

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA



**“INFLUENCIA DE REMOLINOS DE MESOESCALA SOBRE LA
ABUNDANCIA RELATIVA DEL PEZ ESPADA *XIPHIAS GLADIUS* EN LA
EXTENSIÓN DE LA KUROSHIO”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

GLORIA SILVANA DURÁN GÓMEZ

LIMA – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA

**“INFLUENCIA DE REMOLINOS DE MESOESCALA SOBRE LA
ABUNDANCIA RELATIVA DEL PEZ ESPADA *Xiphias gladius* EN
LA EXTENSIÓN DE LA KUROSHIO”**

Presentado por:

GLORIA SILVANA DURÁN GÓMEZ

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. Jaime Mendo Aguilar

Presidente

M. Sc. Arcadio Henry Orrego Albañil M. Sc. Luis Carrillo La Rosa

Miembro

Miembro

Dr. Luis Icochea Salas

Asesor

A mi familia y profesores

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria la Molina por los años que me albergó y a la Facultad de Pesquería por la formación brindada.

A la Tokyo University of Marine Science and Technology 東京海洋大学 por el apoyo brindado durante mi pasantía.

A mis padres y abuelitos por su continuo apoyo.

A mis hermanos, amistades y mascotas (特にリンゴ).

Y al incondicional apoyo de mis profesores, el Dr. Luis Icochea Salas y el Dr. Takeyoshi Nagai.

本当に心から感謝します

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Aspectos bio-ecológicos del pez espada	3
2.1.1. Ubicación taxonómica.....	3
2.1.2. Distribución geográfica y hábitat.	4
2.1.3. Crecimiento	6
2.1.4. Reproducción	6
2.1.5. Alimentación	7
2.1.6. Biomasa estimada del pez espada	8
2.2. Pesquería del pez espada	10
2.2.1. Desembarque.....	10
2.2.2. Artes de pesca.....	12
2.2.3. Manejo pesquero	14
2.3. Remolinos de mesoescala.....	15
2.3.1. Sistema de la Extensión de la corriente Kuroshio (EK).....	17
III. METODOLOGÍA	19
3.1. Zona de estudio	19
3.2. Información utilizada	20

3.2.1. Información pesquera.....	20
3.2.2. Información oceanográfica.....	20
3.3.1. Abundancia relativa del pez espada	20
3.3.2. Caracterización de parámetros en la EK	21
3.3.3. Relación entre la abundancia relativa y los remolinos de mesoescala	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Análisis de la Captura por Unidad del Esfuerzo (CPUE)	24
4.2. Análisis de los parámetros dinámicos en la EK	27
4.2.1. Periodo de estabilidad de la EK	27
4.2.2. Variabilidad interanual de remolinos en la EK	29
4.3. Influencia de remolinos de mesoescala en la abundancia relativa	30
4.3.1. Relación de la CPUE con la temperatura y salinidad.....	30
4.3.2. Los remolinos y la CPUE.....	33
4.3.3. Análisis de correlación	41
V. CONCLUSIONES.....	44
VI. RECOMENDACIONES	45
VII. BIBLIOGRAFÍA	46
VIII. ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Promedios mensuales y anuales de CPUE (ejemplares/100anz) para el periodo 2004-2010.....	25
Tabla 2: Correlaciones entre los parámetros dinámicos de vorticidad (s^{-1}) y OW (s^{-2}) con la CPUE (ejemp/100anz).....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplar de pez espada <i>Xiphias gladius</i> Fuente: Florida Museum of Natural History (2017)	3
Figura 2: Área de distribución (en color naranja) del pez espada <i>Xiphias gladius</i> Fuente: Govender (2016)	4
Figura 3: Ubicaciones del pez espada durante cada estación en el Pacífico Noroccidental Fuente: Watanabe <i>et al.</i> (2009)	5
Figura 4: Corte transversal de una gónada de unos 5 kg perteneciente a un pez espada hembra, conteniendo millones de huevos maduros Fuente: Mejuto <i>et al.</i> (2012)	7
Figura 5: Estructura de los stocks del pez espada en el océano Pacífico a partir de las hipótesis desarrolladas por Sosa-Nishizaki (1990), Sosa-Nishizaki y Shimizu (1991) y Alvarado-Bremer <i>et al.</i> (2006) Fuente: Hinton y Alvarado Bremer (2007)	9
Figura 6: Línea de tiempo de la biomasa (edad mayor o igual a 1, en toneladas) para el stock del pez espada del Pacífico Noroccidental y Central. El primer año indica el nivel de la biomasa virgen Fuente: ISC (2018).....	10
Figura 7: Captura global (toneladas) del pez espada <i>Xiphias gladius</i> de 1950 al 2018 Fuente: Fishstat Global Capture Production (2020).....	11
Figura 8: Captura (toneladas) del pez espada en el Pacífico Norte por país de 1951 al 2017 Fuente: Fisheries Research Agency [FRA] (2019)	12
Figura 9: Captura (toneladas) del pez espada en Japón por arte de pesca de 1951 al 2017 Fuente: FRA (2019)	13
Figura 10: Esquema simple de las partes del arte de pesca de palangre Fuente: Shapiro (1950).14	

Figura 11: Distribución global del transporte zonal de masas de agua (Sv) inducido por remolinos de mesoescala Fuente: Zhang <i>et al.</i> (2014).....	16
Figura 12: Energía cinética de los remolinos (cm^2/s^2) en la EK calculados en base a su altimetría en el periodo 1992-2008 Fuente: Qiu y Chen (2010).....	17
Figura 13: Mapa de la región de estudio (dentro del cuadrado rojo) de la EK 25°N-45°N 140°E-170°E	19
Figura 14: Posiciones latitudinales de las actividades de pesca del pez espada, en colores la CPUE diaria registrada para cada posición de pesca (ejemplares/100anzuelos) durante el periodo de estudio del 2004 al 2010. La línea negra representa el promedio CPUE mensual.....	24
Figura 15: Valores de CPUE mensual (ejemplares/100anz) en la región sur 25-36°N (línea roja) y en la región norte 36-45°N (línea azul) a lo largo del periodo de estudio. Las líneas grises verticales delgadas indican la separación por meses.....	26
Figura 16: Longitud (km) de la trayectoria promedio mensual de la extensión de la Kuroshio entre las latitudes 25-45°N y longitudes de 140-170°E	27
Figura 17: Trayectorias mensuales de la EK para (A) la fase estable que comprende los años 2004, 2005 y 2010; y (B) la fase inestable que comprende desde 2006 al 2009. Las líneas punteadas representan las latitudes 33°N y 36°N	28
..... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 18: Variación anual de la energía cinética de los remolinos (m^2s^{-2}) en la región de la extensión de la Kuroshio. Línea color blanco representa la latitud 36°N	29
Figura 19: Valores de CPUE diarios (ejemplares/100anzuelos) en función de (A) temperatura la región norte 36-45°N, (B) salinidad para la región norte 36-45°N, (C) temperatura para la región sur 25-36°N, y (D) salinidad para la región sur 25-36°N	31

Figura 20: Diagramas de Temperatura-Salinidad (T-S) en función de los valores diarios de CPUE (ejemplares/100anzuelos) de (A) la región norte 36-45°N durante la fase inestable, (B) la región norte 36-45°N durante la fase estable, (C) la región sur 25-36°N durante la fase inestable, y (D) la región sur 25-36°N durante la fase estable32

Figura 21: CPUE del pez espada en función de los parámetros de vorticidad y Okubo-Weiss (OW) para la (A) región norte 36-45°N y (B) región sur 25-36°N durante todo el periodo de estudio34

Figura 22: CPUE del pez espada en función de los parámetros de vorticidad y Okubo-Weiss (OW) para la (A) región norte 36-45°N y (B) región sur 25-36°N durante la fase inestable del 2006 al 200935

Figura 23: CPUE del pez espada en función de los parámetros de vorticidad y Okubo-Weiss (OW) para la (A) región norte 36-45°N y (B) región sur 25-36°N durante la fase estable 2004, 2005 y 2010.....36

Figura 24: Promedio de CPUE del pez espada en función de las distancias respecto a los remolinos (A) anticiclónicos y (B) ciclónicos encontrados dentro de la región de estudio.....37

Figura 25: Promedios de CPUE del pez espada en función de las distancias respecto a (A) remolinos anticiclónicos durante la fase inestable, (B) remolinos anticiclónicos durante la fase estable, (C) remolinos ciclónicos durante la fase inestable, y (D) remolinos ciclónicos durante la fase estable38

Figura 26: Promedios de CPUE del pez espada en función de las distancias respecto a (A) remolinos anticiclónicos durante la fase inestable, (B) remolinos anticiclónicos durante la fase estable, (C) remolinos ciclónicos durante la fase inestable, y (D) remolinos ciclónicos durante la fase estable, para la región norte 36-45°N.....39

Figura 27: Promedios de CPUE del pez espada en función de las distancias respecto a (A) remolinos anticiclónicos durante la fase inestable, (B) remolinos anticiclónicos durante la fase estable, (C) remolinos ciclónicos durante la fase inestable, y (D) remolinos ciclónicos durante la fase estable, para la región sur 25-36°N40

Figura 28: Valores diarios de CPUE del pez espada (ejemp/100anz) con relación a los valores de vorticidad (s^{-1}) en toda el área de estudio. Área gris representa la desviación estándar41

Figura 29: Valores diarios de CPUE del pez espada (ejemp/100anz) con relación a los valores de OW (s^{-2}) en toda el área de estudio. Área gris representa la desviación estándar42

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Cantidad de datos de captura/esfuerzo disponibles del 2004 al 2010.....	55
ANEXO 2: Descripción del modelo FORA-WNP30 utilizado y cantidad de datos de los parámetros físicos utilizados por año	56
ANEXO 3: Código utilizado para el desarrollo de la ecuación de la Captura por unidad de esfuerzo (CPUE)	57
ANEXO 4: Código utilizado para la determinación de la Altura dinámica del mar.....	58
ANEXO 5: Código utilizado para el desarrollo de los parámetros de OW y vorticidad	59
ANEXO 6: Código utilizado para el desarrollo de la detección de remolinos	60
ANEXO 7: Código utilizado para las gráficas de correlaciones de CPUE con los parámetros de OW y vorticidad	62
ANEXO 8: Cantidad de datos pesqueros utilizados por región de estudio.....	63
ANEXO 9: Longitud mensual, en 103 km, de la trayectoria promedio de la extensión de la Kuroshio entre las latitudes 25-45°N y longitudes 140-170°E durante los años 2004 al 2010	64
ANEXO 10: Salida de pruebas estadísticas	65

RESUMEN

Estudios recientes sugieren que la modulación en el sistema de la Extensión de la Kuroshio, impulsada por remolinos de mesoescala, afectan profundamente los parámetros físicos y biogeoquímicos en la región. Sin embargo, aún no se tiene claro cómo estos cambios puedan afectar a la distribución y abundancia de especies marinas en esta región. En este contexto, este estudio evalúa y analiza los efectos de los remolinos de mesoescala sobre la abundancia relativa del pez espada *Xiphias gladius* en la Extensión de la Kuroshio, utilizando datos pesqueros del pez espada obtenidos por palangreros durante el periodo 2004–2010, junto a una base de datos oceanográficos FORA-WNP30. Durante el periodo de estudio 2004-2010, la Extensión de la Kuroshio presentó dos fases de estabilidad: una fase estable entre los años 2004, 2005 y 2010; y una fase inestable entre los años 2006-2009. Según los resultados, se observó una mayor abundancia relativa del pez espada dentro de los remolinos anticiclónicos en la región norte (36–45°N) de la Extensión de la Kuroshio, especialmente durante la fase inestable. Esto a causa de la modulación interanual presentada por los remolinos de mesoescala en la región de estudio, presentando una mayor formación de remolinos anticiclónicos en la región norte durante la fase inestable de la Extensión de la Kuroshio.

Palabras claves: *Xiphias gladius*, CPUE, Extensión de la Kuroshio, remolinos de mesoescala

ABSTRACT

Recent studies have suggested that the modulation of the Kuroshio Extension, driven by mesoscale eddies, profoundly affect the basin scale physical and biogeochemical oceanography in the region. However, it remains unclear how these changes do affect the distribution and abundance of fish species in this region. In this context, this study evaluates and analyzes the effects of mesoscale eddies on the relative abundance of swordfish *Xiphias gladius* in the Kuroshio Extension, using swordfish data obtained by longliners during the period 2004-2010, along with an oceanographic database named FORA-WNP30. During the 2004-2010 study period, the Kuroshio Extension presented two phases of stability: a stable phase for the years 2004, 2005 and 2010; and an unstable phase in the years 2006-2009. According to the results, a greater relative abundance of swordfish was observed within the anticyclonic eddies in the northern region (36–45°N) of the Kuroshio Extension, especially during the unstable phase. This is due to the interannual modulation presented by the mesoscale eddies in the study region, presenting a greater formation of anticyclonic eddies in the northern region during the unstable phase of the Kuroshio Extension.

Keywords: *Xiphias gladius*, CPUE, Kuroshio Extension, mesoscale eddies

I. INTRODUCCIÓN

El pez espada *Xiphias gladius* es una especie que presenta un alto valor comercial cuyas capturas son comercializadas como producto fresco y congelado en diferentes mercados del mundo. A la fecha existen importantes pesquerías para el pez espada en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2019).

Debido a la alta importancia de esta especie, es de suma importancia poseer un entendimiento sólido de su comportamiento y dinámica poblacional para evitar el inadecuado manejo del recurso. Para esto, es necesario contar con información veraz de su distribución con respecto a los cambios oceanográficos. En la última década se han visto fuertes avances en los sistemas de observación oceánica, lo que nos permite monitorear, predecir y analizar a gran escala estructuras en el océano con más detalle (Usui *et al.*, 2017). Por consiguiente, es destacable el desarrollo y uso de datos satelitales en resoluciones más definidas para una representación más realista de dichas estructuras que incluye la descripción de los remolinos.

Estudios previos han encontrado una relación entre la formación de remolinos y la distribución de especies marinas, como el barrilete, calamar volador y atunes en el Pacífico Noroccidental (Sugimoto y Tameishi, 1992), jurel en el Pacífico Suroriental (Correa-Ramirez *et al.*, 2007; Vasquez *et al.*, 2013), atunes, pez espada y tiburones en el Atlántico Noroccidental (Hsu *et al.*, 2015; Braun *et al.*, 2019). Sin embargo, aún no se tiene claro si estos resultados son verídicos en regiones de alta variabilidad oceanográfica como es la Extensión de la corriente Kuroshio (EK) ubicada en el Pacífico Noroccidental.

El hecho que diversas pesquerías de palangre operan en la EK, región de alta variabilidad, complementado con el uso de datos satelitales que permite determinar parámetros dinámicos (vorticidad, parámetro de Okubo-Weiss), provee una oportunidad para investigar una relación entre estos remolinos y la abundancia relativa del pez espada, expresada como la captura por unidad de esfuerzo (CPUE); esto, como un criterio para la contribución en el conocimiento de su pesquería en área.

Algo similar ocurre en la región oceánica peruana, si bien esta región posee algunas de las pesquerías más importantes del mundo debido a una alta productividad vinculada a los afloramientos e impactos del evento El Niño, una fracción significativa se encuentra vinculada a la formación de remolinos de mesoescala generados en la parte costera (Correa-Ramirez *et al.*, 2012). A pesar de la importancia de estos remolinos, pocos trabajos han sido realizados para investigar sus características en esta región del Pacífico (Chaigneau *et al.*, 2008). Este estudio puede servir de base de estudios posteriores orientados a la predicción del impacto de los remolinos sobre la abundancia relativa de especies marinas de importancia económica en las regiones con sistema de corrientes complejos, como es el caso del mar peruano, lo cual podrá ser utilizado en el futuro para un manejo adecuado y sostenible del pez espada u otras especies.

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar la influencia de los remolinos de mesoescala sobre la abundancia relativa del pez espada *Xiphias gladius* en la Extensión de la corriente Kuroshio durante el periodo 2004-2010. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos: (1) Analizar las variaciones de la abundancia relativa del pez espada utilizando la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) durante el periodo 2004-2010, (2) Analizar los parámetros de Okubo-Weiss y vorticidad relativa en la Extensión de la corriente Kuroshio en el periodo 2004-2010, y finalmente (3) Relacionar la abundancia relativa del pez espada con los remolinos de mesoescala en la Extensión de la corriente Kuroshio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos bio-ecológicos del pez espada

2.1.1. Ubicación taxonómica

Único representante de la familia *Xiphiidae* y del género monotípico *Xiphias*. Nakamura (1985) propone la siguiente clasificación:

- **Phylum:** *Chordata*
- **Clase:** *Osteichthyes*
- **Orden:** *Perciformes*
- **Familia:** *Xiphiidae*
- **Género:** *Xiphias*
- **Especie:** *Xiphias gladius*

El pez espada (Figura 1) puede alcanzar más de 400 cm de longitud total, pero en las capturas comerciales en el Pacífico suelen ser entre tallas de 120 y 190 cm de longitud total (Mejuto *et al.*, 2012).



Figura 1: Ejemplar de pez espada *Xiphias gladius*

Fuente: Florida Museum of Natural History (2017)

2.1.2. Distribución geográfica y hábitat.

De acuerdo con Klawe (1980), el pez espada tiene una distribución cosmopolita encontrándose en aguas tropicales, subtropicales y templadas, es decir en todos los océanos del mundo con la excepción de las zonas polares (Figura 2). El pez espada es una especie oceánica, aunque también se encuentra en aguas costeras, generalmente por encima de la termoclina, dentro del rango de temperatura de [5 - 27] °C con una mayor frecuencia en temperaturas superiores a los 13°C (Nakamura, 1985). A su vez, Carey (1983) explica que debido a la presencia de la mínima de oxígeno en zonas de afloramientos el pez espada no alcanza profundidades más allá de los 70-100m, mientras que en aguas circundantes a la corriente del Golfo en el océano Atlántico, en donde no existe esta mínima de oxígeno, esta especie puede alcanzar las profundidades de hasta 617m.

El pez espada en el Pacífico se distribuye en tres zonas importantes: Pacífico Noroccidental, con áreas de aparentes concentraciones entre las latitudes de 20°N-45°N (Bedford y Hagerman, 1983); Pacífico Suroccidental, frente a Australia y Nueva Zelanda; y, en el Pacífico Oriental, en donde se distribuye a lo largo de la costa desde California hasta Chile, presentando un stock frente a la costa norte peruana y otro frente a la costa norte y central de Chile (Weidner y Serrano, 1997; Rojas y Orrego, 2006).

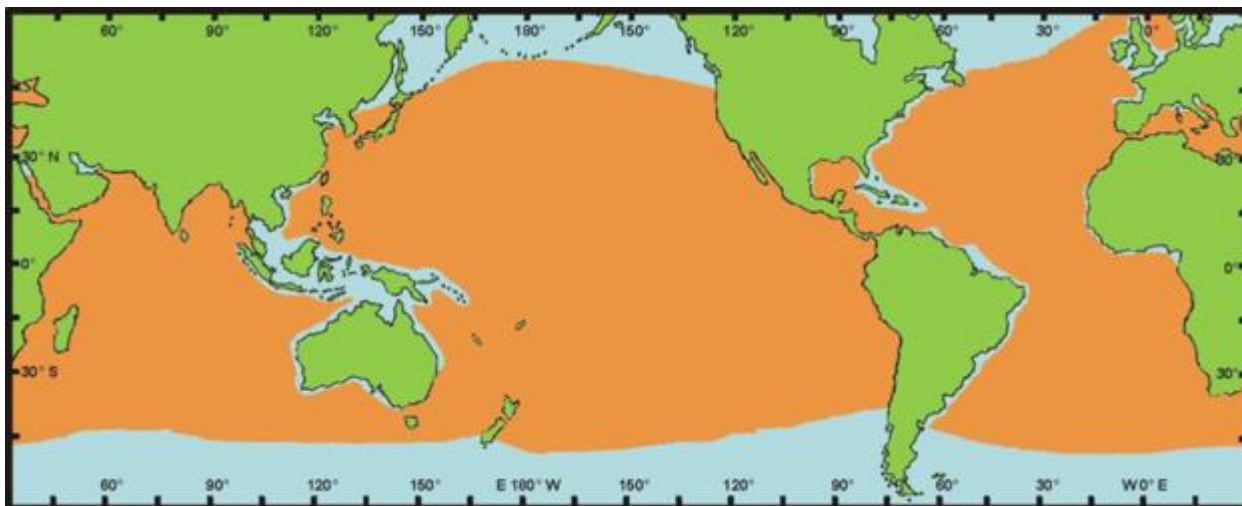


Figura 2: Área de distribución (en color naranja) del pez espada *Xiphias gladius*

Fuente: Govender (2016)

En la región del Pacífico Noroccidental, estudios previos han demostrado que este recurso se mueve estacionalmente de norte a sur (Takahashi *et al.*, 2003), y llega a distribuirse desde la cuenca de la corriente Oyashio (al norte de Japón) hasta la cuenca de la corriente Kuroshio en búsqueda de alimento en verano y se traslada al sur de los 30°N para desovar en invierno, siendo estos cambios registrados en el 2009 por Watanabe *et al.*, y en el 2017 por Tanaka y Yamaguchi (Figura 3).

