

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**EFFECTO DE PROCESOS FÍSICOS DE MESOESCALA (2008-2018) EN
LA CAPTURA DE JUVENILES DE TIBURÓN AZUL (*Prionace glauca*)
Y MAKO DE ALETAS CORTAS (*Isurus oxyrinchus*) QUE HABITAN
LA BAHÍA DE SEBASTIÁN VIZCAÍNO, EN EL PACÍFICO
MEXICANO.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
OCEANÓLOGO**

PRESENTA:

OSCAR FERNANDO LOMELÍ GUIJARRO

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. AGOSTO DEL 2023



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
CAMPUS ENSENADA**



“EFECTO DE PROCESOS FÍSICOS DE MESOESCALA (2008-2018) EN LA CAPTURA DE JUVENILES DE TIBURÓN AZUL (*Prionace glauca*) Y MAKO DE ALETAS CORTAS (*Isurus oxyrinchus*) QUE HABITAN LA BAHÍA DE SEBASTIÁN VIZCAÍNO, EN EL PACÍFICO MEXICANO”

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE OCEANÓLOGO
PRESENTA:

**Oscar Fernando Lomelí Guijarro
331161**

A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, las y los señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rubrica:

**José Leonardo Castillo Géniz
DIRECTOR**

**Carlos Godínez Padilla
SINODAL**

**Ana Laura Flores Morales
SINODAL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



“Por la Realización Plena del Ser”

FACULTAD DE
CIENCIAS MARINAS

RESUMEN

La Bahía de Sebastián Vizcaíno (BSV) se localiza en el Sistema de la Corriente de California (SCC) en el Pacífico mexicano, la cual, es considerada como un centro de actividad biológica debido a su alta productividad. Dentro de BSV se desarrollan procesos físicos de mesoescala como una surgencia costera estacional frente a Punta San Antonio y Punta Canoas, con un ancho aproximado de 60 km y con la presencia de un remolino anticiclónico (semipermanente), con un diámetro que varía entre 50-65 km, el cual responde al forzamiento del viento local. Laguna Manuela (LM) se localiza dentro de BSV y representa uno de los campamentos pesqueros ribereños artesanales de peces, incluyendo elasmobranchios más importantes del estado de Baja California (BC), donde se desarrollan dos pesquerías artesanales, la de peces con redes de enmalle de fondo cuya especie objetivo es el lenguado de California (*Paralichthys californicus*) y varias especies de batoideos, y la de palangre de superficie, que captura principalmente juveniles de tiburón azul (*Prionace glauca*) y mako de aletas cortas (*Isurus oxyrinchus*) (MAC). El objetivo del presente estudio fue conocer la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de ambas especies de tiburón en el periodo 2008-2018 y como éstas se correlacionan estadísticamente con variables oceanográficas y ambientales mediante un Modelo Aditivo Generalizado (GAM), además de un análisis cualitativo de las anomalías de aguas cálidas “The Blob” y “El Niño” (2013-2016), donde se observó un cambio notable en la composición de las capturas de estas dos especies de tiburones, siendo el tiburón MAC quién sustituyó numéricamente las capturas de tiburón azul en el periodo 2013-2016. Este estudio incluyó un análisis general de la estructura de tallas y sexos de las capturas de ambas especies documentadas en LM durante el periodo de estudio de once años. Este trabajo es el primero que documenta el efecto de “The Blob” en las capturas de tiburones juveniles en BSV, en BC, México.

Palabras clave: Tiburón azul, Tiburón MAC, Remolino anticiclónico, GAM.

AGRADECIMIENTOS

Me siento agradecido y bendecido en esta vida por haber tenido la oportunidad de estudiar una carrera de ciencias marinas. Agradezco infinitamente el esfuerzo y gran amor de mi madre Consuelo (Chela) y mi hermano Juanito (Chava) por haberme dado la oportunidad de retarme a mí mismo y por toda la fuerza que me dieron en mis momentos de flaqueza y también en los momentos de júbilo. Que quede plasmado en este manuscrito todo el Amor que siento por ustedes. Gracias.

