



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



EFFECTO DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL EN LA DISTRIBUCIÓN
ESPACIO-TEMPORAL DE CARDÚMENES NO ASOCIADOS DE ATÚN
ALETA AMARILLA (*Thunnus albacares*) EN EL NOROESTE DE
MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA
PABLO JIMÉNEZ TELLO

LA PAZ, B. C. S., MARZO DE 2014



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 18 del mes de Marzo del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

“EFECTO DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL
DE CARDÚMENES NO ASOCIADOS DE ATÚN ALETA AMARILLA (*Thunnus albacares*)
EN EL NOROESTE DE MÉXICO”

Presentada por el alumno:

JIMÉNEZ

Apellido paterno

TELLO

materno

PABLO ARDJASP

nombre(s)

Con registro:

A	1	2	0	3	3	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. SOFÍA ORTEGA GARCÍA
Directora de Tesis

DR. EMILIO JOSÉ BEIER MARTIN
2º. Director de Tesis

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

DR. GERMÁN PONCE DÍAZ

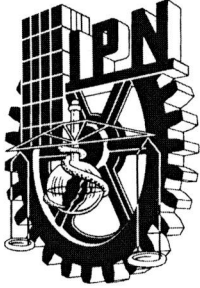
DR. HÉCTOR VILLALOBOS ORTIZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 25 del mes Marzo del año 2014
el (la) que suscribe BIÓL. PABLO ARDJASP JIMÉNEZ TELLO alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro A120333 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DRA. SOFÍA ORTEGA TELLO Y DR. EMILIO JOSÉ BEIER MARTIN

y cede los derechos del trabajo titulado:

“EFECTO DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL EN LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE CARDÚMENES
NO ASOCIADOS DE ATÚN ALETA AMARILLA (*Thunnus albacares*) EN EL NOROESTE DE MÉXICO”

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: sphyrnalewini@gmail.com - sortega0408@gmail.com - ebeier@cicese.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIÓL. PABLO ARDJASP JIMÉNEZ TELLO

nombre y firma

EL MAR

*NECESITO del mar porque me enseña:
no sé si aprendo música o conciencia:
no sé si es ola sola o ser profundo
o sólo ronca voz o deslumbrante
suposición de peces y navíos.*

*El hecho es que hasta cuando estoy dormido
de algún modo magnético circulo
en la universidad del oleaje.
No son sólo las conchas trituradas
como si algún planeta tembloroso
participara paulatina muerte,
no, del fragmento reconstruyo el día,
de una racha de sal la estalactita
y de una cucharada el dios inmenso.*

*Lo que antes me enseñó lo guardo! Es aire,
incesante viento, agua y arena.*

*Parece poco para el hombre joven
que aquí llegó a vivir con sus incendios,
y sin embargo el pulso que subía
y bajaba a su abismo,
el frío del azul que crepitaba,
el desmoronamiento de la estrella,
el tierno desplegarse de la ola
despilfarrando nieve con la espuma,
el poder quieto, allí, determinado
como un trono de piedra en lo profundo,
substituyó el recinto en que crecían
tristeza terca, amontonando olvido,
y cambió bruscamente mi existencia:
di mi adhesión al puro movimiento.*

Pablo Neruda

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me han brindado todo su apoyo incondicional en los sueños y metas que he emprendido a lo largo de mi vida.

A mi hermano, cómplice de mis aventuras, con quien cuento incondicionalmente en cada momento de mi vida.

A mi novia, quien con su paciencia, amor y apoyo incondicional estuvo presente en cada instante en mi corazón y me brindó la fortaleza para llevar a feliz termino mi maestría.

Gracias por la confianza y el amor que me brindan y por permitirme amarlos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (PIFI-IPN) por los apoyos económicos brindados, que permitieron llevar a feliz término mis estudios de maestría.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por brindarme la oportunidad de seguirme formando profesionalmente y como persona.

A la Dra. Sofía Ortega y el Dr. Emilio Beier por el acompañamiento, apoyo y contribución en el desarrollo de esta tesis y mi formación académica en general.

A los miembros del comité, Dr. Germán Ponce, Dr. Héctor Villalobos y Dr. Felipe Galván por sus valiosos aportes para mejorar este trabajo.

Al Dr. Raúl Martínez por su amistad, consejos y aportes en el manejo de R y la elaboración de modelos.

A Jean Linero por su amistad y apoyo en el manejo de Matlab.

A mi primo Esteban por su amistad y colaboración brindada en la revisión de la redacción de esta tesis y a mis amigos Andrés, Millo, Beto, Edgardo, Juan, Kike, Fatima, Hideki, Ulianov, Alfredo “tigre” y los que se me escapen en este instante, por su amistad y apoyo que me permitieron sentirme acompañado durante estos años.

Al personal del departamento de servicios escolares Humberto Ceseña y Cesar Casas, quienes estuvieron siempre dispuestos a colaborarme en los trámites escolares que llegué a necesitar.

Un agradecimiento muy especial a las señoras de la cafetería del CICIMAR-IPN, con su sistema de fiado para poder comer cuando escaseaba el dinero.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABLAS	VI
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	4
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
4. OBJETIVOS.....	10
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
5. ÁREA DE ESTUDIO	11
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
6.1. BASES DE DATOS	14
6.1.1. Datos de pesca	14
6.1.2. Variables Ambientales.....	14
6.2. ANÁLISIS DE DATOS.....	15
6.2.1. Datos de capturas.....	15
6.2.2. Distribución de capturas.....	16
6.2.3. Análisis del éxito de pesca.....	17
6.2.4. Análisis de las capturas con variables ambientales.....	19
6.2.5. Modelos de predicción espacial del recurso.....	19
7. RESULTADOS.....	22
7.1. ANÁLISIS Y DISTRIBUCIÓN DE CAPTURAS.....	22
7.2. ANÁLISIS DE ÉXITO DE PESCA.....	28
7.2.1. Clases de capturas.....	28
7.2.2. Correlación lineal de las clases de capturas con las variables ambientales.....	34
7.3. ANÁLISIS DE LAS CAPTURAS CON RESPECTO A LAS VARIABLES AMBIENTALES	35

7.4. MODELO DE PREDICCIÓN ESPACIAL DEL RECURSO.....	47
8. DISCUSIÓN.....	52
8.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS CAPTURAS.....	52
8.2. ANÁLISIS DEL ÉXITO DE PESCA.....	54
8.2.1. <i>Clases de capturas.....</i>	<i>54</i>
8.2.2. <i>Correlación lineal de categorías de capturas con variables ambientales.....</i>	<i>56</i>
8.3. ANÁLISIS DE LAS CAPTURAS CON VARIABLES AMBIENTALES	57
8.4. MODELOS DE PREDICCIÓN ESPACIAL DEL RECURSO	61
9. CONCLUSIONES	66
10. RECOMENDACIONES.....	67
11. LITERATURA CITADA.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio.....	11
Figura 2. Esquema de la circulación en el Océano Pacífico Oriental Tropical. (CC) Corriente de California, (CNE) Corriente Nor-Ecuatorial, (BTCC) Brazo Tropical de la Corriente de California, (SCGC) Sistema de Corrientes del Golfo de California, (CCM) Corriente Costera Mexicana y (CT) Corriente de Tehuantepec.	13
Figura 3. a) Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y b) captura total mensual, de atún aleta amarilla de las tres categorías (350, 680 y 1090 t de capacidad de acarreo) de embarcaciones de la flota atunera mexicana de cerco que operó en el noroeste de México durante 2000-2009.	23
Figura 4. Distribución del esfuerzo de pesca sobre cardúmenes no asociados de las categorías de embarcaciones de la flota atunera mexicana de cerco que operó en el noroeste de México durante 2000-2009. a) cat1, b) cat2 y c) cat3.....	24
Figura 5. Distribución del esfuerzo pesquero (lances) sobre cardúmenes no asociados efectuados en el noroeste de México por la categoría de 350 t de capacidad de acarreo durante el periodo 2000-2009. La línea azul marca la isobata de 200 m.	26
Figura 6. Distribución estacional de las capturas totales de atún aleta amarilla en cuadrantes de un grado obtenida en lances sobre cardúmenes no asociados durante el periodo 2000-2009 en el noroeste de México por la categoría de embarcaciones de 350 t de capacidad de acarreo. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	27
Figura 7. Distribución estacional de la CPUE de atún aleta amarilla en cuadrantes de un grado obtenida en lances sobre cardúmenes no asociados durante el periodo 2000-2009 en el noroeste de México por la categoría de embarcaciones de 350 t de capacidad de acarreo. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.	28
Figura 8. Capturas de atún aleta amarilla realizadas por uno de los barcos de la categoría de 350 t durante el periodo de estudio 2000-2009 en el noroeste de México.	29
Figura 9. Distribución capturas nulas (0 t) de atún aleta amarilla capturado en	

cardúmenes no asociados durante 2000-2009 por la categoría de embarcaciones con capacidad de acarreo de 350 t. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	30
Figura 10. Distribución capturas bajas (≤ 15 t) de atún aleta amarilla capturado en cardúmenes no asociados durante 2000-2009 por la categoría de embarcaciones con capacidad de acarreo de 350 t. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	31
Figura 11. Distribución capturas altas (> 15 t) de atún aleta amarilla capturado en cardúmenes no asociados durante 2000-2009 por la categoría de embarcaciones con capacidad de acarreo de 350 t. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	32
Figura 12. Frecuencia de lances de atún aleta amarilla realizados por clase de captura de las embarcaciones de 350 t de capacidad de acarreo en cardúmenes no asociados durante 2000-2009, para cada estación del año.....	33
Figura 13. Gráficas de dispersión de los valores de CPUE de las embarcaciones atuneras de cerco de 350 t de capacidad de acarreo con las variables, a) hora lance, b) temperatura superficial del mar (<i>in situ</i>), c) anomalías del nivel del mar y d) coeficiente de atenuación de la luz en la columna de agua. La línea sólida representa la tendencia lineal.....	35
Figura 14. Relación entre las variables ambientales a) temperatura superficial del mar (TSM), b) concentración de clorofila (CHL), c) anomalías del nivel del mar (ANM), d) vorticidad relativa del viento (VRV) y e) rapidez del viento (RV), con la frecuencia de lances con captura mayor a las 15 t.	36
Figura 15. Relación entre la temperatura superficial del mar y la frecuencia de lances con captura mayor a las 15 t, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño. ...	37
Figura 16. Distribución estacional los lances con capturas mayores a las 15 t sobrepuesta sobre la temperatura superficial del mar estacional promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño; la línea negra denota la isoterma de los 23 °C.....	38
Figura 17. Relación entre la concentración de la clorofila en mg m^{-3} y la frecuencia de lances con capturas mayores a las 15t .a) invierno, b) primavera, c) verano y d)	

otoño.....	39
Figura 18. Distribución estacional de los lances con captura mayor a las 15 t sobrepuestos sobre la concentración de clorofila promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	40
Figura 19. Relación de las anomalías del nivel del mar y la frecuencia de lances con capturas mayores a las 15 t, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	41
Figura 20. Distribución estacional de los lances con captura mayor a las 15 t sobrepuestos sobre las anomalías del nivel del mar promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	42
Figura 21. Relación entre la vorticidad relativa del viento y la frecuencia de lances con capturas mayores a las 15 t, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	43
Figura 22. Distribución estacional de los lances con captura mayor a las 15 t sobrepuestos sobre la vorticidad relativa del viento promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	44
Figura 23. Relación entre la rapidez del viento y la frecuencia de lances con capturas mayores a las 15 t, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.	45
Figura 24. Distribución estacional de los lances con captura mayor a las 15 t sobrepuestos sobre la rapidez del viento promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.....	46
Figura 25. Validación espacial del modelo para las capturas por lance: observado y predicho.	48
Figura 26. Efecto de las variables sobre la CPUE de atún aleta amarilla capturado en el noroeste de México en cardúmenes no asociados, a) mes, b) temperatura superficial del mar (TSM), c) rapidez del viento (RV) y d) vorticidad relativa del viento (VRV). El área sombreada representa el intervalo de confianza al 95 %. La densidad de los datos se muestra en el diagrama marginal del eje x.	49
Figura 27. Efecto de las variables sobre la CPUE de atún aleta amarilla capturado en el noroeste de México en cardúmenes no asociados, a) concentración de clorofila (CHL), b) anomalías del nivel del mar (ANM), c) distribución espacial (isolíneas representan la CPUE). El área sombreada representa el intervalo de confianza al 95 %. La densidad de los datos se muestra en el diagrama marginal	

del eje x.	50
Figura 28. Predicción de la CPUE de cardúmenes de atún aleta amarilla en cuadrantes de 0.25° en el noroeste de México, durante un año promedio del periodo 2000-2009.....	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Esfuerzo de pesca total (No. de lances), porcentaje de lances sobre cardúmenes no asociados y porcentaje de lances no exitosos (sin captura) por categoría de embarcaciones de la flota atunera mexicana de cerco que operó en el noroeste de México durante el periodo 2000-2009.	25
Tabla 2. Correlación de Pearson entre las variables ambientales y la clase de captura.....	34
Tabla 3. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado.....	47

GLOSARIO

Captura por unidad de esfuerzo (CPUE): Corresponde a la captura obtenida (kg, t, o número de individuos) después de realizar un esfuerzo para obtenerla (lance, días de pesca, viajes de pesca, número de anzuelos).

Cardumen. Conjunto de peces de una o más especies, no necesariamente de especies comerciales.

Frentes. Corresponden a la superficie de contacto de dos masas o corrientes de agua de distintas características hidrodinámicas (temperatura, salinidad, densidad) y poseen producción biológica alta.

Indicador de pesca. Estrategia que utiliza la flota de pesca para detectar un cardumen de atún. Se consideran 3 indicadores: cardúmenes asociados a delfines; cardúmenes asociados a objetos flotantes y cardúmenes no asociados; estos últimos conocidos como “brisa” por el chapoteo que producen en la superficie.

Lance de pesca. Procedimiento de lanzar la red de pesca al mar cuando ya ha sido localizado un cardumen.

Modelos aditivos generalizados (MAG). Modelos estadísticos basados en una generalización no paramétrica de regresiones lineales múltiples, siendo esta una generalización obvia del modelo lineal estándar, que permite interpretaciones más fáciles de las contribuciones de cada variable.

Remolino. Es un gran volumen de agua que gira alrededor de un centro, producido por mareas o corrientes oceánicas. Se caracteriza por las corrientes que fluyen en un movimiento casi circular alrededor del centro de la turbulencia. El sentido de rotación de estas corrientes puede ser ciclónico o anticiclónico.

Surgencia. Es un fenómeno oceanográfico generado por el viento, que ocasiona un movimiento de agua más densa y fría, usualmente rica en nutrientes hacia la superficie del océano, en sustitución de aguas superficiales más cálidas por lo general libres de nutrientes

Termoclina. Capa dentro de un cuerpo de agua donde la temperatura cambia rápidamente con la profundidad.

RESUMEN

La captura de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Pacífico mexicano se realiza sobre tres indicadores de pesca de acuerdo al tipo de cardumen: asociados a delfines, asociados a objetos flotantes y no asociados. Se considera que la distribución de los lances sobre cardúmenes no asociados de atún aleta amarilla se encuentra influenciada por las variables ambientales y presenta un número mayor de lances no exitosos en relación a otros indicadores de pesca. Con la finalidad de determinar el efecto que el medio ambiente tiene en la distribución de éste tipo de cardúmenes, se analizaron las capturas de la flota atunera mexicana en el noroeste de México para el periodo 2000-2009 y se correlacionaron con la temperatura superficial del mar; la concentración de clorofila; las anomalías del nivel del mar; la vorticidad relativa del viento y la rapidez del viento. Para determinar el efecto y realizar las predicciones espacio-temporales de la captura de la especie bajo condiciones ambientales promedio se utilizaron Modelos Aditivos Generalizados. Las embarcaciones de 350 t de capacidad de acarreo se consideraron representativas de este tipo de pesca debido a que el 67 % de sus lances fueron sobre cardúmenes no asociados. La zona de estudio presentó una fuerte variabilidad estacional, con valores mayores de captura en primavera (2,446 t) y una mayor distribución latitudinal en verano. La mayor frecuencia de lances estuvo asociada a una temperatura superficial del mar de 22 °C, a concentraciones de clorofila de 0.2 mg·m⁻³, a anomalías del nivel del mar negativas de -9 cm, a una vorticidad relativa del viento nula y a una rapidez del viento de 4 m·s⁻¹, lo que sugiere la presencia de este tipo de cardúmenes en zonas aledañas a los remolinos ciclónicos. El modelo final predice las mayores capturas durante el mes de junio en la boca del Golfo de California. En general las mayores tasas de captura se ubican en aguas aledañas a Cabo Corrientes y en la costa occidental de la península de Baja California (entre las latitudes 22.8 y 24.7° N).

ABSTRACT

The catch of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Pacific off México is performed on three indicators of fishing according to type of aggregation: associated with dolphins, associated with floating objects and non-associated. Distribution of non-associated aggregations of yellowfin tuna are influenced by environmental variables and presented a greater number of unsuccessful hauls, in relation to other indicators of fishing. To determine the effect that environment has on the distribution of these kinds of aggregations, catches from the Mexican tuna fleet in northwest Mexico during 2000-2009, were analyzed. Afterwards, they were correlated with sea surface temperature, chlorophyll concentration, sea level anomalies, relative wind vorticity and wind speed. To determine the effect and do the time-space prediction of the specie, under average environmental conditions of the capture, a Generalized Additive Model was used. Vessels of 350 t carrying capacity were considered representative of this type of fishing because 67 % of their hauls were on non-associated schools. The study area showed a strong seasonal variability, with higher values for the spring catch (up to 2,446 t) and greater latitudinal distribution in summer. The highest frequency of hauls was associated with a sea surface temperature of 22 °C, chlorophyll concentrations of 0.2 mg·m⁻³, a negative sea level anomaly of -9 cm, at a null relative vorticity of wind and wind speed of 4 m·s⁻¹. This suggests presence of this kind of aggregations in areas surrounded by cyclonic eddies. The final model predicts higher catches during June at the mouth of the Gulf of California. In general, higher catch rates are located in the waters around Cabo Corrientes and the west coast of the Baja California peninsula (between latitudes 22.8 and 24.7° N).

1. INTRODUCCIÓN

El atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) es una especie ampliamente distribuida en las aguas tropicales y subtropicales de los océanos Índico, Pacífico y Atlántico, y ausente en el Mar Mediterráneo (Cole, 1980; Collette & Nauen 1983). Es un organismo que se distribuye en aguas entre 18 °C y 31 °C pero es capaz de incursionar ocasionalmente en aguas con temperaturas menores a 8 °C por periodos cortos (Dagorn *et al.*, 2006; Schaefer *et al.*, 2007). Los desoves de esta especie se han registrado en temperaturas mayores a los 25 °C (Schaefer, 1998).

En el Océano Pacífico se consideran dos stocks de esta especie aunque se reconoce que existe evidencia de cierto intercambio entre ellos (Ward *et al.*, 1994; Hampton *et al.*, 2004). El primero, distribuido en el Pacífico Central y Oeste, es considerado por algunos autores como sobreexplotado (Majkowski, 2007), mientras que otros lo rechazan y lo califican como en equilibrio (Langley *et al.*, 2007). El segundo stock corresponde al que se encuentra en el Pacífico Oriental, considerado como totalmente explotado, experimentando descenso en las capturas en los últimos años después de haber alcanzado su máximo en el 2002. De acuerdo con Maunder & Aires-Da-Silva (2008), la disminución reciente de las capturas de los diferentes stocks se debe a la variabilidad en el reclutamiento, y la disponibilidad del recurso a la pesquería, generada principalmente por las condiciones ambientales.

La pesca de atún en el Océano Pacífico Oriental (OPO), se realiza principalmente con embarcaciones equipadas con red de cerco, arte de pesca utilizada para capturar peces que habitan en las aguas superficiales, sobre cardúmenes relativamente compactos. Se consideran tres tipos de cardúmenes: cardúmenes que se asocian con objetos flotantes, cardúmenes asociados a delfines y cardúmenes no asociados, comúnmente conocidos como “brisas” por el efecto de chapoteo de los peces en la superficie (Lichtinger *et al.*, 2000; Dreyfus, 2008 y Robles-Ruiz *et al.*, 2009).

El atún aleta amarilla es la especie que se captura en mayor volumen en el OPO, con un registro durante 2009 de 243,300 toneladas; de las cuales la flota atunera mexicana contribuyó con casi el 50 % (IATTC, 2010). En promedio, para los últimos diez años, la flota internacional capturó el 65 % de atún aleta amarilla en lances asociados a delfines, el 21 % sobre brisas y el 13 % sobre objetos flotantes (IATTC, 2010).

En su gran mayoría, la pesca dirigida a cardúmenes no asociados actúa sobre atunes juveniles de aleta amarilla y barrilete (*Katsuwonus pelamis*). Este tipo de cardúmenes son más comunes cerca de la costa (Bautista-Cortés, 1997) y las capturas bajo esta modalidad son más difíciles de realizar que las otras, ya que los atunes se sumergen, haciendo difícil su seguimiento y su captura. Es común que en este tipo de pesca se escape frecuentemente el cardumen, por lo que suele registrarse que a un mismo cardumen de atún se le realicen varios lances (algunas veces por parte de varias embarcaciones), teniendo como consecuencia que en este indicador de pesca se presente un mayor porcentaje de lances no exitosos (Delgado, 2010).

En México, el atún es uno de los recursos más importantes ya que ocupa el segundo lugar en valor comercial después del camarón y el tercero en volumen después de la sardina y del camarón (CONAPESCA, 2010). La captura promedio anual de atún aleta amarilla registrada por la flota atunera mexicana de cerco que operó en el OPO durante los últimos 10 años fue de 100,000 t. Durante 2008 ésta flota estuvo integrada por 51 embarcaciones con una capacidad de acarreo de 52,920 t, ocupando el segundo lugar en tamaño de las flotas que operan en el OPO (Vaca, 2004; IATTC, 2010).

Durante los años 2008 y 2009, la flota atunera mexicana llevó a cabo entre el 68 % y 70 % de sus lances sobre atunes asociados a delfines. Entre 16 % y 24 % sobre atunes no asociados y entre el 5 % y 8 % sobre atunes asociados a objetos flotantes (Hernández, 2010).

Con respecto al atún capturado en cardúmenes no asociados, se ha determinado que la talla promedio de estos organismos es de 80 cm (Dreyfus & Robles, 2008), y quizás debido a esto poseen menor capacidad natatoria que los atunes que se asocian a los delfines (talla promedio de 100 cm), por lo que su captura se desarrolla en zonas costeras (Pérez, 2003).

2. ANTECEDENTES

Una de las pesquerías más importante a nivel mundial es la realizada sobre túnidos, por lo cual se han realizado muchas investigaciones sobre éstos organismos, principalmente en relación con las variables ambientales que determinan los patrones de distribución espacio-temporal de las especies.

Entre las investigaciones realizadas sobre la pesca de túnidos y su relación con el ambiente, se encuentra el trabajo de Loureda *et al.* (2003), quienes en el Océano Índico Oriental relacionaron la pesca de túnidos (*Katsuwonus pelamis*, *Thunnus obesus*, *T. alalunga* y *T. albacares*) con la temperatura superficial del mar (TSM) obtenida de imágenes de satélite. Encontraron que la distribución de estas especies varió estacionalmente, principalmente hacia zonas de frentes, coincidiendo con el final de épocas de surgencias. En este estudio también se determinó que la distribución de *T. albacares* tiene una mayor dependencia de la TSM, en contraste con la de *K. pelamis*.

Pedraza & Díaz-Ochoa (2006) relacionaron los desembarques de la pesca de túnidos en el puerto de Buenaventura (Colombia), con el nivel del mar (NM) en Balboa (Panamá) y Buenaventura y la TSM en la región Niño 3 aplicando correlación bi-variada y componentes principales. Encontraron una correlación alta entre los desembarques de los túnidos y la TSM en la región Niño 3, pero poca claridad con las otras variables; con el método de componentes principales, encontraron que la TSM juega un papel importante en la determinación de la disponibilidad de atún en la zona (especialmente durante los eventos de El Niño), y que los desembarques aumentan cuando se presenta una disminución en el NM en Buenaventura y Balboa, y una disminución en la TSM en la región Niño 3.

En el noroeste del Pacífico Norte, Zainuddin *et al.* (2004), y Zainuddin *et al.* (2006), relacionaron las capturas de albacora (*T. alalunga*) con información de concentración de clorofila (CHL), TSM, radiación fotosintética activa (RFA) y

anomalías del nivel del mar (ANM) derivada de sensores remotos. Encontraron que las zonas potenciales de pesca, son aquellas donde confluyen concentraciones de clorofila de aproximadamente $0.3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ y $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura, generalmente en zonas de frentes térmicos, y que estas características se cumplen en mayor proporción en periodos La Niña. También determinaron la existencia de “*hot spots*”, zonas donde las tasas de producción primaria oscilaron entre 15.65 y $20.61 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{meses}^{-1}$, y principalmente en remolinos de tipo anticiclónico que concentran alimento. Los autores sugieren que los “*hot spots*” para el albacora están vinculados a las características hidrográficas, zonas frontales y de remolinos, que influyen en el patrón de distribución y en la formación de agregaciones del atún. De igual forma sugieren que los análisis de teledetección por satélite multi-sensor pueden ayudar a detectar y a visualizar los “*hot spots*” pelágicos.

Dentro de las investigaciones que han abordado la relación recurso-medio ambiente, particularmente para el atún aleta amarilla sobresalen las siguientes: Arenas *et al.* (1992), Gómez-Muñoz *et al.* (1992), Ortega-García & Lluch-Cota (1996), Bautista-Cortés (1997), López-Sánchez (2004), Torres-Orozco (2004), Zagaglia *et al.* (2004), Torres-Orozco *et al.* (2005), Torres-Orozco *et al.* (2006), Ortega-García & Rodríguez-Sánchez (2008), Arias-Aréchiga (2010) y Lan *et al.* (2013).