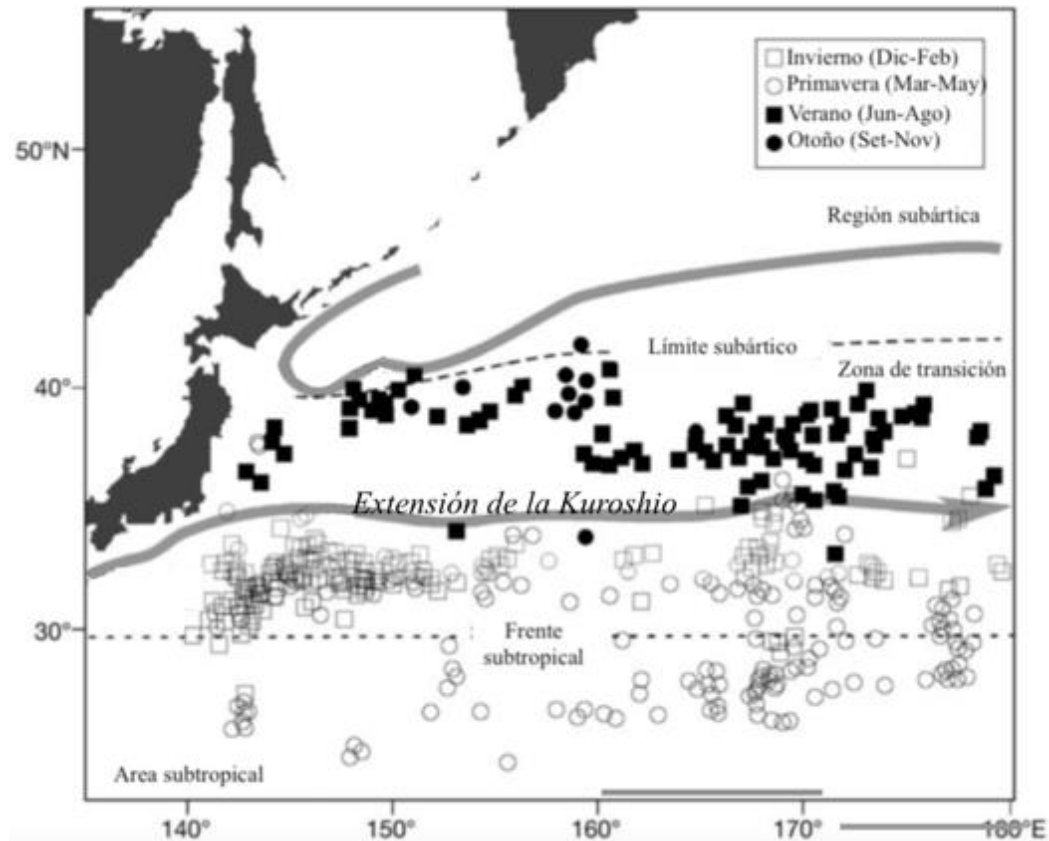


Figura 3: Ubicaciones del pez espada durante cada estación en el Pacífico Noroccidental

Fuente: Watanabe *et al.* (2009)

En el Pacífico Noroccidental, el rango de temperatura preferido por esta especie se encuentra entre 18 y 22°C (Uda, 1961). En esta región, el pez espada se distribuye desde la superficie hasta profundidades de 550 m (Takahashi *et al.*, 2003), o incluso cerca de los 650 m (Nakamura, 1985).

Aunque esta especie puede mantener su temperatura corporal más alta que el ambiente que lo rodea, su sistema de compensación térmica no es tan efectivo como el de los atunes, por lo que

es altamente dependiente del calor, sobretodo cuando el tamaño del cuerpo es menor. Los individuos pequeños tienden a permanecer en aguas más cálidas (a menor latitud y/o menor profundidad) mientras que los individuos más grandes tienen mayores posibilidades de migración cosmopolita (Watanabe *et al.*, 2009).

2.1.3. Crecimiento

El pez espada alcanza un tamaño máximo de 455 cm de longitud total y un peso máximo de 540 kg, siendo el rango de tamaño capturado por barcos pesqueros comerciales entre 120-190cm en el Pacífico Noroccidental (Mejuto *et al.*, 2012). El pez espada tiene un crecimiento diferencial según su sexo, característica que parece común en todos los stocks estudiados, las hembras crecen más rápido y alcanzan mayores tallas (DeMartini *et al.*, 2000).

Asimismo, estudios previos indican que, en el hemisferio norte, el pez espada puede alcanzar una edad de 9 años en machos y 15 años en las hembras (Wilson y Dean, 1983), con pequeñas variaciones reportadas en diferentes regiones. De igual manera, la tasa de crecimiento puede verse afectada por factores ambientales y estacionales (Young y Drake, 2004).

2.1.4. Reproducción

El pez espada es una especie gonocórica que no presenta dimorfismo sexual externamente visible (Klawe, 1980). Su fertilización es externa, careciendo de órganos copuladores, produciéndose en aguas cálidas en torno a los 24 y 29°C, aunque la temperatura superficial no es por si sola un indicador adecuado para definir las áreas potenciales de puesta (McCrae, 1994).

Se estima que la talla de primera madurez de las hembras podría rondar los 146 cm, alrededor de los 5 años, cuyas gónadas pueden llegar a pesar hasta los 5 kg (Figura 4). La diferencia de primera maduración sexual entre machos y hembras es que los machos tienen una maduración más temprano y con menor talla que las hembras, lo que parece mantenerse en todos los stocks de pez espada estudiados (Mejuto *et al.*, 2012).

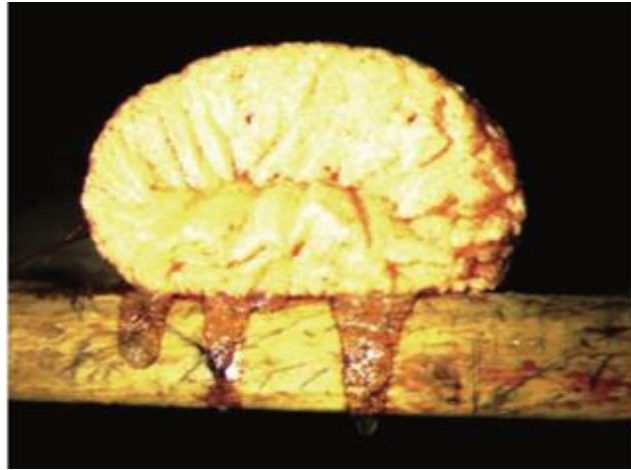


Figura 4: Corte transversal de una gónada de unos 5 kg perteneciente a un pez espada hembra, conteniendo millones de huevos maduros

Fuente: Mejuto *et al.* (2012)

En el océano Pacífico Central y Occidental, el desove ocurre en primavera y verano, de marzo a julio; mientras que en el Pacífico Sur occidental el desove ocurre en primavera, de setiembre a diciembre (FAO, 2019).

2.1.5. Alimentación

Como depredadores oportunistas, los peces espada se alimentan tanto en la superficie como hasta en profundidades de 650m, dependiendo de la disponibilidad de alimento en su zona de actividad. Tradicionalmente, se le ha considerado como un depredador muy activo que localiza su presa preferentemente por la vista. No obstante, el estímulo olfativo parece jugar un papel más importante de lo que se pensaba al menos a la hora de decidir el ataque final a su presa (Mejuto *et al.*, 2012).

En el Pacífico, el pez espada en estado larvario se alimenta principalmente de zooplancton, como Mysida, Phyllopora y Amphipoda (Yabe *et al.*, 1959); a su vez, los juveniles se alimentan de calamares, peces y crustáceos pelágicos (Scott y Tibbo, 1968). Los adultos a menudo hacen viajes de alimentación al fondo, donde las temperaturas pueden ser de 5 a 10°C, y se alimentan de especies demersales como merluzas, peces rojos, peces linterna y *Gonostomatidae* (FAO, 2019).

El pez espada ha presentado una migración por alimentación en el Pacífico Norte subtropical, siendo una de sus principales presas el calamar volador *Ommastrephes bartramii*, esta última presenta una migración estacional similar a la del pez espada (Watanabe *et al.*, 2009), distribuyéndose en los bordes de remolinos de aguas cálidas generados en la zona de transición entre las corrientes Kuroshio y Oyashio (Igarashi *et al.*, 2011).

2.1.6. Biomasa estimada del pez espada

Sosa-Nishizaki (1990) y Sosa-Nishizaki y Shimizu (1991) presentaron evidencias de diferencias en el desove del pez espada en cuatro regiones del océano Pacífico (noroeste, noreste, suroeste y sureste), y destacaron dos tipos de larvas específicas para el Pacífico nor y suroccidental. Por otro lado, Hinton y Deriso (1994) determinaron dos tipos de stocks en el Pacífico Oriental a partir del uso de tasas de captura estandarizadas (Capturas por unidad de esfuerzo estandarizadas), encontrando un stock en el Pacífico nororiental y otro en el Pacífico suroriental, con división a los 5°S.

Alvarado Bremer *et al.* (2006) señaló las diferencias genéticas significativas entre los stocks de pez espada en el Pacífico norte y suroriental, así como en el Pacífico suroccidental, lo que daría mayor soporte a la hipótesis de cuatro stocks en el océano Pacífico (Figura 5).

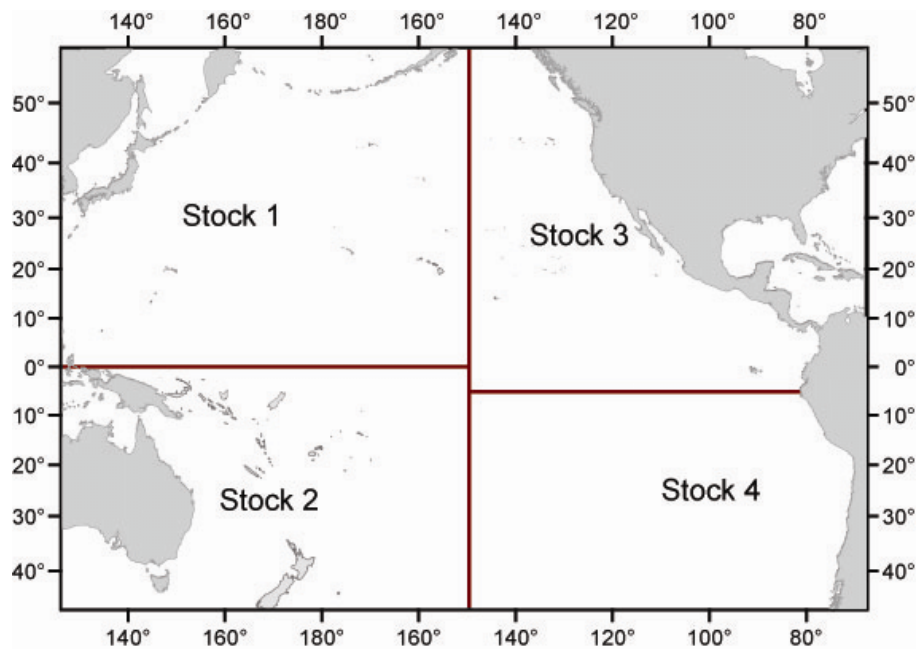


Figura 5: Estructura de los stocks del pez espada en el océano Pacífico a partir de las hipótesis desarrolladas por Sosa-Nishizaki (1990), Sosa-Nishizaki y Shimizu (1991) y Alvarado-Bremer *et al* (2006)

Fuente: Hinton y Alvarado Bremer (2007)

En el año 2018, el Grupo de trabajo sobre peces picudos [BILLWG] del Comité científico internacional de túnidos y especies afines del Pacífico Norte [ISC] realizó una evaluación del stock para el pez espada en el océano Pacífico Noroccidental y Central (stock 1 en la Figura 5). El stock del pez espada fue determinado mediante la aplicación de un modelo de síntesis de poblaciones, desarrollado por Methot y Wetzel (2013), utilizando tres tipos de datos: datos de capturas comerciales, índices de abundancia relativa y datos de composición de tallas tomados en el periodo 1975-2016.

Para esta evaluación debe tenerse en cuenta que el estado de la biomasa se determinó en base a la población con edades mayores o iguales a 1, a principios de año, y con una edad máxima de 15 años a través del modelo de caso base, el cual utiliza datos de composición de tallas de las especies capturadas. Este modelo ha sido desarrollado y adecuado por la BILLWG para los estudios de biomasa de túnidos y especies afines (Sculley *et al.*, 2018).

De acuerdo con esta evaluación, la biomasa del stock del pez espada en el Pacífico Noroccidental y Central presenta una población relativamente estable. La biomasa disminuyó,

desde fines de la década de 1970, a un promedio de 71 mil toneladas en la década de 2010 (Figura 6).

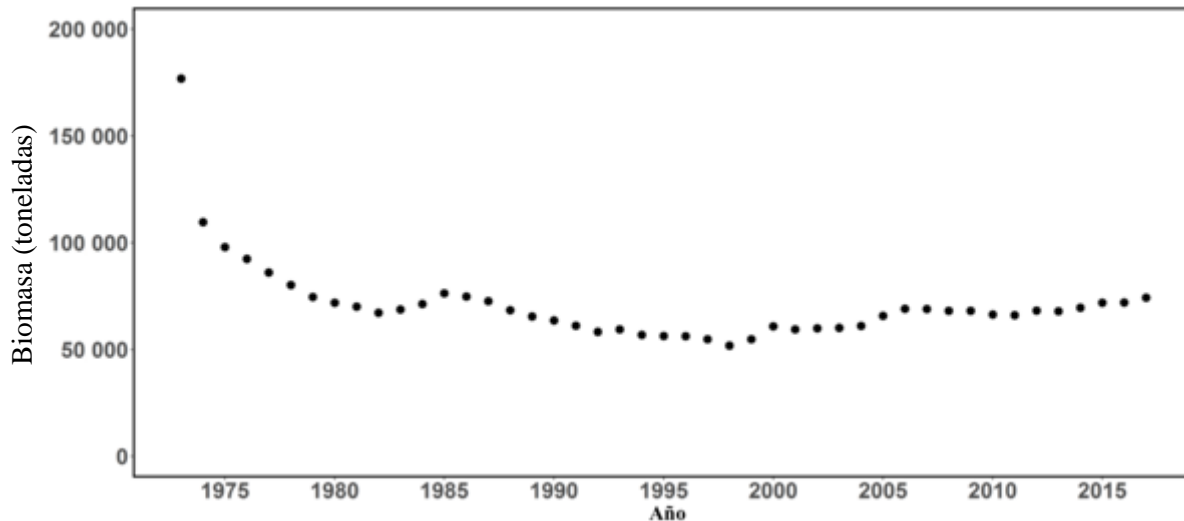


Figura 6: Línea de tiempo de la biomasa (edad mayor o igual a 1, en toneladas) para el stock del pez espada del Pacífico Noroccidental y Central. El primer año indica el nivel de la biomasa virgen

Fuente: ISC (2018)

2.2. Pesquería del pez espada

2.2.1. Desembarque

A nivel mundial, la pesca del pez espada ha ido en aumento (Figura 7). Es a partir de los años cincuenta que su pesca empieza a intensificarse, y con mayor énfasis desde los ochenta, alcanzando recientemente una captura de aproximadamente 111 mil toneladas en el año 2018 (FAO, 2020). Esta evolución de la pesquería del pez espada puede haber sido influenciada por la expansión de la flota asiática, la introducción generalizada del palangre a partir de los años 60 y el incremento del esfuerzo de pesca motivado por el alto precio alcanzado de este recurso en el mercado internacional (Barbieri *et al.*, 1990).

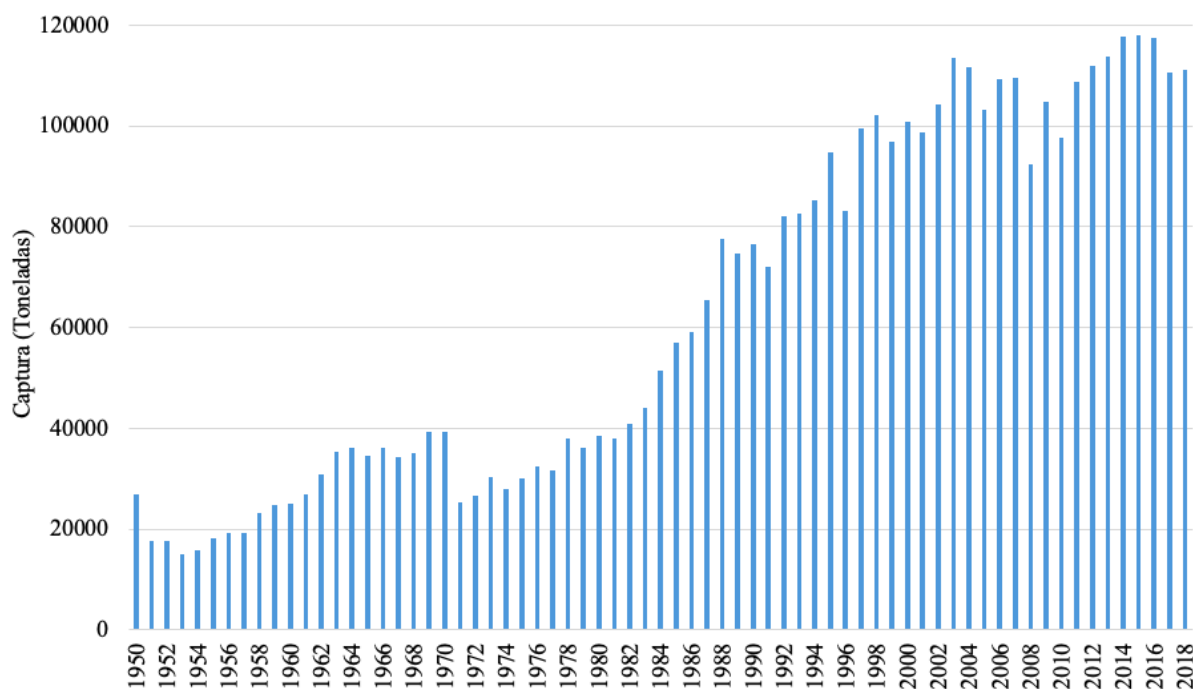


Figura 7: Captura global (toneladas) del pez espada *Xiphias gladius* de 1950 al 2018
Fuente: Fishstat Global Capture Production (2020)

Los principales países pesqueros que se dedican a la pesca del pez espada son: Japón, Estados Unidos, Taiwán y Corea del Sur. En 1960, la captura total del pez espada en el Pacífico Norte (Figura 8) superó las 20 mil toneladas, para luego disminuir rápidamente hasta las 10 mil toneladas a principios de 1970. Es a partir de 1980 que Estados Unidos aumenta la captura de este recurso, mientras que Taiwán desde 1990; por lo que las capturas de ambos países presentan una tendencia creciente desde entonces. Aunque, en la última década, se observa en general una disminución de la captura de esta especie, sobretodo por la flota japonesa, no sobrepasando las 10 mil toneladas en el año 2017.

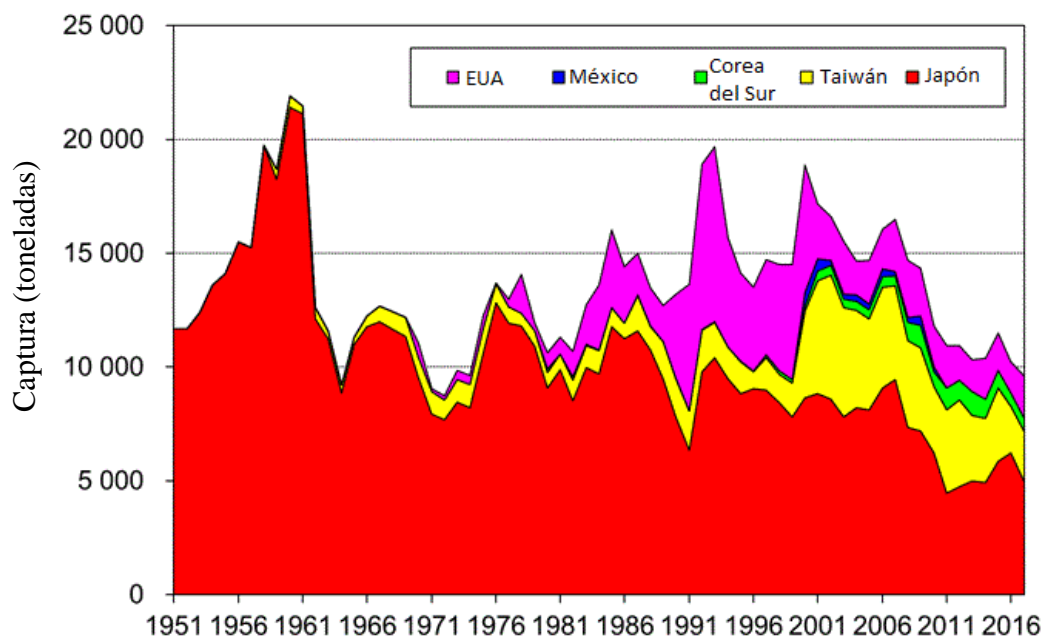


Figura 8: Captura (toneladas) del pez espada en el Pacífico Norte por país de 1951 al 2017
Fuente: Fisheries Research Agency [FRA] (2019)

La captura total del pez espada en los últimos años en el Pacífico Norte fue cerca de las 9 mil toneladas, de la cual, la captura por parte de Japón ha variado entre 5 mil hasta 6 mil toneladas. En la década de 1970, Japón capturaba alrededor del 90% del pez espada en el Pacífico Norte; sin embargo, dado que las capturas por Estados Unidos y Taiwán aumentaron desde 1980, la proporción de la captura japonesa se ha visto reducida hasta en un 50-60% (ISC, 2018).

2.2.2. Artes de pesca

Una de las pesquerías milenarias del pez espada es la japonesa, la cual data aproximadamente de hace 4 mil años atrás y su evolución ha estado unida al desarrollo tecnológico de la flota (Barbieri *et al.*, 1990).