Al Dr. José Leonardo Castillo (Pepe), mi director de tesis, ¡Gracias!, tu fuiste el primer rostro que me recibió y con las puertas abiertas en tu proyecto de investigación de tiburones, y desde ese momento te volviste un maestro, un profesor y sobre todo un Amigo Espiritual para mí, gracias por ser estricto en los momentos necesarios y por ser amable en mis tiempos de caos. Gracias por haberme compartido de tu conocimiento, de tu gran amor por los tiburones y por mostrarme la gran labor que pueden hacer las ciencias pesqueras por la conservación de las especies marinas de este país. Y si algún día te quieres acordar de tu estudiante, el más cabeza dura y persistente de todos, mira la película del planeta del tesoro y sabrás el gran cariño y respeto que te tengo. ¡Gracias, papá Leo!

Al Maestro en Ciencias e Ingeniero Pesquero Carles Xavi alias “*El Pitufu*”, mi sinodal, y uno de los investigadores más capaces que conozco. Gracias por todas esas horas de tu amable atención en este proceso y sobre todo por tu paciencia. Parafraseando un poco al gran Isaac Newton: “*si he ido más allá de mí mismo es porque me subí sobre hombros de gigantes*”, Carlos Godínez ¡tú eres un gigante de los tiburones!

A la Dra. Ana Laura, mi sinodal, gracias por haber sido tan amable al compartirme de sus valiosas observaciones en la parte física de esta tesis. Gracias por compartirme de su valioso tiempo.

A Nefer, mi hermana (hija de otra madre), mi mejor amiga, desde aquel memorable día del oceanólogo, allá donde conocí tan valiosa amistad y donde tu fuiste la promotora número uno de que yo me acercara a los tiburones, siempre te estaré agradecido. “*Abajo nunca abajo, arriba siempre arriba, uno, dos, tres...Marinas*”. Gracias.

A Giaco Palavicini, Gracias por inspirarme y compartirme de tu gran pasión por los tiburones y los océanos. Sin duda, un punto de inflexión en mi historia, en mi Sendero. ¡Gracias Viajero!

A Hever, mi mejor amigo en el mundo mundial, mi faro de Alejandría. Afortunado soy de caminar por este mundo con tremendo humano. Gracias por estar en la distancia y en el trayecto (cuando se puede). Tu amistad siempre me ha impulsado a querer dar lo mejor de mí y siempre te agradeceré eso. Esta tesis te la dedico con gran cariño Hever Dodanim.

A Albert Stephen, mi Morfeo, tú eres el ser que puede verme tal cual soy. Gracias por tu amistad durante la aventura oceanográfica que fue la universidad y por las palabras de aliento para no rendirme y por ser uno de mis guías espirituales en esta hermosa Tierra y por tu gran amistad. Tu ya tienes un coliseo en el templo de mi existencia.

Al señor Ashida (Ed), gracias por aquellos tiempos de la aventura llamada “*dinámica del océano*”, no lo sabes, pero tu fuiste el ser que me devolvió mi amor y pasión por la física y las matemáticas que se habían ocultado mucho tiempo de mí mismo. A pesar de que fueron pocos los fragmentos de tiempo de charlar de física, ello me hacía sentir como un estudiante de la escuela pitagórica, de aquellos tiempos. Gracias.

Al señor Edgar F. C. E. tu eres el hombre que más me ha retado a mejorarme como científico, como investigador y como persona y siempre te estaré agradecido por los días de amistad.

A Lala (Brenda) gracias por mostrarme el milagro de la vida y por nuestras pláticas del universo, me haces querer mejorarme cada día más, para ser un buen ejemplo. Tu eres uno de mis más grandes pilares y esta tesis está llena del amor y cariño que siento por ti. ¡Recuerda, un día nadaremos con tiburones y ballenas, de veras!