Para la región del Atlántico ecuatorial Zagaglia *et al.* (2004) relacionaron información de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *T. albacares* capturado por la flota palangrera con TSM, CHL, ANM, y rapidez del viento (RV) por medio de modelos aditivos generalizados (MAG). Encontraron que la presencia del recurso está asociada a la zona de convergencia intertropical (ZCIT), determinada por el componente meridional del viento, y que a pesar de que la relación con la TSM, CHL y ANM es significativa, éstas están siendo moduladas por la variación de la ZCIT. Adicionalmente consideraron que en las investigaciones que involucren la relación de los recursos pesqueros con factores ambientales es necesario usar modelos no lineales.

En el oeste del Océano Índico, Lan *et al.* (2013) investigaron el efecto de la variabilidad climática en la distribución y pesca de los atunes. Encontraron que dicha distribución y las capturas, son sensibles al clima y a las variaciones del ambiente marino. Determinaron que valores de TSM altos (mayores a 29.5 °C) combinados con valores de productividad primaria neta (PPN) bajos (menores a 220 mg C m⁻² d⁻¹), en un evento positivo del índice del Dipolo del Océano Indico (IOD), tienen como consecuencia una disminución de la CPUE. Por otro lado, que TSM bajas, con alta PPN durante eventos IOD negativos, propician un aumento en la CPUE; sin embargo los autores sugieren que determinar que variables afectan en la distribución de los atunes no es tan simple, ya que no es sólo un factor el que influye, sino una combinación no lineal de factores, incluido el esfuerzo de pesca, capturas dirigidas y la dinámica de la flota.

De forma más local, en cuanto a lo realizado en el OPO, entre las investigaciones enfocadas en la relación recurso-ambiente, Gómez-Muñoz *et al.* (1992) reporta diferencias en la temperatura superficial del mar (TSM) asociada a los cardúmenes de atún, y encuentran que los lances sobre cardúmenes asociados a delfines ocurren en promedio a una TSM de 28 °C, en tanto que los lances de cardúmenes no asociados son más frecuentes a los 23 °C. Arenas *et al.* (1992) reportan que para el caso de cardúmenes asociados a objetos flotantes las capturas son bajas a temperaturas bajas. Ortega-García & Lluch-Cota (1996) relacionaron la abundancia de atún aleta amarilla con las concentraciones de pigmentos fotosintéticos medidos por satélite, encontrando que hay una relación entre la distribución de la abundancia (captura por día normal de pesca) del atún con la concentración de pigmentos pero con un desfase entre 4-5 meses.

Enfatizando en los tipos de indicadores de cardúmenes de atún, Bautista-Cortés (1997), realiza un análisis de la pesquería mexicana. Este autor determinó que la proporción y la distribución del esfuerzo sobre cada cardumen dependen principalmente del interés que este representa para la flota y en segundo término de la accesibilidad a las áreas importantes de captura. También encontró evidencia

sobre la disminución de la vulnerabilidad de los cardúmenes libres con el aumento de la profundidad de la isoterma de 18 °C y de la disminución de la captura en cardúmenes asociados a delfines con el aumento de la profundidad de la isoterma de 23 °C.

En cuanto al efecto de los eventos de El Niño y La Niña en la distribución y abundancia del atún aleta amarilla en el OPO, López-Sánchez (2004) determinó una marcada preferencia del atún a temperaturas de 27 °C y 28 °C; sin embargo, encontró que durante El Niño, (el cual genera una disminución del alimento), una fracción de la población se vio obligada a desplazarse a zonas donde la TSM fue menor (23 °C a 26 °C) presentándose una disminución en los volúmenes de captura; sin embargo durante La Niña se observó una recuperación significativa en los volúmenes de captura, siendo mayores que lo normal y con una menor intensidad de esfuerzo, además que la distribución de los lances fue similar al periodo normal. Ortega-García & Rodríguez-Sánchez (2008), analizando la distribución de los lances de pesca del atún aleta amarilla durante una fase normal (1996) y posteriormente una fase El niño (1997-1998) en el OPO, encontraron que hubo un desplazamiento del recurso hacia el noroeste de su área de distribución, debido al incremento de TSM, reduciendo la zona de operación de la flota en aguas ecuatoriales, factor que generó una disminución en la captura promedio por lance y en el volumen total de capturas.

En el caso de Torres-Orozco (2004), Torres-Orozco *et al.* (2005) y Torres-Orozco *et al.* (2006) determinaron que tres meses después de ocurrir un evento El Niño, se incrementa la pesca de atún en la entrada del Golfo de California. Además, estos autores mencionan que eventos como las surgencias que se presentan durante el mes de marzo cuando la TSM es baja (18 °C aproximadamente) generan frentes en los cuales hay presencia de atún, registrándose capturas en el lado cálido hacia el norte de la zona de las surgencias. Arias-Aréchiga (2010), relacionó los factores ambientales asociados al tipo de pesca de atún aleta amarilla en la costa mexicana, y determinó que las zonas con mayor dinámica ambiental son las que aportan

capturas mayores debido a que la variedad de condiciones propician la presencia constante de cardúmenes de diferentes tipos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe evidencia de que la temperatura superficial del mar juega un papel importante directa e indirectamente en la distribución de la mayoría de las especies de atún, particularmente en sus límites de distribución geográfica (Blackburn, 1965; Cole, 1980 y Laurs *et al.*, 1984). Los cambios estacionales del clima generan en estas especies, procesos migratorios los cuales van asociados tanto a la alimentación como a la reproducción (Dodson, 1997 y Ganzedo *et al.*, 2007). En el caso del atún aleta amarilla, los patrones de distribución, se encuentran relacionados con la calidad del ambiente, las variaciones de la temperatura y la profundidad de la termoclina, la presencia de convergencias y de surgencias y la cantidad de alimento (Solana-Sansores & Méndez, 1996).

Considerando que los lances sobre cardúmenes no asociados de atún aleta amarilla representan el segundo lugar en importancia en la pesquería en México, se torna necesario ampliar el conocimiento sobre las condiciones que favorecen la presencia de este indicador. En la actualidad la información ambiental disponible permite analizar con mayor detalle eventos que afectan el éxito de pesca, ya que se cuenta tanto con imágenes de satélite con una resolución alta, como con información proveniente de cruceros oceanográficos. Lo anterior posibilita que se amplíe el conocimiento sobre las condiciones ambientales que favorecen la presencia de este tipo de cardúmenes y el éxito relativo en las capturas. Asimismo, contribuye a conocer y a ubicar las zonas de mayor presencia de los mismos; a establecer su variabilidad espacio-temporal y, sobretodo, a poder predecir sus capturas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Determinar la distribución espacio-temporal de los cardúmenes no asociados de atún aleta amarilla durante el periodo de 2000 a 2009, su captura por lance y su relación con las variables ambientales, en el noroeste del Pacífico mexicano.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad estacional de la capturas y de la captura por lance de los cardúmenes no asociados.
- Determinar la relación del éxito o fracaso de la captura en los lances sobre cardúmenes no asociados con diferentes variables ambientales.
- Determinar la distribución espacio-temporal de las capturas del atún aleta amarilla y las variables ambientales que favorecen su presencia.
- Establecer las zonas y épocas de mayor distribución de los cardúmenes libres de atún aleta amarilla.
- Establecer un modelo para predecir las capturas de acuerdo a las variables ambientales.

5. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es el noroeste del Pacífico mexicano (figura 1), que comprende la región entre los 20°N a 33°N y desde la costa hasta los 118°W.

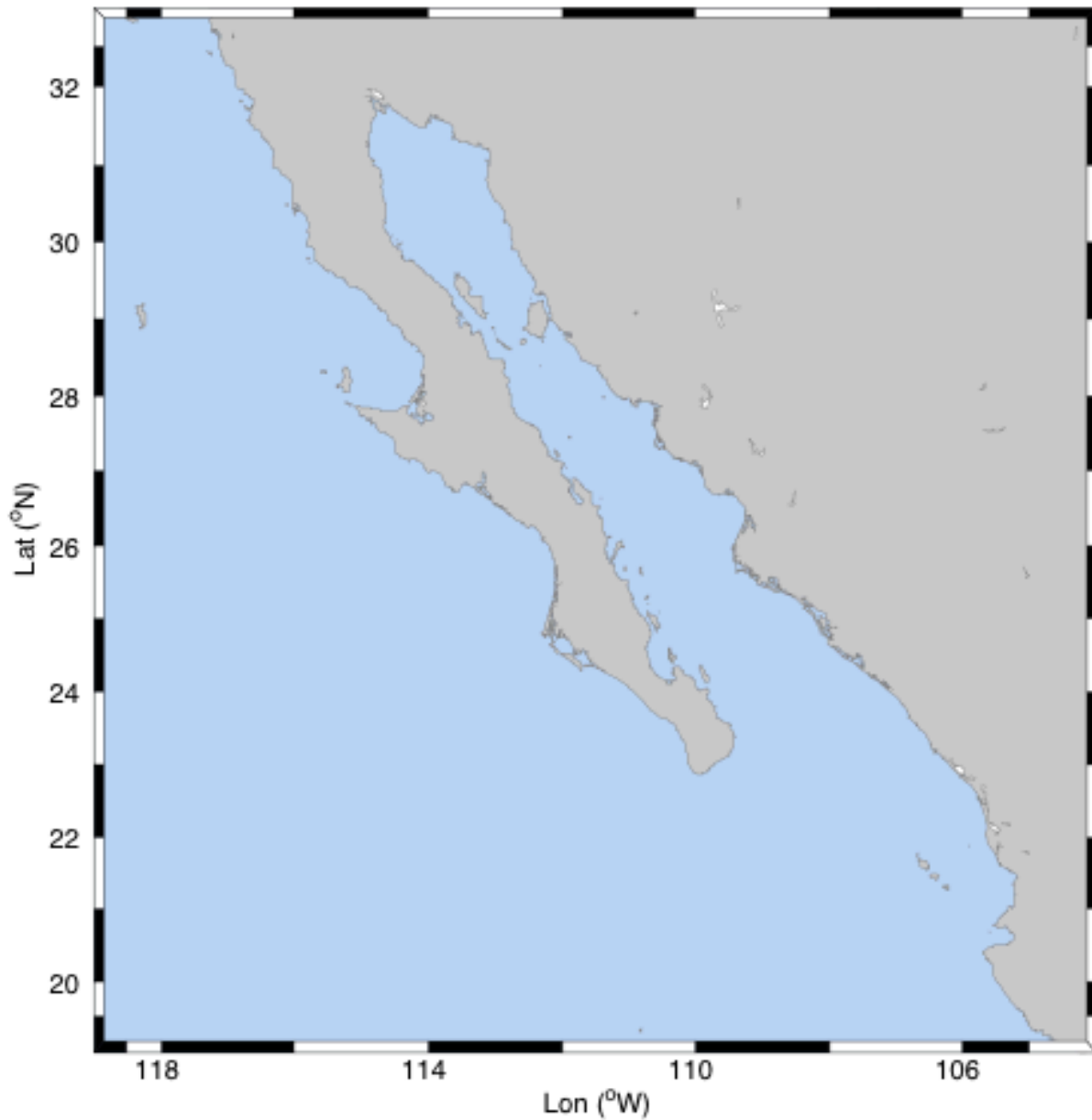


Figura 1. Área de estudio

En la parte occidental de la península de Baja California, en general las isotermas e isohalinas son más profundas lejos de la costa y se inclinan hacia la superficie a medida que se acercan a ésta. Este comportamiento se asocia al balance geostrófico de la Corriente de California (predominante desde finales de invierno a principios de verano con dirección al sur) y a la ocurrencia de surgencias cerca de la costa en primavera y verano, debido principalmente a los vientos del noroeste (Bakun & Nelson, 1991; De la Lanza-Espino, 1991).

En el Golfo de California la circulación de las corrientes y masas de agua no están bien definidas, debido a que existe una gran diversidad de factores físicos y químicos que lo afectan. De acuerdo con Wyrki (1965,1967), existe la influencia de todas las corrientes del Pacífico Este, que se desarrollan de norte a sur y su sistema está asociado a patrones de vientos locales. Kessler (2006) y Kurczyn *et al.* (2012) determinaron que de estas corrientes las más notables son la Corriente de California (CC) que fluye de norte a sur, y se divide en dos secciones, uno que entra a alimentar la Corriente Nor-Ecuatorial (CNE), y otro llamado Brazo Tropical de la Corriente de California (BTCC) que aporta aguas relativamente frías y de baja salinidad a la región, principalmente en los periodos de invierno y primavera. Adicionalmente se encuentra la Corriente Costera Mexicana (CCM), con flujo subsuperficial de sur a norte y más cercana a la costa que la anterior, presente principalmente durante el verano (Lavín *et al.*, 2006). No obstante, el transporte de Ekman en esta región es hacia el oeste, de forma que el flujo de la superficie es hacia el suroeste (figura 2).

La boca del Golfo de California es considerada como una zona de mezcla de aguas, asociado al Sistema de Corrientes del Golfo de California (SCGC), y a la confluencia de las corrientes anteriormente nombradas, por lo que presenta una amplia complejidad tanto horizontal como vertical. En general, el agua que se encuentra en el Golfo de California es más cálida y más salina que la observada en la parte occidental de la península de Baja California. En el golfo las surgencias se presentan principalmente durante invierno y primavera, desde la parte central de Sonora a la

parte media del estado de Sinaloa, y de verano a otoño en la parte oriental de la península de B. C. (De la Lanza-Espino, 1991; Castro *et al.*, 2000).

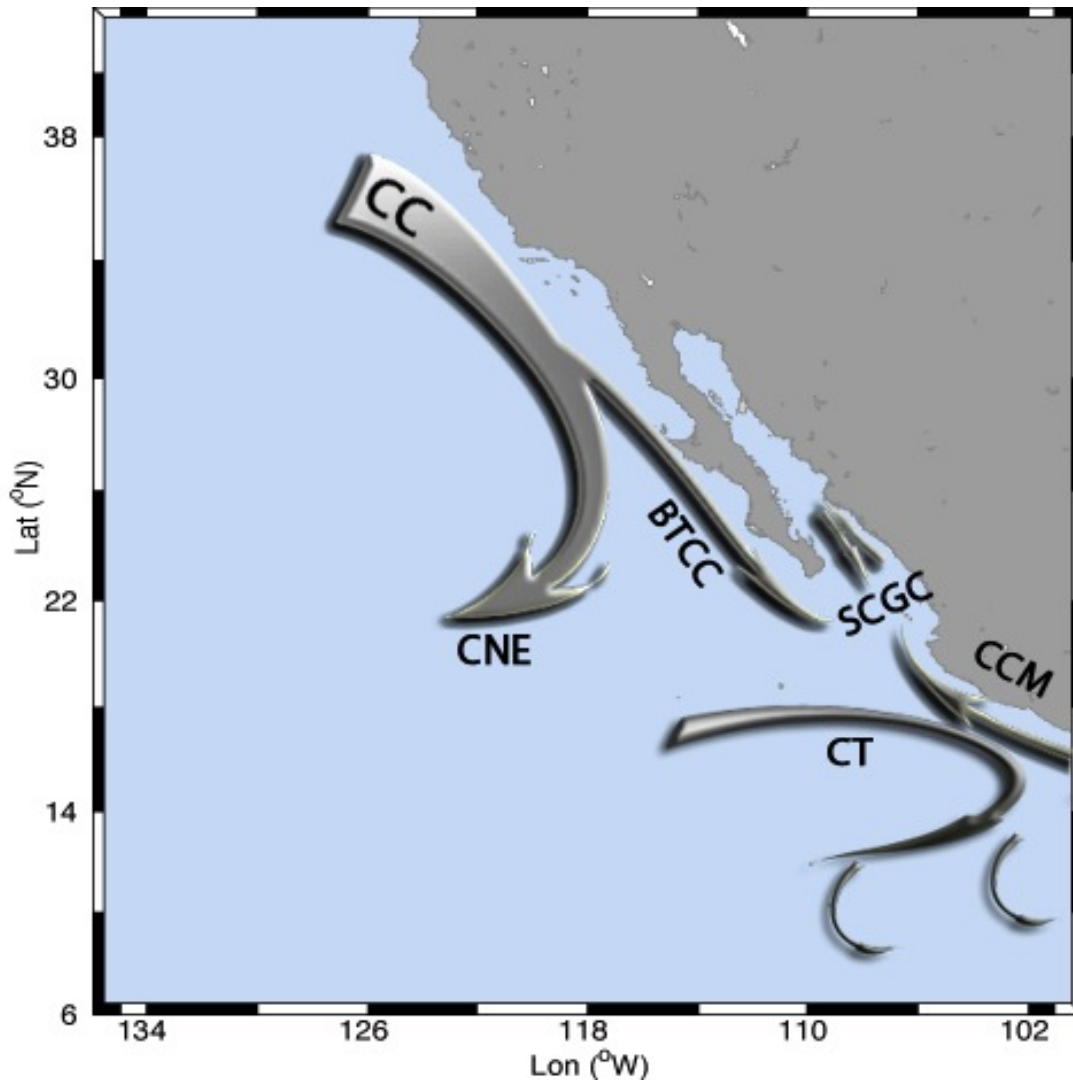


Figura 2. Esquema de la circulación en el Océano Pacífico Oriental Tropical. (CC) Corriente de California, (CNE) Corriente Nor-Ecuatorial, (BTCC) Brazo Tropical de la Corriente de California, (SCGC) Sistema de Corrientes del Golfo de California, (CCM) Corriente Costera Mexicana y (CT) Corriente de Tehuantepec.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Bases de Datos

6.1.1. Datos de pesca

Los datos de pesca utilizados en este estudio, corresponden a las bitácoras de la flota atunera mexicana de cerco que opera en el OPO y que han sido recopiladas en el Proyecto de Pelágicos Mayores del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). La información corresponde a los registros diarios de los lances de pesca para el periodo 2000-2009; de cada uno de ellos se reporta: la fecha, la hora de inicio y fin del lance, la posición geográfica del lance (latitud-longitud), tipo de pesca (asociados a delfín, no asociados o brisas, asociados a objetos flotantes), toneladas capturadas de atún aleta amarilla y temperatura superficial del mar *in situ* (Tsup). Para este análisis se consideraron los lances realizados sobre cardúmenes no asociados.

6.1.2. Variables Ambientales

La información ambiental analizada fue la TSM y la CHL, inferidas de composiciones semanales de imágenes de satélite de los sensores *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) y *Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor* (SeaWiFS) respectivamente con una resolución de 1x1 km, para el periodo 2000-2010. Otra variable a utilizar fue la vorticidad del viento la cual se derivó de las imágenes de satélite de los sensores *Quick Scatterometer* (QuikSCAT)¹. Se analizó

¹ http://podaac.jpl.nasa.gov/DATA_CATALOG/ow.html & <http://poet.jpl.nasa.gov/>

además información de las anomalías del nivel del mar (ANM) producto de una cuadrículada actualizada multimisión del *Archiving Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data (AVISO)*², con una resolución de 25 km e imágenes diarias del coeficiente de atenuación difusa a 490 nm (Kd490) del sensor SeaWiFS, con una resolución de 9x9 km. Todas las imágenes se procesaron con la ayuda de software como: Windows Image Manager (WIM 6.6, 2010), R (3.0.2, 2013) y MATLAB R2012a (7.14.0.739, 2012).

6.2. Análisis de datos

6.2.1. Datos de capturas

Para extraer los datos de pesca del atún aleta amarilla se trabajó bajo las siguientes suposiciones: a) los lances sin captura se consideraron dirigidos a cardúmenes de atún aleta amarilla, debido a que es la principal especie presente en la flota atunera mexicana; b) un lance fue realizado sobre atún aleta amarilla, si la captura sobre esta especie sobrepasó el 50 % de la captura.

De la base de datos que corresponde al periodo 2000-2009, se extrajeron los datos de la flota que opera sobre cardúmenes no asociados, los cuales se revisaron y depuraron, geo-posicionando los puntos con la ayuda de un software comercial (Golden Software, 2002), con el fin de detectar errores en la captura de la información.

² <http://www.aviso.oceanobs.com>

6.2.2. Distribución de capturas

Para analizar las capturas se definió el lance como la unidad de esfuerzo, y la captura por lance como CPUE, la cual se determinó como:

$$CPUE = \frac{\sum_{i=1}^n C_{i,m}}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

donde, $C_{i,m}$ es la captura del i -ésimo lance correspondiente al trimestre m ; f es el esfuerzo (lance de pesca) y n el número de lances efectuados en el trimestre m .

Debido a que en esta pesquería participan embarcaciones de diferentes capacidades de acarreo, para evitar sesgos ocasionados por la diferencia en la eficiencia de pesca se realizó un análisis de las capturas mensuales y de la CPUE promedio mensual de las embarcaciones durante el periodo de estudio. Lo anterior con el fin de determinar una categoría de embarcaciones como representativa, de acuerdo al esfuerzo realizado y su constancia en el tiempo. En este análisis se incluyó la distribución de los lances por categoría para poder apreciar las zonas con mayor densidad de esfuerzo.

Adicionalmente se realizó un mapa de distribución de los lances realizados sobre cardúmenes no asociados, determinando la isobata de los 200 m de profundidad como el límite entre, la región costera y la oceánica, y así determinar si los lances sobre este tipo de cardúmenes son costeros o no, utilizando el software R.

Una vez realizados estos análisis, se agruparon los datos por cuadrantes de un grado, y se realizaron mapas trimestrales de distribución espacio-temporal de las capturas (suma total de la captura en cada cuadrante) y CPUE (total de captura/número de lances en cada cuadrante) considerando como invierno el trimestre de enero a marzo y finalizando en otoño de octubre a diciembre

6.2.3. Análisis del éxito de pesca

6.2.3.1. Clases de capturas

Para determinar si se observaba algún patrón en las capturas o si el éxito o fracaso de las mismas era totalmente aleatorio, se graficaron las capturas de cada barco durante toda la serie de tiempo incluyendo las horas en que se realizaron, para posteriormente realizar los análisis de correlación con las variables ambientales.

Debido a que un lance con captura baja no necesariamente significa que sea exitoso, ya que donde se realiza un lance se hace esperando una captura alta, se consideró dividir las capturas en 3 clases que representaran mejor la pesca que lo utilizado comúnmente como pesca nula y exitosa. Por lo cual, siguiendo la metodología planteada por Zainuddin *et al.* (2008), se definieron las siguientes clases (1) capturas nulas, los casos con captura igual a cero; (2) capturas bajas, casos con capturas mayores que cero pero menores de 15 t y (3) capturas altas, casos con capturas superiores a 15 t. Se consideró el valor de 15 t porque representa el límite inferior del cuartil superior de las capturas mayores que cero; posteriormente se graficó cada clase de captura en mapas, con la finalidad de determinar si los lances de cada clase estaban homogéneamente distribuidos, y no se presentaban tendencias de alguna clase hacia alguna zona específica.

Posteriormente la frecuencia de lances para cada clase fue graficada estacionalmente, con el fin de observar durante que épocas se encontraban la mayor frecuencia de capturas altas, bajas y nulas.

6.2.3.2. Correlación lineal de categorías de capturas con variables ambientales

Para determinar que variables oceanográficas pudieran estar influyendo en que las capturas sean bajas o nulas a pesar de la presencia de cardúmenes, se realizó la correlación de las capturas con diferentes variables que pueden favorecer a

los atunes para escapar de las redes.

Para extraer los valores de las variables ambientales correspondientes a cada lance de pesca, se utilizó la función *interp2* del software MATLAB, que devuelve valores obtenidos mediante interpolación lineal a partir de una función de dos variables en los puntos de consulta específicos. La función requiere las coordenadas de los puntos de muestra (lances de pesca), y extrae los valores correspondientes de la función (variable a analizar) en cada punto de muestreo (coordenadas variable).

Las variables utilizadas fueron: anomalías del nivel del mar, en este caso se usaron como una forma de estimar la dinámica de la termoclina, donde valores negativos de las anomalías, sugieren una termoclina somera, y valores positivos una termoclina profunda; el coeficiente de atenuación difusa a 490 nm (K_d490), que representa la turbidez en la columna de agua, la T_{sup} y hora de inicio de cada lance de pesca. Para ellos se aplicó el coeficiente de correlación lineal de Pearson sugerido por Sokal y Rohlf (1962), definido como:

$$R = \frac{\sum(d_{ij} - \bar{d})(\delta_{ij} - \bar{\delta})}{\sqrt{\sum(d_{ij} - \bar{d})^2 \sum(\delta_{ij} - \bar{\delta})^2}}$$

Donde, R es la matriz de coeficientes de correlación calculados a partir de la entrada de dos matrices i (observaciones) y j (variables) para $i \neq j$; d son los valores de la distancia de entrada y el δ es la longitud del recorrido (Lapointe & Legendre, 1992).

En el coeficiente de correlación adicionalmente se generó una matriz de los valores de p para probar la hipótesis de no correlación. Cada valor es la probabilidad de obtener una correlación tan grande como el valor observado por azar, cuando la verdadera correlación es cero. Si $p(i, j)$ es pequeña, por ejemplo menos de 0.05, entonces la correlación $R(i, j)$ es significativa.

6.2.4. Análisis de las capturas con variables ambientales

Con el fin de observar donde se encuentra distribuido el esfuerzo de pesca, se realizaron histogramas de frecuencias de las diferentes variables ambientales TSM, CHL, ANM, RV y vorticidad relativa del viento (VRV) de cada lance, a nivel general para todo el periodo de estudio (2000-2009), y por promedios trimestrales, para lo cual se consideró a los meses enero, febrero y marzo como la estación de invierno; abril, mayo y junio como primavera; julio, agosto y septiembre como verano y octubre, noviembre y diciembre como otoño.

Adicionalmente, se generaron mapas con los promedios estacionales de cada variable ambiental y se sobrepusieron los puntos correspondientes a las capturas mayores a 15 t de cada estación, con el fin de determinar visualmente como se está comportando la distribución del recurso durante cada época del año de acuerdo a cada variable ambiental.