La pesca con palangre ha representado hasta el 80% de la captura total del pez espada en la industria pesquera japonesa, seguido de redes de enmalle a la deriva y arpón. Aunque, en los últimos años se observa una disminución en la captura total del pez espada, siendo menor a las 5 mil toneladas en el año 2017 (Figura 9).

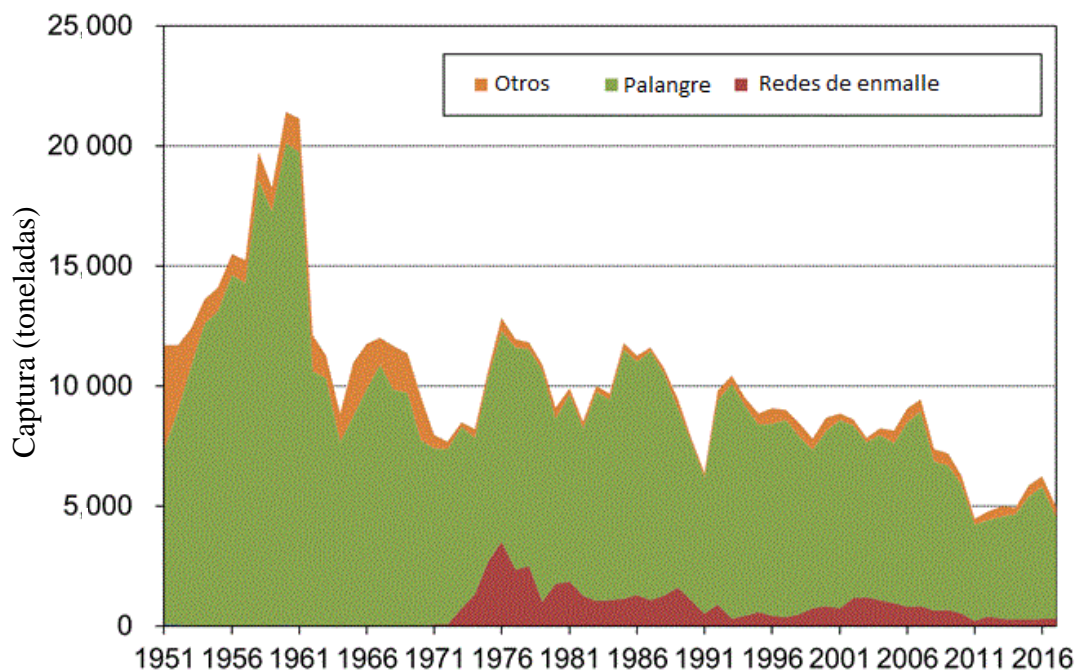


Figura 9: Captura (toneladas) del pez espada en Japón por arte de pesca de 1951 al 2017
Fuente: FRA (2019)

La captura por redes de enmalle a la deriva superó las mil toneladas en la década de 1980, pero desde su prohibición de uso en alta mar, en 1992, su área de pesca se limitó hasta las 200 millas. Por lo que, su captura se redujo hasta las 500 toneladas. Sin embargo, volvió a alcanzar las mil toneladas a principios del año 2000 y, recientemente, capturó hasta 300 toneladas (FRA, 2019).

En Japón, el arte de pesca del palangre se construyó inicialmente para la pesca del atún aleta azul en aguas subsuperficiales. De este modo, los japoneses pudieron obtener una parte de su captura de túnidos en lugares que no podrían haber sido alcanzados con los métodos de pesca convencionales de superficie. El arte de pesca con palangre es esencialmente un método mediante el cual los anzuelos se bajan a profundidades de aproximadamente 30 a 100m en el mar (Figura 10). Aunque cada tipo de palangre está diseñado principalmente para una especie en específica, la composición de la captura suele ser variada entre marlines, peces espada, tiburones y diversos túnidos (Shapiro, 1950).

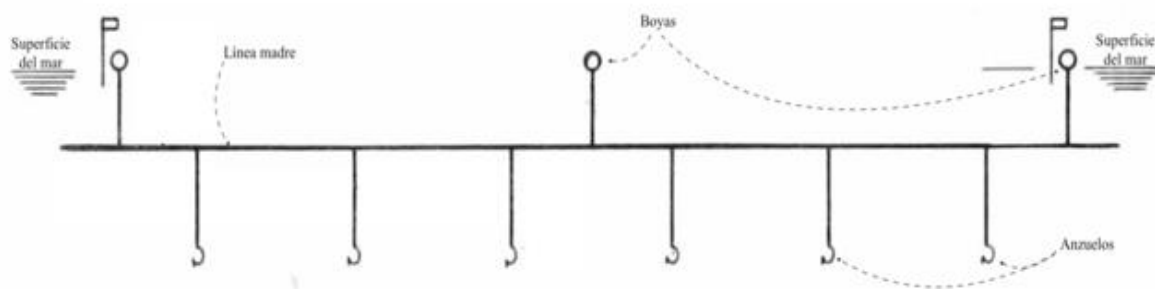


Figura 10: Esquema simple de las partes del arte de pesca de palangre
Fuente: Shapiro (1950)

2.2.3. Manejo pesquero

Los japoneses son los mayores consumidores de productos pesqueros a nivel mundial, alcanzando un consumo de 40-50 kg per cápita entre los años 2015-2017, por lo que la pesca juega un papel importante en ese país para garantizar un suministro estable (FAO, 2020).

Su política pesquera tiene como objetivos proporcionar ingresos y oportunidades de empleo, preservar los ambientes marinos, mantener la cultura tradicional, ofrecer oportunidades recreativas y vigilancia de los límites marinos. De todos estos, el suministro constante y estable de recursos marinos es, por mucho, el elemento más importante en sus políticas pesqueras nacionales. El sistema de derecho de pesca en Japón está diseñado principalmente para proteger las pesquerías costeras contra el deterioro resultante de la competencia de otras pesquerías (FAO, 2000).

En Japón no existe un sistema oficial para cuotas individuales, las cuales han sido aplicadas parcialmente a los buques de alta mar para la pesca del cangrejo rojo y a las embarcaciones pesqueras del atún, como parte de un plan de recuperación de recursos desde el año 2007 (FRA, 2012). Ha habido discusiones si la introducción de estas cuotas individuales es una forma adecuada de lograr un buen equilibrio de mejora de los esfuerzos de conservación de recursos (Yagi *et al.*, 2012).

La gestión pesquera en Japón se ha mantenido estable en los últimos años, el sistema de Captura Total Permitida (CTP) establecido en 1996, y el sistema del Esfuerzo Total Permitido (ETP) establecido en el 2003, son las principales herramientas para su control. Para lograr el uso

sostenible de recursos, las medidas para el control de insumos (establecer el número de buques pesqueros), el control técnico (establecer el tamaño de malla de las redes de pesca) y el control de la producción (establecer la captura total permitida) se implementan bajo regulaciones obligatorias. Actualmente Japón cuenta con una Captura Total Permitida (CTP) establecida para ocho especies únicamente: el saurio del Pacífico, abadejo, jurel japonés, sardina, caballa, calamar japonés, cangrejo azul de las nieves y atún aleta azul (Martí *et al.*, 2017).

Para el caso del pez espada, la Comisión Internacional para la conservación de túnidos en el Atlántico [ICCAT] ha establecido para el periodo 2018-2021 una CTP de 14 mil toneladas por año en el océano Atlántico, de los cuales a Japón le corresponde una captura de 901 toneladas (FRA, 2019a). Sin embargo, para el océano Pacífico aún no se ha determinado una CTP, de la cual la CTP para el stock del pez espada en el Pacífico Noroccidental y Central se encuentra en evaluación por el ISC y el Comisión Pesquera del océano Pacífico Central y Occidental [WCPCFC] (FRA, 2019b).

2.3. Remolinos de mesoescala

El transporte de calor y masa en los océanos desempeña un papel predominante en la regulación del clima de la Tierra. La circulación oceánica a gran escala se ha considerado tradicionalmente como la más importante parte del transporte oceánico, y sus variaciones espacio temporales tienen profundos impactos climáticos y biogeoquímicos (Danabasoglu *et al.*, 1994). Sin embargo, al rastrear las masas de agua, estudios observacionales han revelado que la circulación a gran escala por sí sola no puede explicar los transportes oceánicos. Desde la detección de su presencia en los océanos por más de tres décadas, los remolinos de mesoescala han sido reconocidos como contribuyentes clave en el transporte de calor, carbón disuelto y otros trazadores biogeoquímicos (Bryden y Brady, 1989).

Los remolinos de mesoescala son estructuras coherentes lagrangianas, superficies distinguidas de trayectorias presentes en un sistema dinámico que ejercen una gran influencia en sus alrededores, presentes en todas las cuencas oceánicas (Stammer, 1998). Estas estructuras son de gran alcance con diámetros de 10 a 250km, 100m de profundidad en su centro (Dong *et al.*, 2012), y una profundidad de hasta mil metros en sus márgenes (Zhang *et al.*, 2013). Su tiempo de vida varía desde algunos días hasta incluso ser considerados permanentes y son generadas a

partir de diversos factores como la intensidad de los vientos, la cercanía a las costas y/o la variabilidad interanual (Campos, 2019).

Zhang *et al.* (2014) sostiene que, a diferencia de la circulación a gran escala que transporta continuamente masas de agua y sus propiedades, los remolinos de mesoescala pueden atrapar estas masas de agua dentro de sus núcleos y transportarlos discretamente. En las latitudes medias (20-40°N-S) los remolinos presentan una gran transporte de masas de agua de hasta 1.5 Sv (1.5 millón m³/s) hacia el oeste. De forma similar, en la región polar sur se presenta un gran transporte de masas de agua a lo largo de la Corriente Circumpolar Antártica hacia el este (Figura 11).

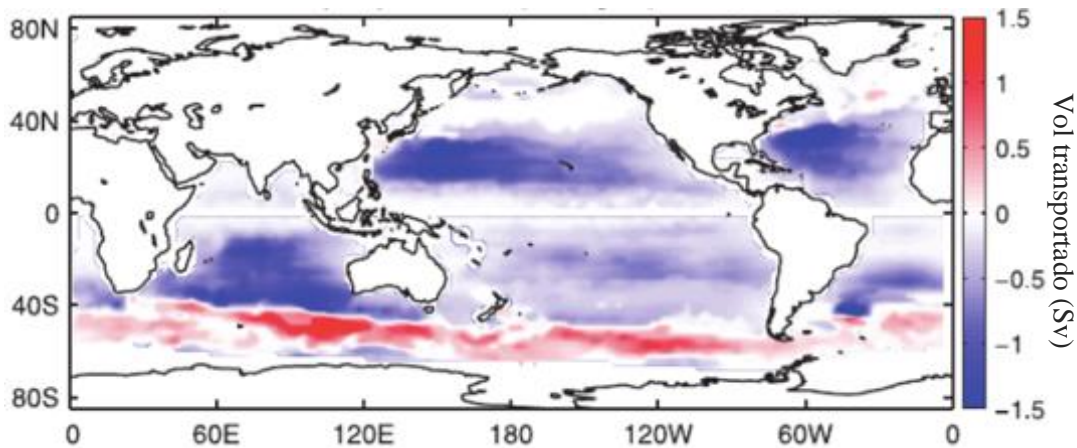


Figura 11: Distribución global del transporte zonal de masas de agua (Sv) inducido por remolinos de mesoescala

Fuente: Zhang *et al.* (2014)

En oceanografía, uno de los métodos más populares para identificar a los remolinos se basa en el parámetro Okubo-Weiss (Okubo, 1970; Weiss, 1991). Este método se basa en la tensión y la vorticidad del campo de velocidad, lo que indicaría la dirección de rotación del remolino, y se ha aplicado tanto en modelos numéricos como con datos satelitales (Vortmeyer-Kley *et al.*, 2016). Mecanismos asociados a estos remolinos de mesoescala pueden producir transporte vertical de nutrientes e incrementos sobre la productividad biológica, al ocasionar una circulación ageostrófica. Cabe resaltar que el esfuerzo del viento sobre los remolinos puede amplificar el bombeo de Ekman y, por lo tanto, la concentración de fitoplancton en su interior (Correa *et al.*, 2012).

Gran parte de la investigación existente sobre estas interacciones físico-biológicas en remolinos ha sido reforzada por los recientes avances en la obtención de información satelital, los que han facilitado la identificación y el seguimiento automático de remolinos de mesoescala a nivel mundial. Estos avances han ayudado a revelar en cómo los remolinos influyen en distribuciones de clorofila cercanas a la superficie (Gaube *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2014) y cómo estas características podrían influir en los depredadores pelágicos (Hsu *et al.*, 2015; Braun *et al.*, 2019). Estos remolinos son generalmente más energéticos que las corrientes circundantes, además son un componente importante en la oceanografía dinámica que pueden afectar a diversos organismos biológicos (Chaigneau *et al.*, 2008; Lin *et al.*, 2014).

2.3.1. Sistema de la Extensión de la corriente Kuroshio (EK)

Después que la corriente Kuroshio se separa de la costa japonesa, alrededor de los 35°N 140°E (Kawai, 1972), esta corriente que continua fluyendo hacia el este se le conoce como la Extensión de la corriente Kuroshio (EK). La región de la EK se caracteriza por la presencia de estructuras de mesoescala, como meandros (rumbos zigzageantes) de gran amplitud y de remolinos energéticos (Mizuno y White, 1983; Yasuda *et al.*, 1992), por lo que se observan altos valores de energía cinética en su región entre las latitudes 25°N y 45°N y entre las longitudes 140°E y 170°E (Figura, 12).

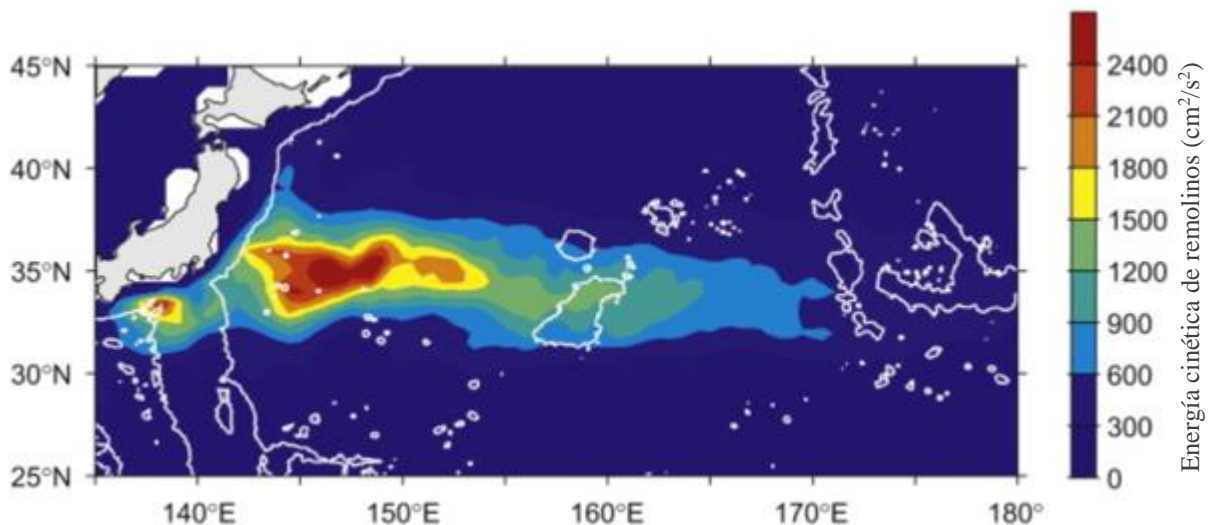


Figura 12: Energía cinética de los remolinos (cm^2/s^2) en la EK calculados en base a su altimetría en el periodo 1992-2008

Fuente: Qiu y Chen (2010)

Qiu y Chen (2005) afirmaron inicialmente de una variabilidad bimodal entre un estado estable e inestable en la región de la EK, la cual fue debidamente planteada años después (Qiu *et al.*, 2014). La variabilidad de la región de la EK se debe a un forzamiento externo o interno, los que provocarían esta transición mediante procesos no lineales como la advección, la inestabilidad del flujo y la interacción del flujo medio-remolinos. El forzamiento interno es debido a la bifurcación de sistemas dinámicos no lineales (Primeau y Newman, 2008; Pierini, 2014); mientras que, el forzamiento externo se da en respuesta a las ondas Rossby baroclínicas que se propagan hacia el oeste desde el Pacífico Central, forzado por anomalías atmosféricas asociadas con la Oscilación Decadal del Pacífico o la Oscilación del Giro del Pacífico Norte (Qiu y Chen, 2010; Sasaki y Schneider, 2011). Además, Yang *et al.* (2018) argumentaron una relación inversa entre los estados de la EK y la energía cinética de los remolinos, durante el estado estable la energía cinética de remolinos tiende a ser mayor a lo largo de su trayectoria, y mucho menor en la región más al oeste [140°E-155°E]; al contrario, la energía tiende a aumentar en esta región occidental durante un estado inestable, disminuyendo a lo largo de su trayectoria.

III. METODOLOGÍA

3.1. Zona de estudio

El presente estudio abarcó la región de la Extensión de la Kuroshio (EK), comprendida entre las latitudes 25°N-45°N y longitudes 140°E-170°E (Figura 13).

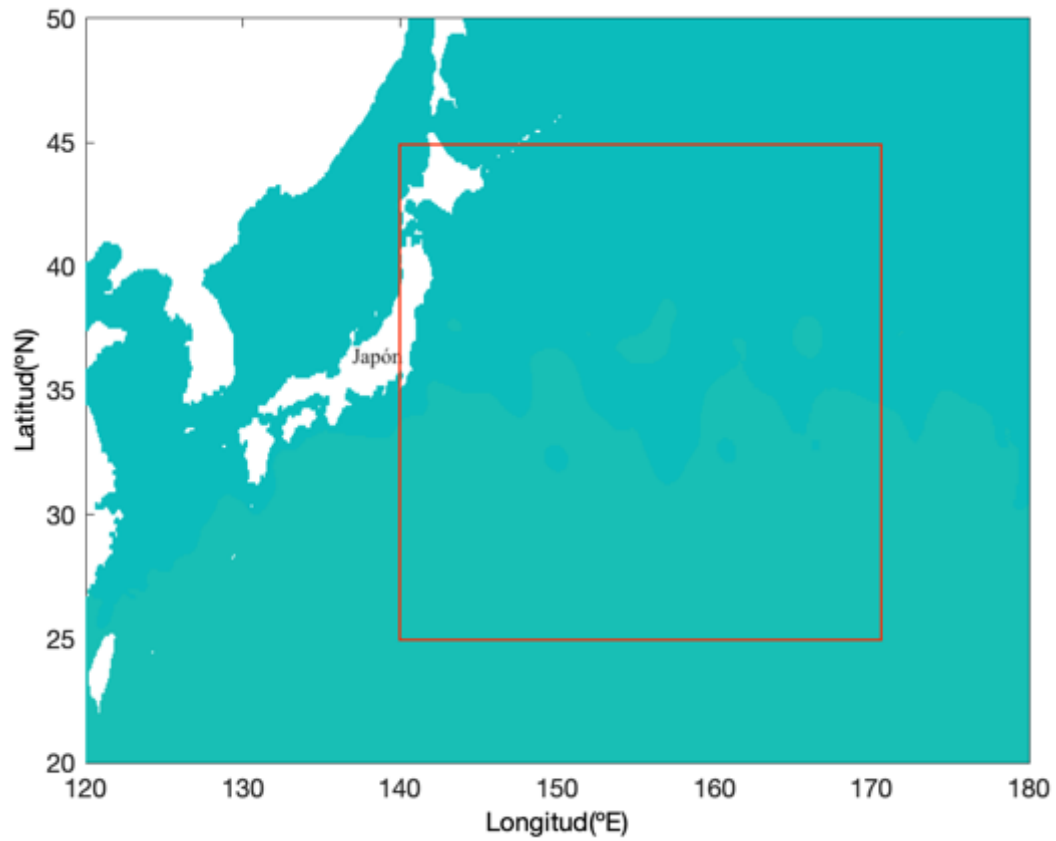


Figura 13: Mapa de la región de estudio (dentro del cuadrado rojo) de la EK 25°N-45°N 140°E-170°E

3.2. Información utilizada

3.2.1. Información pesquera

Los datos de captura y esfuerzo recolectados fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigación para las Pesquerías de Alta Mar (FRA, por sus siglas en inglés), provenientes de la flota comercial de palangre durante el periodo de junio, 2004 a julio, 2010 (Anexo 1).

3.2.2. Información oceanográfica

Para el respectivo análisis de las condiciones oceanográficas en la EK, se emplearon los datos numéricos de altimetría, temperatura, salinidad y velocidades obtenidas de la base de datos FORA-WNP30, Four-dimensional variational Ocean Re-Analysis del Océano Pacífico Noroccidental. Esta base de datos consiste en valores numéricos diarios de resolución $1/10^\circ \times 1/10^\circ$ (10km x 10km).

La base de datos FORA-WNP30 fue diseñada por la Agencia de Japón para la Ciencia y Tecnología Marino-Terrestre (JAMSTEC, por sus siglas en inglés) junto al Instituto de Investigación Meteorológica de Japón (Anexo 2). Citando a Usui *et al.* (2017), el sistema de asimilación de datos usado en el FORA-WNP30 es el MOVE-4DVAR, el cual consiste en un modelo de circulación oceánica general con resolución de remolinos junto a una técnica de asimilación 4DVAR, lo que permite calcular cambios en el ambiente a través de ecuaciones de hidrostática $P=\rho gh$ (P: presión en un punto del fluido, ρ :densidad del fluido, g: gravedad, h: profundidad) y flotabilidad $F_b=-\rho gV$ (F_b : fuerza de flotabilidad, ρ : densidad, V: volumen, g: gravedad).