A Tío Rafael, Gracias por haber puesto un libro de física en mis manos a mis doce años. Al ver esas galaxias, cometas y estrellas, nació en mí el espíritu de la ciencia. Tu eres un dador de sueños y te agradezco, encontré mi sendero. Te dedico esta tesis con gran cariño, hermano mío.

A Génesis (Sam), Gracias infinitas por existir, por haberme enseñado lo hermoso que es Vivir en este Mundo. Gracias por las aventuras y pláticas durante esa hermosa película llamada “*oceanología*”. Tu eres el sinónimo del Océano. ¡Gracias!

ÍNDICE GENERAL

<i>Contenido</i>	<i>Página</i>
Resumen.....	3
Agradecimientos.....	4
Índice de figuras.....	9
Índice de tablas.....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. La Importancia ecológica y pesquera de los tiburones en el mundo y en México.....	14
1.2. Distribución horizontal y vertical de <i>Prionace glauca</i> e <i>Isurus oxyrinchus</i>	14
1.3. La pesca de elasmobranquios (tiburones y rayas) en Baja California.....	17
1.4. Factores medio ambientales que influyen en la distribución y abundancia en los tiburones pelágicos-costeros.....	18
1.5. Características oceanográficas de Bahía de Sebastián Vizcaíno (surgencia costera, remolino anticiclónico, “El Niño”, “La Niña” y “The Blob”)	19
1.5.1. <i>Surgencia costera</i>	19
1.5.2. <i>Remolino anticiclónico semipermanente y de núcleo cálido</i>	20
1.5.3. <i>“La Mancha de agua cálida” (“The blob”)</i>	22
2. ANTECEDENTES.....	23
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	27
3.1. Hipótesis 1.....	27
3.2. Hipótesis 2.....	27
3.3. Hipótesis 3.....	27
4. OBJETIVOS.....	28
4.1. Objetivo general.....	28
4.2. Objetivos específicos.....	28

5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
5.1. Área de estudio.	28
5.2. Frecuencias de tallas (LPC) documentadas en descargas de tiburón azul y mako de aletas cortas en LM, en BSV (2008-2018).	30
5.3. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) del tiburón azul y mako de aletas cortas...	31
5.4. Variables predictoras (oceanográficas y ambientales).....	31
5.5. Modelos aditivos generalizados (GAM).....	32
6. RESULTADOS.....	35
6.1. Frecuencias de tallas (LPC) documentadas en descargas de tiburón azul y mako de aletas cortas en LM, en BSV (2008-2018).....	35
6.1.1. <i>Análisis de frecuencias de tallas (LPC) y proporción sexual por año y por periodo de estudio (2008-2018) de Prionace glauca en LM, en BSV</i>	35
6.1.2. <i>Análisis de frecuencias de tallas (LPC) y proporción sexual por año y por periodo de estudio (2008-2018) de Isurus oxyrinchus en LM, en BSV</i>	39
6.2. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de <i>Prionace glauca</i> e <i>Isurus oxyrinchus</i> (2008-2018) en LM, en BSV.....	43
6.3. Variables de estudio en BSV (2008-2018).	52
6.4. Distribución de la CPUE de <i>Prionace glauca</i> e <i>Isurus oxyrinchus</i> , con relación a las variables predictoras (SURGENCIA, EKE, TSM y CHL) en BSV (2008-2018)....	61
6.4.1. <i>Prionace glauca</i>	61
6.4.2. <i>Isurus oxyrinchus</i>	63
6.5. Resultados de los Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) para a la CPUE de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV en el periodo 2008-2018.....	64
6.5.1. <i>Tiburón azul</i>	64
6.5.2. <i>Tiburón mako de aletas cortas (MAC)</i>	70
6.5.3 <i>Comparación de los modelos finales del GAM del tiburón azul y mako de aletas cortas (mejor ajuste de modelo) en el periodo 2008-2018 en BSV</i>	74
7. DISCUSION.....	76