6.2.5. Modelos de predicción espacial del recurso

Para llevar a cabo la predicción espacial del recurso, se aplicaron los modelos aditivos generalizados (MAGs) los cuales se basan en una generalización no paramétrica de la regresión lineal múltiple, siendo esta una generalización obvia del modelo lineal estándar, que permite interpretaciones más fáciles de las contribuciones de cada variable. El modelo resultante tiene la forma general, como:

$$g(\mu) = b_0 + f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_p(x_p)$$

donde, $g(\mu)$ es el resultado de interés; x_1, x_2, \dots, x_p , son las variables predictivas del modelo; b_0 es una constante; f_1, f_2, \dots, f_p , son funciones de suavizado que evalúan el efecto de x sobre μ , asumiendo una dependencia no paramétrica (Hastie & Tibshirani, 1984; 1986; Wood, 2006; Zuur *et al.*, 2009).

En la presente investigación, se utilizó como variable respuesta la CPUE, sin incluir las capturas nulas, ya que se determinó que éstas no representan una ausencia de cardumen. Como variables predictivas se utilizaron las variables ambientales, la posición geográfica en cuadrantes de $1^\circ \times 1^\circ$, y el mes del año como una variable cíclica, para determinar la estacionalidad del recurso. Debido a que los datos de CPUE tienen una distribución de frecuencias parecida a la Poisson, es decir, una gran proporción de datos tienen valores menores al promedio y muy pocos datos mayores a este valor de tendencia central, en los modelos estadísticos se utilizó la distribución Poisson y su función de enlace fue logarítmica. El proceso de construcción del mejor modelo estadístico, involucró como paso inicial construir un modelo diferente con cada una de las variables utilizadas en este trabajo, después de determinar la importancia (en términos de devianza explicada)³ de cada una de las variables se seleccionó la más importante que explica las capturas del atún aleta amarilla y adicionalmente se agregaron las variables una por una hasta llegar al modelo óptimo, es decir, el que explica la mayor parte de la devianza de los datos y que contiene únicamente las variables que aportan significativamente en el modelo; esto se reforzó con una prueba de X^2 , probando desde el modelo más simple hasta el más complejo para determinar el mejor modelo.

Para evaluar el desempeño predictivo del modelo final, se compararon los valores predichos por el modelo con los observados, para esta comparación se decidió hacer una predicción espacial en cuadrantes de $1^\circ \times 1^\circ$ y compararlos con los valores de CPUE observados en el mismo cuadrante. Este proceso de evaluación de

³ La magnitud de discrepancia entre el modelo (aproximación a la realidad y sus mecanismos) y los datos. Es una medida de lo inadecuado del modelo.

modelos se le conoce comúnmente como validación, sin embargo, en este caso en particular debe referirse como una validación espacial.

Una vez que se validó el modelo, se organizó la base de datos ambiental para toda la zona de estudio mensualmente en cuadrantes de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, posteriormente se aplicó el modelo a la base de datos con el fin de obtener las predicciones de CPUE de la zona y observar los posibles “hot spots” para la pesca de los cardúmenes no asociados de atún aleta amarilla.

7. RESULTADOS

7.1. Análisis y distribución de capturas

Se encontró que la captura sobre cardúmenes libres de atún aleta amarilla en el noroeste de México durante los años 2000-2009, fue efectuada por embarcaciones cuyas categorías van desde las 100 t hasta las 1500 t de acarreo; sin embargo, de éstas las que realizaron el mayor esfuerzo sobre este tipo de indicador, fueron la de 350 t (40 %), la de 680 t (10 %) y la de 1090 t (12 %); el resto de categorías presentaron valores muy inferiores al 10 % del total de la pesca, por lo cual no se consideraron para el estudio, ya que no eran constantes sobre los cardúmenes libres.

Para fines del análisis a las categorías de 350, 680 y 1090 t se les asignó el nombre de cat1, cat2 y cat3 respectivamente. La captura y la CPUE por categoría se presentan en la figura 3. Se encontró que aunque la cat1 mostró valores de CPUE menores a las cat2 y cat3, fue la más constante en el tiempo, la que presentó las capturas mayores y la que realizó el número mayor de lances sobre este tipo de pesca (figura 4), a pesar de que el número de lances no exitosos fue muy alto (53 %) (tabla 1). Por lo anterior, se decidió considerar a esta categoría como representativa de los cardúmenes no asociados, y que su análisis podría ayudar más a explicar la dinámica del recurso.

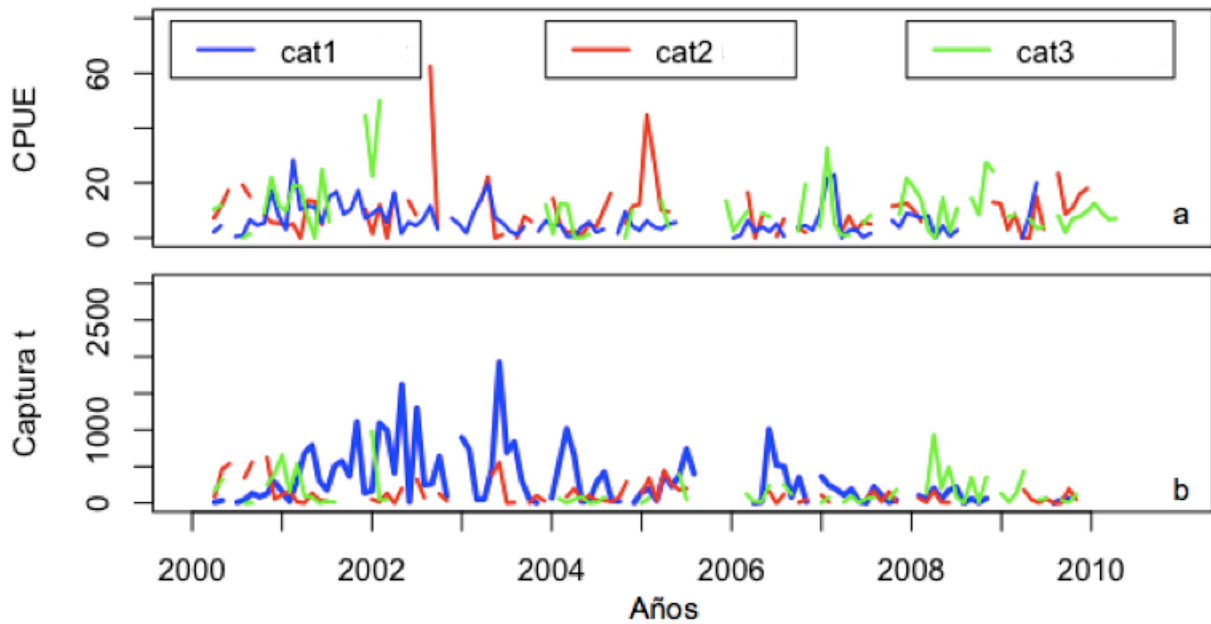


Figura 3. a) Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y b) captura total mensual, de atún aleta amarilla de las tres categorías (350, 680 y 1090 t de capacidad de acarreo) de embarcaciones de la flota atunera mexicana de cerco que operó en el noroeste de México durante 2000-2009.

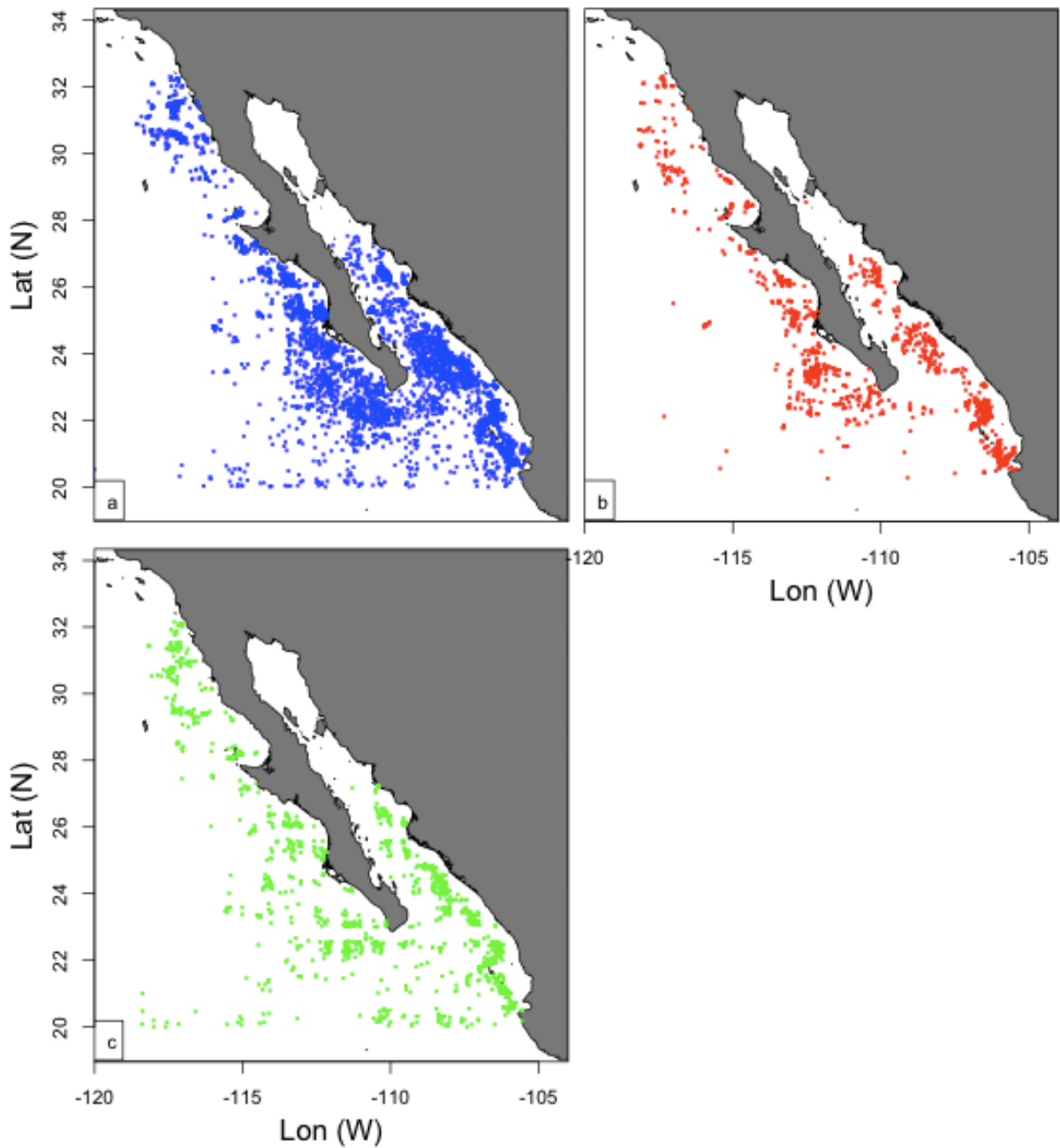


Figura 4. Distribución del esfuerzo de pesca sobre cardúmenes no asociados de las categorías de embarcaciones de la flota atunera mexicana de cerco que operó en el noroeste de México durante 2000-2009. a) cat1, b) cat2 y c) cat3.

Tabla 1. Esfuerzo de pesca total (No. de lances), porcentaje de lances sobre cardúmenes no asociados y porcentaje de lances no exitosos (sin captura) por categoría de embarcaciones de la flota atunera mexicana de cerco que operó en el noroeste de México durante el periodo 2000-2009.

Categoría	No. Lances	% Lances sobre cardúmenes no asociados	% Lances no exitosos
cat1	4877	67	53
cat2	1140	16	43
cat3	1247	17	48
Total	7264	100	

Debido a que los lances sobre cardúmenes no asociados se consideran de tipo costero, se graficó la distribución de dichos lances referenciando la costa por medio de la isobata de los 200 m, la cual constituye el límite de la plataforma continental (costa), con la zona oceánica. Se encontró que el mayor esfuerzo de pesca realizado por la flota de 350 t sobre cardúmenes no asociados se efectuó principalmente en la zona fuera de esta isobata, no obstante en algunas zonas como el Golfo de Ulloa, el mayor esfuerzo se presentó cerca de la costa (figura 5).

Se encontró que la mayor distribución latitudinal de las capturas se registró durante el verano, en tanto que la menor distribución se presentó en el invierno; las mayores capturas se presentaron a lo largo de la península de Baja California Sur, y en la entrada del Golfo de California, hasta los 26° N (figura 6). La distribución de la CPUE, presentó los valores mayores en zonas muy puntuales (figura 7).

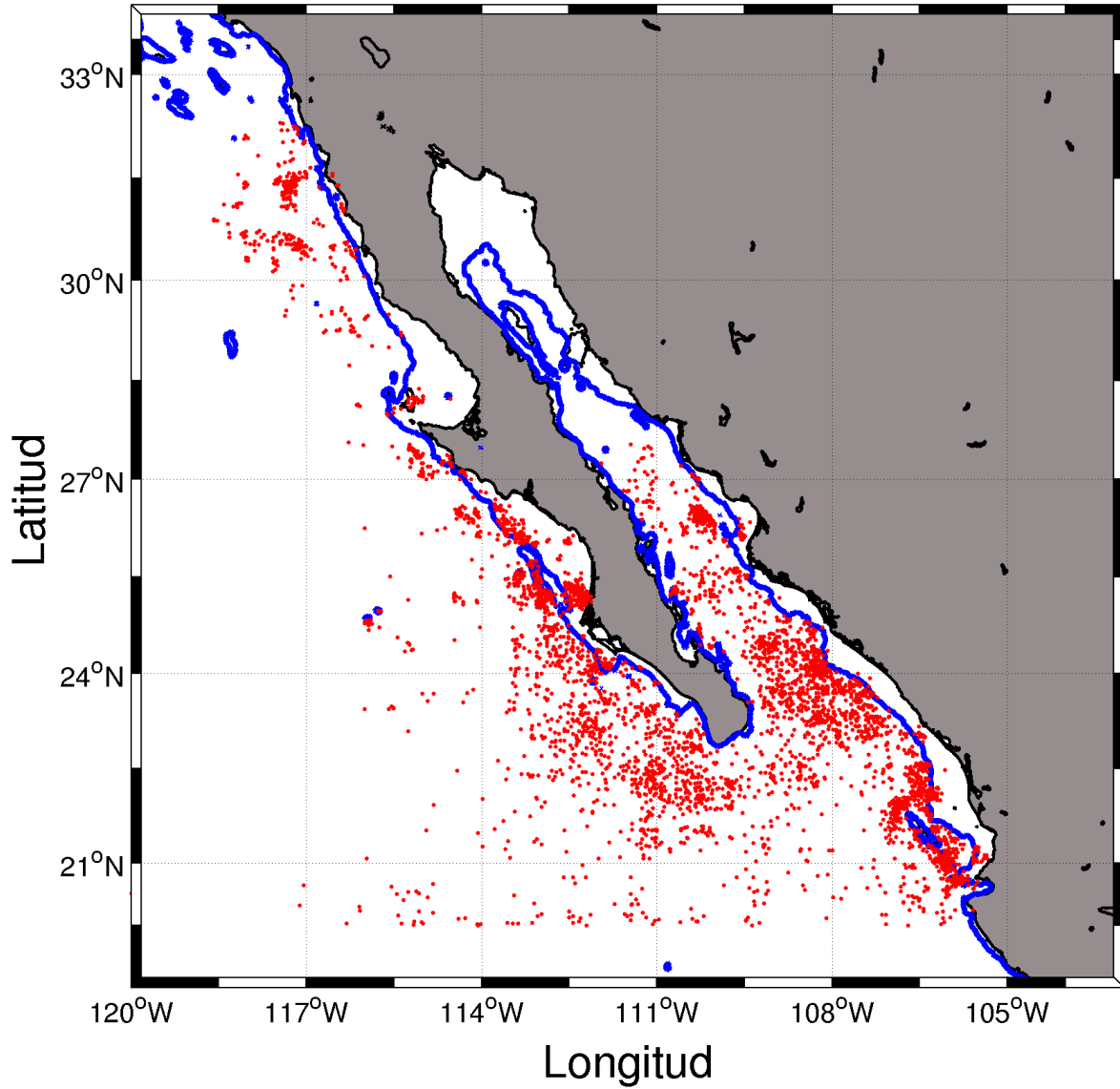


Figura 5. Distribución del esfuerzo pesquero (lances) sobre cardúmenes no asociados efectuados en el noroeste de México por la categoría de 350 t de capacidad de acarreo durante el periodo 2000-2009. La línea azul marca la isobata de 200 m.

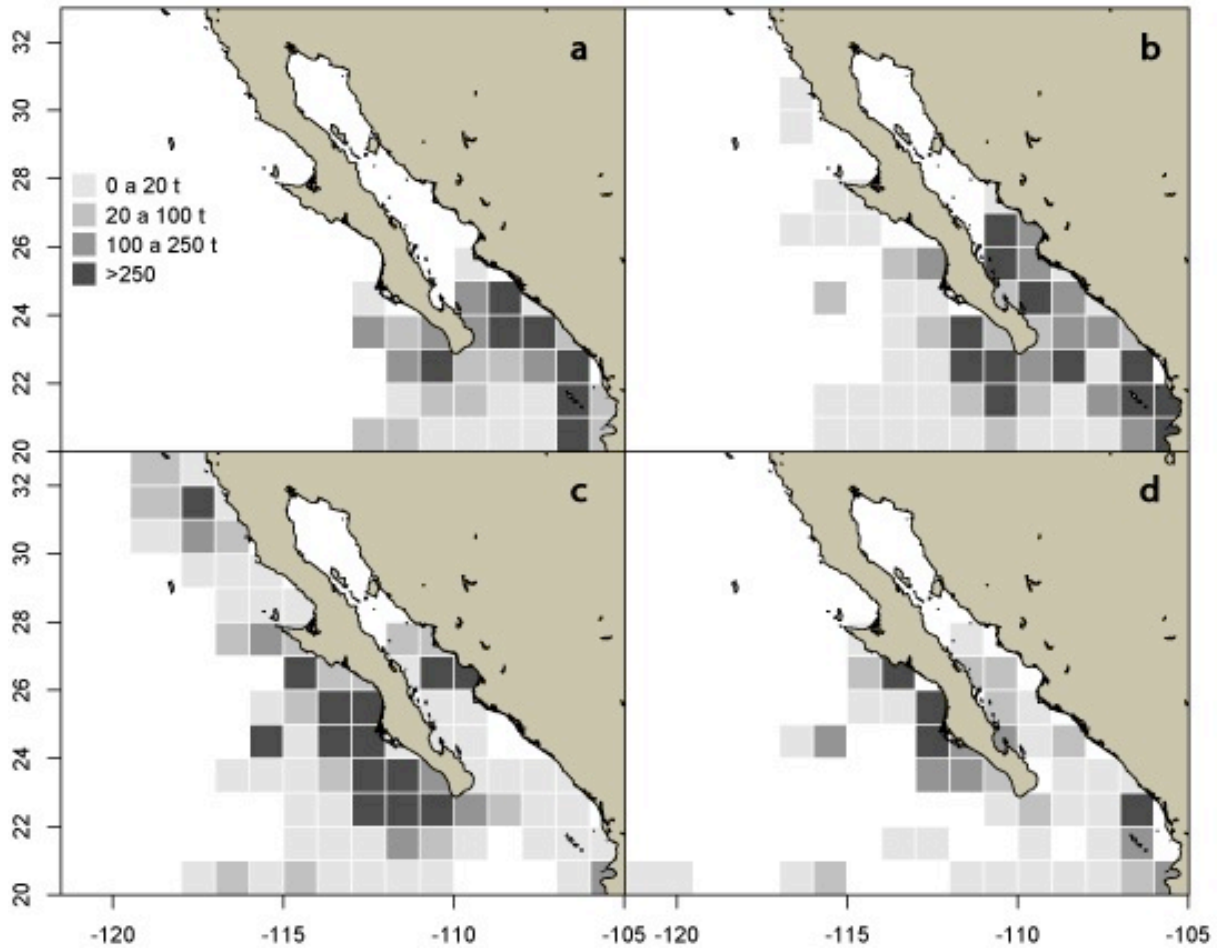


Figura 6. Distribución estacional de las capturas totales de atún aleta amarilla en cuadrantes de un grado obtenida en lances sobre cardúmenes no asociados durante el periodo 2000-2009 en el noroeste de México por la categoría de embarcaciones de 350 t de capacidad de acarreo. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

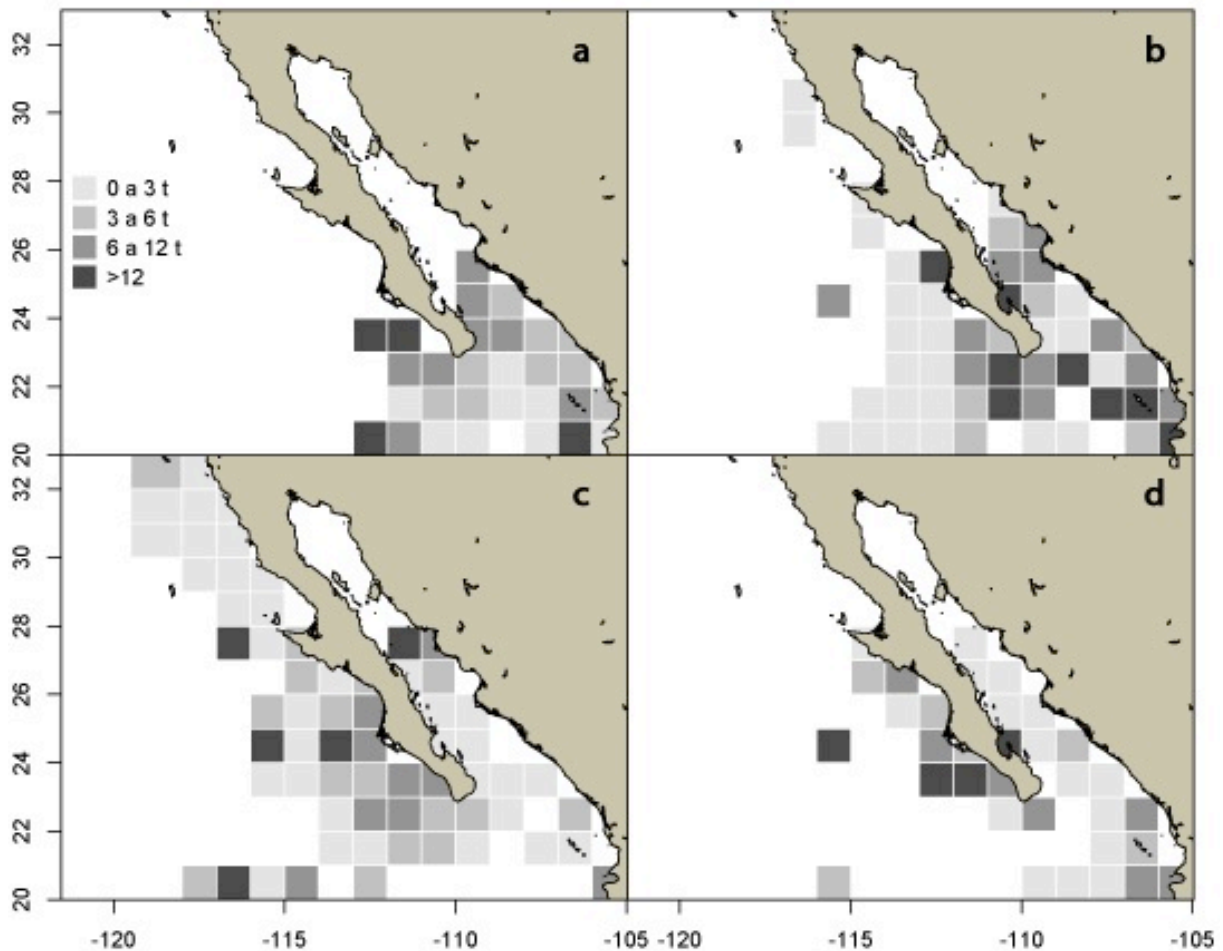


Figura 7. Distribución estacional de la CPUE de atún aleta amarilla en cuadrantes de un grado obtenida en lances sobre cardúmenes no asociados durante el periodo 2000-2009 en el noroeste de México por la categoría de embarcaciones de 350 t de capacidad de acarreo. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

7.2. Análisis de éxito de pesca

7.2.1. Clases de capturas

Al graficar las capturas realizadas por cada barco durante el periodo de estudio, se encontró que no hay un patrón característico en éstas, que determine la presencia de un lance no exitoso seguido de un lance con capturas exitosas o viceversa, sino que éstas suceden en cualquier momento. En la figura 8 se ejemplifica lo anterior graficando la captura de cada uno de los lances de uno de los

9 barcos que pescaron durante el periodo de estudio.