3.3.1. Abundancia relativa del pez espada

Los valores de la Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de una especie puede ser usados para estimar su abundancia relativa, generalmente bajo el supuesto que existe una relación lineal entre ambos valores (Skalski *et al.*, 2010) o que ambos valores son teóricamente proporcionales (Cushing, 1981).

Para el análisis de la abundancia relativa del pez espada se calcularon datos de CPUE nominalmente definida, como se muestra en la ecuación 1.

$$CPUE = \frac{\text{Número de ejemplares capturados}}{\text{Número de Anzuelos}/100 \text{ anzuelos}} \quad (1)$$

Se empleó el software MatLab, sistema de cómputo numérico con un lenguaje de programación propio, en donde se calcularon los promedios diarios y mensuales de la CPUE a través de códigos de tipo M (m-files), haciendo uso de los datos de captura y esfuerzo en la ecuación 1 (Anexo 3).

Visto que el axis de la EK varía entre las latitudes 33-36°N y el axis de la región de confluencia entre la EK y la corriente Oyashio se ubica entre las latitudes 36-39°N (Seo *et al*, 2014), se procedió a realizar un análisis de la CPUE dividida en dos regiones: norte 36-45°N y región sur 25-36°N.

3.3.2. Caracterización de parámetros en la EK

Para la determinación de la estabilidad de la Extensión de la Kuroshio, se calculó su trayectoria siguiendo la metodología de Qui y Chen (2005). De los datos de altimetría, se definió una Altura Superficial del Mar (ASM) de 0m como el contorno más largo de la EK, para luego ser computarizado en el software MatLab y calcular sus valores mensuales (Anexo 4). Además, debido a que la trayectoria de la EK es caracterizada por dos meandros ubicados en las longitudes 144°E y 150°E, estas trayectorias fueron graficadas en el área de 30-40°N y 140-155°E.

Igualmente, para la determinación de la estabilidad de la Extensión de la Kuroshio, se calcularon los promedios anuales de la energía cinética de los remolinos (EKE) en los primeros 100m de profundidad, como se muestra en la ecuación 2.

$$EKE = \frac{1}{2} (u'_{100}{}^2 + v'_{100}{}^2) \quad (2)$$

Donde u'_{100} y v'_{100} fueron las velocidades medias de los primeros 100m de profundidad, zonales y meridionales, resultado de la resta de la velocidad instantánea (u) con las velocidades históricas (\bar{u} , 1982-2014) de cada componente, es decir, $u' = u - \bar{u}$.

Adicionalmente, se consideró realizar los análisis de las masas de agua mediante diagramas T-S promediadas en los primeros 100m de profundidad, dividido por regiones (norte y sur) y periodo de estabilidad.

Por otra parte, se empleó el parámetro de Okubo-Weiss (OW) (Okubo, 1970 y Weiss, 1991) para determinar la deformación de un flujo calculado como se muestra en la ecuación 3,

$$OW = 4 \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial y} \right\} \quad (3)$$

En donde si el parámetro de Okubo-Weiss es negativo ($OW < 0$), significa que la rotación es dominante en el flujo del agua, lo que es característico de regiones con presencia de remolinos.

Se calculó la vorticidad del remolino para determinar su sentido de giro, donde el signo resultó positivo (negativo) cuando la rotación fue ciclónica o antihoraria (anticiclónica u horaria). La vorticidad relativa (ζ) fue calculada como se muestra en la ecuación 4,

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (4)$$

En las ecuaciones (3) y (4) los términos u y v fueron las velocidades zonales y meridionales, respectivamente, mientras que, x e y fueron las coordenadas para las direcciones zonales y meridionales, respectivamente.

Los promedios diarios de Okubo-Weiss y vorticidad fueron calculados a través del software MatLab, para esto se desarrollaron códigos en archivos de tipo M (m-files) haciendo uso de las ecuaciones 3 y 4 (Anexo 5).

3.3.3. Relación entre la abundancia relativa y los remolinos de mesoescala

Para investigar los efectos de los remolinos en la CPUE del pez espada, se graficaron los promedios mensuales de CPUE en relación a los remolinos detectados, ciclónicos y anticiclónicos, en la región de estudio. Se calculó la distancia entre las posiciones de pesca y los remolinos, de los cuales solo se consideraron los que tenían un radio equivalente de 15km a 200km (Anexo 6). Para analizar cómo las variaciones interanuales están relacionadas con los remolinos de mesoescala, se procedió a analizar los remolinos para cada fase de estabilidad de la EK, y por cada región (norte y sur).

Se calculó el coeficiente de correlación de Spearman, expresado como rho y el p-value, los que permitieron explicar la dependencia y la significancia de correlación presente entre los promedios mensuales de la abundancia relativa del pez espada en la EK, expresada como CPUE,

con los remolinos caracterizados a partir de sus variables independientes: OW y vorticidad relativa. Un remolino ciclónico se caracterizó con valores de $OW < 0$ y vorticidad > 0 , de igual forma, un remolino anticiclónico se caracterizó con valores de $OW < 0$ y vorticidad < 0 (Anexo 7). Para poder definir estas correlaciones de acuerdo con cada fase de estabilidad de la EK (estable e inestable) y cada región de estudio (norte y sur), se calcularon las correlaciones entre los valores diarios de CPUE y cada parámetro.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la Captura por Unidad del Esfuerzo (CPUE)

Las actividades de pesca presentaron una variación en sus posiciones latitudinales entre las latitudes 25°N - 45°N (Figura 14), con mayores valores diarios de CPUE entre las latitudes de 36-42°N.

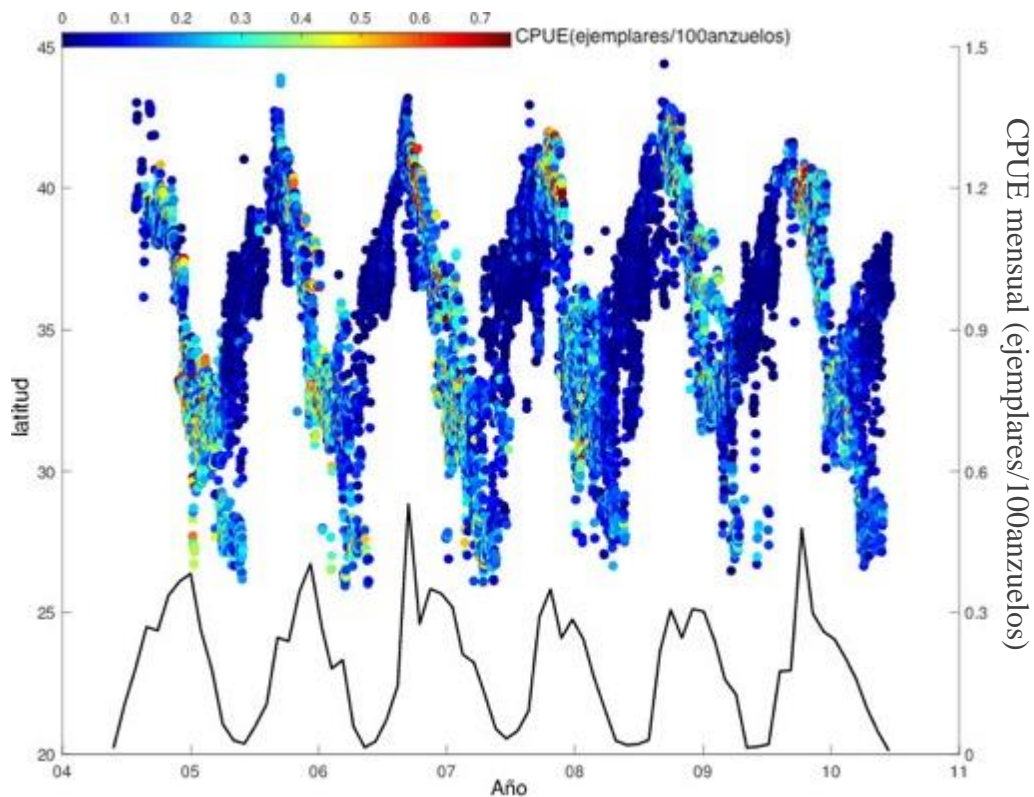


Figura 14: Posiciones latitudinales de las actividades de pesca del pez espada, en colores la CPUE diaria registrada para cada posición de pesca (ejemplares/100anzuelos) durante el periodo de estudio del 2004 al 2010. La línea negra representa el promedio CPUE mensual

A mediados de año, las actividades de pesca van desde el centro de la región subtropical, ubicado en los 25°N, hacia la región de confluencia de la EK y la corriente Oyashio, alcanzando a llegar

a los 43°N y recorriendo más de 2 mil km. Es a finales de año que estas actividades emprenden un retorno hacia la región subtropical. Los valores diarios de CPUE aumentaron significativamente alcanzando los 0.8 ejemplares/100anzuelos cuando las actividades de pesca alcanzaron las regiones más al norte, como se observa a finales del año 2006, seguido de una rápida disminución en sus valores en su trayectoria al sur. Sin embargo, cuando las posiciones de pesca alcanzaron las latitudes de 33-35°N, nuevamente se presenta un aumento de la CPUE, pero solo con valores de hasta 0.6 ejemplares/100anzuelos.

Los promedios mensuales de CPUE entre los años 2006 al 2009 presentaron picos de máximos valores entre los meses de octubre y noviembre, superando los 0.2ejemp/100anz; por el contrario, entre los meses de mayo a agosto, estos promedios fueron inferiores a los 0.1ejemp/100anz. Por otra parte, los promedios anuales presentaron valores superiores a los 0.2ejemp/100anz en los años de 2007 y 2009, e inferiores a los 0.1ejemp/100anz en los años de 2004 y 2005. Aunque, el promedio anual del 2006 no alcanzó los 0.2ejemp/100anz, en su mes de octubre se observó el máximo valor de CPUE mensual superior a los 0.5ejemp/100anz (Tabla 1).

Tabla 1: Promedios mensuales y anuales de CPUE (ejemplares/100anz) para el periodo 2004-2010

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	CPUE prom
Enero		0.02	0.03	0.34	0.27	0.31	0.24	0.20
Febrero		0.01	0.02	0.32	0.24	0.24	0.21	0.17
Marzo		0.01	0.14	0.30	0.21	0.18	0.24	0.17
Abril		0.01	0.22	0.23	0.17	0.16	0.14	0.15
Mayo		0.00	0.05	0.11	0.05	0.02	0.06	0.05
Junio		0.00	0.03	0.06	0.03	0.03	0.01	0.03
Julio	0.00	0.01	0.04	0.09	0.04	0.04		0.05
Agosto	0.00	0.01	0.11	0.09	0.06	0.27		0.08
Setiembre	0.02	0.00	0.25	0.14	0.24	0.38		0.15
Octubre	0.01	0.01	0.58	0.33	0.33	0.49		0.28
Noviembre	0.01	0.01	0.30	0.34	0.32	0.30		0.21
Diciembre	0.01	0.01	0.33	0.24	0.31	0.26		0.19
CPUE prom	0.01	0.01	0.17	0.23	0.19	0.22	0.17	

En resumen, entre los años 2006 al 2010 el promedio anual de la CPUE fue aproximadamente de 0.2ejemp/100anz. Los años del 2004 al 2005 presentaron los promedios anuales más bajos (<0.1ejemp/100anz) considerando que estos dos años representan solo el 20% de los datos pesqueros totales.

En la región sur 25-36°N, la CPUE mensual presentó picos principalmente entre los meses de diciembre a enero, con valores no superiores a los 0.4 ejemplares/100anzuelos y una tendencia decreciente a lo largo del periodo de estudio. Por otro lado, la región norte 36-45°N presentó picos de la CPUE mensual con valores cercanos a los 0.5 ejemplares/100anzuelos en el mes de diciembre en los años de 2006 y 2009 (Figura 15).

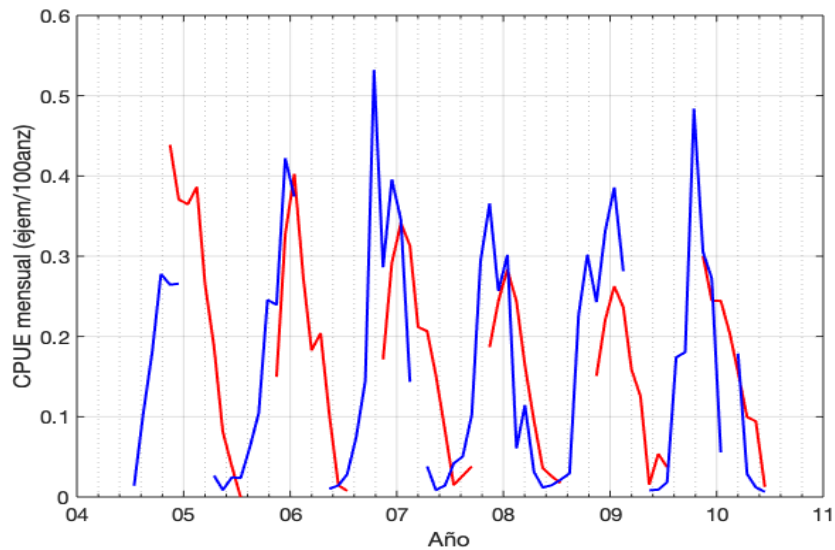


Figura 15: Valores de CPUE mensual (ejemplares/100anz) en la región sur 25-36°N (línea roja) y en la región norte 36-45°N (línea azul) a lo largo del periodo de estudio. Las líneas grises verticales delgadas indican la separación por meses

La cantidad de datos pesqueros tomados de la región norte y sur representan el 41% y 59% del total, respectivamente (Anexo 8). Si bien la mayor cantidad de datos pesqueros fueron tomados en la región sur, la región norte presenta los mayores valores de CPUE mensual.

Aunque Watanabe *et al.* (2009) señala una distribución estacional del pez espada en el Pacífico Noroccidental entre los años 2000-2003. Ellos determinaron una mayor presencia de pez espada en la región subtropical (29-34°N, lo que correspondería a la región sur) desde el invierno hasta la primavera (entre los meses de diciembre a marzo), y en la zona de transición (36-41°N, correspondiente a la región norte) desde el verano hasta el otoño (desde el mes de agosto a noviembre), lo que difiere con los resultados del presente estudio. Esta diferencia puede deberse a la menor cantidad de datos usados por Watanabe *et al.* (2009), menores a 500, siendo el 46% de los datos totales obtenidos entre los meses de marzo a mayo.

En ambas regiones se analizaron las variaciones interanuales debido a las modulaciones entre los estados de estabilidad de la EK (Qiu y Chen, 2005; Lin *et al.*, 2014). En la Figura 15 se aprecia una tendencia decreciente entre los años 2006 al 2009 en la CPUE de la región sur. Por el contrario, los valores de CPUE de la región norte presentaron una tendencia creciente entre los años 2004 y 2007, seguida de una tendencia decreciente desde el 2007 al 2010, salvo del pico excepcional en el 2009.

4.2. Análisis de los parámetros dinámicos en la EK

4.2.1. Periodo de estabilidad de la EK

La EK fluye a lo largo de la latitud $\sim 36^\circ\text{N}$ entre las longitudes $140\text{-}170^\circ\text{E}$, un total de 30° de longitud, por lo que, la EK presenta una longitud promedio de 3 mil km a lo largo de su eje horizontal. Esta longitud fue mayor desde octubre del 2006 hasta octubre del 2008, alcanzando valores de cercanos a los 9 mil km en noviembre del 2006, es decir, casi 6 mil km más del promedio de la EK los cuales se verían distribuidos en los meandros de la corriente (Figura 16).

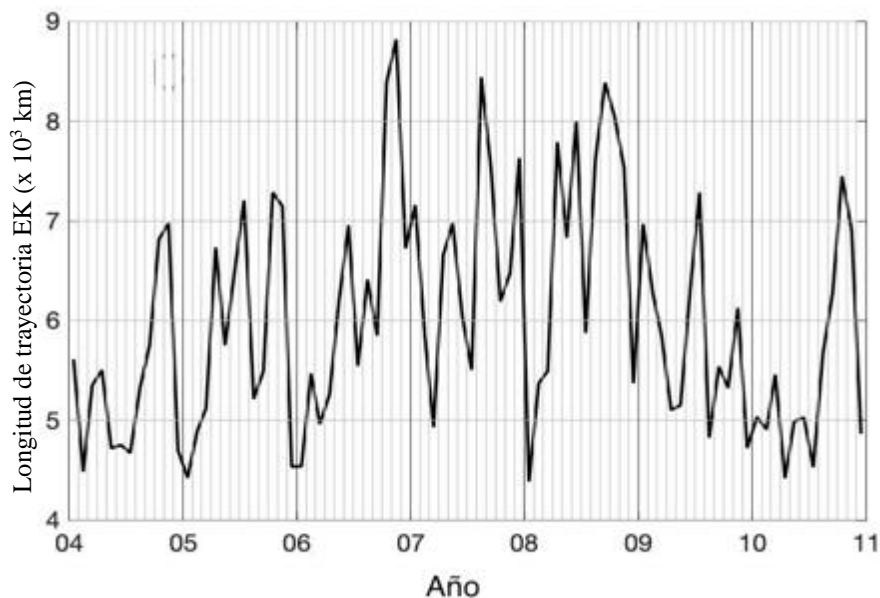


Figura 16: Longitud (km) de la trayectoria promedio mensual de la extensión de la Kuroshio entre las latitudes $25\text{-}45^\circ\text{N}$ y longitudes de $140\text{-}170^\circ\text{E}$

Si bien la trayectoria de la EK es mayor entre los años del 2006 al 2008, también debe destacarse la variabilidad mensual de esta. Esta trayectoria fue mayor entre los meses de octubre y

noviembre, alcanzando valores de hasta 7 mil km, en cambio, en los meses de diciembre a marzo, la trayectoria fue menor presentando valores alrededor de los 5 mil km (Anexo 9).

Los resultados obtenidos al calcular la trayectoria de la EK fueron similares a los resultados propuestos por Qiu *et al.* (2014), a pesar de usar una base de datos diferente. Por ende, dentro del periodo de estudio 2004-2010 se determinó una fase estable, la cual comprende los años 2004, 2005 y 2010, y una fase inestable, comprendida entre los años del 2006 al 2009.

Durante la fase estable (2004, 2005 y 2010), la EK presentó trayectorias con un patrón más estable observándose claramente las crestas de los meandros ubicados en las longitudes 144°E y 150°E, no extendiéndose más al norte de la latitud de 37°N, sabiendo que la región de confluencia entre la Kuroshio y la Oyashio empieza a partir los 36°N. Por el contrario, durante la fase inestable (2006-2009), se observaron trayectorias sin ningún patrón establecido con meandros que se extendieron hasta alcanzar la latitud de los 38°N (Figura 17).

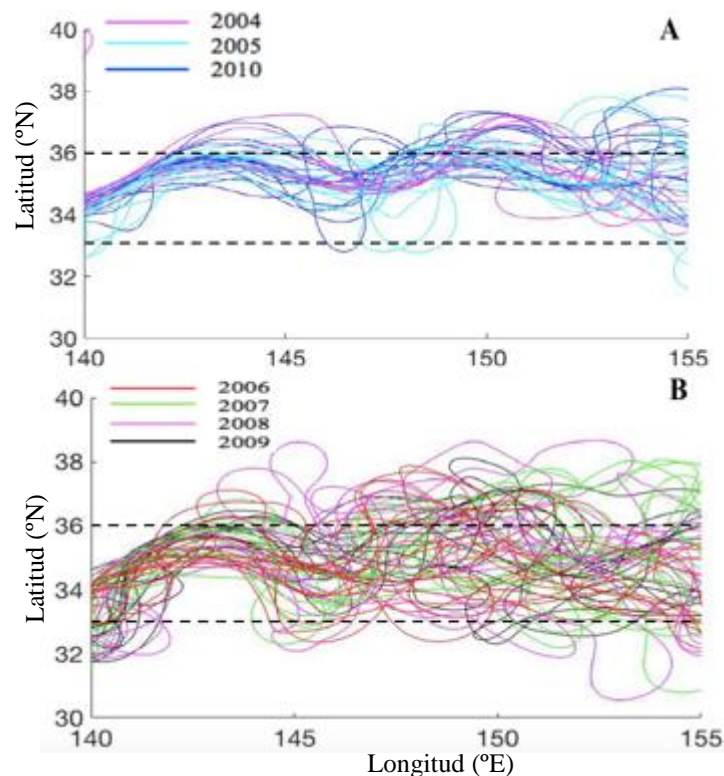


Figura 17: Trayectorias mensuales de la EK para (A) la fase estable que comprende los años 2004, 2005 y 2010; y (B) la fase inestable que comprende desde 2006 al 2009. Las líneas punteadas representan las latitudes 33°N y 36°N

De manera similar, Jiang *et al.* (2017) afirmó de una fuerte correlación entre la ubicación del eje horizontal de la EK y la energía cinética de los remolinos.

4.2.2. Variabilidad interanual de remolinos en la EK

La energía cinética de los remolinos presentó modulaciones interanuales en respuesta a la variación de las fases de la EK (Figura 18).

