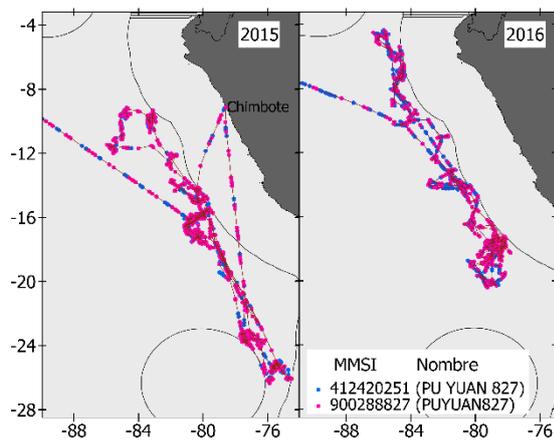
```

ANEXO 6: Tracks de embarcaciones ilegales que emiten falsas posiciones al sistema AIS. Ejemplo de casos frecuentes.

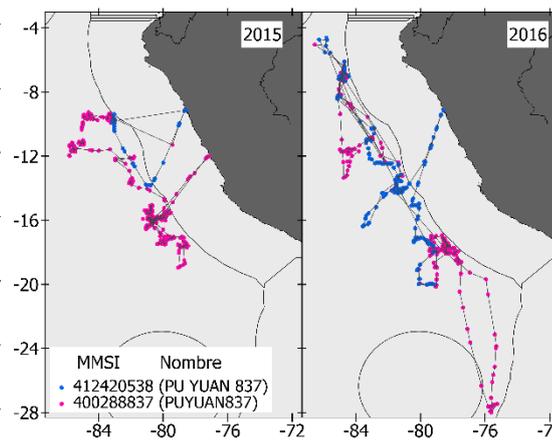
CASO 1:



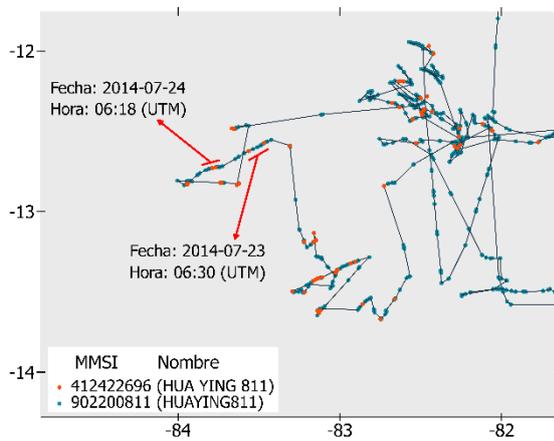
CASO 2:



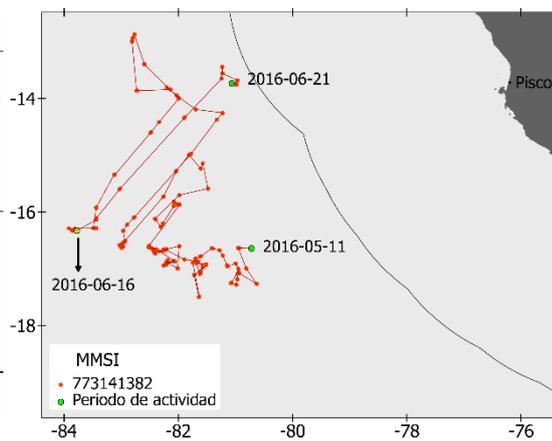
CASO 3:



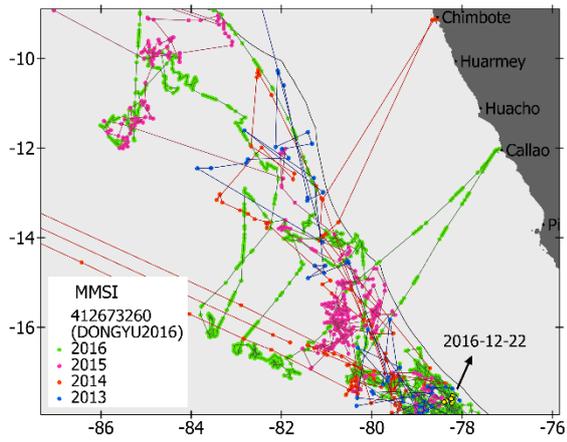
CASO 4



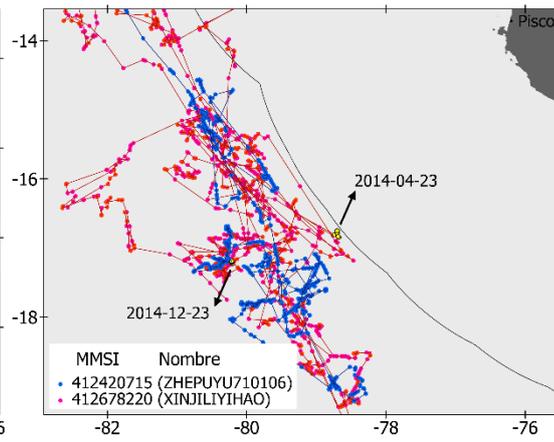
CASO 5



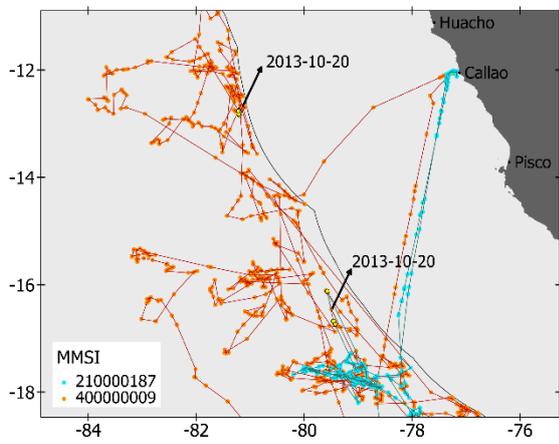
CASO 6



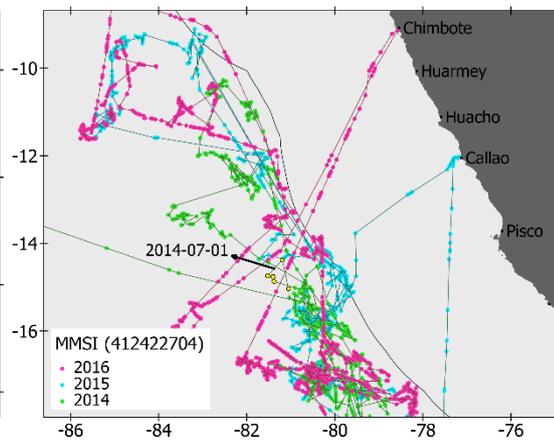
CASO 7



CASO 8



CASO 9



ANEXO 7: Estimación mensual de la CPUE y los resultados de las capturas mensuales totales, legales e ilegales en toneladas para el periodo 2013 al 2016.

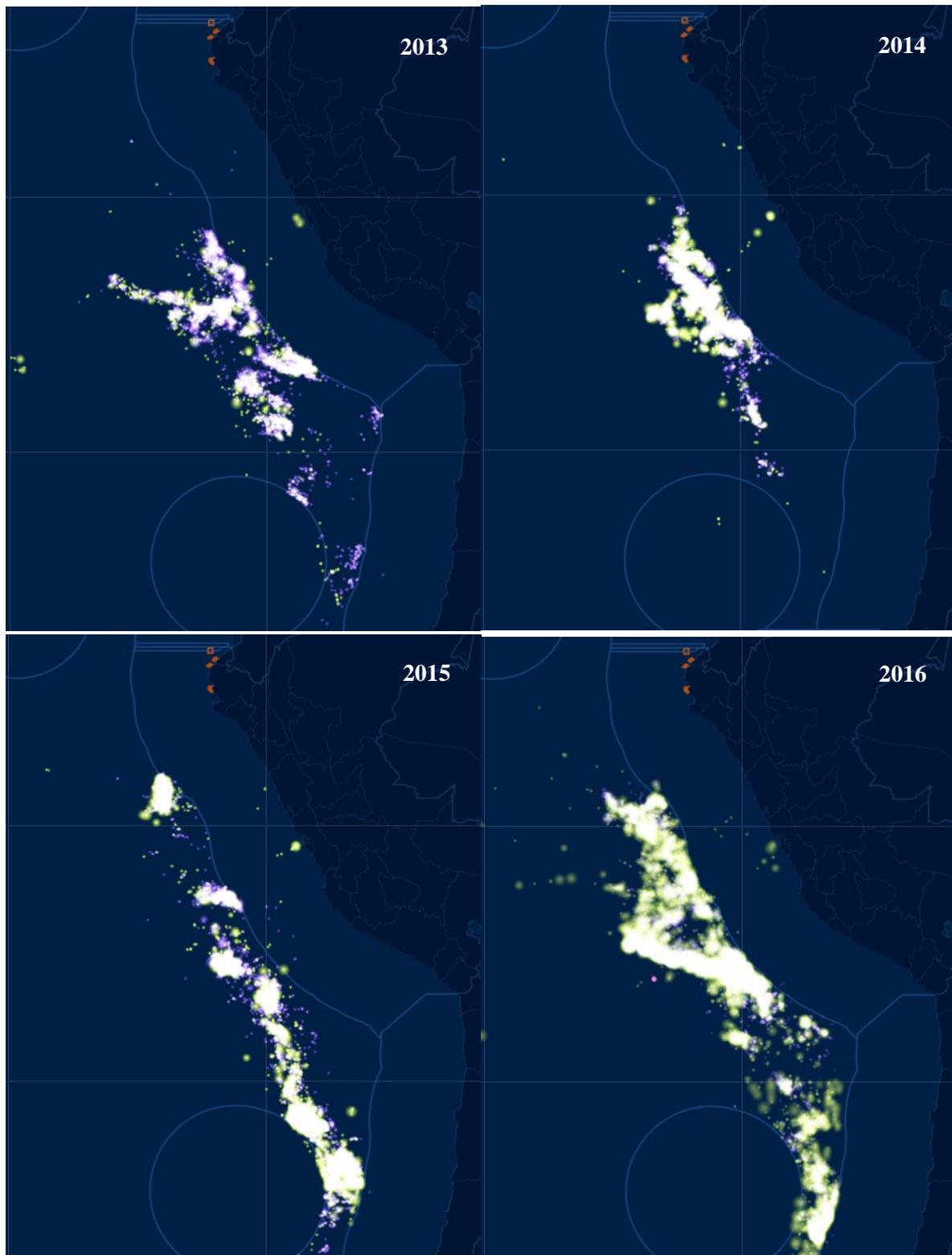
Año	Mes	Captura (OROP)	#Emb (VIIRS)	CPUE (estimado)	CT(Total)	CL(Legal)	CI(Ilegal)	% CI (Ilegal)
2013	1	21177	83	8.2	21177	11341	9837	46.4
2013	2	15342	92	5.9	15342	8924	6418	41.8
2013	3	12893	90	4.6	12893	7267	5626	43.6
2013	4	10080	70	4.8	10080	7690	2390	23.7
2013	5	10065	78	4.1	10065	5068	4997	49.6
2013	6	10063	87	3.8	10063	4995	5068	50.4
2013	7	16987	121	4.5	16987	7842	9145	53.8
2013	8	27257	135	6.5	27257	13030	14227	52.2