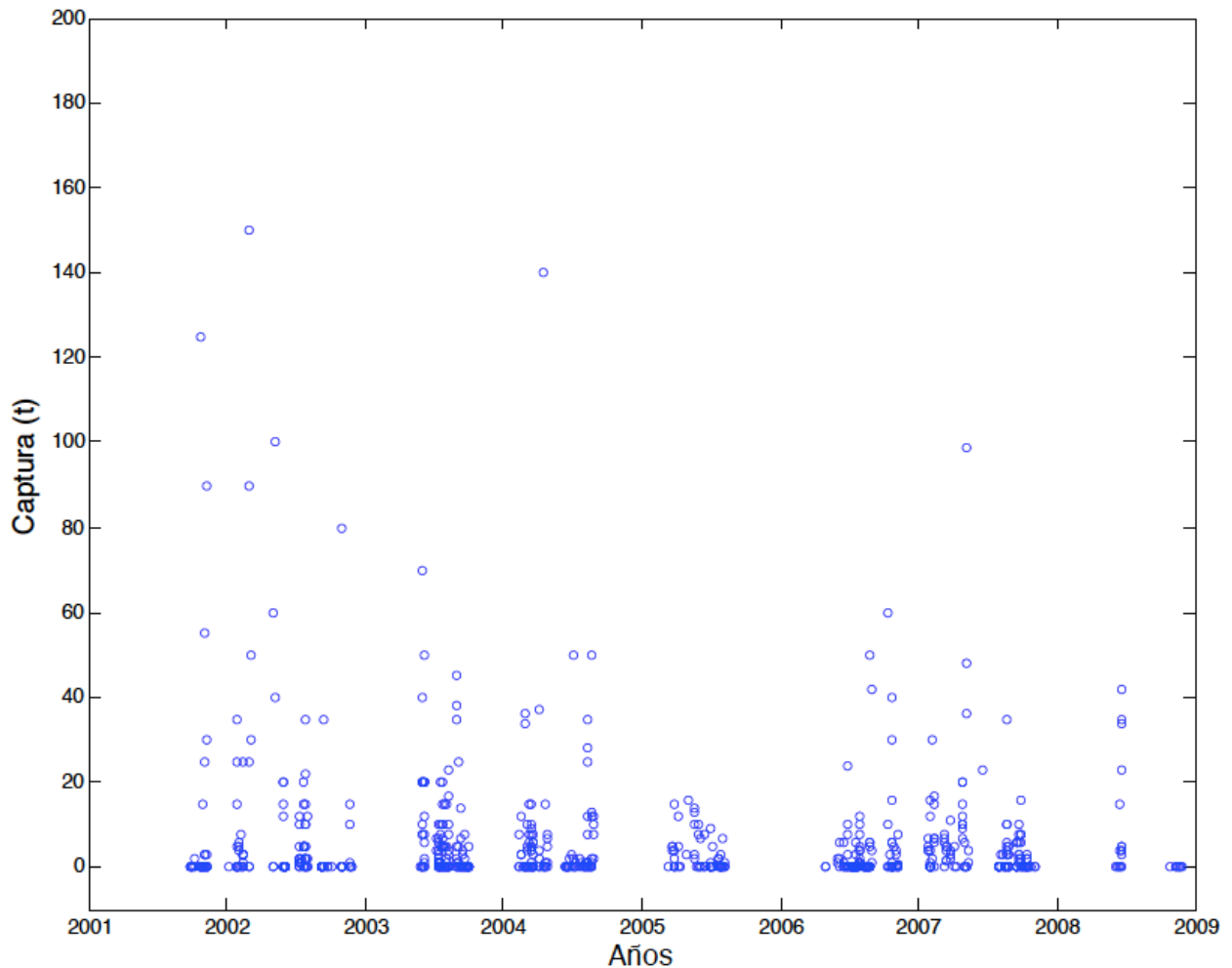


Figura 8. Capturas de atún aleta amarilla realizadas por uno de los barcos de la categoría de 350 t durante el periodo de estudio 2000-2009 en el noroeste de México.

Los mapas de distribución estacional de las capturas de atún aleta amarilla clasificadas como nulas, bajas y altas se presentan en las figuras 9, 10 y 11. No se observa un patrón de segregación, lo que indica que en una misma zona de capturas nulas, también puede haber bajas y altas, y presentan el mismo tipo de distribución estacional.

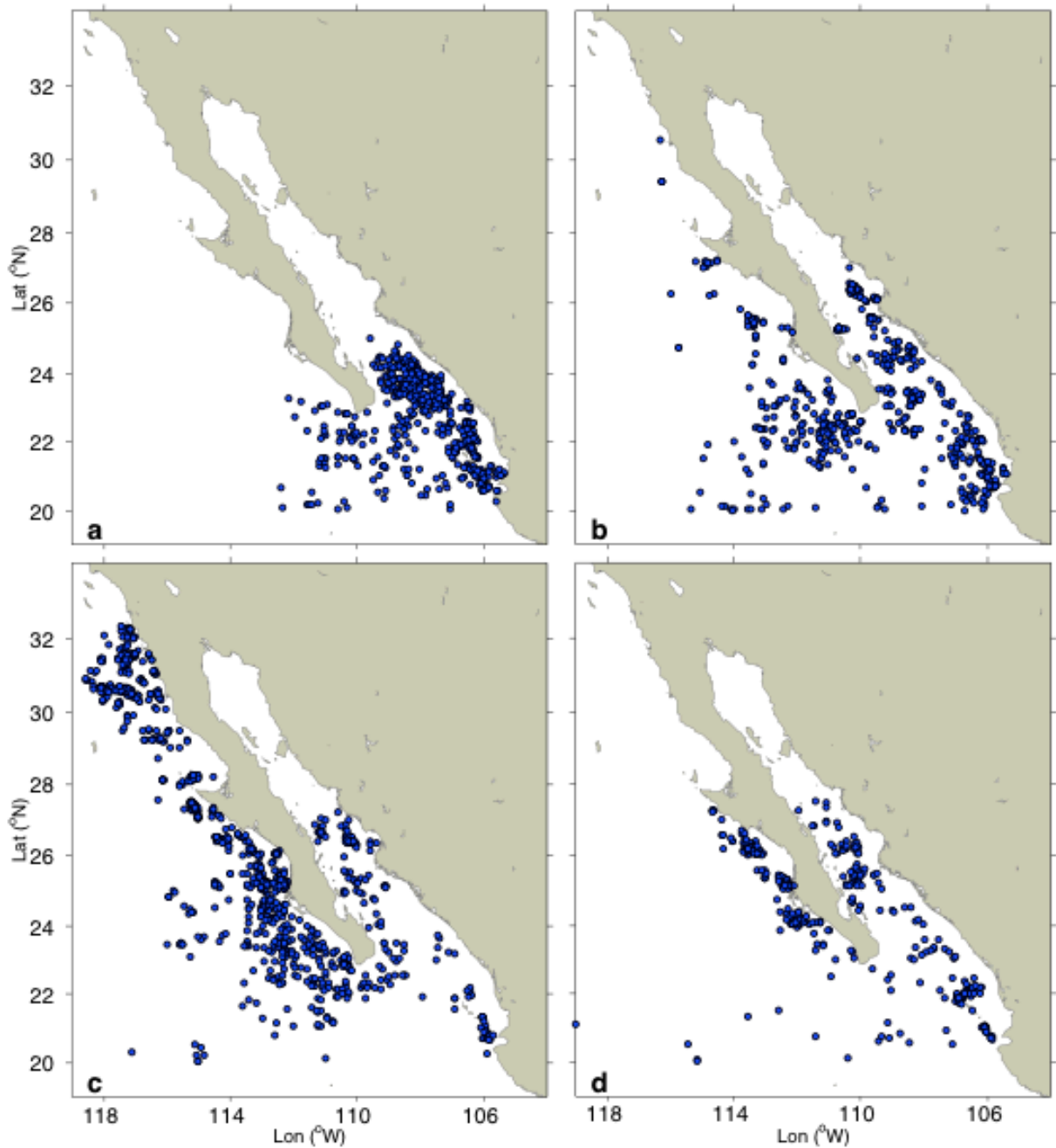


Figura 9. Distribución capturas nulas (0 t) de atún aleta amarilla capturado en cardúmenes no asociados durante 2000-2009 por la categoría de embarcaciones con capacidad de acarreo de 350 t. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

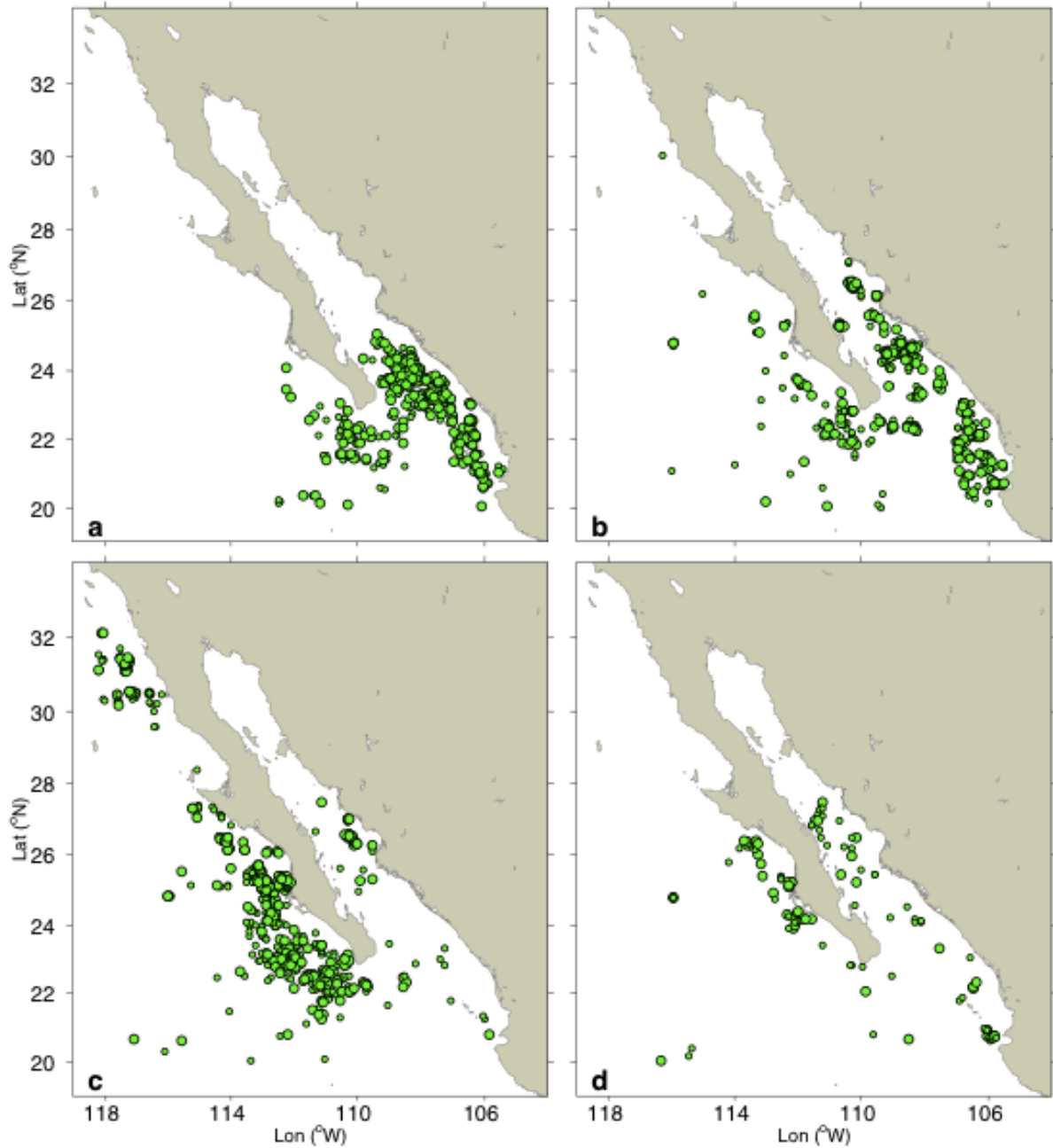


Figura 10. Distribución capturas bajas (≤ 15 t) de atún aleta amarilla capturado en cardúmenes no asociados durante 2000-2009 por la categoría de embarcaciones con capacidad de acarreo de 350 t. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

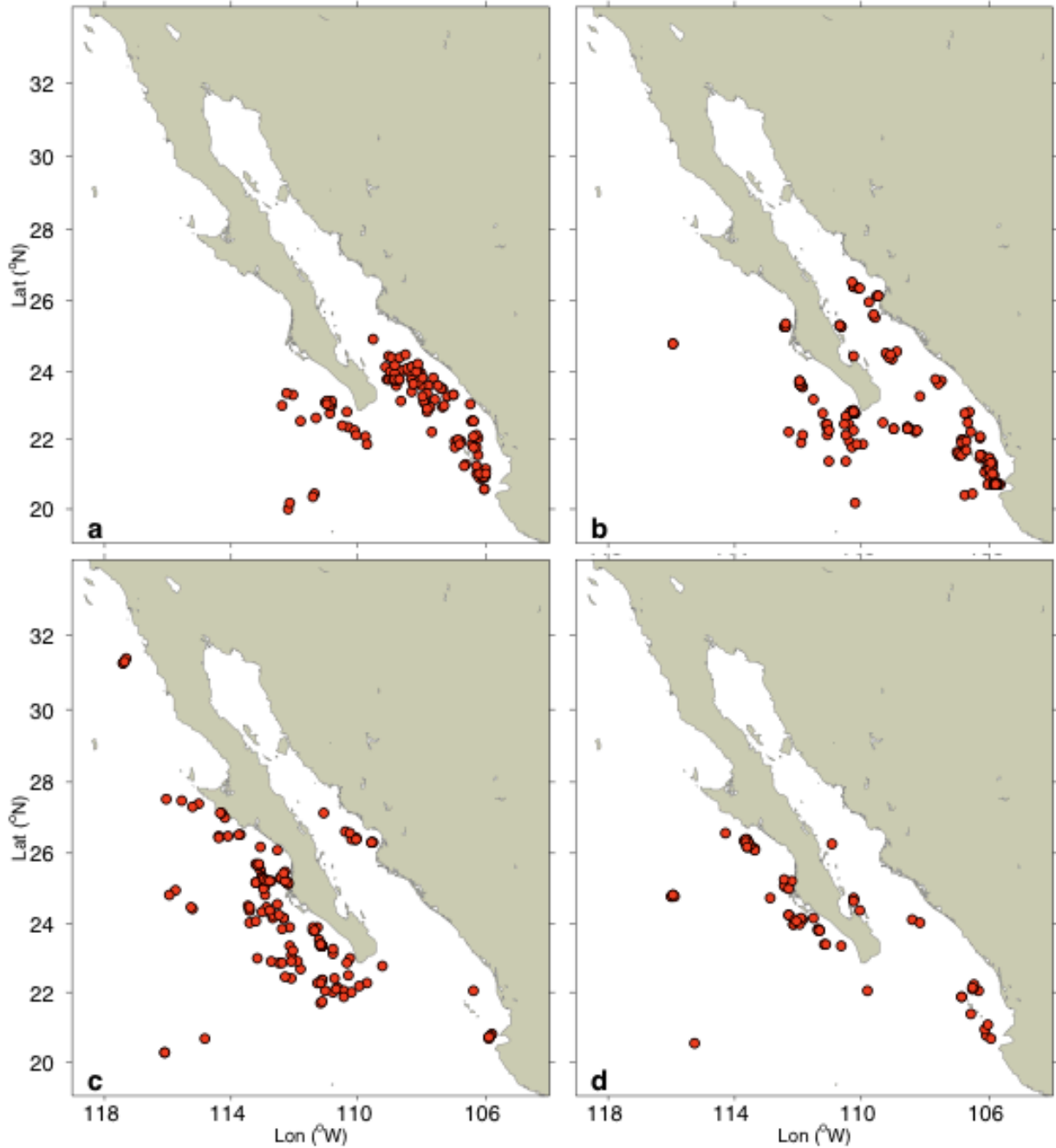


Figura 11. Distribución capturas altas (> 15 t) de atún aleta amarilla capturado en cardúmenes no asociados durante 2000-2009 por la categoría de embarcaciones con capacidad de acarreo de 350 t. a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

El porcentaje de lances por clase de captura (nulas, bajas y altas) para cada estación del año se presenta en la figura 12. Se observa que durante la primavera fue cuando se realizó el mayor porcentaje de lances con capturas altas (3.6%) principalmente a finales de ésta (mes de junio), en tanto que el porcentaje mas bajo se registró en otoño (1.4%). Durante verano se presentaron los porcentajes mas altos de lances con capturas bajas y nulas con 14.7% y 20.1% respectivamente.

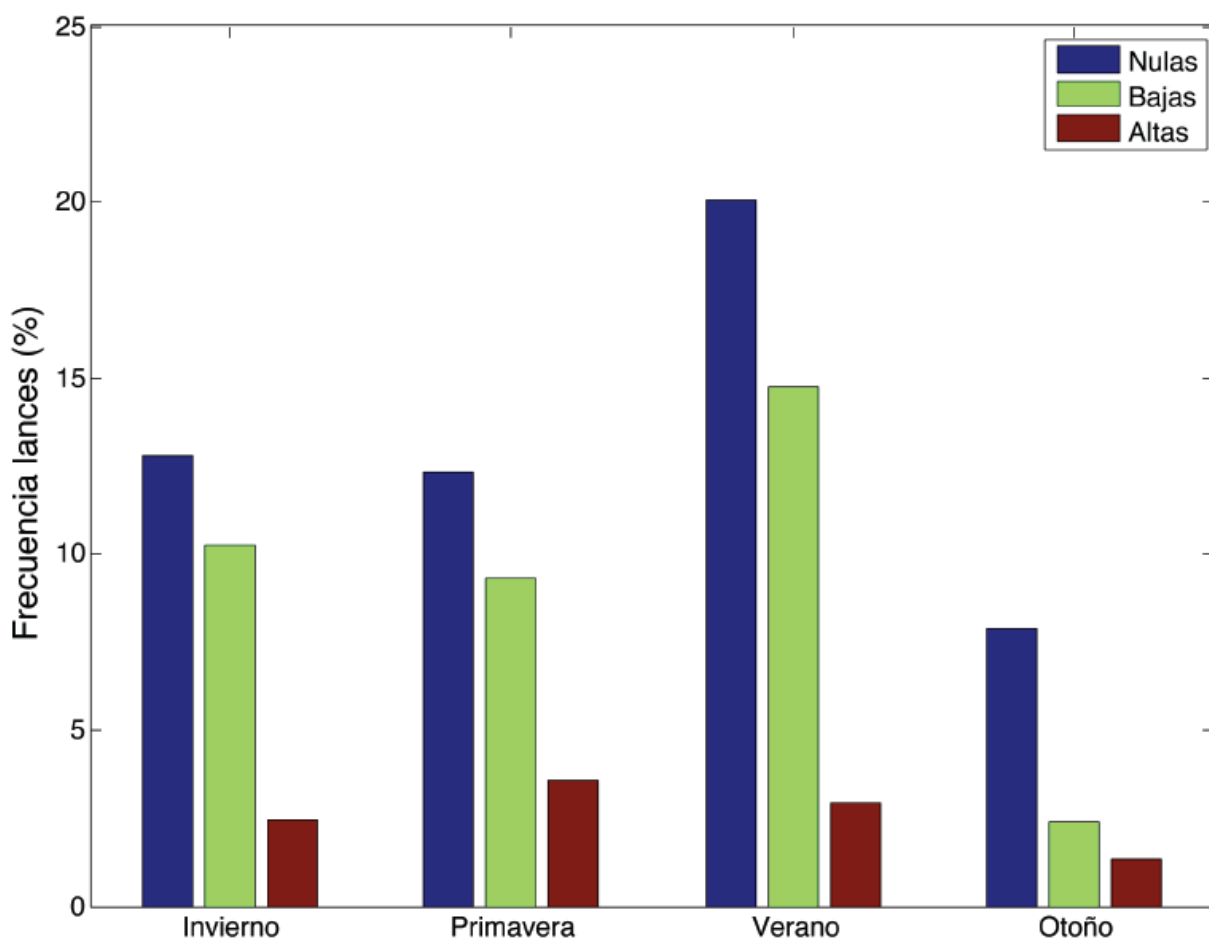


Figura 12. Frecuencia de lances de atún aleta amarilla realizados por clase de captura de las embarcaciones de 350 t de capacidad de acarreo en cardúmenes no asociados durante 2000-2009, para cada estación del año.

7.2.2. Correlación lineal de las clases de capturas con las variables ambientales

Se procedió a realizar los análisis de correlación de las clases de captura establecidas en la metodología, con la hora de los lances y las variables ambientales, que en este caso fueron: hora del lance, Tsup, ANM, Kd490. No se encontró una correlación lineal entre las variables analizadas con el éxito o fracaso de las capturas (tabla 2) ya que se observa que en cualquier rango de las variables se presenta cualquiera de las clases de captura (figura 13).

Tabla 2. Correlación de Pearson entre las variables ambientales y la clase de captura.

	nula (0 t)	baja (hasta 15 t)	alta (mayor a 15 t)
Hora lance	0.02	0.00	0.00
Tsup	0.16	0.08	-0.02
ANM	-0.002	0.06	-0.13
Kd490	0.02	0.06	0.03

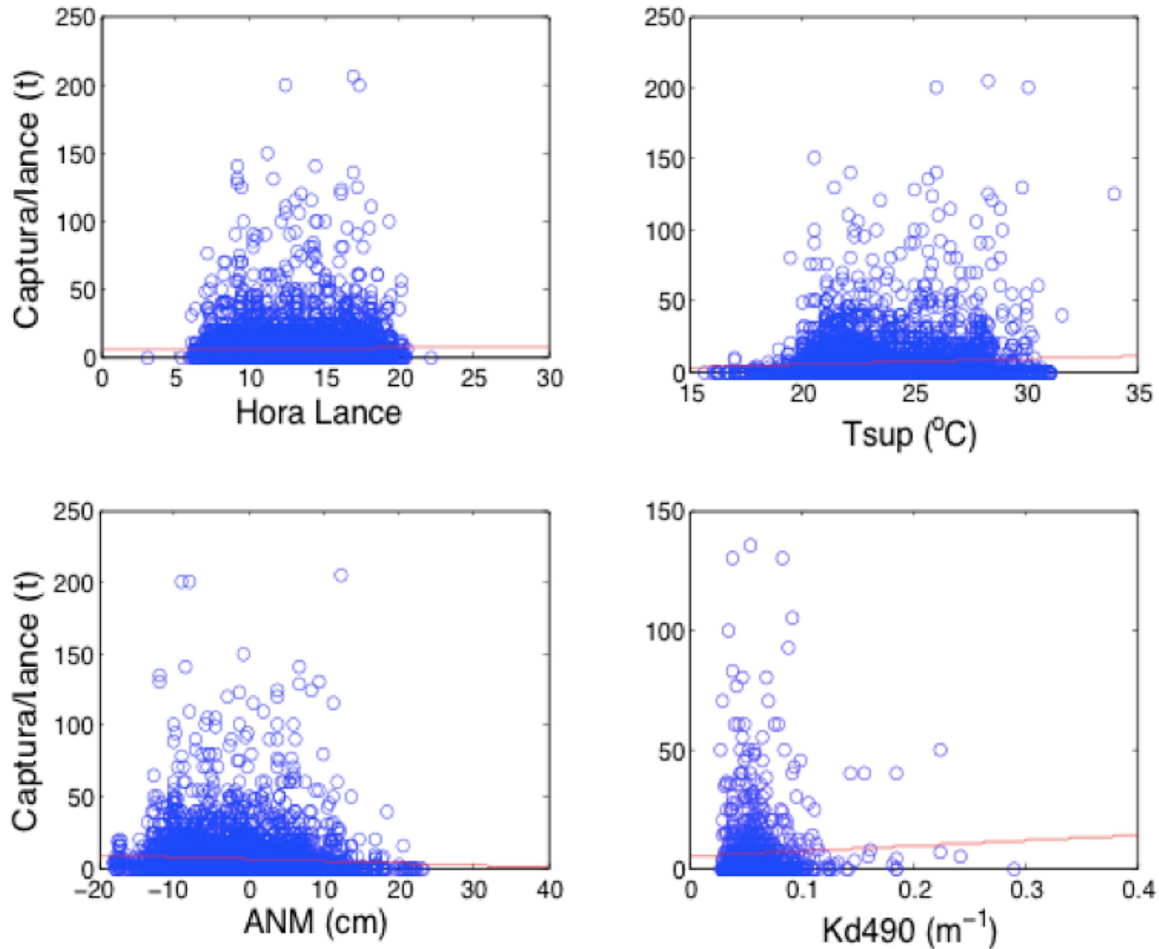


Figura 13. Gráficas de dispersión de los valores de CPUE de las embarcaciones atuneras de cerco de 350 t de capacidad de acarreo con las variables, a) hora lance, b) temperatura superficial del mar (*in situ*), c) anomalías del nivel del mar y d) coeficiente de atenuación de la luz en la columna de agua. La línea sólida representa la tendencia lineal.

7.3. Análisis de las capturas con respecto a las variables ambientales

Se utilizaron las capturas mayores a 15 t como representativas de la pesca sobre cardúmenes libres para graficar su distribución estacional de acuerdo a las variables TSM, CHL, ANM, VRV y RV, debido a que se consideró que era posible que las capturas bajas no representaran en buena medida el tamaño del cardumen sobre el cual pudieron estar actuando.

En la figura 14 se presenta la frecuencia de las capturas altas con las variables ambientales para el periodo de 2000-2009. Se observa que en general la captura sobre cardúmenes no asociados se registró en temperaturas entre 16-31 °C, con una mayor frecuencia en los 22 °C. Con respecto a la clorofila, aunque hubo capturas en las diferentes concentraciones, más del 30% se éstas se registraron en zonas con concentraciones bajas (0.2 mg·m⁻³). La frecuencia mayor de capturas altas ocurrió en anomalías del nivel del mar negativas (-9 cm). Las frecuencias más altas fueron con vorticidad relativa del viento nula y con rapidez del viento de 4 m·s⁻¹.