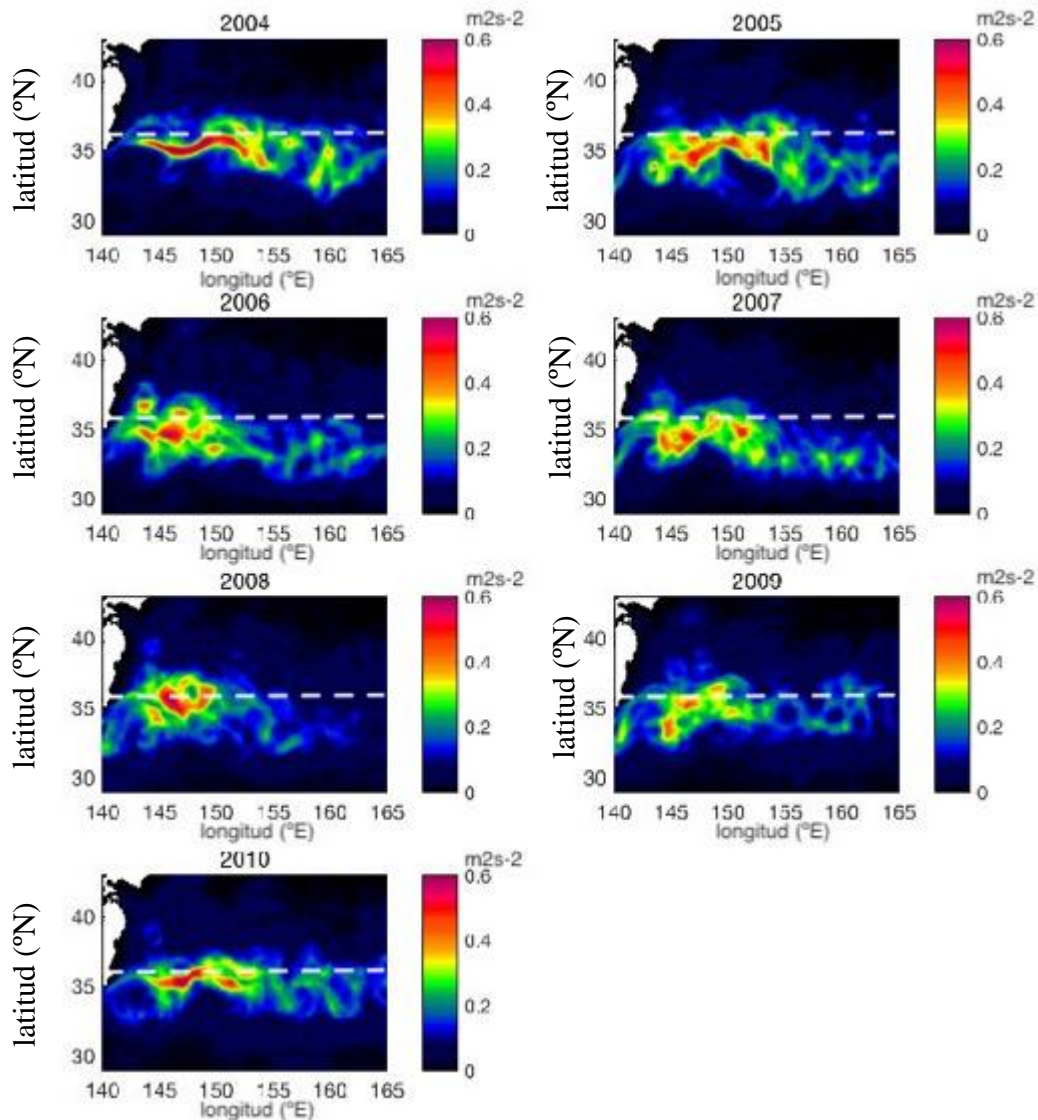


Figura 18: Variación anual de la energía cinética de los remolinos (m^2s^{-2}) en la región de la extensión de la Kuroshio. Línea color blanco representa la latitud 36°N

Durante la fase estable (2004, 2005, 2010), altos valores de energía cinética ($> 0.3 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$) se encontraban confinadas a lo largo de la EK, incluso presentando las crestas de los meandros en

las longitudes 144°E y 150°E (similar a la trayectoria presentada en la Figura 17A), extendiendo mayores valores de energía al este de la longitud 158°E.

Por otro lado, durante la fase inestable (2006 al 2009), los mayores valores de energía cinética se acumularon más en la región occidental extendiéndose como máximo hasta la longitud 150°E en el año 2008, incluso cubriendo latitudinalmente más al norte del área de estudio pasando la latitud 36°N. Esto implicaría una mayor presencia de aguas cálidas de la Kuroshio en la región de confluencia, desplazando a la corriente Oyashio, la cual se encuentra a partir de la latitud 37-38°N (Yasuda, 2003).

Estas aguas de la EK podrían ser las principales alimentadoras para el desarrollo de remolinos anticiclónicos, ya que estos demandan de una fuente de aguas cálidas (Sugimoto *et al.*, 1992; Yasuda *et al.*, 1992). Esto sugiere que la extensión latitudinal de la energía cinética en la región norte durante la fase inestable, sobre todo en las longitudes 144-150°E (crestas de los meandros), es a causa de una mayor presencia de aguas cálidas de la EK, por ende, una mayor presencia de remolinos al norte.

4.3. Influencia de remolinos de mesoescala en la abundancia relativa

4.3.1. Relación de la CPUE con la temperatura y salinidad

En la región norte, entre las latitudes 36-45°N, se observaron valores de CPUE superiores a 0.3ejemp/100anz con amplios rangos de temperatura (8-23°C) y salinidad (33.4-34.9ups) solo entre los años 2007 al 2009 (Figura 19A y B). El amplio rango de temperaturas y salinidades en la región norte se debe a que entre las latitudes 36-39°N se encuentra la región de confluencia entre la Kuroshio y la Oyashio, como se ha mencionado anteriormente. Por otro lado, en la región sur, entre las latitudes 25-36°N, se observaron los mayores valores de CPUE (> 0.3ejemp/100anz) junto a altas temperaturas (> 19°C) y altas salinidades (> 34.7ups) durante todo el periodo de estudio (Figura 19C y D).

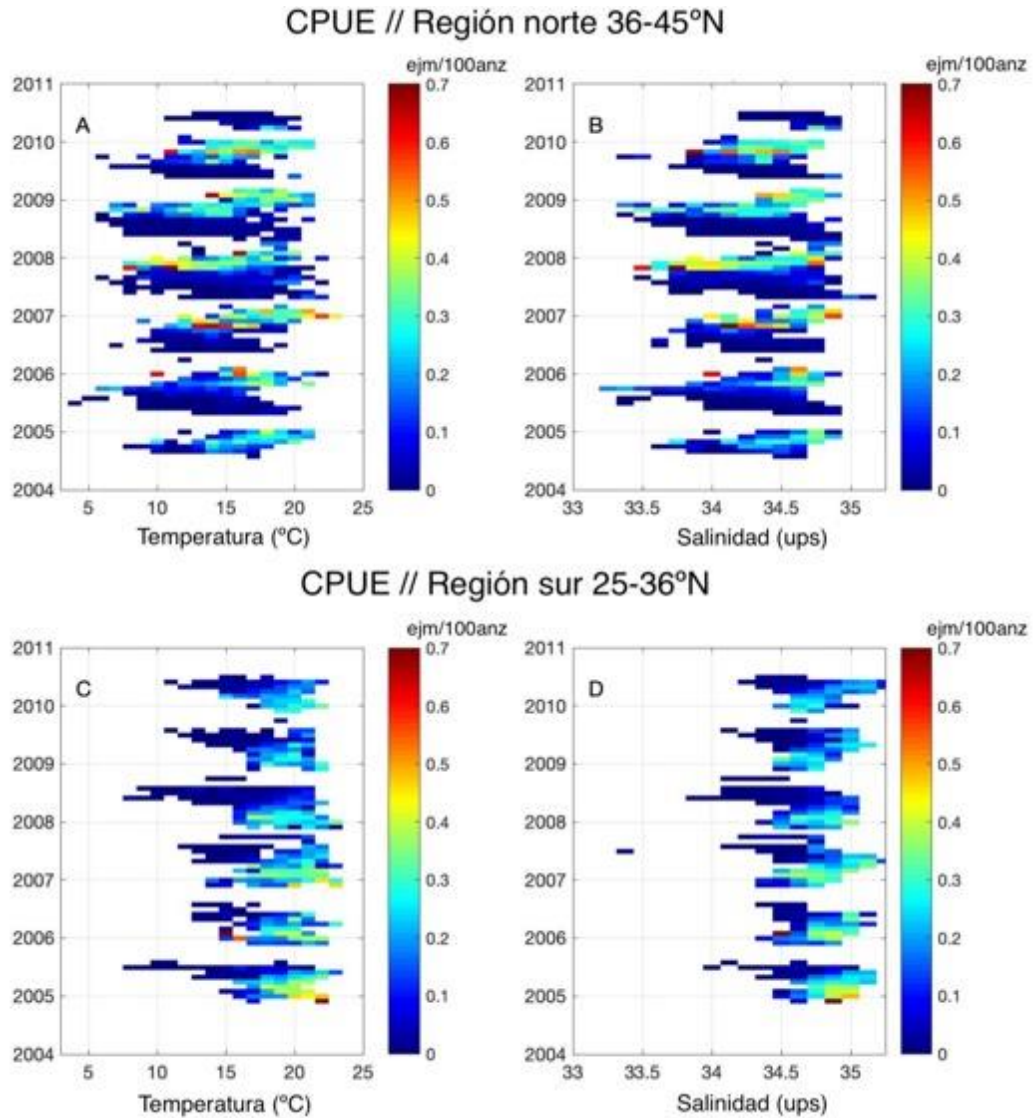


Figura 19: Valores de CPUE diarios (ejemplares/100anzuelos) en función de (A) temperatura la región norte 36-45°N, (B) salinidad para la región norte 36-45°N, (C) temperatura para la región sur 25-36°N, y (D) salinidad para la región sur 25-36°N

La presencia de aguas cálidas con altas salinidades en la región sur se debe a la presencia de la EK entre las latitudes de 33-36°N, la cual al poseer las mismas características de la corriente Kuroshio presenta temperaturas mayores a los 20°C y salinidades desde los 34.5ups (Qiu, 2001).

De manera similar, la CPUE en el diagrama de Temperatura-Salinidad (T-S) en la región norte presentó sus mayores valores (> 0.3 ejemp/100anz) en amplios rangos de temperatura y salinidad durante la fase inestable (Figura 20).

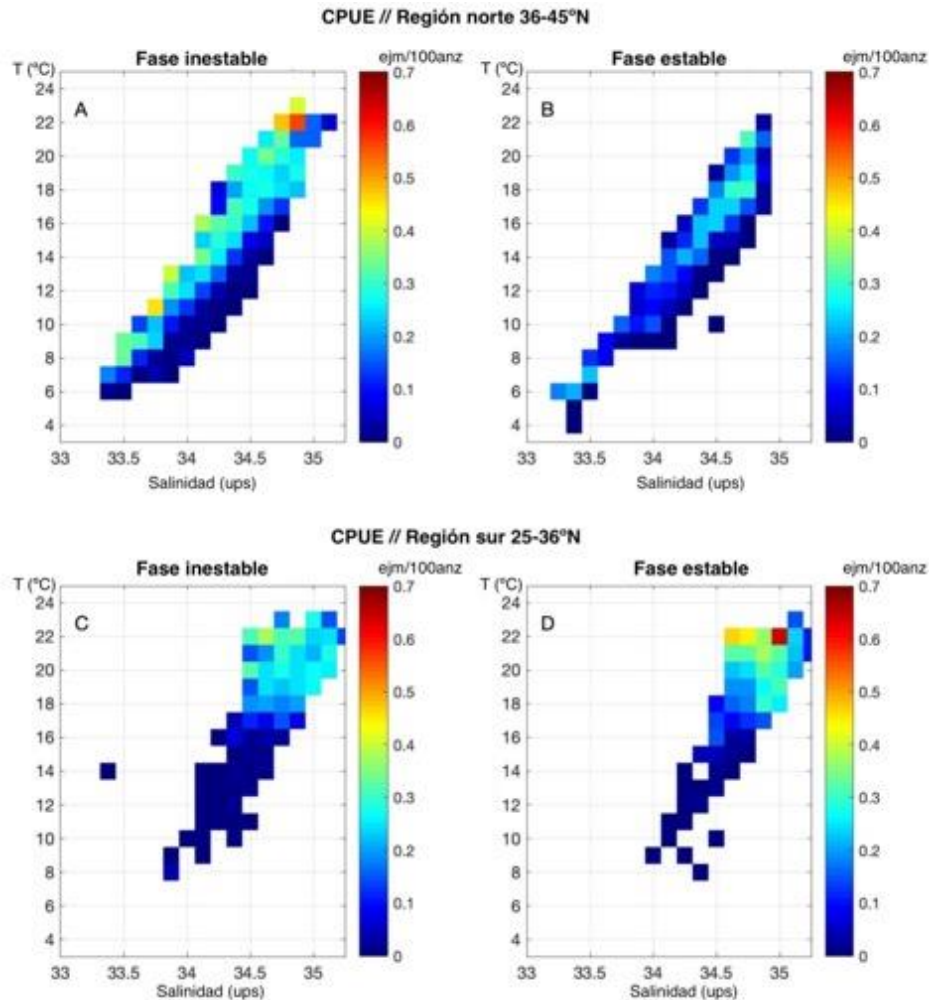


Figura 20: Diagramas de Temperatura-Salinidad (T-S) en función de los valores diarios de CPUE (ejemplares/100anzuelos) de (A) la región norte 36-45°N durante la fase inestable, (B) la región norte 36-45°N durante la fase estable, (C) la región sur 25-36°N durante la fase inestable, y (D) la región sur 25-36°N durante la fase estable

Los mayores valores de CPUE (>0.3 ejemp/100anz) en la región norte durante la fase inestable (Figura 20A) se encontraron en temperaturas altas, pero con salinidades relativamente bajas, lo que significaría una mayor distribución del pez espada en el área de mezcla entre las aguas cálidas de la EK con las aguas frescas y poco halinas de la Oyashio. Por otro lado, durante la fase estable en la misma región (Figura 20B) los rangos de temperatura y salinidad con los mayores valores de CPUE son menos amplios, encontrándose únicamente con altas temperaturas ($>20^{\circ}\text{C}$) y altas salinidades ($>34.5\text{ups}$), es decir, únicamente en las aguas cálidas de la EK.

En la región sur no existe una diferencia clara entre ambas fases (Figura 20C y D), concentrando los mayores valores de CPUE en altas temperaturas y salinidades. Debido a que la EK se extiende entre las latitudes de 33-36°N, la región sur presentaría en mayor porcentaje las aguas cálidas y saladas de esta, no habiendo mucha diferencia de temperaturas y salinidades entre las fases de estabilidad de la EK.

4.3.2. Los remolinos y la CPUE

La Figura 21A indica que, en la región norte, los valores de CPUE más elevados ($>0.3 \text{ ejemp}/100 \text{ anz}$) se asociarían principalmente con valores negativos de OW, lo que significaría un flujo de agua de régimen rotativo (remolinos), y con valores negativos de vorticidad, es decir, remolinos anticiclónicos o de aguas cálidas. Siendo la región norte en donde se encuentra la confluencia entre la EK y la corriente Oyashio, los remolinos de agua cálida provenientes de la EK podrían ser los causantes de esta mayor presencia de pez espada.

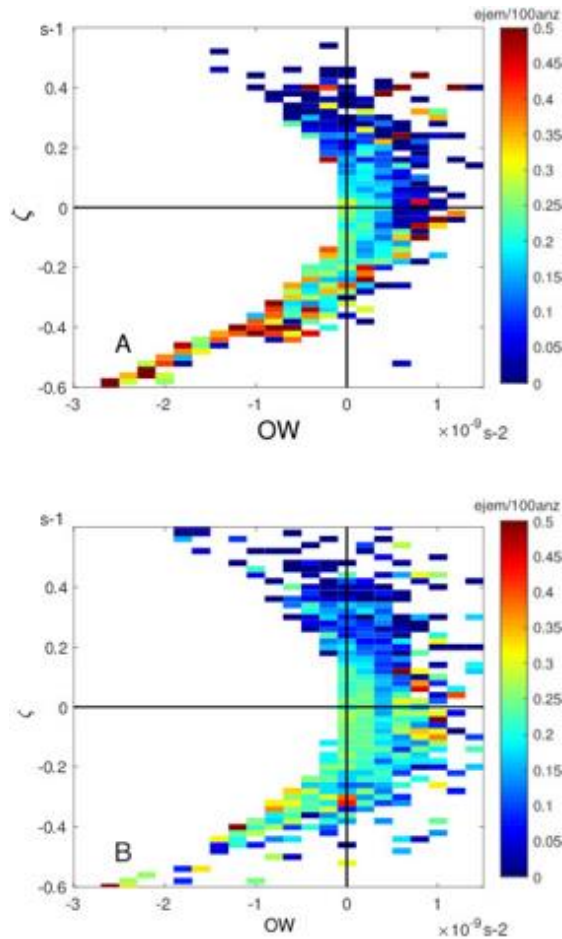


Figura 21: CPUE del pez espada en función de los parámetros de vorticidad y Okubo-Weiss (OW) para la (A) región norte 36-45°N y (B) región sur 25-36°N durante todo el periodo de estudio

De igual manera, en la región sur (Figura 21B) los mayores valores de CPUE presentan estar más asociados con una vorticidad anticiclónica, pero mucho menores (<0.3 ejemplares/100 años) a comparación de los valores presentados en la región norte.

Altos valores de CPUE asociados con mayor cantidad de remolinos anticiclónicos en la región norte sugieren que, las condiciones físicas y biológicas asociadas con estos remolinos conducirían a una mayor distribución del pez espada en esta región. Entonces, para investigar mejor los efectos de las modulaciones de la ruta de la EK con respecto a los parámetros descritos y la CPUE, los mismos análisis se realizaron por separado para cada las dos fases: inestable y estable.

Los resultados para la fase inestable son muy similares a los de todo el periodo de estudio, en el que se encuentran valores de CPUE más altos con vorticidad negativa y OW negativo en la región norte (Figura 21). Cabe señalar que estos altos valores de CPUE en la fase inestable fueron aún mayores en comparación con los calculados para todo el periodo de estudio (Figura 21A y 22A).

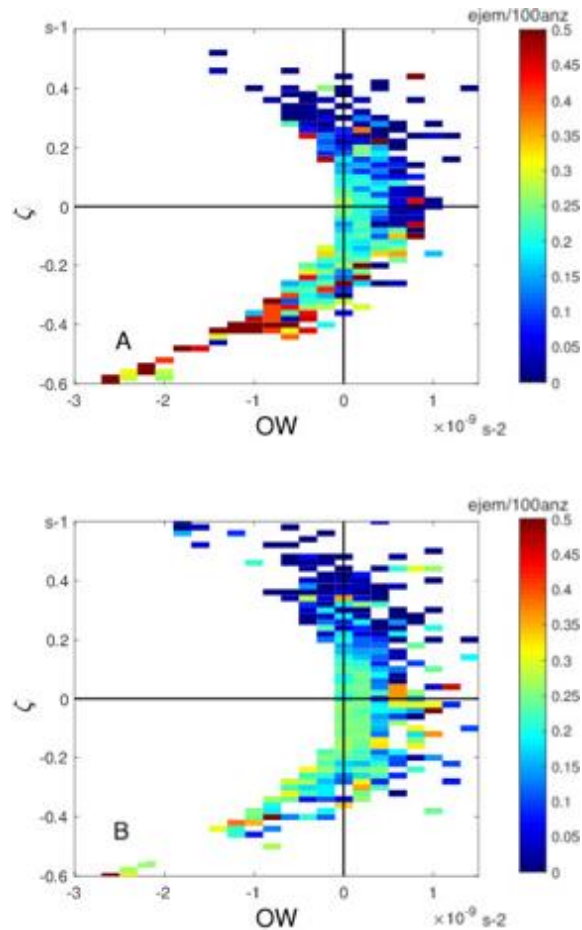


Figura 22: CPUE del pez espada en función de los parámetros de vorticidad y Okubo-Weiss (OW) para la (A) región norte 36-45°N y (B) región sur 25-36°N durante la fase inestable del 2006 al 2009

En contraste, los mayores valores de CPUE asociados con los remolinos anticiclónicos estuvieron ausentes en la región norte durante la fase estable (Figura 23A), siendo claramente distinguibles en comparación con la fase inestable (Figura 22A).

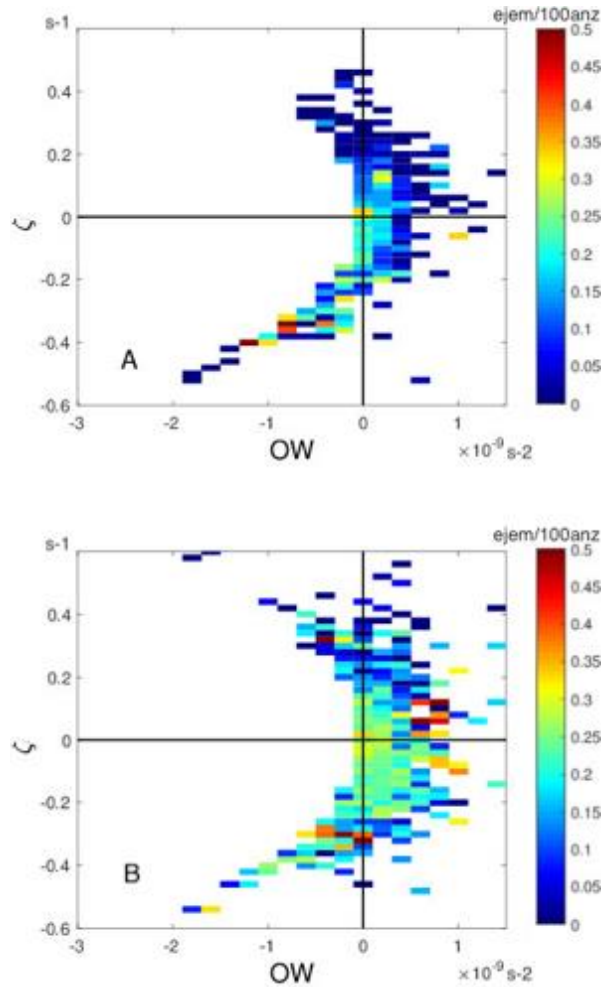


Figura 23: CPUE del pez espada en función de los parámetros de vorticidad y Okubo-Weiss (OW) para la (A) región norte 36-45°N y (B) región sur 25-36°N durante la fase estable 2004, 2005 y 2010

Como se ha analizado previamente, durante la fase inestable se observó una mayor cantidad de remolinos anticiclónicos en la región norte (Figura 18) y una mayor mezcla de aguas cálidas de la EK con las aguas frescas de la Oyashio (Figura 20A), por lo que también habría una intrusión de remolinos de agua cálidas proveniente de la EK, siendo dentro de estos remolinos en donde se encuentran los mayores valores de CPUE.