7.1. Razón sexual y estructura de tallas de capturas de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV (2008-2018).....	76
7.2. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de <i>Prionace glauca</i> e <i>Isurus oxyrinchus</i> (2008-2018).....	80
7.3. Variables de estudio en BSV (2008-2018).....	81
7.4. Distribución de la CPUE de <i>Prionace glauca</i> e <i>Isurus oxyrinchus</i> con relación a las variables predictoras (SURGENCIA, EKE, TSM y CHL) en BSV (2008-2018)...	85
7.5. Resultados de los GAMs en relación con la CPUE de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV en el periodo 2008-2018.....	87
8. CONCLUSIONES.....	92
9. REFERENCIAS.....	93

Índice de figuras.

Figura 1. Anomalías no estacionales de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) durante El Niño de septiembre de 1997 a agosto de 1998. (j) Junio (tomado de Espinoza-Carreón <i>et al.</i> , 2004).....	20
Figura 2. Distribución horizontal de la temperatura obtenida a partir de mediciones directas (CTD) en la red de estación. (a) superficial (b) 10 m de profundidad y (c) 20 m de profundidad (Figura tomada de Amador-Buenrostro <i>et al.</i> , (1995).....	21
Figura 3. Mapa de Bahía de Sebastián Vizcaíno B.C, con isobatas de 10 a 200 m de profundidad, donde se realizaron los viajes de pesca (círculos amarillos en polígono verde) por la flota artesanal con base en Laguna Manuela durante 2008-2018.....	29
Figura 4. Histogramas de frecuencias de tallas de hembras y machos de <i>P. glauca</i> (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 y 2018). En el eje <i>x</i> se encuentran los intervalos de tallas de LPC. En el eje <i>y</i> se encuentra el número de individuos. Las barras blancas son hembras y las oscuras son machos. <i>n</i> es el número total de individuos por año.....	37
Figura 5. Histograma de frecuencia de tallas de LPC de hembras y machos de <i>P. glauca</i> (2008-2018) en LM en BSV.....	38
Figura 6. Histogramas de frecuencias de tallas de hembras y machos de <i>I. oxyrinchus</i> (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018). En el eje <i>x</i> se encuentran los intervalos de tallas de LPC. En el eje <i>y</i> se encuentra el número de individuos. Las barras blancas son hembras y las oscuras son machos. <i>n</i> es el número total de individuos por año.	41
Figura 7. Histograma de frecuencia de tallas de LPC de hembras y machos de <i>I. oxyrinchus</i> (2008-2018) en LM en BSV.....	41
Figura 8. Número de individuos capturados registrados mensualmente de tiburón azul y mako de aletas cortas en el campamento pesquero de LM en BSV en el periodo 2008-2018.	45
Figura 9. Número de capturas de <i>P. glauca</i> en LM, en BSV en el periodo de pesca 2008-2018.	46
Figura 10. Número de individuos de <i>I. oxyrinchus</i> documentados en las capturas desembarcadas de la flota artesanal en LM, en BSV en el periodo 2008-2018.....	46
Figura 11. Variación de la CPUE anual (promedio \pm DE) del tiburón azul para el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC.....	47
Figura 12. Variación de la CPUE anual (promedio \pm DE) del tiburón mako de aletas cortas para el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC.....	48
Figura 13. Variación de la CPUE por estación o trimestre (promedio \pm DE) del tiburón azul en el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC.....	48