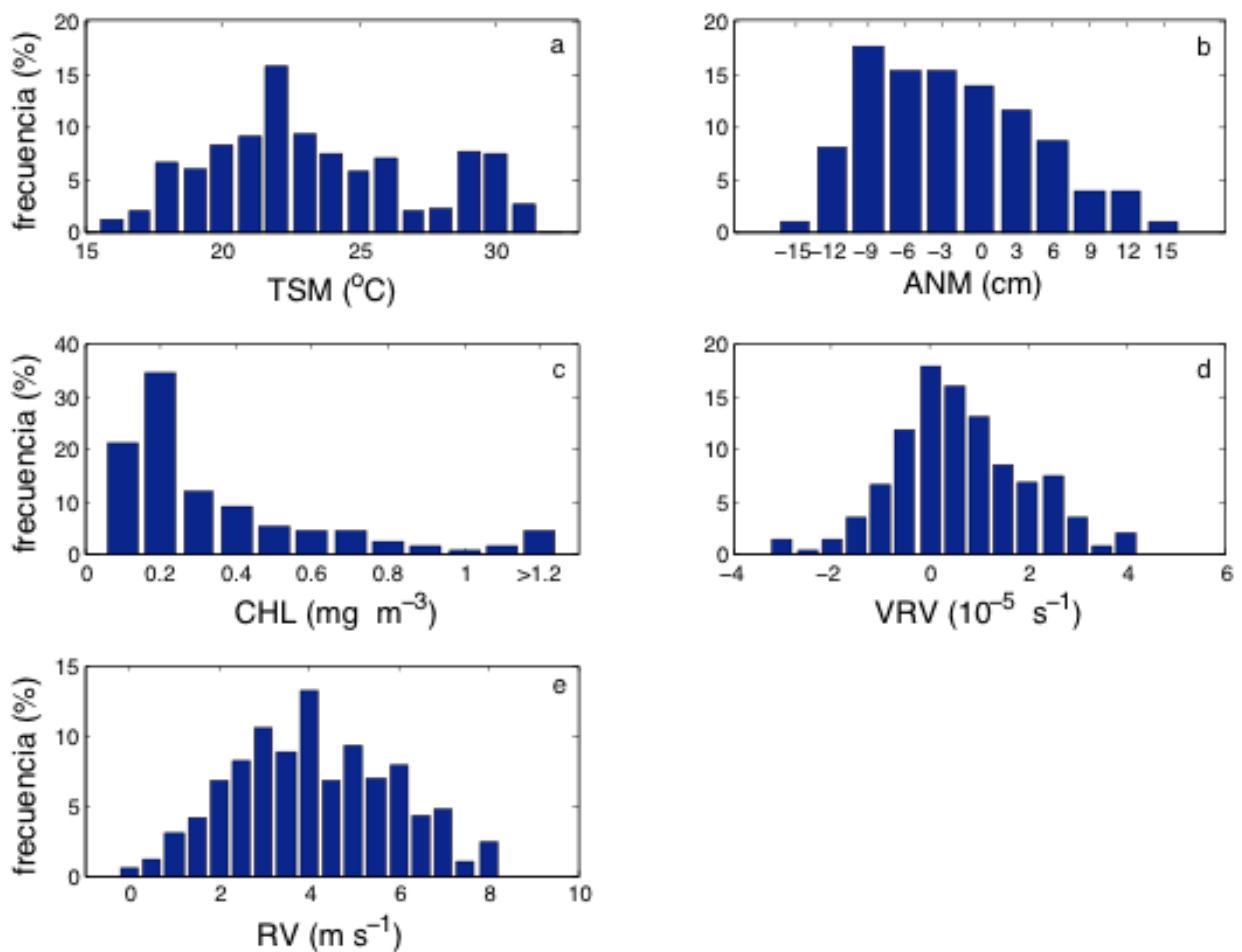


Figura 14. Relación entre las variables ambientales a) temperatura superficial del mar (TSM), b) concentración de clorofila (CHL), c) anomalías del nivel del mar (ANM), d) vorticidad relativa del viento (VRV) y e) rapidez del viento (RV), con la frecuencia de lances con captura mayor a las 15 t.

Las capturas se registraron en un rango entre 16 °C y 31 °C a lo largo del año, sin embargo estas cambiaron estacionalmente, ya que durante invierno y otoño la mayor frecuencia se presentó en los 22 °C en tanto que para primavera y verano se observó una distribución de las frecuencias a lo largo de todo el rango de temperaturas, sin mostrar una moda muy notoria por alguna temperatura (figura 15). En general se observó que las capturas se asociaron cerca de la isoterma de 23 °C (línea negra) (figura 16). La máxima distribución latitudinal de los cardúmenes se registró en verano, mientras que las capturas mayores se presentaron durante primavera, hacia afuera de la costa de Baja California Sur y en la entrada del Golfo de California.

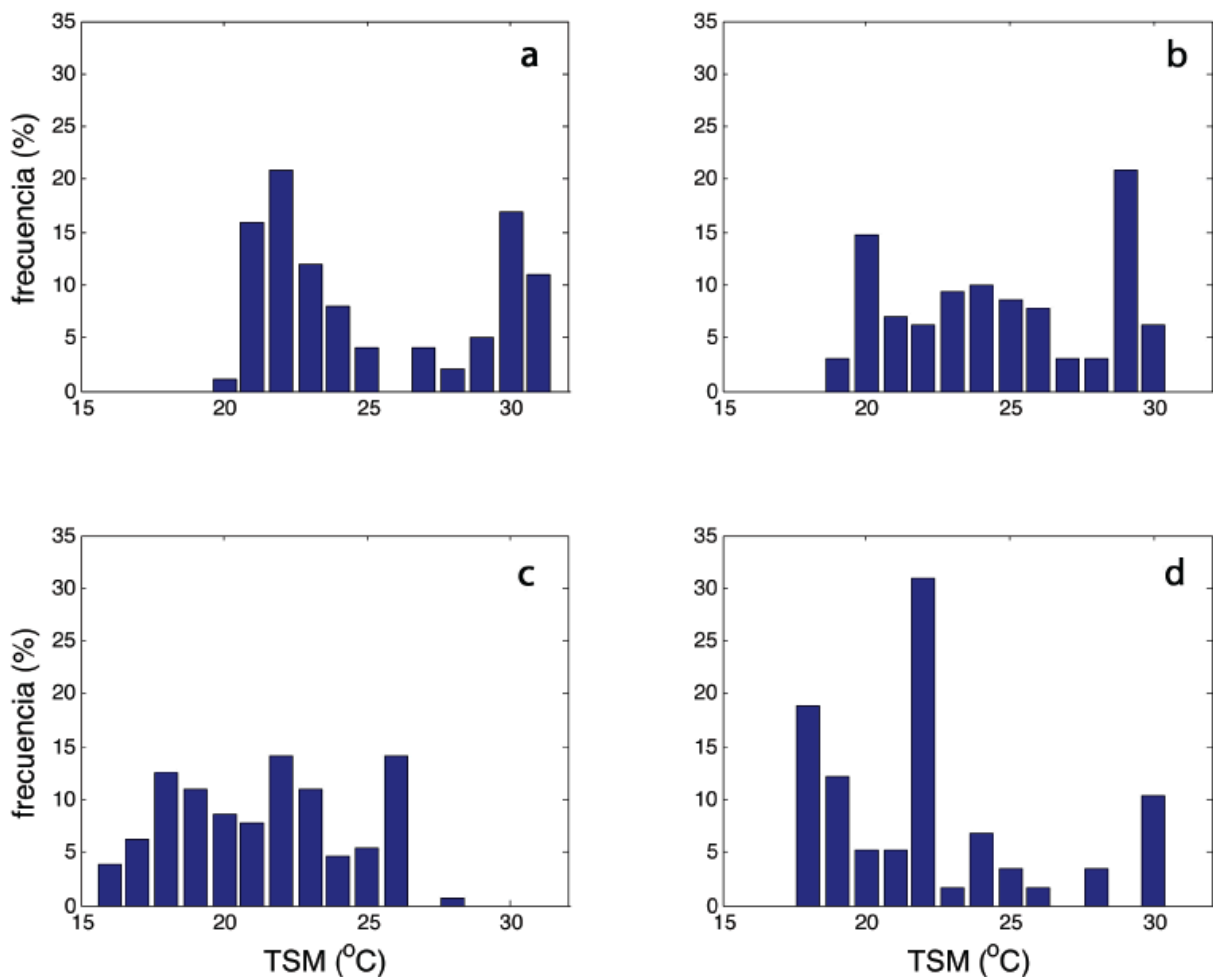


Figura 15. Relación entre la temperatura superficial del mar y la frecuencia de lances con captura mayor a las 15 t, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

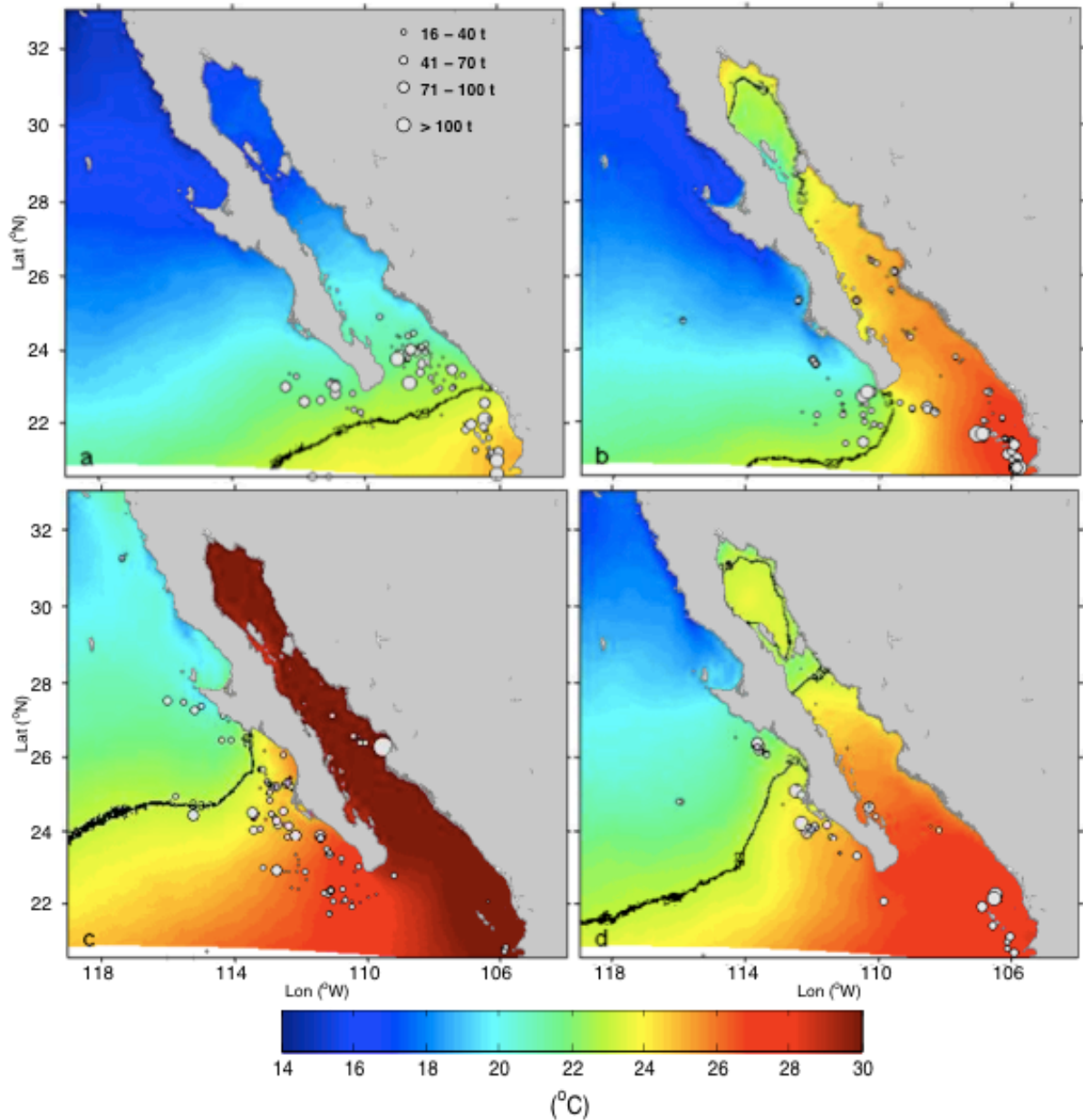


Figura 16. Distribución estacional los lances con capturas mayores a las 15 t sobrepuesta sobre la temperatura superficial del mar estacional promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño; la línea negra denota la isoterma de los 23 °C.

Con la clorofila se observó que en general las capturas se realizan en todo el rango de concentración de clorofila; sin embargo las mayores frecuencias se presentaron en concentraciones bajas ($0.2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), registrándose en primavera más del 50 % de las capturas en esta concentración (figuras 17 y 18).

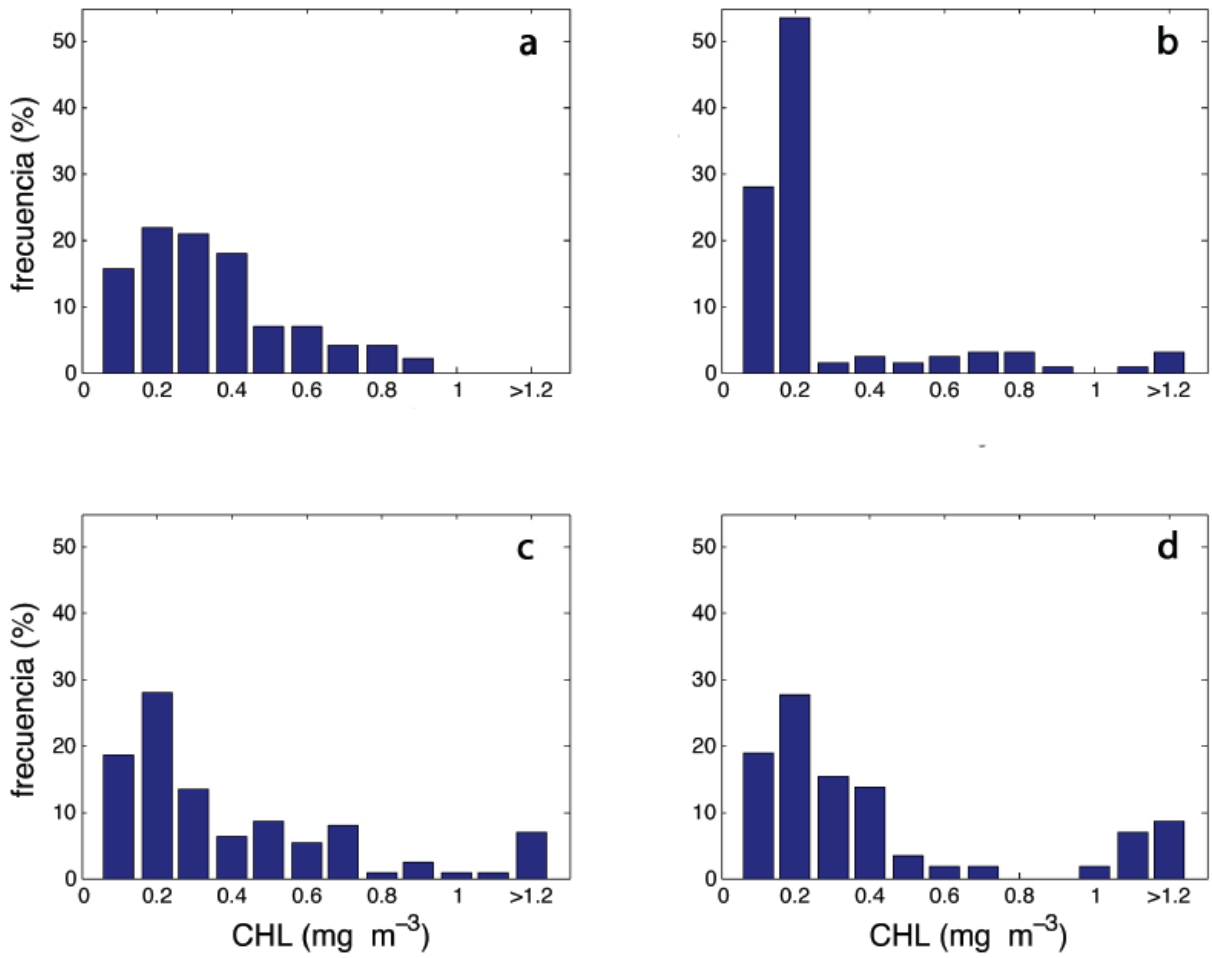


Figura 17. Relación entre la concentración de la clorofila en mg m^{-3} y la frecuencia de lances con capturas mayores a las 15t .a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

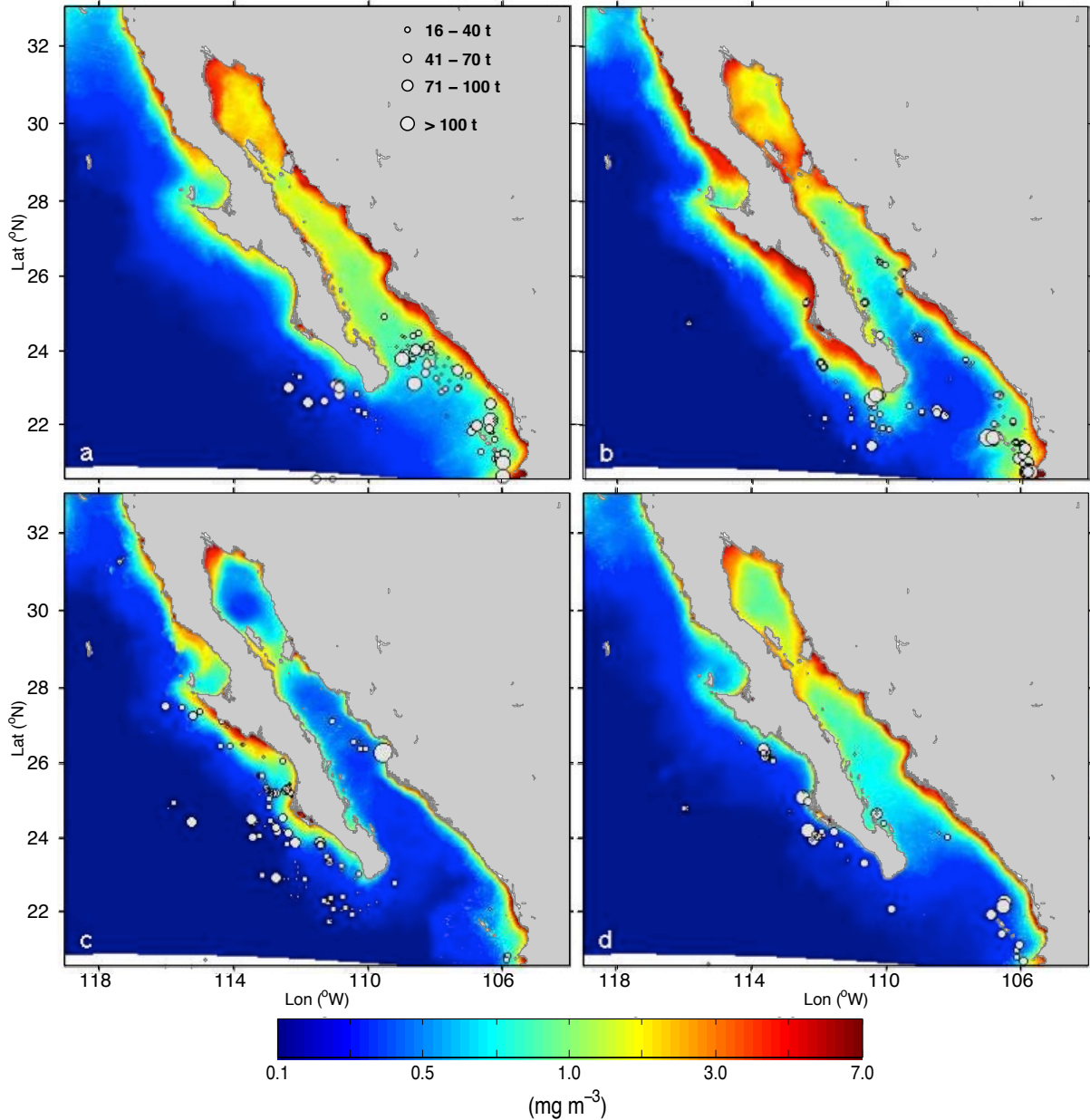


Figura 18. Distribución estacional de los lances con captura mayor a las 15 t sobrepuestos sobre la concentración de clorofila promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

Respecto a las anomalías del nivel del mar, se encontró que durante las estaciones de invierno, primavera y verano, la frecuencia de lances mayor se presentó principalmente en valores negativos; sin embargo en otoño esto sucedió con anomalías del nivel del mar positivas (zonas de termoclina profunda; figura 19); esto último se detecta claramente en la distribución de los lances (figura 20).

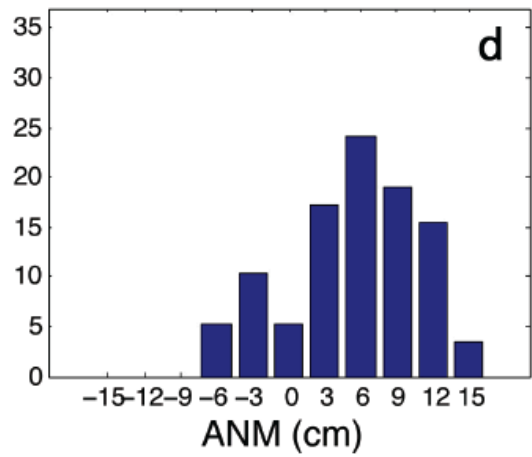
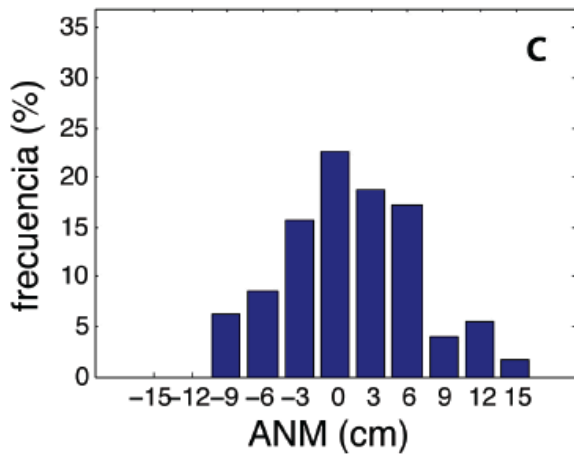
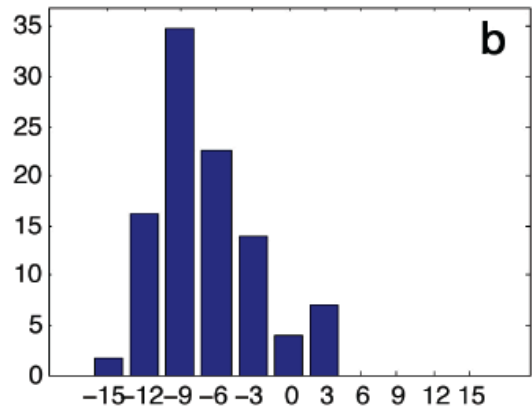
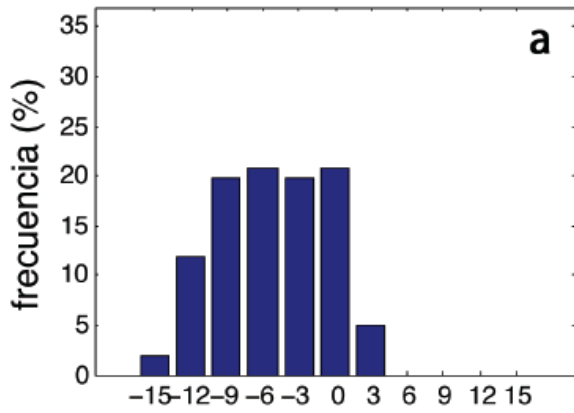


Figura 19. Relación de las anomalías del nivel del mar y la frecuencia de lances con capturas mayores a las 15 t, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

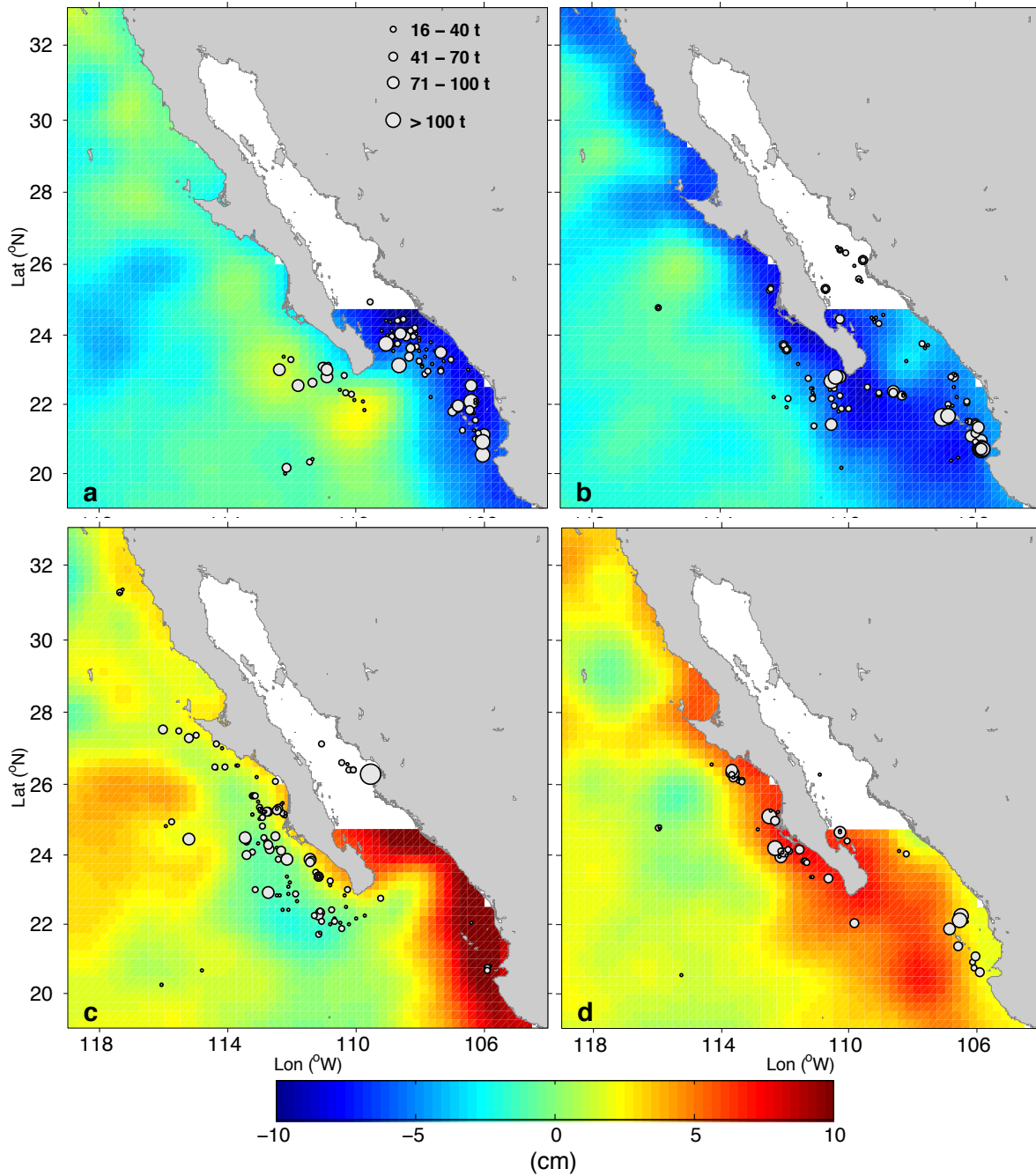


Figura 20. Distribución estacional de los lances con captura mayor a las 15 t sobrepuestos sobre las anomalías del nivel del mar promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

Respecto a la vorticidad, la mayor frecuencia de lances con capturas mayores a las 15 t se presentó cuando la vorticidad relativa fue nula, sin embargo, se presentó una mayor tendencia hacia vorticidades positivas, en zonas aledañas a los giros (frentes producidos por los giros), principalmente los de tipo ciclónico que generan bombeo de Ekman (figuras 21 y 22).