Por otro lado, en la región sur los valores encontrados de CPUE fueron menores (<0.3 ejemplar/100anz), además de no presentar una relación clara con los remolinos anticiclónicos, independientemente de las fases de la EK (Figura 22B y 23B). En la región sur se encuentra el

eje horizontal de la EK (33-36°N), por lo que el pez espada estaría más asociado con los remolinos de agua cálida a sólo estar en la corriente a chorro de la EK.

Esta especie se encuentra dentro del rango de temperatura de 18-22°C (Uda, 1961), aunque con frecuencia en aguas superficiales de 13°C (Nakamura, 1985). Esta condición es consistente con los resultados presentados, destacando sus temperaturas preferidas de 18-22°C y altas salinidades mayores a 34.7 ups, independientemente de la estabilidad de la EK. Los mayores valores de CPUE asociados con rangos de temperatura y salinidad mucho más amplios en la región norte, especialmente durante la fase inestable, sugieren que el pez espada estaría más asociado con los remolinos formados por la intrusión de aguas cálidas de la EK en la zona fría de la Oyashio (región norte) que a solo permanecer en el chorro de la corriente EK. Además de su preferencia de aguas cálidas, debe tenerse en cuenta que el pez espada puede llegar a guardar reservas energéticas al nadar con ayuda de las corrientes (Seki *et al.*, 2002), manteniéndose en áreas cercanas al flujo de la EK.

Los valores de CPUE dentro de los remolinos anticiclónicos fueron mayores (>0.25 ejemp/100anz) a diferencia de los valores encontrados dentro de los remolinos ciclónicos (<0.1 ejemp/100anz). Dentro de los remolinos anticiclónicos destaca que los valores promedio de CPUE fueron mucho mayores en el lado noreste de los remolinos (Figura 24).

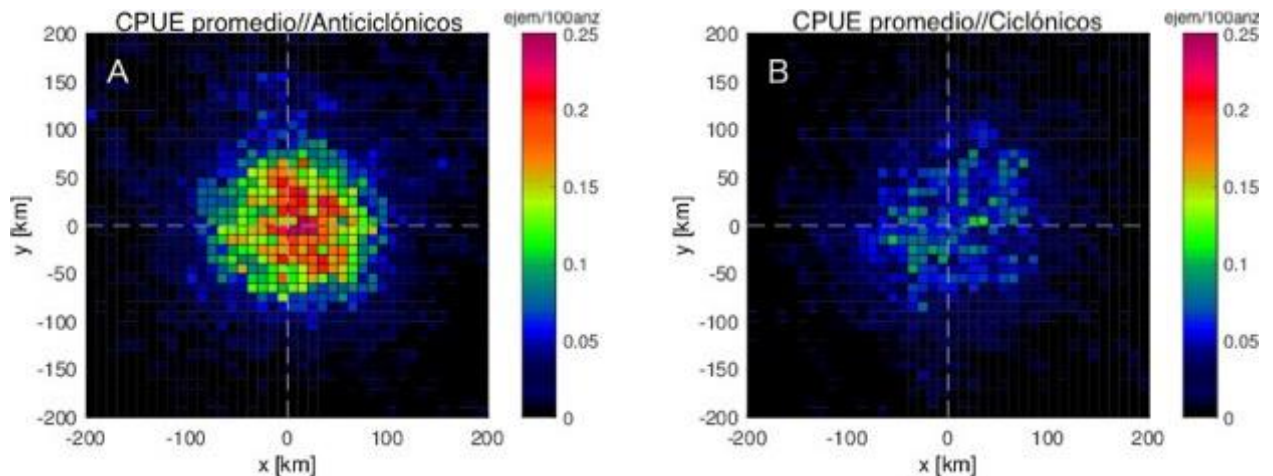


Figura 24: Promedio de CPUE del pez espada en función de las distancias respecto a los remolinos (A) anticiclónicos y (B) ciclónicos encontrados dentro de la región de estudio

Durante la fase inestable, los promedios de CPUE presentaron valores superiores a los 0.2 ejemplares/100anz, dos veces más altos que los observados en la fase estable (~ 0.1

eemplares/100anz), dentro de los remolinos anticiclónicos (Figura 25A y C). De igual manera, se encontró la misma tendencia de mayores valores de CPUE promedio durante la fase inestable dentro de los remolinos ciclónicos (Figura 25B y D), siendo los valores de CPUE cercanos a los 0 ejemplares/100anz dentro de este tipo de remolinos de agua fría durante la fase estable.

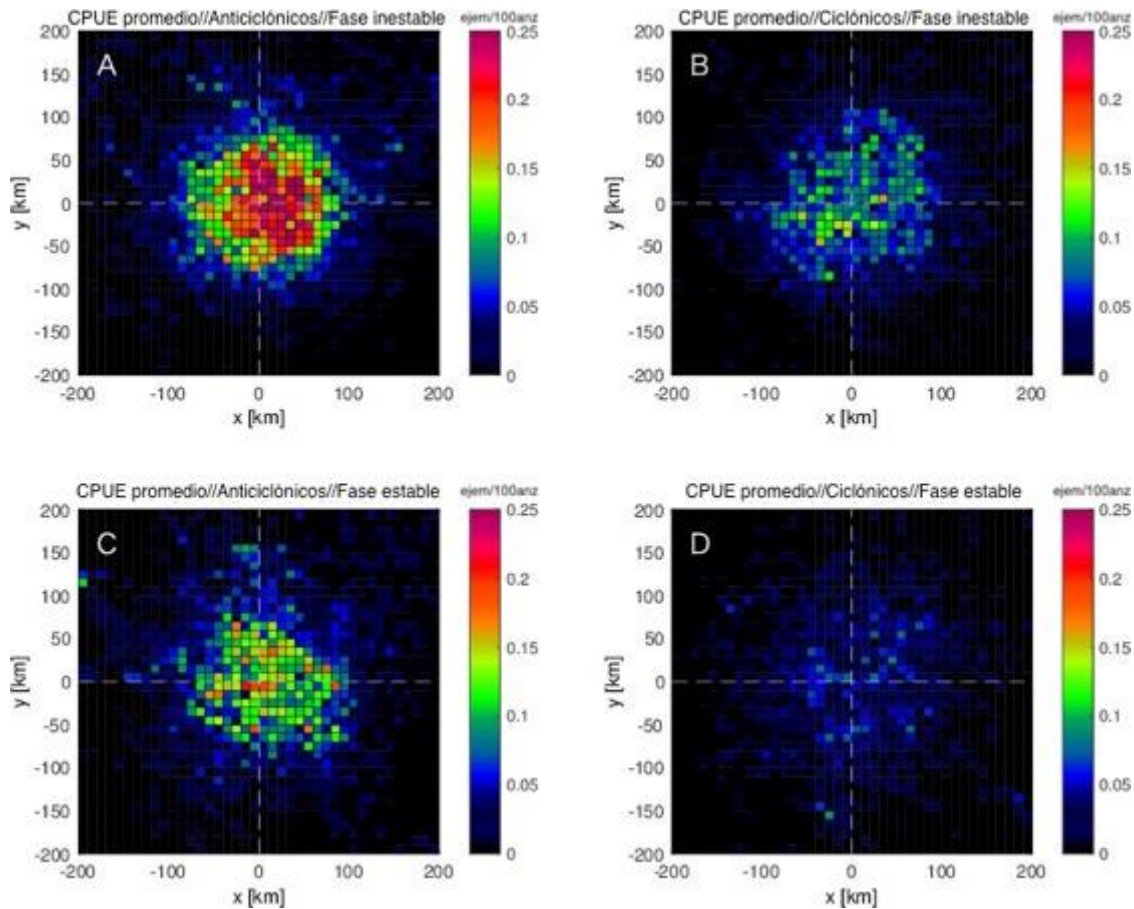


Figura 25: Promedios de CPUE del pez espada en función de las distancias respecto a (A) remolinos anticiclónicos durante la fase inestable, (B) remolinos anticiclónicos durante la fase estable, (C) remolinos ciclónicos durante la fase inestable, y (D) remolinos ciclónicos durante la fase estable

Los resultados del mismo análisis, pero limitados para la región norte (Figura 26), presentaron la misma tendencia de elevados valores de CPUE (>0.2 ejemplares/100anz) en el lado noreste de los remolinos anticiclónicos durante la fase inestable. Sin embargo, esta tendencia fue muy débil en la región sur (Figura 27), donde los promedios de CPUE fue entre los valores de 0.1-

0.15 ejemplares/100anz, mucho menor en comparación con los valores encontrados en la región norte. Además, en la región sur, desapareció el pico de CPUE encontrado en el lado noreste de los remolinos anticiclónicos que se observó en la región norte.

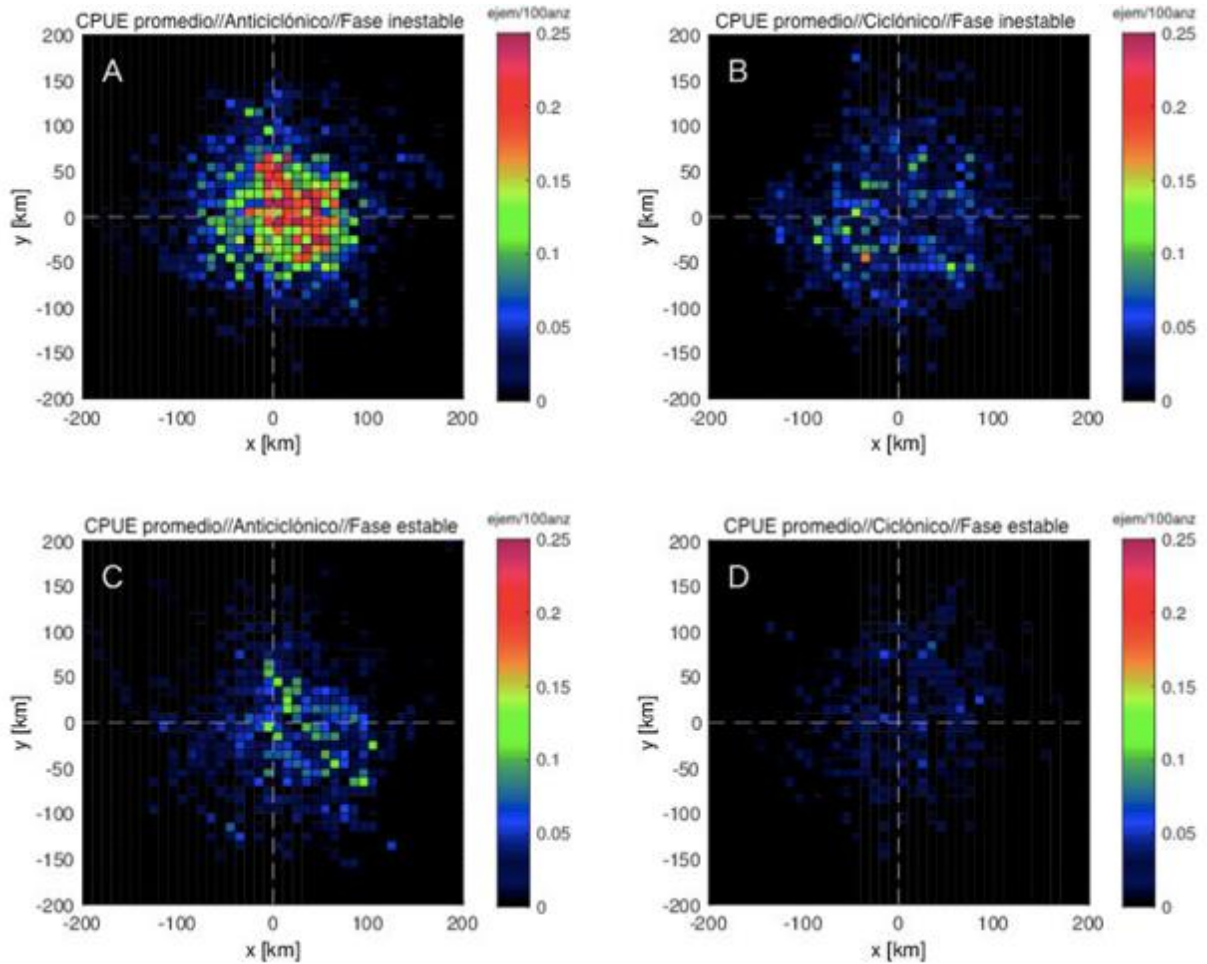


Figura 26: Promedios de CPUE del pez espada en función de las distancias respecto a (A) remolinos anticiclónicos durante la fase inestable, (B) remolinos anticiclónicos durante la fase estable, (C) remolinos ciclónicos durante la fase inestable, y (D) remolinos ciclónicos durante la fase estable, para la región norte 36-45°N

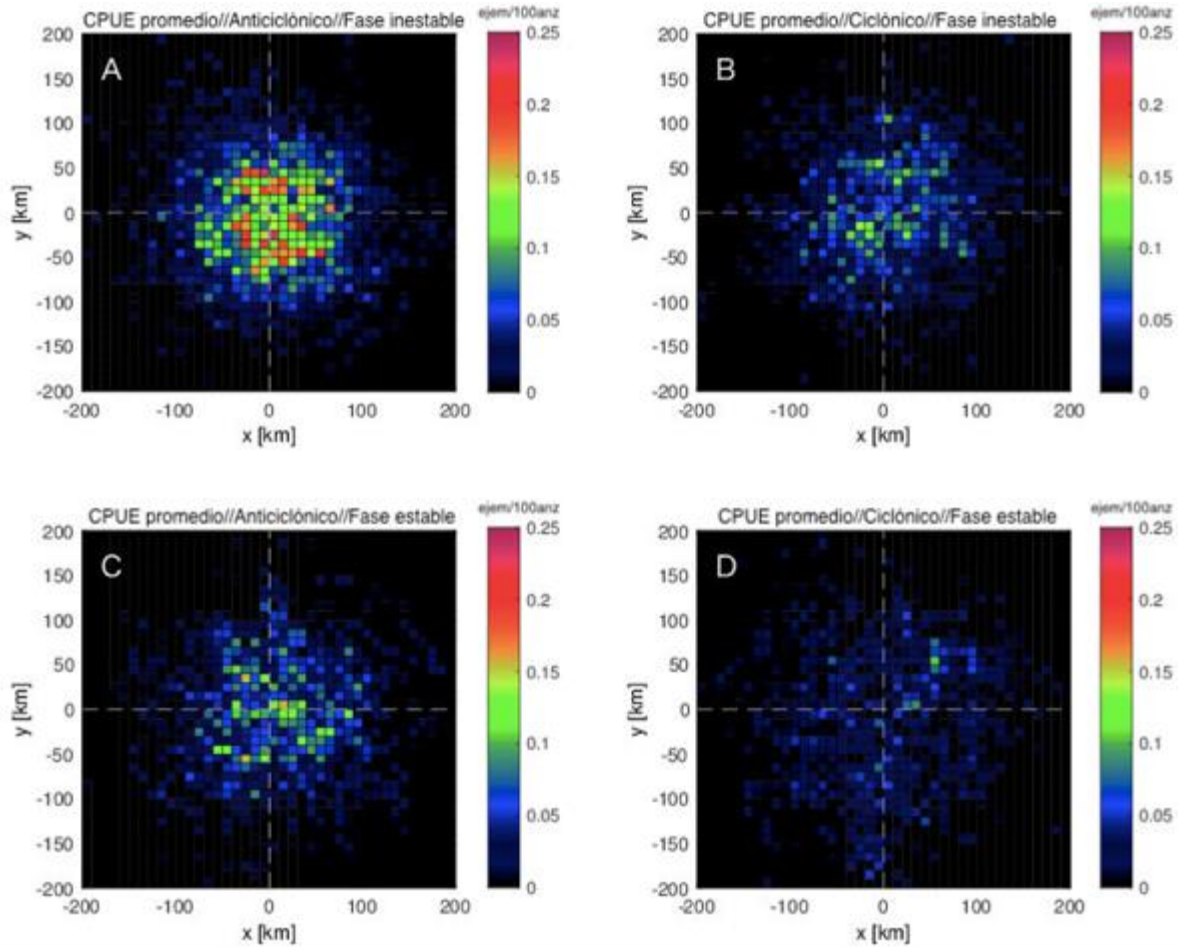


Figura 27: Promedios de CPUE del pez espada en función de las distancias respecto a (A) remolinos anticiclónicos durante la fase inestable, (B) remolinos anticiclónicos durante la fase estable, (C) remolinos ciclónicos durante la fase inestable, y (D) remolinos ciclónicos durante la fase estable, para la región sur 25-36°N

Se determinó que los agentes más importantes para impulsar las modulaciones interanuales de CPUE en la región norte son los remolinos anticiclónicos, especialmente en la región más occidental por la presencia de los meandros estacionarios ubicados en las longitudes 144 y 150°E. Es especialmente en esta región que la energía cinética de los remolinos presenta valores elevados ($> 0.3 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$) durante la fase inestable, con una mayor extensión latitudinal hacia el norte (Figura 18), esto por una mayor ocupación de aguas cálidas y saladas de la EK hacia el norte. Siendo estas masas de agua cálida y saladas las fuentes de los remolinos anticiclónicos (Sugimoto *et al.*, 1992 y Yasuda *et al.*, 1992), es consistente el incremento de los remolinos anticiclónicos en esta región de confluencia con la Oyashio. Además, es conocido que cerca de

la costa japonesa, la región más occidental del área de estudio, los remolinos de agua cálida se dirigen generalmente hacia el norte (Mizuno y White, 1983; Tomosada, 1986; Yasuda *et al.*, 1992), proporcionando condiciones más adecuadas para que el pez espada pueda distribuirse en esta región, siendo más fácil encontrar condiciones favorables por la mayor presencia de remolinos anticiclónicos, especialmente durante la fase inestable.

4.3.3. Análisis de correlación

Los valores diarios de CPUE presentaron una correlación altamente significativa con el parámetro de vorticidad, pero éste último influenciaría de forma inversa al presentar rho negativa (Figura 28).

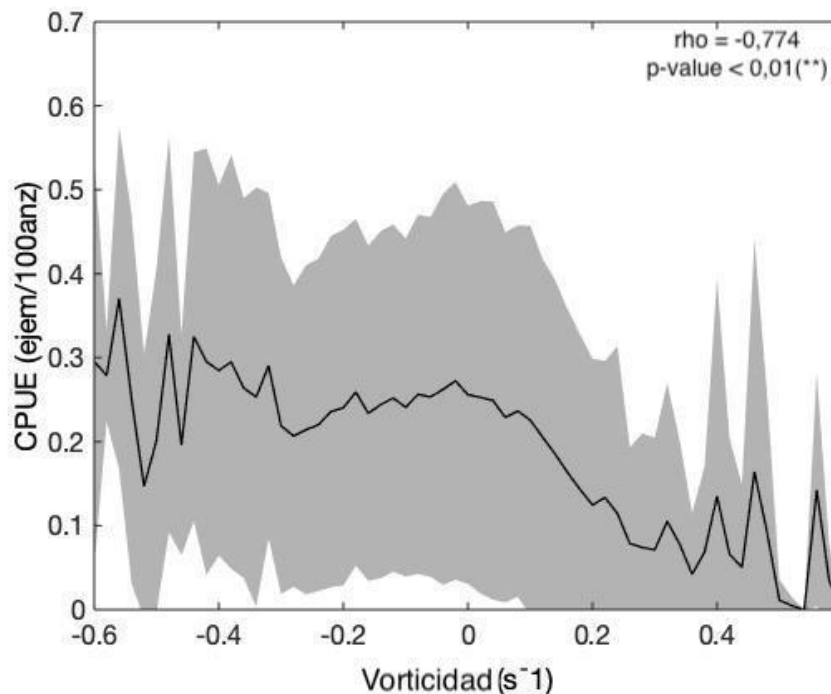


Figura 28: Valores diarios de CPUE del pez espada (ejemp/100anz) con relación a los valores de vorticidad (s^{-1}) en toda el área de estudio. Área gris representa la desviación estándar

Por otro lado, la correlación entre la CPUE y el parámetro de OW resultó No Significativa (Figura 29).