2013	9	22768	143	5.3	22768	13307	9461	41.6
2013	10	34943	125	9	34943	25317	9626	27.5
2013	11	52000	133	13	52000	38499	13502	26.0
2013	12	44219	127	11.2	44219	24940	19279	43.6
					277796	168220	109576	39.4
2014	1	21920	100	7	21920	13923	7997	36.5
2014	2	17272	83	7.4	17272	10319	6953	40.3
2014	3	19120	103	5.6	19120	7493	11627	60.8
2014	4	12147	84	4.4	12147	7285	4862	40.0
2014	5	11240	73	4.5	11240	7636	3604	32.1
2014	6	17731	131	4.5	17731	9422	8309	46.9
2014	7	23304	182	4.3	23304	13538	9766	41.9
2014	8	38023	200	6	38023	24034	13989	36.8
2014	9	28008	227	4	28008	20227	7781	27.8
2014	10	42381	215	6.2	42381	32183	10198	24.1
2014	11	65224	203	10.5	65224	54378	10846	16.6
2014	12	48150	109	13.9	48150	38156	9994	20.8
					344521	238593	105928	30.7
2015	1	28927	73	12.8	28927	21853	7074	24.5
2015	2	18797	112	6	18797	12393	6404	34.1
2015	3	20225	108	6	20225	13781	6444	31.9
2015	4	16185	103	5.2	16185	11648	4537	28.0
2015	5	12394	77	5.2	12394	9182	3212	25.9
2015	6	14389	111	4.3	14389	11105	3284	22.8
2015	7	31995	193	5.3	31995	23608	8387	26.2
2015	8	51601	223	7.5	51601	40468	11133	21.6
2015	9	44215	203	7.2	44215	36552	7663	17.3
2015	10	38144	188	6.5	38144	34038	4106	10.8