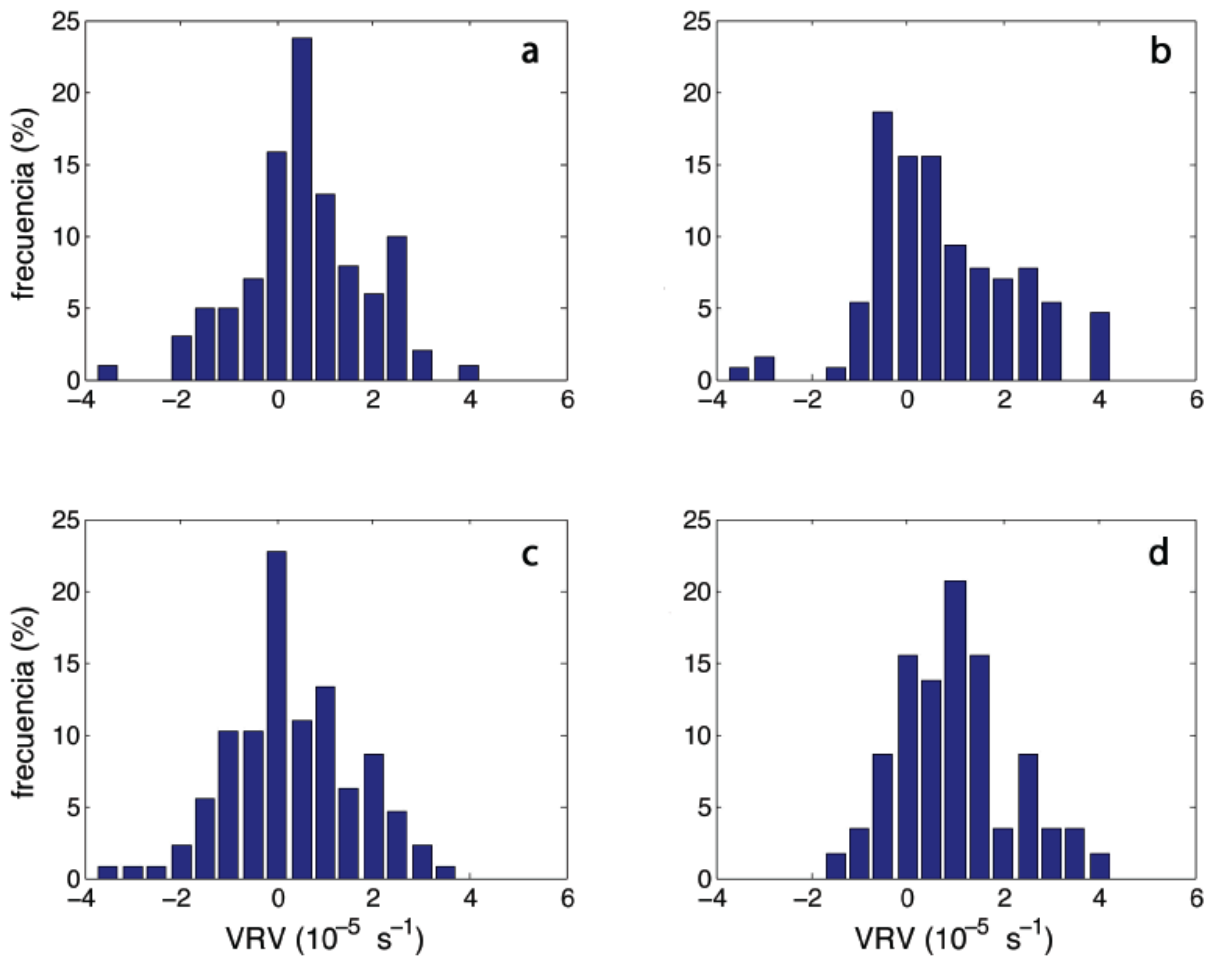


Figura 21. Relación entre la vorticidad relativa del viento y la frecuencia de lances con capturas mayores a las 15 t, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

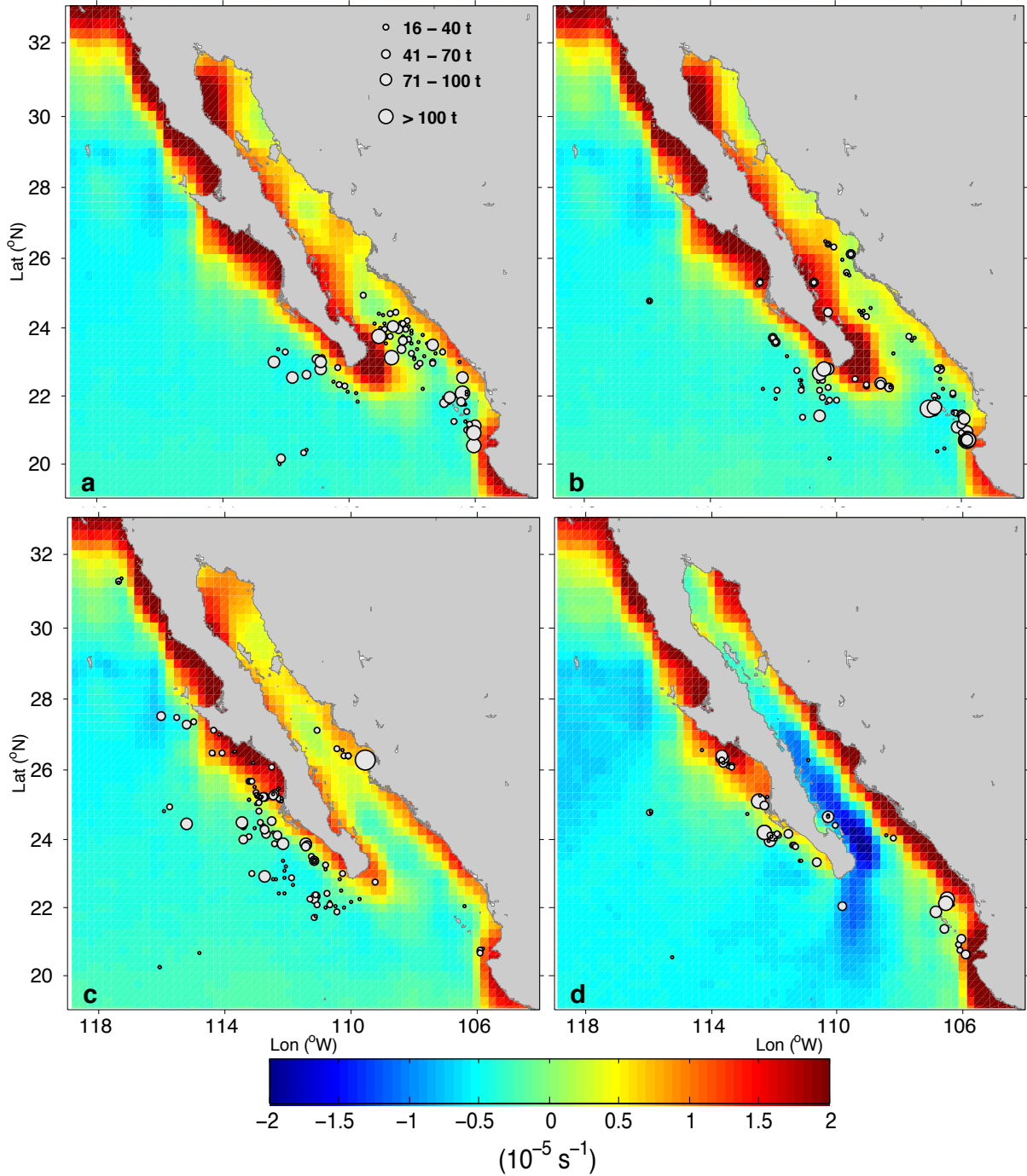


Figura 22. Distribución estacional de los lances con captura mayor a las 15 t sobrepuestos sobre la vorticidad relativa del viento promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

En cuanto a la rapidez del viento, la mayor frecuencia de lances se realizó en velocidades entre los 3 a 5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, correspondientes a una escala de intensidad Beaufort de nivel 3 propio de una brisa débil, que en el mar presenta pequeñas olas y crestas rompientes. En invierno se observó que la mayor frecuencia se presentó en valores de 4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, sin embargo en primavera disminuyó a 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; en tanto que en el periodo cálido correspondiente a verano y otoño, no hubo una preferencia por una rapidez de viento en particular (figuras 23 y 24).

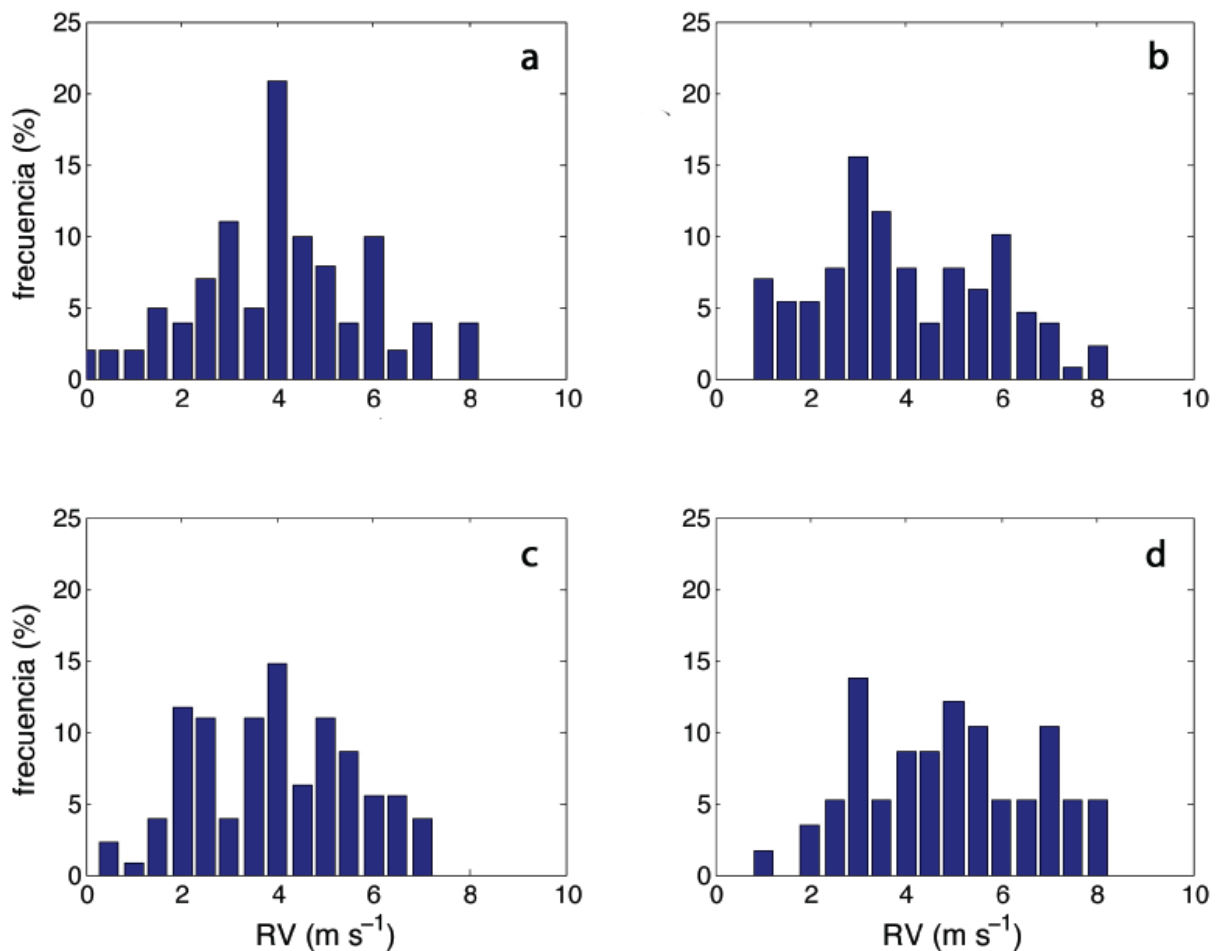


Figura 23. Relación entre la rapidez del viento y la frecuencia de lances con capturas mayores a las 15 t, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

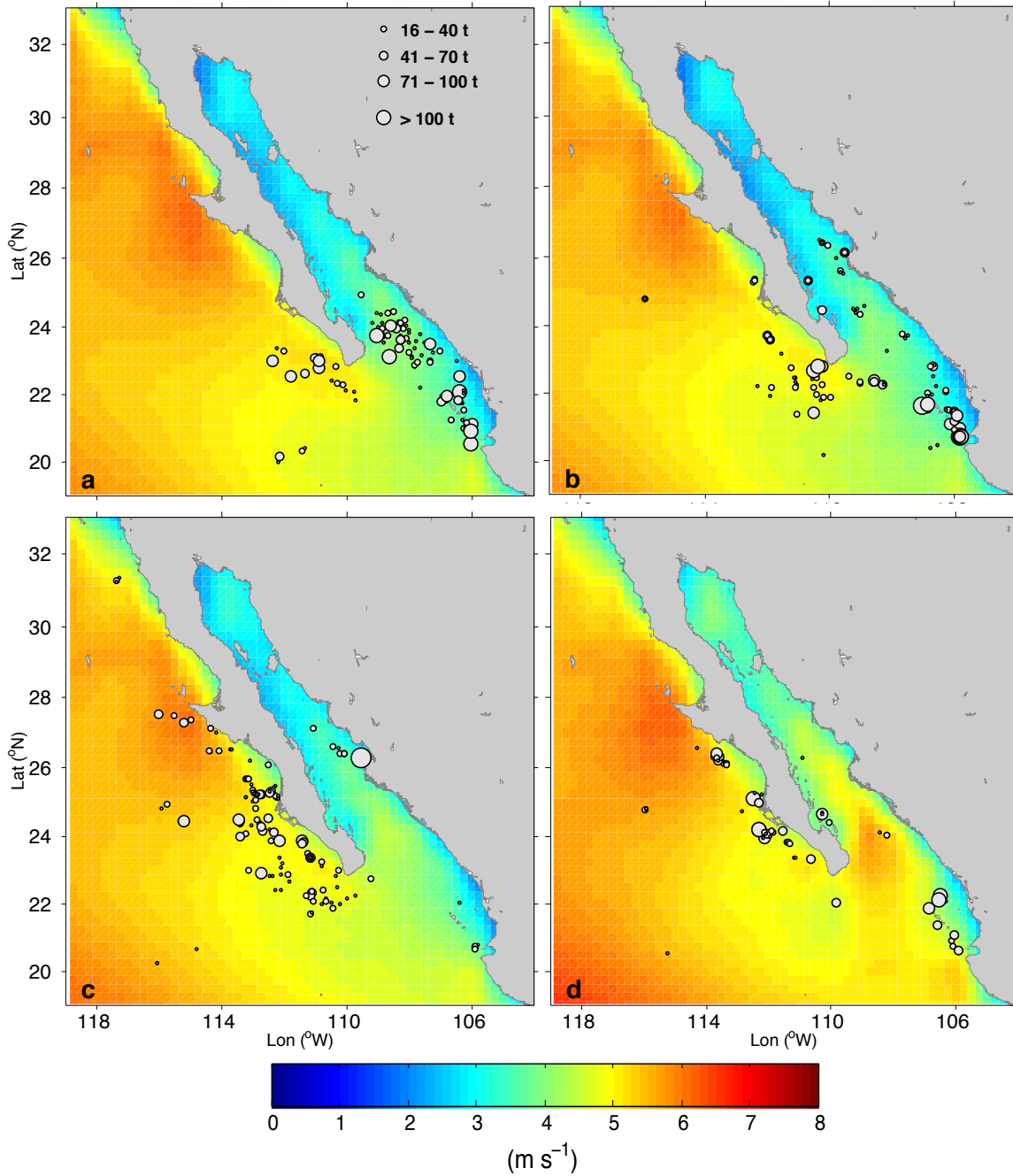


Figura 24. Distribución estacional de los lances con captura mayor a las 15 t sobrepuestos sobre la rapidez del viento promedio durante el periodo 2000-2009, a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

7.4. Modelo de predicción espacial del recurso

El modelo final explicó el 45.8 % de la devianza e incluye las siguientes variables predictivas:

$$g(\mu) = b_0 + f(\text{Mes}) + f(\text{TSM}) + f(\text{RV}) + f(\text{VRV}) + f(\text{CHL}) + f(\text{ANM}) + f(\text{Lon, Lat})$$

La contribución relativa de cada una de las variables al modelo final se presenta en la tabla 3. Los resultados indican que las variables espaciales (longitud y latitud) tienen un fuerte efecto en la captura por lance de la especie, la anomalía del nivel mar fue la variable ambiental más importante. La figura 25 muestra la distribución espacial de las capturas por lance promedio observadas y las predichas por el modelo para los 10 años de estudio.

Tabla 3. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado.

Modelo	Grados de libertad residuales	Devianza residual	p (χ^2)	Devianza explicada (%)
Nulo	243.00	32765		
+Mes	234.71	1773	$<2.2 \times 10^{-16}$	10.8
+TSM	225.93	1673	$<2.2 \times 10^{-16}$	15.9
+RV	217.00	1554	$<2.2 \times 10^{-16}$	21.9
+VRV	208.60	1475	1.627×10^{-13}	25.8
+CHL	202.24	1442	1.378×10^{-05}	27.5
+ANM	193.76	1407	3.747×10^{-05}	29.3
+(Lon, Lat)	169.86	1078	$<2.2 \times 10^{-16}$	45.8

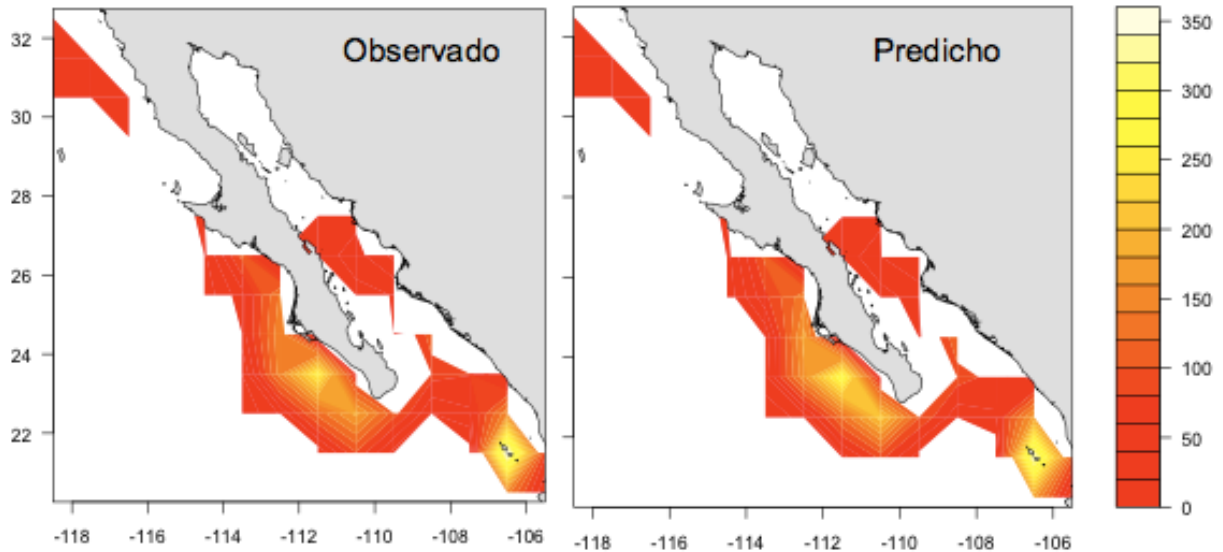


Figura 25. Validación espacial del modelo para las capturas por lance: observado y predicho.

Al graficar el efecto de cada variable sobre la CPUE (figuras 26 y 27) se observa que los valores mayores de CPUE se registraron en zonas donde la RV fue de 2 a $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Hay una notoria estacionalidad del recurso, incrementando la CPUE hacia el periodo de primavera, y disminuyendo hacia el verano coincidiendo con una mayor distribución del recurso. Las CPUEs en general se dan en TSM de 19 a $30 \text{ }^\circ\text{C}$, sin embargo los valores mayores se registraron en el rango entre los 22 a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, en zonas con ANM predominantemente negativas de -5 a 0 cm , con una VRV nula, y concentraciones de CHL bajas. Los focos de distribución de la CPUE se presentaron principalmente en la zona de la entrada del Golfo de California y el oeste del extremo sur de Baja California Sur (22° N , 107° W y 23° N , 112° W) respectivamente.

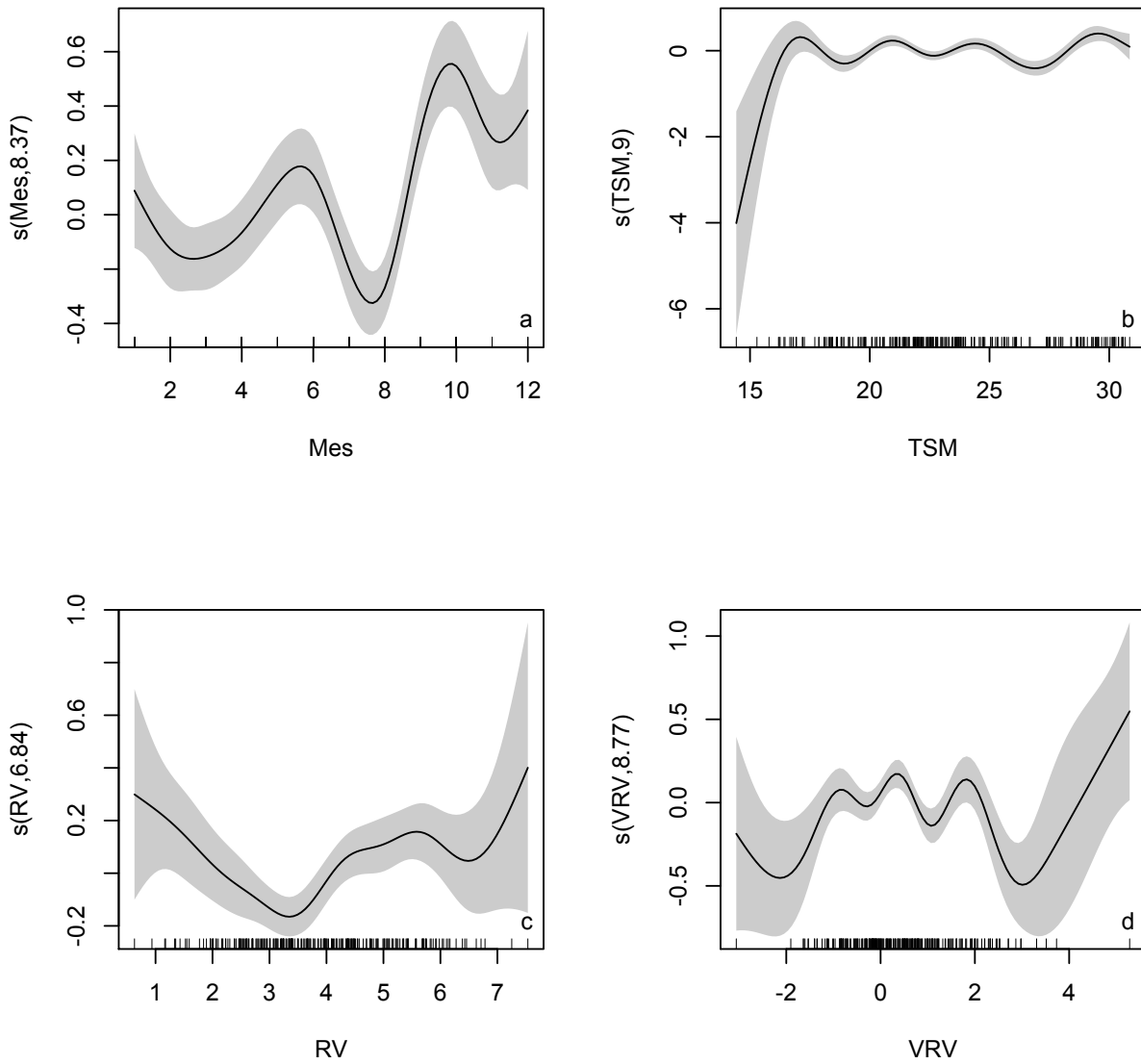


Figura 26. Efecto de las variables sobre la CPUE de atún aleta amarilla capturado en el noroeste de México en cardúmenes no asociados, a) mes, b) temperatura superficial del mar (TSM), c) rapidez del viento (RV) y d) vorticidad relativa del viento (VRV). El área sombreada representa el intervalo de confianza al 95 %. La densidad de los datos se muestra en el diagrama marginal del eje x.