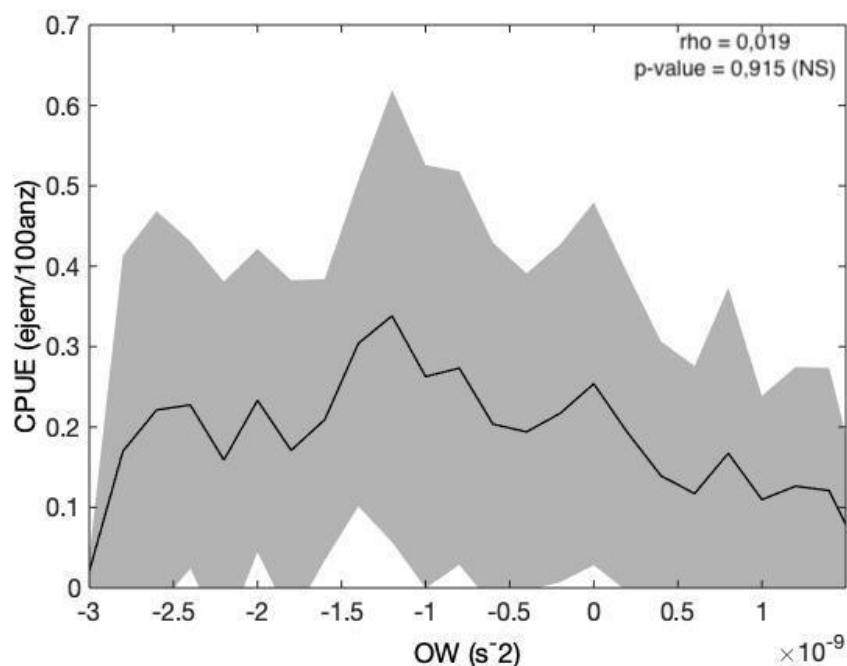


Figura 29: Valores diarios de CPUE del pez espada (ejem/100anz) con relación a los valores de OW (s^{-2}) en toda el área de estudio. Área gris representa la desviación estándar

Al calcularse las correlaciones entre la abundancia relativa del pez espada (CPUE) con las variables independientes (OW y vorticidad), en base a cada fase de estabilidad y región de estudio (Anexo 10), se obtuvieron resultados estadísticamente altamente significativos (**) entre la CPUE y la vorticidad. Por otro lado, se obtuvieron resultados significativos (*) y no significativos (NS) entre la CPUE y la variable de OW (Tabla 2).

Tabla 2: Correlaciones entre los parámetros dinámicos de vorticidad (s^{-1}) y OW (s^{-2}) con la CPUE (ejem/100anz)

Fase	Región	Vorticidad		OW	
		<i>rho</i>	<i>p-value</i>	<i>rho</i>	<i>p-value</i>
Estable	<i>Norte</i>	-0.54	< .01**	-0.02	0.93
	<i>Sur</i>	-0.52	< .01**	0.48	< .05*
Inestable	<i>Norte</i>	-0.58	< .01**	-0.42	< .05*
	<i>Sur</i>	-0.73	< .01**	0.16	0.41

Nota. * es significativo, ** es altamente significativo

El parámetro OW afecta significativamente a la CPUE durante la fase estable en la región sur, con un rho positivo, es decir, una mayor CPUE en chorros de agua tipo corriente. El pez espada

se distribuiría por su preferencia térmica de aguas cálidas a lo largo de la corriente EK, la cual tiene mayor presencia en la región sur. De igual forma, el parámetro OW afectó significativamente a la CPUE durante la fase inestable en la región norte, pero con un rho negativo, es decir, una mayor CPUE dentro de los remolinos. El pez espada, nuevamente por su preferencia térmica, se distribuiría dentro de los remolinos provenientes de la EK en la región norte.

La vorticidad afectó en un alto grado, altamente significativo (**), a la CPUE durante todo el periodo de estudio en ambas regiones, con un rho negativo en ambas fases de estabilidad y en ambas regiones. Dado que, los valores negativos de vorticidad (aguas cálidas) serían las principales atrayentes para el pez espada.

En resumen, durante la fase estable (2004, 2005, 2010) la EK presentó una trayectoria con un patrón ordenado, por lo que sus remolinos anticiclónicos se mantuvieron circundantes a esta. Por ende, la distribución del pez espada se mantendría limitante dentro de esta corriente.

Comparado con la fase inestable (2006-2009), la trayectoria de la EK fue desorganizada estimulando el desarrollo de remolinos de agua cálida con desplazamiento hacia la región norte. Esta mayor presencia de aguas cálidas de la EK en la zona de confluencia con la corriente Oyashio provocaría una mayor distribución del pez espada en la región norte.

La variación de CPUE puede ser explicado por diversos procesos biológicos, los cuales pueden verse afectados por una mayor presencia de estos remolinos de aguas cálidas en la región norte. Dado que el pez espada se alimenta de peces pequeños y calamares, estos mecanismos también aumentarían su abundancia relativa en la zona. Por ejemplo, el calamar volador *Ommastrephes bartramii*, una de las principales presas del pez espada (Watanabe *et al.*, 2009), si bien presenta una preferencia por aguas ligeramente más frías (Tian *et al.*, 2009), se encuentran en los alrededores de los remolinos anticiclónicos (Igarashi *et al.*, 2018). Cuando los remolinos anticiclónicos llegan en la zona de confluencia con la corriente Oyashio, Igarashi *et al.* (2011) reportaron un incremento de la abundancia de este calamar, lo que permitiría al pez espada alimentarse de este tipo de calamares en los bordes de los remolinos manteniéndose dentro de su hábitat térmico preferido.

V. CONCLUSIONES

- La CPUE promedio del pez espada, de un total de casi 20 mil registros de captura, fue de 0.2 ejemplares/100anzuelos, dentro del rango de [0 - 0.6] ejemplares/100anzuelos, en la zona de la Extensión de la Kuroshio durante el periodo 2004-2010.
- Durante la fase inestable de la Extensión de la corriente Kuroshio (2006-2009), hubo una mayor cantidad de remolinos de agua cálida (Okubo-Weiss <0 y vorticidad <0) en la región norte 36-45°N, debido a la intrusión de aguas cálidas de la EK en la zona fría de la Oyashio.
- La abundancia relativa del pez espada se encontró más asociada con los remolinos de centro cálido, formados por la intrusión de aguas cálidas de la EK en la zona fría de la Oyashio (región norte) durante su fase inestable.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar muestreos biométricos, en los centros de desembarque o a bordo, para conocer su composición de tallas y/o edades para complementar el análisis de la variación de la abundancia relativa del pez espada.
- Realizar muestreos biológicos, en los centros de desembarque o a bordo, para conocer el estadio sexual y el contenido estomacal, lo que permitiría analizar si se presentó una migración en base a su reproducción o alimentación.
- Complementar con estudios de productividad en áreas de remolinos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado-Bremer, J., Hinton, M., & Greig, T. (2006). Evidence of spatial genetic heterogeneity in Pacific swordfish (*Xiphius gladius*) revealed by the analysis of ldh-A sequences. *Bull. Mar. Sci.*, 79: 493-504.
- Barbieri, B., Angela, M., Yáñez, R., Ariz, A., & González, C. (1990). *Pesquería del pez espada: tendencias y perspectivas. Perspectivas de la actividad pesquera en Chile*. Santiago de Chile, Chile.
- Bedford, D., & Hagerman, F. (1983). The billfish fishery resource of the California Current. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Inves., Rep.*, 24: 70-78.
- Bryden, H., & Brady, E. (1989). Eddy momentum and heat fluxes and their effects on the circulation of the equatorial Pacific Ocean. *Journal of Marine Research*, 47(1): 55-79.
- Braun, C. D., Gaube, P., Sinclair-Taylor, T. H., Skomal, G. B., & Thorrold, S. R. (2019). Mesoscale eddies release pelagic sharks from thermal constraints to foraging in the ocean twilight zone. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116: 17187-17192.
- Campos, F. (2019). Detección de remolinos de mesoescala empleando anomalías del nivel del mar de los productos de SSALTO/DUACS. Recuperado de: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4847>
- Carey, F. (1983). Experiments with free-swimming fish. *Oceanography*, 1: 57-68. doi:10.1007/978-1-4612-5440-9
- Chaigneau, A., Gizolme, A., & Grados, C. (2008). Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns. *Progress in oceanography*, 79(2-4): 106-119.
- Correa-Ramirez, M., Hormazábal, S., & Yuras, G. (2007). Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile 29–39 S. *Geophysical Research Letters*, 34(12).

Correa-Ramirez, M., Hormazabal, S. & Morales, C. (2012). Spatial patterns of annual and interannual surface chlorophyll-a variability in the Peru–Chile Current System. *Progress in oceanography*, 92: 8-17.

Cushing, D. H. (1981). *Fisheries Biology: A study in population dynamic*. Second edition. The University of Wisconsin Press, ISBN 0-299-08110-9: 95-117.

Danabasoglu, G., McWilliams, J. C., & Gent, P. R. (1994). The role of mesoscale tracer transports in the global ocean circulation. *Science*, 264(5162): 1123-1126.

DeMartini, E. E., Uchiyama, J. H., & Williams, H. A. (2000). Sexual maturity, sex ratio, and size composition of swordfish *Xiphias gladius* caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. *Fishery Bulletin*, 98(3): 489-489.

Dong, C., Lin, X., Liu, Y., Nencioli, F., Chao, Y., Guan, Y., ... & McWilliams, J. C. (2012). Three-dimensional oceanic eddy analysis in the Southern California Bight from a numerical product. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C7).

FAO (Food and Agriculture Organization). (2000). Information on Fisheries management in Japan. Recuperado de: <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/en/JPN/body.htm>

FAO (Food and Agriculture Organization). (2019). Species Fact Sheets: *Xiphias gladius*. Recuperado de: <http://www.fao.org/fishery/species/2503/en>

FAO (Food and Agriculture Organization). (2020a). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>

FAO (Food and Agriculture Organization). (2020b). Global Capture Production 1950-2018. Recuperado de: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/query/en>

Fishstat. (2020). Global Capture Production. Recuperado de: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/query/en>

- Florida Museum of Natural History. (2017). Swordfish *Xiphias gladius*. Recuperado de: <https://www.floridamuseum.ufl.edu/discover-fish/species-profiles/xiphias-gladius/>
- FRA (Fisheries Research Agency). (2012). Japan's fishery at a glance. Recuperado de: https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/23zudemiru_en2.pdf
- FRA (Fisheries Research Agency). (2019a). Swordfish *Xiphias gladius*. Recuperado de: http://kokushi.fra.go.jp/H30/H30_24.html
- FRA (Fisheries Research Agency). (2019b). Swordfish *Xiphias gladius*. Recuperado de: http://kokushi.fra.go.jp/H30/H30_21.html
- Gaube, P., McGillicuddy, D. J., Chelton, D. B., Behrenfeld, M. J., & Strutton, P. G. (2014). Regional variations in the influence of mesoscale eddies on near-surface chlorophyll. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(12): 8195-8220.
- Govender, Anesh. (2016). Swordfish: Global Lessons. *Nature*, 535(7613): 497-498.
- Hinton, M. G., & Deriso, R. B. (1994). Distribution and stock assessment of swordfish, *Xiphias gladius*, in the eastern Pacific Ocean from catch and effort data standardized on biological and environmental parameters. *International Symposium on Pacific Swordfish*, NOAA Technical Report NMFS 142: 161-179.
- Hinton, M. G., & Alvarado Bremer, J. (mayo, 2007). Stock structure of swordfish in the Pacific Ocean. Trabajo presentado a la IATTC Working Group on Stock Assessment.
- Hsu, A. C., Boustany, A. M., Roberts, J. J., Chang, J. H., & Halpin, P. N. (2015). Tuna and swordfish catch in the US northwest Atlantic longline fishery in relation to mesoscale eddies. *Fisheries oceanography*, 24(6): 508-520.
- Igarashi, H., Saitoh, S. I., Ishikawa, Y., Kamachi, M., Usui, N., Sakai, M., & Imamura, Y. (2018). Identifying potential habitat distribution of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) off the eastern coast of Japan in winter. *Fisheries Oceanography*, 27(1):16-27.
- Igarashi, H., Awaji, T., Kamachi, M., Ishikawa, Y., Usui, N., Fujii, Y. (2011). A statistical approach to identify optimal habitat suitability of neon flying squid in northwestern north

pacific by using satellite datasets and 3-D ocean data assimilation product. North Pacific Marine Science Organization llevado a cabo en la conferencia PICES-2011 meeting, Khabarovsk, Russia.

ISC Billfish Working Group. (2018). Stock Assessment for Swordfish *Xiphias gladius* in the Western and Central North Pacific Ocean through 2016. Recuperado de: [http://isc.fra.go.jp/pdf/ISC18/ISC 18 ANNEX 16 Stock Assessment of WCNPO Swordfish through 2016 FINAL.pdf](http://isc.fra.go.jp/pdf/ISC18/ISC_18_ANNEX_16_Stock_Assessment_of_WCNPO_Swordfish_through_2016_FINAL.pdf)

Jiang, W., Peng, L., Jin, T., & Zhang, S. (2017). Variability of the Kuroshio extension system in 1992–2013 from satellite altimetry data. *Geodesy and Geodynamics*, 8(2): 103-110.

Kawai, H. (1972). Hydrography of the Kuroshio Extension, Kuroshio: its physical aspects. H. Stommel: 235-352.

Kelly, K. A., & Thompson, L. (2016). Climate science: Unexpected fix for ocean models. *Nature*, 535(7613): 497-498.

Klawe, W. (1980). Esquema para clasificar atunes. *Rev. Com. Perm. Pac. Sur*, 11: 5-12.

Lin, P., Chai, F., Xue, H., & Xiu, P. (2014). Modulation of decadal oscillation on surface chlorophyll in the Kuroshio Extension. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(1): 187-199.

Mahadevan, A., & Tandon, A. (2006). An analysis of mechanisms for submesoscale vertical motion at ocean fronts. *Ocean Modelling*, 14(3-4): 241-256.

Martí, C., Vallerani, M., & Ojamaa, P. (2017). Research for PECH Committee – Fisheries in Japan. Brussels, Belgium. Policy Department for Structural and Cohesion Policies.

McCrae, J. (1994). Swordfish (*Xiphias gladius*). Oregon Development Species. Oregon Dept. of Fish and Wildlife: 5 pp.

Mejuto, J., García, B., & Ramos, A. (2012). Sinopsis sobre la Biología y el comportamiento del pez espada (*Xiphias gladius*). Recuperado de: <http://www.co.ieo.es/tunidos/esp/FLOTAesp/SWO.pdf>

- Methot, R.D., & Wetzel, C.R. (2013). Stock Synthesis: a biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. *Fisheries Research*, 142: 86–99.
- Mizuno, K., & White, W. B. (1983). Annual and interannual variability in the Kuroshio current system. *Journal of physical oceanography*, 13(10): 1847-1867.
- Nakamura, I. (1985). FAO species catalogue: Billfishes of the world. FAO Fish. Synop., 125: 65.
- Okubo, A. (1970). Horizontal dispersion of floatable particles in the vicinity of velocity singularities such as convergences, *Deep Sea Res.*, 17: 445– 454.
- Pierini, S. (2014). Kuroshio Extension bimodality and the NorthPacific Oscillation: A case of intrinsic variability paced by external forcing. *J. Climate*, 27: 448–454.
- Primeau, F., & Newman, D. (2008). Elongation and contraction of the western boundary current extension in a shallow-water model: A bifurcation analysis. *J. Phys. Oceanogr.*, 38: 1469–1485.
- Qiu, B. (2001). Kuroshio and Oyashio currents. *Ocean currents: a derivative of the encyclopedia of ocean sciences*: 61-72.
- Qiu, B., & Chen, S. (2005). Variability of the Kuroshio Extension jet, recirculation gyre, and mesoscale eddies on decadal time scales. *J. Phys. Oceanogr*, 35(11): 2090-2103.
- Qiu, B., & Chen, S. (2010). Eddy-mean flow interaction in the decadal modulating Kuroshio Extension system. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 57(13-14): 1098-1110.
- Qiu, B., Chen, S., Schneider, N., & Taguchi, B. (2014). A coupled decadal prediction of the dynamic state of the Kuroshio Extension system. *Journal of climate*, 27(4):1751-1764.
- Rojas, J., & Orrego, H. (2006). Análisis de las capturas de pez espada *Xiphias gladius Linnaeus 1758* a bordo de embarcaciones palangreras entre Julio 1997 y Mayo 1998. *Anales científicos UNALM*, 66.

- Sasaki, Y. N., & Schneider, N. (2011). Decadal shifts of the Kuroshio Extension jet: Application of thin-jet theory. *J. Phys. Oceanogr.*, 41: 979–993. doi:10.1175/2011JPO4550.1.
- Scott, W. B., & Tibbo, S. N. (1968). Food and feeding habits of swordfish, *Xiphias gladius*, in the western North Atlantic. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 25(5): 903-919.
- Sculley, M., Ijima, H., & Chang, Y. J. (2018). A base-case model in Stock Synthesis 3.30 for the 2018 north Pacific swordfish (*Xiphias gladius*) stock assessment.
- Seki, M. P., Polovina, J. J., Kobayashi, D. R., Bidigare, R. R., & Mitchum, G. T. (2002). An oceanographic characterization of swordfish (*Xiphias gladius*) longline fishing grounds in the springtime subtropical North Pacific. *Fisheries Oceanography*, 11(5): 251-266
- Seo, Y., Sugimoto, S., & Hanawa, K. (2014). Long-term variations of the Kuroshio Extension path in winter: Meridional movement and path state change. *Journal of climate*, 27(15): 5929-5940.
- Shapiro, S. (1950). The Japanese long-line fishery for tunas. *Fish and Wildlife Service. Washington*, 25: 317.
- Skalski, J., Ryding, K., & Millspaugh, J. (2010). *Wildlife demography: analysis of sex, age, and count data*. Elsevier.
- Sosa-Nishizaki, O. (1990). A study on the swordfish *Xiphias gladius* stocks in the Pacific Ocean (Tesis doctoral, University of Tokyo).
- Sosa-Nishizaki, O., & M. Shimizu. (1991). Spatial and temporal CPUE trends and stock unit inferred from them for the Pacific swordfish caught by the Japanese tuna longline fishery. *Bulletin of the National Research Institute of Far Seas Fisheries* 28: 75-89.
- Stammer, D. (1998). On eddy characteristics, eddy transports, and mean flow properties. *Journal of Physical Oceanography*, 28(4): 727-739.
- Sugimoto, T., & Tameishi, H. (1992). Warm-core rings, streamers and their role on the fishing ground formation around Japan. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 39: 183-201.

- Sugimoto, T., Kawasaki, Y., & Li, J. (1992). A description of the time-dependent hydrographic structure of the warm streamer around the Kuroshio warm-core ring 86B. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 39: 77-96.
- Takahashi, M., Okamura, H., Yokawa, K., & Okazaki, M. (2003). Swimming behaviour and migration of a swordfish recorded by an archival tag. *Marine and Freshwater Research*, 54(4): 527-534.
- Tanaka, Y., & Yamaguchi, K. (2017). Horizontal and vertical swimming behavior of swordfish *Xiphias gladius* in the northwestern Pacific. *Journal of the Fisheries Society of Japan*, 83(6): 961-970.
- Tian, S., Chen, X., Chen, Y., Xu, L., & Dai, X. (2009). Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommatrephes bratramii* in the northwestern Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 95(2-3): 181-188.
- Tomosada, A. (1986). Generation and decay of Kuroshio warm-core rings. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 33(11-12): 1475-1486.
- Uda, M. (1961). Fisheries oceanography in Japan. *Calif. Coop. Oceanogr. Fish. Invest. Reports*, 8.
- Usui, N., Wakamatsu, T., Tanaka, Y., Hirose, N., Toyoda, T., Nishikawa, S. & Ishikawa, Y. (2017). Four-dimensional variational ocean reanalysis: a 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30). *Journal of Oceanography*, 73(2): 205-233.
- Vásquez, S., Correa-Ramírez, M., Parada, C., & Sepúlveda, A. (2013). The influence of oceanographic processes on jack mackerel (*Trachurus murphyi*) larval distribution and population structure in the southeastern Pacific Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, 70(6): 1097-1107.
- Vortmeyer-Kley, R., Gräwe, U., & Feudel, U. (2016). Detecting and tracking eddies in oceanic flow fields: a Lagrangian descriptor based on the modulus of vorticity. *Nonlinear Processes in Geophysics* 23(4): 159-173.

- Watanabe, H., Kubodera, T., & Yokawa, K. (2009). Feeding ecology of the swordfish *Xiphias gladius* in the subtropical region and transition zone of the western North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 396: 111-122.
- Weidner, D., & Serrano, J. (1997). South America: Pacific, Part A, Section 1 (Segments A and B) in Latin America. *World swordfish fisheries: an analysis of swordfish fisheries, market trends and trade patterns*. Silver Spring, Maryland.
- Weiss, J. (1991). The dynamics of enstrophy transfer in two-dimensional hydrodynamics. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 48(2-3): 273-294.
- Wilson, C. A., & Dean, J. M. (1983). The Potential Use of Sagittae for Estimating Age of Atlantic Swordfish, *Xiphias gladius*. *Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks*.
- Yabe, H., Ueyanagi, S., Kikawa, S., & Watanabe, H. (1959). Study on the life-history of the swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus. *Rep. Nankai Reg. Fish. Res. Lab*, 10: 107-150.
- Yagi, N., Clark, M. L., Anderson, L. G., Arnason, R., & Metzner, R. (2012). Applicability of Individual Transferable Quotas (ITQs) in Japanese fisheries: A comparison of rights-based fisheries management in Iceland, Japan, and United States. *Marine Policy*, 36(1): 241-245.
- Yang, H., Qiu, B., Chang, P., Wu, L., Wang, S., Chen, Z., & Yang, Y. (2018). Decadal variability of eddy characteristics and energetics in the Kuroshio Extension: Unstable versus stable states. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(9): 6653-6669.
- Yasuda, I., Okuda, K., & Hirai, M. (1992). Evolution of a Kuroshio warm-core ring—Variability of the hydrographic structure. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 39: 131-161.
- Yasuda, I. (2003). Hydrographic structure and variability in the Kuroshio-Oyashio transition area. *Journal of Oceanography*, 59(4): 389-40.
- Young, J. W., & Drake, A. D. (2004). Age and growth of broadbill swordfish (*Xiphias gladius*) from Australian waters. *CSIRO Marine Research*.