2015	11	38157	120	10.6	38157	34477	3680	9.6
2015	12	22942	130	5.7	22942	21210	1732	7.6
					337971	270314	67657	20.0

Continuación...

2016	1	25456	90	9.1	25456	20323	5133	20.2
2016	2	15686	134	4	15686	11137	4549	29.0
2016	3	14894	116	4.1	14894	11903	2991	20.1
2016	4	10389	141	2.5	10389	7539	2850	27.4
2016	5	8213	148	1.8	8213	6106	2107	25.7
2016	6	10978	216	1.7	10978	8961	2017	18.4
2016	7	14043	218	2.1	14043	10950	3093	22.0
2016	8	14797	234	2	14797	10543	4254	28.8
2016	9	16488	246	2.2	16488	12217	4272	25.9
2016	10	33479	222	4.9	33479	30058	3421	10.2
2016	11	31295	192	5.4	31295	27626	3669	11.7
2016	12	45038	189	7.7	45038	39017	6021	13.4
					240759	196381	44378	18.4

Abreviaturas: #Emb.: Número de embarcaciones según imágenes nocturnas, CT.: Captura Total
 CL.: Captura Legal, CI.: Captura Ilegal, %CI.: Porcentaje de la captura ilegal.

ANEXO 8: Serie de mapas anuales comparando las posiciones estimadas de los barcos usando imágenes satelitales nocturnas (puntos morados) y mediante el sistema AIS (puntos verdes) para el periodo 2013-2016.



<http://globalfishingwatch.org/map/workspace/udw-v2-cab05c5a-7709-443d-827a-e7b5ebf82ef9>