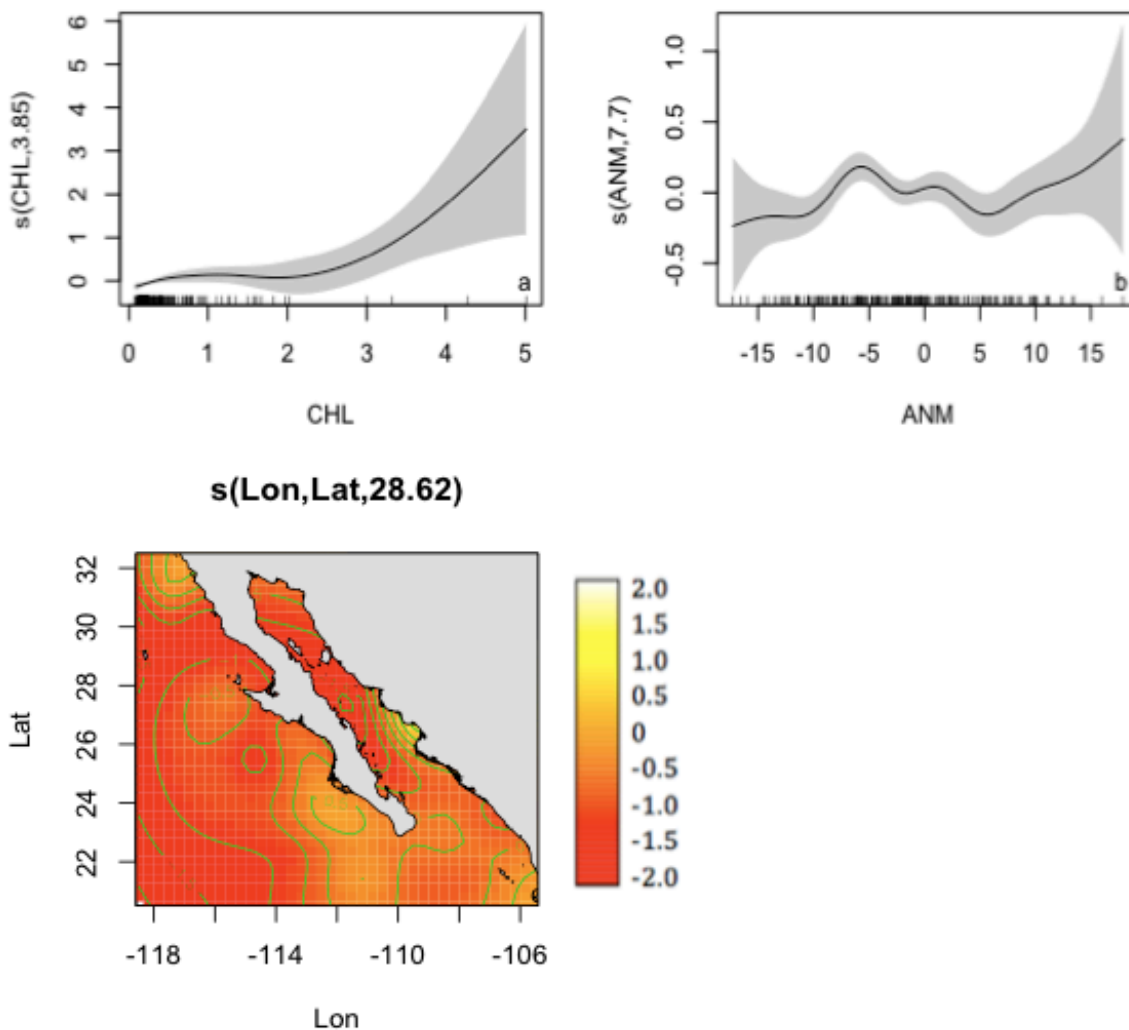


Figura 27. Efecto de las variables sobre la CPUE de atún aleta amarilla capturado en el noroeste de México en cardúmenes no asociados, a) concentración de clorofila (CHL), b) anomalías del nivel del mar (ANM), c) distribución espacial (isolíneas representan la CPUE). El área sombreada representa el intervalo de confianza al 95 %. La densidad de los datos se muestra en el diagrama marginal del eje x.

Al realizar las predicciones de la CPUE basada en las variables ambientales para la zona de estudio, se encontró que en general la boca del Golfo de California es una región importante para la pesca de atunes. Se observó una alta estacionalidad en las CPUEs, con su valor más alto en el mes de junio, y un incremento puntual en la región de Cabo Corrientes y las Islas Marías durante el mes de septiembre, y el occidente de Baja California Sur durante octubre. Adicionalmente, se observa la presencia constante de recurso en zonas como la comprendida entre

Los Cabos y Bahía Magdalena, y entre Cabo corrientes y las Islas Marías (figura 28).

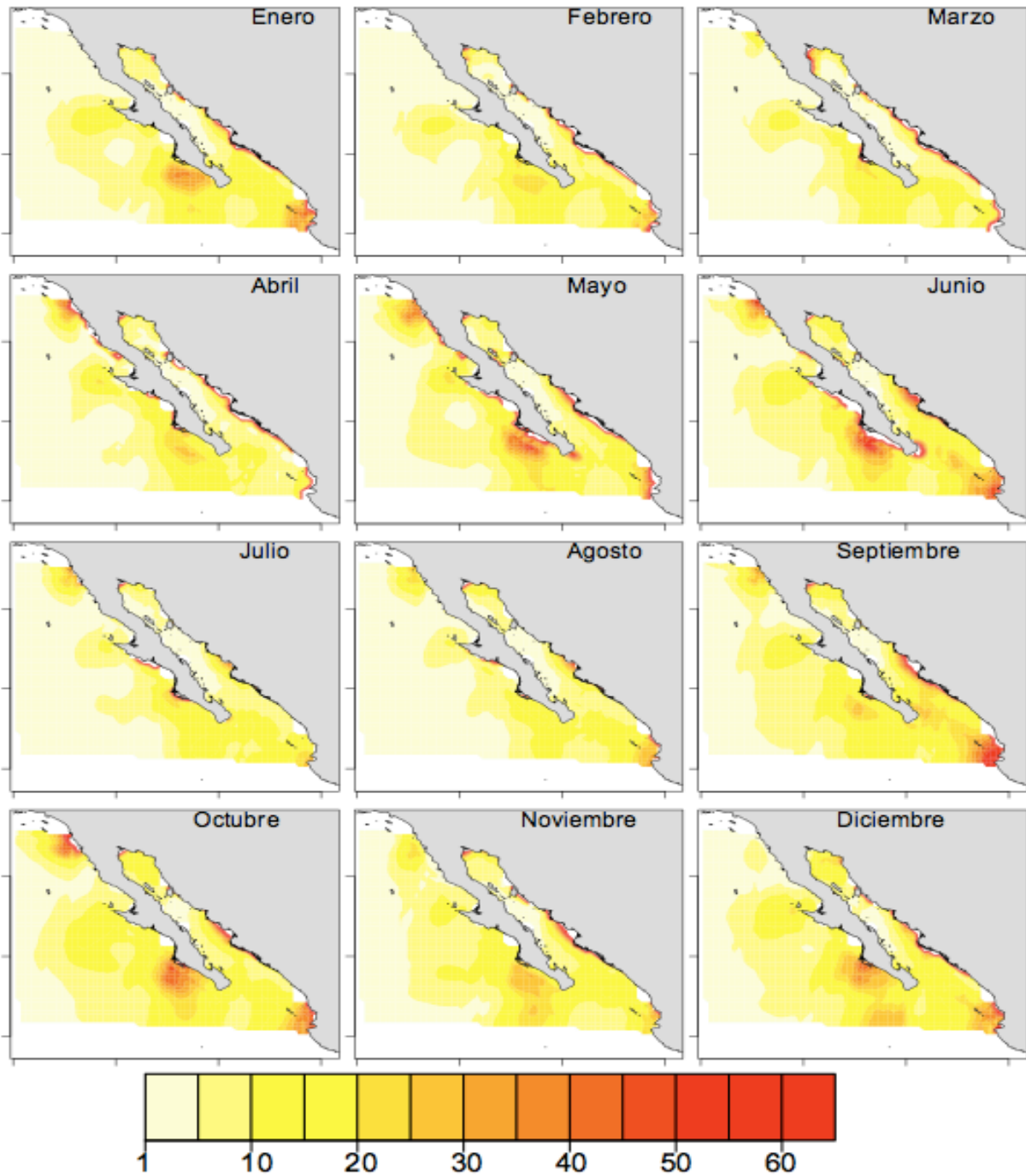


Figura 28. Predicción de la CPUE de cardúmenes de atún aleta amarilla en cuadrantes de 0.25° en el noroeste de México, durante un año promedio del periodo 2000-2009.

8. DISCUSIÓN

8.1. Distribución de las capturas

La categoría de 350 t de capacidad de acarreo fue considerada como la más representativa de la pesca sobre cardúmenes no asociados, debido principalmente a que fue la más constante en el tiempo y realizó las capturas más altas sobre este recurso durante el periodo analizado. Sin embargo los valores de CPUE fueron menores que los de las otras categorías, lo cual fue resultado de un número alto de lances no exitosos (53%), en parte debido a que esta categoría no cuenta con ayuda aérea, ni de imágenes satelitales como las otras 2 categorías (Ortega-García & Muhlia-Melo, 1992; Ortega-García, 1998).

Sin embargo, estas características son las que la hacen más adecuada en términos de usar la CPUE como un indicador de la abundancia ya que no existen factores externos que alteren su valor y representan de mejor forma como se distribuye el recurso; lo que coincide con lo que Hilborn & Walters (1992) llaman híperestabilidad de la CPUE con relación a la abundancia, la cual se puede esperar en casi todo tipo de pesca donde la búsqueda es muy eficiente, por lo que la mayoría del esfuerzo se concentra en las zonas donde los peces son más abundantes. Adicionalmente, Méndez (1996) plantea que la ayuda aérea permite confirmar la presencia de cardúmenes de atún y tomar la decisión en cuanto a la realización o no de un lance. En el caso de las embarcaciones de 350 t la ausencia de ayuda aérea hace que no se genere sesgo en la información.

En esta categoría, los pescadores realizan el lance de pesca sin la posibilidad de estimar el tamaño del cardumen, sólo cuentan con lo que alcanzan a observar desde la embarcación, esto ocasiona que una vez que el cardumen es detectado se realice la maniobra sea cual sea el tamaño del mismo. Por otra parte el hecho de ser embarcaciones con limitada autonomía hace que su área de operación sea cercana a la costa donde la probabilidad de encuentro con cardúmenes no asociados es

mayor.

La captura de atún aleta amarilla en cardúmenes no asociados se caracteriza por llevarse a cabo cerca de la costa (Bautista-Cortés, 1997; López-Medina, 2006; Arias-Aréchiga, 2010); sin embargo se pudo determinar que esta se realiza fuera de la isobata de los 200 m, límite de la plataforma continental, principalmente debido al tamaño (calado) de las redes que pueden medir en promedio 200 m. Sin embargo, en zonas como el Golfo de Ulloa se registraron lances dentro de la plataforma, principalmente durante el periodo de verano.

Esto se puede atribuir a que esta zona presenta uno de los principales recursos alimenticios del atún aleta amarilla que es la langostilla (*Pleuroncodes planipes*). Según Galván-Magaña (1988) la langostilla aporta el 74% en la dieta del atún aleta amarilla en el noroeste de México; Vélez-Marín *et al.* (1991) señalan que en la boca del Golfo de California esta especie aporta el 66% de su alimentación en tanto que alrededor de las Islas Mariás aporta el 44%. Esto coincide con lo reportado por Ortega-García (1998) quien encuentra las mayores capturas por día normal de pesca de atún aleta amarilla a finales de primavera y principios del verano cuando la langostilla se encuentra disponible al atún antes de profundizarse. Lo anterior como reporta Aurióles-Gamboa (1995) se debe a que durante el periodo verano-otoño, la langostilla disminuye su área de distribución y se incrementa la biomasa en parches o focos de concentración, migrando a zonas más profundas, que según Guzmán (1995) fluctúan desde los 80 a 240 m.

En el caso de la merluza, otro depredador de la langostilla en fase pelágica, Balart & Castro-Aguirre (1995) reportan mayor consumo de esta presa en los meses de verano. Por lo cual, a manera de hipótesis, a pesar de que el verano no es el periodo donde más se ha encontrado langostilla formando parte de la dieta del atún como lo es la primavera, el hecho de que esta presa se comience a replegar, pero se encuentre aún presente en diferentes profundidades, puede sugerir que esta queda más expuesta a los atunes y por consiguiente haya más presencia de éstos sobre

parte de la plataforma continental durante los meses cálidos. Esto quizá es la causa de que las embarcaciones incrementen los lances sobre los atunes aleta amarilla en la zona de la plataforma continental.

En general, se observa que las capturas se realizan principalmente en la entrada del Golfo de California y, conforme cambian las estaciones, se presenta una distribución latitudinal del recurso en zonas aledañas a la plataforma continental. Sin embargo, se percibe que la CPUE se localiza en algunas zonas y períodos de tiempo específicos, como la entrada del golfo en primavera, y presenta un desplazamiento hacia el norte durante los meses de verano y otoño y se repliega durante el invierno.

Como lo plantean Domingo *et al.* (2007), este comportamiento en la CPUE puede responder a zonas de alta productividad que se generan por la confluencia de corrientes. En el caso de esta investigación esa zona de alta productividad corresponde a la zona de convergencia tropical-subtropical. Esta es producida por la dinámica de las corrientes del Brazo Tropical de la Corriente de California, la Corriente Costera Mexicana y el Sistema de Corrientes del Golfo de California. La primera con mayor fuerza en el período frío, contrarrestada en el período cálido por la segunda (Kessler 2006, Lavín *et al.*, 2006 & Kurczyn *et al.*, 2012), y la presencia constante de la dinámica propia que involucra el SCGC (Castro *et al.*, 2000). Según Arias-Aréchiga (2010), se trata de una región que presenta condiciones más cambiantes (75%) que otras zonas de la costa mexicana del Pacífico.

8.2. Análisis del éxito de pesca

8.2.1. Clases de capturas

Se encontró que la pesca sobre cardúmenes no asociados en el área de estudio no presenta un patrón específico en la distribución de las clases de captura. En cambio, se pueden dar capturas altas o nulas en cualquier momento de un mismo día, respondiendo a la dinámica del cardumen y a la táctica de pesca usada por el

capitán del barco, que terminará o no en la captura del mismo. Como lo plantea Solana-Sansores *et al.* (2009), estas tácticas de pesca usadas por el capitán del barco pueden ser de dos tipos: el primero, que denominó sistemático, involucra movimientos específicos secuenciados del barco y destaca la experiencia del capitán en el encuentro de los bancos de peces, la interpretación y especialmente el uso que le da a las señales ambientales; el segundo tipo, que identificó como aleatorio, corresponde a la utilización de prácticas no secuenciales que finalmente llevan a tomar la decisión de un lance de pesca por un encuentro casual, en el caso de los cardúmenes no asociados, un capitán de pesca podrá o no realizar un lance, dependiendo de la actividad del cardumen. De acuerdo con Delgado (2010), bajo el segundo tipo de táctica, las capturas sobre cardúmenes no asociados son más difíciles de realizar que las otras, ya que los atunes se sumergen haciendo más difícil su seguimiento y captura.

Lo anterior corrobora que no hay una segregación en la distribución de los lances por clases de captura, sino que se observa que en una misma zona se pueden efectuar lances con captura nula, baja o alta, y la distribución de los lances es igual, presentando la misma variación estacional. Esto permitió elegir a la clase de capturas altas como representativa para los análisis con variables ambientales que están reflejando el comportamiento de la distribución del recurso.

Como lo mencionan Vaca *et al.* (2002), los cardúmenes no asociados se encuentran relacionados principalmente con la presencia de zonas con mayor disponibilidad de alimento. Su mayor frecuencia se localiza en los frentes de la zona costera; frentes de surgencias costeras y oceánicas; así como en los frentes de corrientes tanto locales como las grandes corrientes oceánicas del OPO. Esto se confirma con la presencia de capturas más altas durante el periodo de primavera, debido a que durante esta época hay una mayor dinámica en la zona de estudio, como lo muestran Kurczyn *et al.* (2012), que encuentran que en primavera hay una mayor presencia de remolinos ciclónicos, y mayor índice de surgencias costeras que pueden estar favoreciendo la alimentación de los atunes en la zona debido a los

afloramientos de aguas ricas en nutrientes, que favorecen el desarrollo de redes tróficas y por ende la presencia de presas para los atunes.

En contraste, se observa que la mayor cantidad de lances nulos y bajos se presentan en verano, época en la que según estos mismos autores sugieren una disminución de remolinos ciclónicos y un aumento en los giros anticiclónicos, hecho que ocasiona un hundimiento de la termoclina, disminuyendo la presencia de alimento para los atunes.

8.2.2. Correlación lineal de categorías de capturas con variables ambientales

Dreyfus & Mejía (2009) reportan capturas altas en el periodo de primavera, lo que coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación. Ellos también encontraron que durante el verano hay mayor número de lances nulos o, como lo llaman ellos, lances de agua. Según su estudio, dichos lances no se encuentran relacionados con el incremento de esfuerzo en la flota.

La falta de relación entre los lances de agua y el incremento de esfuerzo en la flota, les sugirió como hipótesis que dichos lances pudieran estar ligados al aumento en la profundidad de la termoclina que conlleva el verano o a periodos con presencia de eventos como El Niño, que permite que los cardúmenes se escapen por debajo de la red antes de que ésta se cierre. En esta investigación se consideraron otras hipótesis que podrían ayudar a explicar diferentes aspectos relacionados con los lances nulos. Una de ellas sugiere que los cardúmenes podrían escaparse por la visibilidad en la columna de agua que les permite ver la red y así escapar. Otra hipótesis considera que la hora en que se realiza el lance influye en el éxito de la pesca.

Estas diferentes hipótesis se intentaron comprobar mediante la aplicación de correlaciones lineales de Pearson entre las clases de captura y las variables ambientales. Para la hipótesis de Dreyfus & Mejía (2009) fueron las ANM y la Tsup,

que sirvieron como una aproximación para la profundidad de la termoclina, para así intentar conseguir establecer una relación entre los lances y dichas variables. Para la segunda hipótesis se utilizó el coeficiente de atenuación difusa de la luz en la columna de agua K_d490 , buscando inferir la transparencia del agua en el momento del lance. En la tercera se relacionaron linealmente las clases de captura con la hora de cada lance.

Los resultados encontrados a partir de estas correlaciones sugieren que las variables utilizadas en estas hipótesis no permiten explicar de forma lineal a qué se deben las variaciones en las clases de captura, por lo cual se rechazaron las tres hipótesis. Debido a esto, se consideró que particularmente los lances nulos o de agua pueden estar más relacionados con factores ligados a la operación de la flota, como lo plantea Méndez (1996).

Este autor menciona que los cardúmenes no asociados tienden a escapar del cerco por el fondo antes de que se cierre la jareta, lo cual ocurre por el funcionamiento de la maniobra de pesca. El principal motivo de que esto suceda es por la profundidad y la velocidad de caída de la red, o por el comportamiento de los cardúmenes. Lo anterior no sucede en los lances asociados a objetos flotantes o delfines debido a que al parecer estos cardúmenes tienden a permanecer cerca de la superficie, según lo plantea el autor mencionado anteriormente.

8.3. Análisis de las capturas con variables ambientales

Como se ha encontrado en diferentes investigaciones (Gómez-Muñoz *et al.*, 1992; Loureda *et al.*, 2003; López-Sánchez, 2004; Pedraza & Díaz-Ochoa, 2006; Ortega-García & Rodríguez-Sánchez, 2008; Lan *et al.*, 2013), la distribución de los atunes se encuentra influenciada principalmente por la temperatura. Torres-Orozco *et al.* (2005), encuentran que los atunes se distribuyen principalmente en zonas frontales, del lado cálido de éstas, en temperaturas de 20 a 25 °C.

Adicionalmente ellos plantean que los frentes favorecen la disponibilidad de alimento para el atún, ya que se encuentran consumidores primarios y secundarios como crustáceos, peces y cefalópodos, que pueden ser parte de la dieta del atún. Algo similar encuentran Ortega-García & Lluch-Cota (1996), quienes mencionan que en el caso de la distribución de los atunes hay una correlación con frentes de color independiente de las concentraciones de pigmentos, lo cual puede estar sugiriendo la presencia de zonas de alimentación.

En este trabajo se determinó que las capturas se realizaron en un rango de 19 a 32 °C, pero con una preferencia de temperaturas entre los 21 a 23 °C. Esto indica que la zona de convergencia tropical-subtropical (la cual se manifiesta por la presencia de un frente térmico, que varía latitudinalmente con las estaciones), es seguida por los atunes. También se encontró que los atunes se distribuyeron principalmente en concentraciones de clorofila bajas ($0.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), en zonas que sugieren la presencia de frentes de surgencias, de su lado cálido. Este hecho sugiere que los atunes se están distribuyendo principalmente en zonas que por sus características presentan una alta concentración de recursos alimenticios para la especie. Lo que se encontró es congruente con lo reportado por los autores mencionados anteriormente.

Carbonel (1987) plantea que las anomalías del nivel del mar son un indicador de la profundidad de la termoclina; en la región de estudio Godínez *et al.* (2010) demostraron que la dinámica superficial puede ser representada por los gradientes horizontales del nivel del mar. Retomando los aportes de estas investigaciones, se supuso que las anomalías del nivel del mar negativas sugieren una profundidad de termoclina somera y circulación ciclónica, mientras las anomalías positivas representan una termoclina profunda y circulación anticiclónica. Esta suposición se realizó con el fin de entender el papel que juega la termoclina en la distribución de las capturas del atún aleta amarilla en la zona de estudio y determinar en qué momento el recurso es más vulnerable a la captura.

De este modo, en la presente investigación se identificó que la distribución de las capturas de atún aleta amarilla se presentaron principalmente en zonas con anomalías del nivel del mar negativas (-9 cm) para el periodo de invierno y primavera. Este hecho sugiere una profundidad de termoclina somera. Durante el verano se presentaron anomalías relativamente nulas y en otoño las capturas se presentaron principalmente en ANM positivas (6 cm). Este hecho coincide con lo planteado por Bautista-Cortés (1997), quien menciona una mayor vulnerabilidad del recurso al arte de pesca cuando la termoclina es somera, hecho que se refleja al encontrar los valores más altos de captura en el periodo frío donde las anomalías del nivel del mar son negativas. Durante el verano caracterizado por aguas más cálidas y la presencia de ANM que van de nulas (0) a positivas, se genera una redistribución del recurso, y se encuentra una mayor frecuencia de capturas en ANM nulas.

La variabilidad en las ANM se sustenta en lo reportado por Bernal *et al.* (2001) para el Bajo Golfo de California, del lado de la península de Baja California en la región entre Loreto y Los Planes. Estos autores plantean que durante el invierno, se generan vientos intensos con dirección noroeste-sureste que producen una pérdida de calor en la capa de mezcla, disminuyendo la TSM, y la presencia de ANM negativas. Durante el verano los vientos soplan desde el sur; se intensifica la Corriente Norecuatorial y el desarrollo de la CCM acarrea agua tropical hacia el golfo, con consecuencias de incremento en la TSM y ANM positivas.

Durante el otoño, se presenta una redistribución de las aguas, en general con ANM positivas. La distribución de las capturas no se presenta en zonas de ANM nulas o negativas como se esperaría, sino que se presentan en zonas de ANM positivas, donde tal vez haya acceso al alimento. Esto aplicaría para las zonas cercanas a la costa en el Golfo de Ulloa, donde se mencionaba la presencia de langostilla, las Islas Marías y las zonas de bajos cerca del extremo sur de la península de Baja California.

La vorticidad relativa del viento se utilizó como una aproximación de la formación de remolinos en el océano debido a que representa la transferencia de vorticidad ciclónica y anticiclónica al océano. El área de estudio es una zona con alta producción de remolinos tanto ciclónicos, como anticiclónicos (Kurczyn *et al.*, 2012).

Estos autores con información de 18 años de ANM, encontraron que primavera y verano se generan un poco más de 5 a 2 remolinos respectivamente al año, con una predominancia de remolinos ciclónicos, pero con una duración de tres meses o más, lo que indica que siempre hay uno viajando; hecho que genera que la zona presente gran dinámica con formación de frentes, principalmente alrededor de los giros ciclónicos.

Estos giros (los ciclónicos) generan surgencias por bombeo de Ekman, que ocasionan la formación de dichos frentes por las diferencias de temperatura del agua. Esto repercute en la distribución de las capturas sobre el atún, ya que se observa que el mayor número de capturas se realiza donde la vorticidad es 0, o con tendencia hacia vorticidades positivas o sea vorticidad ciclónica transmitida al océano.

Como plantea Torres-Orozco *et al.* (2005), los atunes se distribuyen en la zona de frentes de surgencia del lado cálido de los mismos y principalmente en remolinos de tipo ciclónicos sin penetrar en ellos debido a que el agua interna es menor a 18 °C, que es su límite inferior de preferencia. Adicionalmente esta distribución puede obedecer a lo mencionado por Vaca *et al.* (2002), quienes plantean que el sistema natural tiende a agregar en los frentes los nutrientes y la producción primaria y secundaria, que genera que los organismos migratorios se desplazan en búsqueda de estos oasis oceánicos, volviendo las zonas de frentes unas de las áreas de pesca más importantes de peces migratorios.