Zhang, Z., Zhang, Y., Wang, W., & Huang, R. X. (2013). Universal structure of mesoscale eddies in the ocean. *Geophysical Research Letters*, 40(14): 3677-3681.

Zhang, Z., Wang, W., & Qiu, B. (2014). Oceanic mass transport by mesoscale eddies. *Science*, 345(6194): 322-324.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Cantidad de datos de captura/esfuerzo disponibles del 2004 al 2010

Mes	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Enero		417	500	583	516	444	432	2892
Febrero		412	378	459	423	404	324	2400
Marzo		408	261	326	407	454	276	2132
Abril		428	149	244	284	209	238	1552
Mayo		356	114	244	362	229	342	1647
Junio		129	102	241	408	206	83	1169
Julio	2	83	185	187	320	149		926
Agosto	42	81	93	193	115	40		564
Setiembre	154	282	235	326	188	58		1243
Octubre	209	279	221	294	300	224		1527
Noviembre	188	176	187	423	277	412		1663
Diciembre	356	288	299	504	386	365		2198
Total	951	3339	2724	4024	3986	3194	1695	19913

ANEXO 2: Descripción del modelo FORA-WNP30 utilizado y cantidad de datos de los parámetros físicos utilizados por año

Área del modelo:	Pacífico Norte occidental 117°E-160°O 15°N-65°N
Resolución horizontal:	1/10° x 1/10°
Niveles verticales:	54
Asimilación de datos:	4DVAR
Periodo de asimilación de datos:	10 días
Periodo:	1982-2012

Parámetros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Temperatura (°C)	1930	4632	4632	4632	4632	4632	2316	27406
Salinidad (ups)	1930	4632	4632	4632	4632	4632	2316	27406
Velocidades (m/s)	1930	4632	4632	4632	4632	4632	2316	27406
Altura superficial del mar (m)	1930	4632	4632	4632	4632	4632	2316	27406
Total	7720	18528	18528	18528	18528	18528	9264	109624

ANEXO 3: Código utilizado para el desarrollo de la ecuación de la Captura por unidad de esfuerzo (CPUE)

```
load KesenNumaOverView
```

```
catch_max=max(cat(2,catch_calc, catch_boat, catch_total),[],2);  
total_hook=total_pot.*hook_per_pot./100;  
CPUE=catch_max./total_hook;
```

ANEXO 4: Código utilizado para la determinación de la Altura dinámica del mar

```
pathn='~/FORA/dias/data/ocean/FORA/'
j=0;
for iy=2004:1:2010
    for im=1:1:12
        disp(['Year: ' num2str(iy) ' Month: ' num2str(im)])
        j=j+1;
        pathn=sprintf('~/FORA/dias/data/ocean/FORA/%04d',iy);
        fn=sprintf('m4dv%04d%02dmean.nc',iy,im);
        % open the monthly average netcdf file of FORA read only
        nc=netcdf(fullfile(pathn,fn),'r');
        % variables
        % reading longitude for temperature etc
        lont = nc{'lont'}(:);
        % reading latitude for temperature etc
        latt = nc{'latt'}(:);
        % reading surface height
        ssh = nc{'ht'}(:);
        %meshgrid
        [lonti,latti]=meshgrid(lont,latt);
        hold on
        %[c,h]=contour(lont,latt,ssh,[0 0],'k');
        [c]=contourc(lont,latt,ssh,[0 0]);
        [lonk,latk]=findlongestcontour(c);

        indx=find(140<=lonk & lonk<=175 & ...
                25<=latk & latk<=45);
        latki=latk(indx); lonki=lonk(indx);
        dr=distance(latki(1:end-1),lonki(1:end-1),latki(2:end),lonki(2:end));
        dX=1852*60*dr;
        pathlength(j,:)=sum(dX)/1000;
        daynum(j,:)=datenum(iy,im,15,0,0,0);
    end

plot(daynum,pathlength./1000,'k')

dateFormat = 11;
datetick('x',dateFormat)
end
save('PathLengthData','daynum','pathlength')
```


ANEXO 5: Código utilizado para el desarrollo de los parámetros de OW y vorticidad

```

Omega=2*pi/86400;
range=[140 175 25 45];
daynumfish=datenum(yearnum,monthnum,daynum,0,0,0);
pathFORA='/Users/silvanaduran/FORA/dias/data/ocean/FORA';
for ifish=1:1:size(CPUE,1)
    yearnow=yearnum(ifish);
    monthnow=monthnum(ifish);
    pathFORAnow=sprintf([pathFORA '%04d'],yearnow);
end
j=0;
jf=0;
for iyear=2004:1:2010
    for imonth=1:1:12
        for iday=1:1:31
            disp(['Year: ' num2str(iyear) ' Month: ' num2str(imonth) ' Day: ' num2str(iday)])
            indx=find(iyear==yearnum & imonth==monthnum & iday==daynum ...
                & range(1)<=longitude & longitude <=range(2) & range(3) <= latitude & latitude<=range(4));
            if ~isempty(indx)
                j=j+1;
                pathFORAnow=sprintf([pathFORA '%04d'],iyear);
                FORAfn=sprintf('m4dv%04d%02d%02d.nc',iyear,imonth,iday);
                nc=netcdf(fullfile(pathFORAnow,FORAfn),'r');
                SST=nc{'to'}(1,:,:)
                Salt=nc{'so'}(1,:,:)
                % get surface layer flow
                u0=nc{'uo'}(1,:,:)/100;
                v0=nc{'vo'}(1,:,:)/100;
                if j==1
                    lonfora=nc{'lont'}(:);
                    latfora=nc{'latt'}(:);
                    [lonfora,latfora]=meshgrid(lonfora,latfora);
                    Coriolis=2.*Omega.*sin(pi.*latfora./180);
                    mask=double(range(1)<=lonfora & lonfora <=range(2) & range(3) <= latfora & latfora<=range(4) );
                    drx=distance(latfora(:,1:end-1),lonfora(:,1:end-1),latfora(:,2:end),lonfora(:,2:end));
                    dry=distance(latfora(1:end-1,:),lonfora(1:end-1,:),latfora(2:end,:),lonfora(2:end,:));
                    % get x and y distance
                    x=cat(2,zeros(size(drx,1),1),cumsum(drx.*1852*60,2));
                    y=cat(1,zeros(1,size(dry,2)),cumsum(dry.*1852*60,1));
                end
                % compute their lateral gradient
                [ux,uy]=mygradient2D(u0,x,y);
                [vx,vy]=mygradient2D(v0,x,y);
                Vort=vx-uy;
                nVort=Vort./Coriolis;
                % compute Okubo Weiss
                OW=4.*(ux.^2+vx.*uy);

                for ifish=1:1:length(indx)
                    jf=jf+1;
                    fishSST(jf)=interp2(lonfora,latfora,SST,longitude(indx(ifish)),latitude(indx(ifish)));
                    fishSalt(jf)=interp2(lonfora,latfora,Salt,longitude(indx(ifish)),latitude(indx(ifish)));
                    fishlon(jf)=longitude(indx(ifish));
                    fishlat(jf)=latitude(indx(ifish));
                    fishdaynum(jf)=daynumfish(indx(ifish));
                    fishCPUE(jf)=CPUE(indx(ifish));
                    fishVort(jf)=interp2(lonfora,latfora,nVort,longitude(indx(ifish)),latitude(indx(ifish)));
                    fishOW(jf)=interp2(lonfora,latfora,OW,longitude(indx(ifish)),latitude(indx(ifish)));
                end
                close(nc)
            end
        end
    end
end
save('SwordFishdataOrderInTimeSST')

```

ANEXO 6: Código utilizado para el desarrollo de la detección de remolinos

```

load ../KesenNumaOverView.mat
load coast

catch_max=max(cat(2,catch_calc, catch_boat, catch_total),[],2);
total_hook=total_pot.*hook_per_pot./100;
CPUe=catch_max./total_hook;
daynumfish=datenum(yearnum,monthnum,daynum,0,0,0);

pathin='~/FORA/dias/data/ocean/FORA/';
basein='m4dv';

fn=sprintf([basein '%4d%02d.nc'],2004,1);
fng=fullfile([pathin '/' num2str(2004) '/'],fn);
ncg=netcdf.open(fng,'nc_nowrite');
% get var attributes
jvar=0;
varname={'ht';'so';'to';'uo';'vo'};
for ivar=[2 8 10 11 12];
    jvar=jvar+1;
    varid=netcdf.inqVarID(ncg, char(varname(jvar)));
    scale_fac=double(ncg.getAtt(ncg,varid,'scale_factor'));
    add_offset(jvar,1)=double(ncg.getAtt(ncg,varid,'add_offset'));
end
netcdf.close(ncg);
ncg=netcdf(fng,'r');
lont=ncg{'lont'}(:);
latt=ncg{'latt'}(:);
lonu=ncg{'lonu'}(:);
latu=ncg{'latu'}(:);
depth=ncg{'depth'}(:);
close(ncg)
OMEGA=2.*pi./864000;
[loni,lati]=meshgrid(lont,latt);

f=2.*OMEGA.*sin(pi.*lati./180);
d_x=compdist(loni(:,1:end-1),lati(:,1:end-1),loni(:,2:end),lati(:,2:end));
d_y=compdist(loni(1:end-1,:),lati(1:end-1,:),loni(2:end,:),lati(2:end,:));
xi=cat(2,zeros(size(d_x,1),1),cumsum(d_x,2));
yi=cat(1,zeros(1,size(d_y,2)),cumsum(d_y,1));
[dx,dd]=gradient(xi);
[dy,dy]=gradient(yi);
area2d=dx.*dy;

hf=figure;
Pf=get(hf,'position');
set(hf,'position',Pf,'color','k');
Pcf=get(gcf,'position');
Pf(3)=Pf(3).*1.2;
Pf(4)=Pf(4).*1.5;
set(gcf,'Position', Pf)

[xxii,yyii]=meshgrid(-250000:10000:250000,-250000:10000:250000);
[xni,yni]=meshgrid(-5:0.2:5,-5:0.2:5);
TRI = delaunayn([xxii(:) yyii(:)]);
TRI2 = delaunayn([xni(:) yni(:)]);
ii=0;
for iy=2004:1:2010
    for im=1:1:12
        ii=ii+1;
        CPUEWCR(ii, :, :)=zeros(1,size(xxii,1),size(xxii,2));
        CPUEWCRn(ii, :, :)=zeros(1,size(xxii,1),size(xxii,2));
        CPUeCCR(ii, :, :)=zeros(1,size(xxii,1),size(xxii,2));
        CPUeCCRn(ii, :, :)=zeros(1,size(xxii,1),size(xxii,2));

        NWCRCR(ii, :, :)=zeros(1,size(xxii,1),size(xxii,2));
        NWCRCRn(ii, :, :)=zeros(1,size(xxii,1),size(xxii,2));
        NCCRCR(ii, :, :)=zeros(1,size(xxii,1),size(xxii,2));
        NCCRCRn(ii, :, :)=zeros(1,size(xxii,1),size(xxii,2));
    end
end
end

```

```

iter=0;
for iy=2004:1:2010
    for im=1:1:12
        iter=iter+1;
        times(iter,1)=datenum(iy,im,15,0,0,0);
        fneddy=sprintf(['basein 'Y%4dM%02d_EddyDetect.mat'],iy,im);
        load(fneddy)
        recn=size(data,2);
        for irec=1:1:recn
            disp(datestr(datenum(iy,im,irec,0,0,0)))

            indx=find(iy==yearnum & im==monthnum & irec==daynum);
            title(datestr(datenum(iy,im,irec,0,0,0)),'color','w')
            if ~isempty(indx)
                jf=0;
                for ifish=1:1:length(indx)
                    jf=jf+1;
                    fishlon(jf)=longitude(indx(ifish));
                    fishlat(jf)=latitude(indx(ifish));
                    fishCPUE(jf)=CPUE(indx(ifish));
                end
                fishX=interp2(lonl,latl,xi,fishlon,fishlat);
                fishY=interp2(lonl,latl,yi,fishlon,fishlat);

                edata=data(irec).eddy;
                for ie=1:1:size(edata,2)

                    zetai=edata(ie).Curlz;
                    plot(edata(ie).lon,edata(ie).lat,'y','linewidth',2.5);
                    hold on
                    if zetai>=0
                        plot(edata(ie).lon,edata(ie).lat,'b','linewidth',1.5);
                    else
                        plot(edata(ie).lon,edata(ie).lat,'r','linewidth',1.5);
                    end
                    plot(edata(ie).clon,edata(ie).clat,'wx');

                    zeta(ie)=edata(ie).Curlz;
                    eddyX(ie)=edata(ie).cx;
                    eddyY(ie)=edata(ie).cy;
                    eddylon(ie)=edata(ie).clon;
                    eddylat(ie)=edata(ie).clat;
                    eddyInd=edata(ie).ind2d;
                    eddyarea(ie)=sum(area2d(eddyInd));
                    eddyR(ie)=sqrt(eddyarea(ie)./pi);
                end
                T=delaunayn([eddyX(:) eddyY(:)]);
                [kfish distfish]=dsearchn([eddyX(:) eddyY(:)],T,[fishX(:) fishY(:)]);

                jf=0;
                for ifish=1:1:length(indx)
                    if ~isnan(kfish(ifish))
                        jf=jf+1;
                        dx_eddy(jf)=fishX(ifish)-eddyX(kfish(ifish));
                        dy_eddy(jf)=fishY(ifish)-eddyY(kfish(ifish));
                        dxn_eddy(jf)=dx_eddy(jf)./eddyR(kfish(ifish));
                        dyn_eddy(jf)=dy_eddy(jf)./eddyR(kfish(ifish));
                        zeta_eddy(jf)=zeta(kfish(ifish));

                        plot(fishlon(ifish),fishlat(ifish),'rp','markersize',10);
                        plot(eddylon(kfish(ifish)),eddylat(kfish(ifish)),'bp','markersize',10)
                    end
                end
            end
        end
    end
end

save('ClosestEddyData','xxii','yyii','xni','yni','CPUEWCR','CPUEWCRn',...
    'NWCR','NnWCR','CPUECCR','CPUECCRn','NCCR','NnCCR','times')

```

ANEXO 7: Código utilizado para las gráficas de correlaciones de CPUE con los parámetros de OW y vorticidad

```
load('SwordFishdataOrderInTimeSST')

Vorti=[-5e-5:.25e-5:5e-5];
OWi=[-6e-10:.25e-10:6e-10];

Vorti=-2:0.02:2;
OWi=-5e-9:2e-10:3e-9;

Vorti2=0.5.*(Vorti(1:end-1)+Vorti(2:end));
OWi2=0.5.*(OWi(1:end-1)+OWi(2:end));

Fish_CPUE2=fishCPUE1(fishCPUE1<1000);
Fish_Vort2=fishVort1(fishCPUE1<1000);
Fish_OW2=fishOW1(fishCPUE1<1000);

[FishCPUE_Vort,FishCPUE_Vort_std,Vorti]=binavg(Fish_Vort2,Fish_CPUE2,Vorti2);
[FishCPUE_OW,FishCPUE_OW_std,OWi]=binavg(Fish_OW2,Fish_CPUE2,OWi2);

figure
stdy=FishCPUE_Vort_std(~isnan(FishCPUE_Vort_std));
stdx=Vorti(~isnan(FishCPUE_Vort_std));
stdy=cat(2,stdy+FishCPUE_Vort(~isnan(FishCPUE_Vort)),fliplr(-stdy+FishCPUE_Vort(~isnan(FishCPUE_Vort))));
stdx=cat(2,stdx,fliplr(stdx));
hfi=fill(stdx,stdy,'g');
set(hfi,'facecolor',[0.7 0.7 0.7],'edgecolor','none')
hold on
plot(Vorti,FishCPUE_Vort,'k','linewidth',1.25)
figureset1('','Vorticidad (s^-1)','CPUE (ejem/100anz)')
xlim([-0.6 .6])
ylim([0 .7])

figure
stdy=FishCPUE_OW_std(~isnan(FishCPUE_OW_std));
stdx=OWi(~isnan(FishCPUE_OW_std));
stdy=cat(2,stdy+FishCPUE_OW(~isnan(FishCPUE_OW)),fliplr(-stdy+FishCPUE_OW(~isnan(FishCPUE_OW))));
stdx=cat(2,stdx,fliplr(stdx));
hfi=fill(stdx,stdy,'g');
set(hfi,'facecolor',[0.7 0.7 0.7],'edgecolor','none')
hold on
plot(OWi,FishCPUE_OW,'k','linewidth',1.25)
figureset1('','OW (s^-2)','CPUE (ejem/100anz)')
xlim([-0.3E-8 .15E-8])
ylim([0 .7])
```

ANEXO 8: Cantidad de datos pesqueros utilizados por región de estudio

NORTE 36-45°N

Mes	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Enero			15	32	29	171	1	248
Febrero				3	2	39		44
Marzo			1		3		10	14
Abril		16		15	7		13	51
Mayo		85	50	43	120	48	194	540
Junio		78	91	104	209	174	76	732
Julio	2	79	170	138	292	127		808
Agosto	42	81	93	191	115	40		562
Setiembre	154	282	235	273	184	57		1185
Octubre	209	279	221	294	300	224		1527
Noviembre	186	167	166	397	274	403		1593
Diciembre	111	65	162	93	297	182		910
Total	704	1132	1204	1583	1832	1465	294	8214

SUR 25-36°N

Mes	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Enero		417	485	550	487	273	431	2643
Febrero		412	378	455	421	364	324	2354
Marzo		408	260	326	404	454	266	2118
Abril		412	149	229	277	209	225	1501
Mayo		270	62	201	240	180	147	1100
Junio		49	11	137	199	32	6	434
Julio		4	15	48	28	22		117
Agosto				2				2
Setiembre				53	4	1		58
Octubre								0
Noviembre	2	9	21	24	3	8		67
Diciembre	244	223	136	411	88	181		1283
Total	246	2204	1517	2436	2151	1724	1399	11677

ANEXO 9: Longitud mensual, en 103 km, de la trayectoria promedio de la extensión de la Kuroshio entre las latitudes 25-45°N y longitudes 140-170°E durante los años 2004 al 2010

Mes	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Promedio
Enero	5.611	4.424	4.539	7.157	4.385	6.967	5.032	5.445
Febrero	4.484	4.894	5.469	5.843	5.371	6.274	4.909	5.321
Marzo	5.351	5.118	4.961	4.930	5.494	5.853	5.459	5.309
Abril	5.502	6.733	5.257	6.658	7.791	5.105	4.419	5.924
Mayo	4.719	5.753	6.182	6.973	6.831	5.151	4.989	5.800
Junio	4.751	6.499	6.957	6.043	8.004	6.309	5.025	6.227
Julio	4.674	7.205	5.544	5.505	5.876	7.284	4.529	5.802
Agosto	5.322	5.214	6.410	8.441	7.619	4.825	5.669	6.214
Sept	5.754	5.491	5.849	7.528	8.386	5.538	6.279	6.404
Octub	6.817	7.285	8.384	6.192	8.051	5.324	7.447	7.071
Nov	6.975	7.146	8.819	6.472	7.534	6.126	6.907	7.140
Dic	4.698	4.534	6.725	7.630	5.372	4.721	4.865	5.506
Promedio	5.388	5.858	6.258	6.614	6.726	5.790	5.461	6.014

ANEXO 10: Salida de pruebas estadísticas

Salidas de correlación de Spearman entre la Captura por Unidad de esfuerzo (CPUE) y el parámetro de vorticidad.

- Para todo el periodo de estudio 2004 – 2010

rho	-0,774345
tvalue	-10,94554
gl	80
pvalue	1,432E-17

- Para la fase inestable (2006-2009) en la región norte (36-45°N)

rho	-0,578106
tvalue	-5,623513
gl	63
pvalue	4,585E-07

- Para la fase inestable (2006-2009) en la región sur (25-36°N)

rho	-0,727763
tvalue	-9,189769
gl	75
pvalue	6,491E-14

- Para la fase estable (2004, 2005, 2010) en la región norte (36-45°N)

rho	-0,538865
tvalue	-4,568265
gl	51
pvalue	3,145E-05

- Para la fase estable (2004, 2005, 2010) en la región sur (25-36°N)

rho	-0,518591
tvalue	-4,619139
gl	58
pvalue	2,19E-05

Salidas de correlación de Spearman entre la Captura por Unidad de esfuerzo (CPUE) y el parámetro de Okubo-Weiss (OW).

- Para todo el periodo de estudio 2004 – 2010

rho	0,0189472
tvalue	0,1072008
gl	32
pvalue	0,9152989

- Para la fase inestable (2006-2009) en la región norte (36-45°N)

rho	-0,417306
tvalue	-2,341471
gl	26
pvalue	0,027146

- Para la fase inestable (2006-2009) en la región sur (25-36°N)

rho	0,158206
tvalue	0,8325477
gl	27
pvalue	0,4124037

- Para la fase estable (2004, 2005, 2010) en la región norte (36-45°N)

rho	-0,022097
tvalue	-0,093773
gl	18
pvalue	0,9263251

- Para la fase estable (2004, 2005, 2010) en la región sur (25-36°N)

rho	0,4760023
tvalue	2,4205597
gl	20
pvalue	0,0251354