En cuanto a la rapidez del viento, se observó que la mayor frecuencia de capturas se realizó principalmente en valores de $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Estos vientos generan en el

mar pequeñas olas y crestas rompientes, que favorecen una mayor mezcla en las condiciones del agua. Estas condiciones pueden producir una temperatura homogénea en la columna de agua que beneficia la presencia de los atunes en esa zona. Adicionalmente, también juega un papel importante la actividad de la flota, y es posible que en valores de rapidez del viento más altos, no se realicen tantas maniobras de pesca por seguridad de las tripulaciones.

Se debe considerar que una alta rapidez del viento, puede afectar la vulnerabilidad de los peces a la captura (Bigelow *et al.*, 1999). Este hecho se ha observado en el atún aleta amarilla en la zona de convergencia intertropical (ZCIT) del Océano Atlántico ecuatorial, donde con vientos fuertes se reduce la vulnerabilidad del atún a la captura (Zagaglia *et al.*, 2004). En el caso de la presente investigación, es posible que tampoco se esté capturando atún aleta amarilla en valores de rapidez del viento altos, debido a problemas con la maniobra de pesca como se mencionaba anteriormente.

8.4. Modelos de predicción espacial del recurso

La utilización de modelos aditivos generalizados respondió a que es un tipo de modelación no lineal que permite explicar la relación del recurso con el medio ambiente. El ambiente no funciona de forma lineal, coincidiendo con lo que mencionan Zagaglia *et al.* (2004), que consideran que para relacionar recursos pesqueros con cambios en los factores ambientales es necesario utilizar modelos no lineales, ya que los modelos lineales tienen habilidades de predicción muy baja.

Con la modelación de las CPUEs de atún aleta amarilla, se evidenció nuevamente la estacionalidad de la distribución del recurso, debido a que el mes fue la principal variable en el modelo, seguida de la temperatura. No obstante, debido a la dinámica ambiental de la zona de estudio (principalmente por su confluencia de corrientes y cambios en el patrón de vientos en periodos fríos y cálidos). Otras variables como la rapidez del viento, la vorticidad relativa, la clorofila y las anomalías

del nivel del mar, toman gran importancia, ya que se observó que la distribución de los atunes mostró una preferencia por zonas con características particulares de las variables anteriormente nombradas, además de variar latitudinal y longitudinalmente durante las estaciones del año.

Con la utilización de los MAGs, se determinó el efecto que las variables presentan sobre la CPUE. Las capturas más altas se presentaron durante el final de la primavera (junio), y comienzos de otoño (octubre), en temperaturas principalmente de 20 a 25 °C, con condiciones de RV de $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, VRV principalmente nula, CHL de $0.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, y ANM predominantemente negativas.

Estos resultados difieren de lo reportado por Zagaglia *et al.* (2004), quienes encontraron que en la distribución del atún aleta amarilla en el Atlántico ecuatorial, la temperatura donde se presenta mayor CPUE corresponde al rango de los 26 a 28.5 °C, en concentraciones de CHL de 0.1 a $0.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, pero coincidiendo en ANM principalmente negativas. Sin embargo, estas variables las consideran con un efecto secundario en la distribución del atún, y reportan que en esa región el principal factor en la variación de la CPUE es el desplazamiento de la ZCIT determinado por el componente meridional del viento.

Las diferencias en cuanto a las variables que influyen en la distribución del atún aleta amarilla con respecto a la investigación de Zagaglia *et al.* (2004), responden principalmente a la región donde se realizó el estudio, además de que la información analizada fue de la flota palangrera. No obstante, se determina que variables como la TSM, CHL, ANM, y RV son importantes para la distribución de los atunes.

Algo similar ocurre con los túnidos como la albacora en el trabajo de Zainuddin *et al.* (2008), quienes analizan el efecto de las variables en la CPUE utilizando MAGs y encuentran que las variables que explican mejor la distribución del recurso son la TSM, la CHL y las ANM, aunque difieren un poco con las del presente estudio por

tratarse de una especie con hábitat diferente.

El modelo obtenido presentó una devianza explicada del 45.8%, que es un valor significativo dado que hay estudios que encuentran devianzas mucho menores como el de Zainuddin *et al.* (2008), que para las predicciones utiliza un modelo con devianza explicada del 16.8% (ligado a la cantidad de variables utilizadas). Por tal razón, y dado que se realizó una validación espacial donde la CPUE observada presentó una distribución similar a la CPUE predicha, se utilizó el modelo para predecir las capturas en toda la zona de estudio durante un año promedio del periodo del 2000 al 2009.

A partir de lo anterior, se encontró que los valores más altos de CPUEs se pueden presentar durante el mes de junio con mayor cantidad en las regiones de la boca del Golfo de California, principalmente hacia la región de Cabo Corrientes e Islas Marías. Si bien durante el verano se presenta una disminución, a finales del mismo la abundancia del recurso se incrementa nuevamente en la región de Cabo Corrientes e Islas Marías y al inicio del otoño en la región de la costa occidental de la península de Baja California. Durante otoño e invierno, se vuelve a presentar una disminución; esto coincide con lo reportado por Blackburn (1969) y Bautista-Cortés (1997), que plantean que la pesca inicia al final de la primavera e inicio de verano al sur de la península, después de que han ocurrido las surgencias; posteriormente se extiende al norte durante el verano y disminuye nuevamente para el invierno e inicios de primavera.

Adicionalmente, Bautista-Cortés (1997) plantea que la concentración de atunes en la costa occidental de la península de California ocurre con dos condiciones que son temperaturas mayores o iguales a 20 °C y disponibilidad de alimento. Esta última, como lo mencionan Vaca *et al.* (2002), puede estar influenciada por la formación de frentes de la zona costera, frentes de surgencias costeras y oceánicas, y frentes de corrientes tanto locales como las grandes corrientes oceánicas del OPO.

Como ya se mencionó anteriormente, en el noroeste de México la mayor formación de remolinos de tipo ciclónico se presenta durante la primavera, y esto conlleva a la presencia de abundantes frentes en el área de estudio, hecho que coincide con la mayor presencia de atunes, e incluso con el aumento en pesquerías como la de pelágicos menores, en la cual se encuentran las especies sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*), anchoveta (*Engraulis mordax*) y sardina bocona (*Cetengraulis mysticetus*).

Como reportan Martínez-Zavala *et al.* (2013), es en el período de primavera (abril-mayo), cuando se dan las capturas más altas de estas especies. Al ser algunas de éstas (*Engraulis mordax*) parte de la dieta del atún aleta amarilla, y las zonas de frentes donde mayor disponibilidad de alimento se encuentra, el aumento en la presencia del atún en primavera sugiere que se encuentra alimentándose. Esto concuerda también con lo encontrado por Galván-Magaña (1988), quien reporta un incremento en la diversidad de especies presa para el atún en primavera; en el caso de la boca del Golfo de California reportó 27 especies presa durante primavera, y 19 especies presa en el área occidental de Baja California Sur.

En las predicciones es posible resaltar zonas que pueden ser importantes para la pesca durante todo el año, ya que se observa que a pesar de la fluctuación estacional, regiones como la comprendida entre Los Cabos y Bahía Magdalena y entre Cabo Corrientes y las Islas Marías, se pueden catalogar como “hot spots” debido a la constante presencia del recurso según lo predicho. En el caso de la zona occidental de la península, la presencia constante de los atunes puede deberse a que ahí ocurre la convergencia de corrientes como el BTCC y la CCM generando la zona de convergencia tropical-subtropical, con la presencia de frentes térmicos.

En el caso de Cabo Corrientes e Islas Marías, puede deberse a la circulación que se genera por el SCGC y la CCM, y la presencia de una alta formación de remolinos ciclónicos durante casi todo el año excepto en invierno que presenta poca formación de remolinos (Kurczyn *et al.*, 2012).

Adicionalmente como lo menciona López-Medina (2006), las altas capturas en esta zona también responden a factores como el aporte de nutrientes por las descargas de ríos que favorecen la productividad del área, y la amplitud de la plataforma continental que permite una alta generación de procesos de afloramiento. Estas zonas de importancia de capturas todo el año, por sus características se ajustan a lo planteado por Arias-Aréchiga (2010), quien determinó que las zonas con mayor dinámica ambiental son las que aportan mayores capturas debido a que la variedad de condiciones propician la presencia constante de cardúmenes de diferentes tipos.

A pesar de no haber considerado la batimetría de la zona de estudio en el modelo, las zonas anteriormente mencionadas cuentan con la presencia de bajos marinos, como lo son Lusitania Bank, Morgan Bank y Finger Bank en la costa occidental de la península (Blackburn, 1969), y El Banco y La Roca Corbetera en la región entre Islas Marías y Cabo Corrientes (Torres-Orozco *et al.*, 2005). Estos autores también plantean que los bajos se caracterizan por poseer una alta diversidad biológica y ser refugio de especies de importancia ecológica. Algo similar plantean Morato *et al.* (2008) que encuentran que en bajos marinos de las islas Azores, algunos depredadores marinos se asocian a las montañas submarinas con cimas muy poco profundas, ya que los montes submarinos probablemente pueden actuar como estaciones de alimentación. Este hecho se considera que puede estar ocurriendo en los bajos de la región de estudio de la presente investigación.

9. CONCLUSIONES

- La flota de 350 t fue la que realizó un esfuerzo mayor sobre cardúmenes no asociados de atún aleta amarilla durante el periodo de 2000 a 2009, y fue considerada como la más representativa por ser la más constante durante todo el periodo de estudio, y ser más aleatoria por no contar con apoyo de helicópteros o imágenes satelitales que sesgan la unidad de esfuerzo.
- Las capturas de atún sobre lances no asociados presentan una marcada estacionalidad, registrando en primavera e inicio de verano capturas mayores y en verano una mayor distribución latitudinal hacia el norte del área de estudio.
- Las variables como la profundidad de la termoclina, inferida por las anomalías del nivel del mar, la TSM, el Kd490 como indicador de turbidez de la columna de agua, y la hora del día en que se realiza cada lance de pesca, no explican las hipótesis que se han sugerido para responder el problema de los lances nulos o fracasos en la captura.
- Los lances sobre cardúmenes no asociados se presentan en su mayoría en zonas de frentes, del lado cálido de los mismos en las zonas aledañas a los remolinos, principalmente los ciclónicos.
- Los cardúmenes se distribuyen siguiendo el desplazamiento de la zona de convergencia tropical-subtropical de forma estacional.
- Las zonas comprendidas entre Cabo Corrientes e Islas Marías, y la costa occidental de la península de Baja California entre Los Cabos y Bahía Magdalena, se pueden considerar como “hot spots” para la pesca de cardúmenes no asociados de atún aleta amarilla.

10. RECOMENDACIONES

- Para los análisis de los lances nulos, se debería considerar registrar otras variables como la velocidad de caída de la red, la experiencia de los operadores de la flota y otras variables diferentes a las obtenidas de sensores remotos.
- En la modelación podría incluirse información batimétrica de la zona de estudio para detectar el efecto que posiblemente estén generando zonas de bajos marinos.
- Tratar de estudiar por separado la dinámica de los cardúmenes en las zonas consideradas como “hot spots” en el presente estudio, e incluir la región de Punta Eugenia, esta última principalmente durante el verano.

11. LITERATURA CITADA

- Arenas, P., M. Hall & M. García. 1992. The association of tunas with floating objects and dolphins in the Eastern Pacific. VI. Association of fauna with floating objects in the EPO. International workshop on fishing for tunas associated with floating objects. La Jolla. California. 11-14 February 1992. La Jolla Cal. U. S. A. 40p.
- Arias-Aréchiga, J. P. 2010. Factores ambientales asociados al tipo de pesca del atún aleta amarilla en costas mexicanas. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR. Instituto Politécnico Nacional. México. 90 p.
- Aurioles-Gamboa, D. 1995. Distribución y abundancia de la langostilla bentónica (*Pleuroncodes planipes*) en la plataforma continental de la costa oeste de Baja California. pp 59-78. En: Aurioles-Gamboa, D & E. F. Balart (eds). La langostilla: Biología, ecología y aprovechamiento. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
- Bakun, A. & C. Nelson. 1991. The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical Eastern boundary current regions. *Journal of physical oceanography*. 21:1815-1834.
- Balart, E. F. & J. L. Castro-Aguirre. 1995. Estimación del impacto de la depredación de merluza sobre la langostilla. pp 139-162. En: Aurioles-Gamboa, D & E. F. Balart (eds). La langostilla: Biología, ecología y aprovechamiento. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
- Bautista-Cortes, L. F. 1997. Análisis de la pesquería mexicana de atún, con énfasis en tres tipos de indicadores de cardúmenes. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR. Instituto Politécnico Nacional. México. 69 pp.

- Bernal, G., P. Ripa. & J. C. Herguera. 2001. Variabilidad oceanográfica y climática en el Bajo Golfo de California: influencias del trópico y Pacífico norte. *Ciencias Marinas*. 27 (4): 595-617.
- Bigelow, K. A., C. H. Boggs & X. He. 1999. Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery. *Fisheries Oceanography*, 8(3), 178-198.
- Blackburn, M. 1965. Oceanography and the ecology of tunas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 3: 299-322.
- Blackburn, M. 1969. Conditions related to upwelling which determine distribution of tropical tunas off western Baja California. *Fish. Bull.* 68(1):147-176.
- Carbonel, C. 1987. El Fenómeno del Niño, predicción y modelaje. En: *Memorias I Simposium Nacional de Prevención y Mitigación de Desastres Naturales*. Lima, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) Perú. Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Facultad de Ingeniería Civil.
- Castro, R., A. S. Mascarenhas, R. Durazo & C. A. Collins. 2000. Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 26 (4): 561 – 583.
- Cole, J. S. 1980. Synopsis of biological data on the Yellowfin Tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788), in the Pacific Ocean. *Spec. Rep. IATCC*, 2:75-150.
- Collette B. B. & C. E. Nauen. 1983. *FAO species catalogue. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date*, 125, vol 2. *FAO Fisheries Synopsis*. Rome. 137

pp.

CONAPESCA. 2010. Anuario estadístico de acuacultura y pesca. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 285 pp.

Dagorn L., K. N. Holland., J. P. Hallier., M. Taquet., G. Moreno., G. Sancho., D. G. Itano., R. Aumeeruddy., C. Girard., J. Million & A. Fonteneau. 2006. Deep diving behavior observed in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). Aquat. Living Resour. 19, 85-88.

De la Lanza-Espino, G. 1991. Oceanografía de mares mexicanos. AGT editor, S. A. 569 p.

Delgado, A. 2010. La pesca del atún en el Océano Pacífico. COFA Convivencia pesquera. Situación de la pesca en Venezuela. 18p.

Dodson, J. J. 1997. Fish migration: an evolutionary perspective. In: J. G. Godin (ed.). Behavioural ecology of teleost fishes. Oxford University Press. Oxford. 10-36.

Dreyfus, M. J. 2008. Impacto de los diferentes tipos de lances con red de cerco en la pesca de atún aleta amarilla en el Pacífico Oriental. El Vigía. 13 (34): 7-9.

Dreyfus, M. J. & H. Robles. 2008. Talla (longitud furcal) del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, de la pesca de cerco en el OPO durante 2008. El Vigía. 13 (34): 4-6.

Dreyfus, M. J. & A. Mejía. 2009. Lances de agua (primera y segunda parte). El Vigía. 14 (35-36): 3-4, 11-13.

Galván, F. 1988. Composición y análisis de la dieta del atún aleta amarilla *thunnus albacares* en el Océano Pacífico mexicano durante el periodo 1984-1985.

Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR. Instituto Politécnico Nacional. México. 86 pp.

Ganzedo, U., I. Arregi., I. Sancristobal & J. J. Castro. 2007. Eventos climáticos a pequeña escala y la pesca del atún blanco (*Thunnus alalunga*) en las islas Canarias. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 60 (2): 527-539.

Gómez-Muñoz, V. M., S. Ortega-García & A. Gómez-Gallardo. 1992. Relationship between sea surface temperature and dolphin-associated fishing activities by the Mexican tuna fleet. NAGA. The ICLARM Quarterly. Fish byte Section. 15: 24-25.

Guzmán, E. 1995. Distribución y abundancia de la fase bentónica de la langostilla *Pleuroncodes planipes* (Stimpson, 1860) en la costa occidental de Baja California. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR. Instituto Politécnico Nacional. México. 63 pp.

Hampton, J. P., A. Kleiber., Langley, & K. Hiramitsu. 2004. Stock assessment of yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean. SCTB17 Working Paper SA-1. 17th Meeting of the Standing Committee on Tuna and Billfish, Majuro. Marshall Islands.

Hastie, T. J. & R. J. Tibshirani. 1984. Generalized additive models. Technical Report No. 224. Department of Statistics, Stanford University. California. 39 pp.

Hastie, T. & R. Tibshirani. 1986. Generalized additive models. Statistical Science. Vol 1. No. 3, 297-318.

Hernández, M. E. 2010. Captura de túnidos por tipo de lance de la flota atunera Mexicana 2008-2009. El Vigia. 15 (37): 7-10.

- Hilborn, R. & C. J. Walters. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. New York, Chapman and Hall, 570p.
- IATTC. 2010. Los atunes y peces picudos en el Océano Pacífico Oriental en 2009. Documento IATTC-81-05. 122 pp.
- Kessler, W. S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: a review. Progress in Oceanography. 69. 181-217.
- Kurczyn, J. A., E. Beier, M. F. Lavín, & A. Chaigneau. 2012. Mesoscale eddies in the northeastern Pacific tropical-subtropical transition zone: Statistical characterization from satellite altimetry. Journal of geophysical research, J. Geophys. Res., Vol. 117, C10021.
- Lan, K. W., K. Evans & M. A. Lee. 2013. Effects of climate variability on the distribution and fishing conditions of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian Ocean. Climatic Change. 119:63–77.
- Langley, A., J. Hampton., P. Kleiber & S. Hoyle. 2007. Stock assessment of yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean, including an analysis of management options. Western and Central Pacific Fisheries Commission. WCPFC-SC3-SA SWG/WP-01. 116 pp.
- Lapointe, F. J., P. Legendre. 1992. Statistical significance of the matrix correlation coefficient for comparing independent phylogenetic trees. Systematic Biology, Vol. 41, No. 3. 378-384.
- Laurs, R. M., P. Fiedler & D. R. Montgomery. 1984. Albacore tuna catch distribution relative to environmental features observed from satellites. Deep-sea Research. Vol. 31, No. 9. 1085-1089.

- Lichtinger, V., F. Székely., A. Fernández & R. Ríos. 2000. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. Reporte 2000 . SEMARNAT. México. 190 pp.
- López-Medina, D. 2006. Variabilidad espacio-temporal de las capturas de atún aleta amarilla en aguas adyacentes a las Islas Marías, México. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR. Instituto Politécnico Nacional. México. 49p.
- López-Sánchez, J. L., 2004. Efectos de los eventos El Niño y La Niña (1997-1999) sobre la distribución y abundancia del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*, Bonnaterre, 1788) en el Océano Pacífico Oriental. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR. Instituto Politécnico Nacional. México. 91 p.
- Loureda, D., M. García., I. Sordo & J. M. Cotos. 2003. Caracterización de la SST y la pesca de túnidos en el Océano Índico Oriental. Teledetección y desarrollo regional. X Congreso de teledetección. Cáceres, España. pp. 65–68.
- Majkowski, J. 2007. Global fishery resources of tuna and tuna-like species. FAO Fisheries Technical Paper. No. 483. Rome, FAO. 2007. 54 p.
- Martínez, M. A., M. O. Nevárez., M. E. González., V. E. González., J. P. Santos Molina & A. Valdez. 2013. Captura comercial de pelágicos menores en el Golfo de California, temporada de pesca 2011-2012. Póster presentado a la IV Reunión Bienal de la Sociedad Mexicana de Pesquerías A. C. Seguridad Alimentaria en México: Contribución de la Pesca y la Acuicultura. 02-04 de octubre. La Paz. B.C.S. México.
- MathWorks, Inc. 2012. MATLAB, The Language of Technical Computing.
- Maunder, M. N. & Aires-Da-Silva. 2008. Status of yellowfin tuna in the Eastern Pacific Ocean in 2007 and Outlook for the future. Inter-American Tropical Tuna

Commission. 9th Stock Assessment Review Meeting. Document SARM-9-06a.
70 pp.

Méndez, I. 1996. Explorando la eficiencia en las capturas de atún. *El Vigía*. 1 (2): 7-9.

Morato, T., D. A. Varkey., C. Damaso., M. Machete., M. Santos., R. Prieto., R. S. Santos & T. J. Pitcher. 2008. Evidence of a seamount effect on aggregating visitors. *Mar Ecol Prog Ser*. 357: 23-32.

Ortega-García, S & S. Lluch-Cota. 1996. Distribución de la abundancia de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y su relación con la concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por satélite en aguas al sur de México. *Investigaciones Geográficas Boletín*, Núm. Especial 4. 85-93.

Ortega-García, S & A. Muhlia-Melo. 1992. Análisis del poder relativo de pesca de la flota atunera mexicana de cerco. *Cien. Mar*. 18: 55-78.

Ortega-García, S. 1998. Análisis de las fluctuaciones espacio temporal en la abundancia del atún en el Océano Pacífico Oriental. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. Univ. Nac. Aut. de México. 75pp.

Ortega-García, S. & R. Rodríguez-Sánchez. 2008. El efecto del ENOS 1997-1998 en la distribución del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* (Bonaterre, 1788) pp. 91-114. In: Lopez-Martinez, J (ed). *La variabilidad ambiental y las pesquerías de México*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. México. 200pp.

Pedraza, M. J. & J. A. Díaz Ochoa. 2006. Sea level height, sea surface temperature, and tuna yields in the Panama bight during El Niño. *Advances in Geosciences*. 6:155-159.

- Pérez, H. 2003. Distribución de los tres tipos de lances de la flota atunera mexicana con observadores del PNAAPD en 2002. *El Vigía*. 8 (16): 5.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Robles-Ruiz, H., M. Dreyfus-León., G. Campeán-Jiménez., J. L. Rivera-Ulloa & O. A. Ceseña-Ojeda. 2009. Análisis preliminar del funcionamiento de alerones en las redes de cerco atuneras, para mejorar la liberación de delfines en el Océano Pacífico Oriental. *Ciencia Pesquera*. 17 (1): 59-64.
- Schaefer, K. M. 1998. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Eastern Pacific Ocean. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Com.* 21(5): 201-272.
- Schaefer, K. M., D. W. Fuller & B. A. Block. 2007. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the northeastern Pacific Ocean, ascertained through archival tag data. *Mar. Biol.* 152: 503-525.
- Solana-Sansores, R. & I. Méndez Gómez-Humarán. 1996. Patrones espaciales de cardúmenes poliespecíficos en la pesca del atún en el Océano Pacífico Oriental. *Hidrobiológica* 6 (1-2): 77-85.
- Torres-Orozco, E. 2004. Características dinámicas e hidrográficas del océano en relación con la distribución de las capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en la entrada al Golfo de California. Tesis de Doctorado en Ciencias, CIB. México. 99 pp.
- Torres-Orozco, E., A. Trasviña., A. Muhlia-Melo & S. Ortega-García. 2005. Dinámica de mesoescala y capturas de atún aleta amarilla en el Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas* 31 (4). 671-683.

- Torres-Orozco, E., A. Muhlia-Melo., A. Trasviña & S. Ortega-García. 2006. Variation in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catches related to El Niño-Southern Oscillation events at the entrance to the Gulf of California. *Fish. Bull.* 104 (2): 197-203.
- Vaca, J. G., PNAAPD & UABC. 2002. Aspectos oceanográficos del Pacífico Oriental y su relación con el atún aleta amarilla. *El Vigía.* 7 (14): 18-20.
- Vaca, J. G. 2004. Evaluación de áreas pesqueras considerando múltiples objetivos y ponderaciones: la pesquería del atún en el Pacífico oriental. *El Vigía.* 9(20): 16-17.
- Vélez-Marín, R., D. Mendizábal., J. J. Valdez-Flores & N.A. Venegas. 1988. Prospección y pesca exploratoria de recursos pesqueros en la zona económica exclusiva del Océano Pacífico. Memoria "El Mar y sus Recursos en la cuenca del Pacífico". Manzanillo. 67-98.
- Ward, R. D., N. G. Elliot & P. M. Grewe. 1994. Allozyme and mitochondrial DNA variation in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the Pacific Ocean. *Marine Biology* 118: 531-539.
- Wood, S. N. 2006. Generalized additive models: an introduction with R. Chapman & Hall/CRC. 392 pp.
- Wyrтки, K. 1965. Surface currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. Inter-American Tropical Tuna Commission, Bulletin IX, No. 5. 63-97.
- Wyrтки, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern equatorial Pacific Ocean. *Int. J. Oceanol. and Limnol.* 1 (2). 117-147.

- Zagaglia, C. R., J. A. Lorenzetti & J. L. Stech. 2004. Remote sensing data and longline catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic. *Remote Sensing of Environment*. 93:267-281.
- Zainuddin, M., S. Saitoh & K. Saitoh. 2004. Detection of potential fishing ground for albacore tuna using synoptic measurements of ocean color and thermal remote sensing in the northwestern North Pacific. *Geophysical Research Letters*. Vol. 31, L20311. 4 p.
- Zainuddin, M., H. Kiyofuji., K. Saitoh & S. Saitoh. 2006. Using multi-sensor satellite remote sensing and catch data to detect ocean hot spots for albacore (*Thunnus alalunga*) in the northwestern North Pacific. *Deep-Sea Research II*. 53:419-431.
- Zainuddin, M., K. Saitoh & S. Saitoh. 2008. Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data. *Fish. Oceanogr.* 17:2, 61-73.
- Zuur, A. F., E. N. Ieno., N. J. Walker., A. A. Saveliev. & G. M. Smith. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. *Statistics for Biology and Health*. Springer. 574 pp.