- Figura 14. Variación de la CPUE por estación o trimestre (promedio \pm DE) del tiburón azul en el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC..... 49
- Figura 15. Variación de la CPUE por día de muestreo del tiburón azul y el mako de aletas cortas en el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC, con la presencia de los eventos climáticos “La Niña”, “El Niño”, ENSO neutral y “The Blob”. La línea azul muestra las fases frías de “La Niña”, la línea roja muestra las fases cálidas “The Blob” y “El Niño” y la línea gris representa el ENSO neutral..... 49
- Figura 16. Variación de la CPUE anual (promedio) del tiburón azul y el mako de aletas cortas en el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC, con la presencia de los eventos climáticos “La Niña”, “El Niño”, ENSO neutral y “The Blob”. La línea azul muestra las fases frías de “La Niña”, la línea roja muestra las fases cálidas “The Blob” y “El Niño” y la línea gris representa el ENSO neutral..... 50
- Figura 17. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) por trimestre de *Prionace glauca* (2008-2018) en BSV, por estación: a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño..... 51
- Figura 18. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *Isurus oxyrinchus* por trimestre de (2008-2018) en BSV, por estación: a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño..... 52
- Figura 19. Variación de la SURGENCIA (a), EKE (b), TSM (c) y CHL (d) por estación o trimestre (promedio \pm DE) en el periodo 2008-2018 en BSV, BC..... 53
- Figura 20. Variación anual de SURGENCIA (a), EKE (b), TSM (c) y CHL (d) (promedio \pm DE) en el periodo 2008-2018 en BSV, BC. 55
- Figura 21. Variación mensual de la SURGENCIA (a), EKE (b), TSM (c) y CHL (d) (promedio \pm DE) en el periodo 2008-2018 en BSV, BC..... 56
- Figura 22. Variación anual de la SURGENCIA (a), EKE (b), TSM (c) y CHL (d) en el periodo 2008-2018 en BSV, BC..... 58
- Figura 23. Climatología de las anomalías (anuales) de TSM y CHL en el periodo 2008-2018 en BSV, BC..... 59
- Figura 24. Promedio de la distribución espaciotemporal de la SURGENCIA, EKE, TSM y CHL y la CPUE de *P. glauca* en BSV para el periodo 2008-2018..... 62
- Figura 25. Promedio de la distribución espaciotemporal de SURGENCIA, EKE, TSM y CHL y la CPUE de *I. oxyrinchus* en BSV para el periodo 2008-2018..... 64
- Figura 26. Gráficos de residuales del modelo (final) GAM-CPUE-AZUL con distribución de probabilidad Binomial Negativa, (a) grafica cuantil-cuantil, (b) residuales vs el predictor lineal, (c) histograma de frecuencias de los residuales y (d) residuos vs ajustes..... 68
- Figura 27. Gráficos del MODELO FINAL (GAM-CPUE-AZ) de respuesta parcial (línea negra continua) que muestran los efectos de las variables predictoras añadidas al modelo para la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *P. glauca* en BSV de la flota palangrera ribereña de LM durante el periodo 2008-2018. Las líneas grises son intervalos de confianza del 95%,

las marcas en el eje x muestran la ubicación y la densidad de los datos. Los valores del eje y representan la suavidad del GAM..... 69

Figura 28. Gráficos de residuales del modelo (final) GAM-CPUE-MAC con distribución de probabilidad Binomial Negativa, (a) grafica cuantil-cuantil, (b) residuales vs el predictor lineal, (c) histograma de frecuencias de los residuales y (d) residuos vs ajustes..... 73

Figura 29. Gráficos del MODELO FINAL (GAM-CPUE-MK) de respuesta parcial (línea negra continua) que muestran los efectos de las variables predictoras añadidas al modelo para la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *I. oxyrinchus* en BSV realizada por la flota palangrera ribereña de LM durante el periodo 2008-2018. Las líneas grises son intervalos de confianza del 95%, las marcas en el eje x muestran la ubicación y la densidad de los datos. Los valores del eje y representan la suavidad del GAM..... 74

Figura 30. Comparacion de los GAMs de tiburón azul (a) y mako de aletas cortas (b) con la presencia de los eventos climaticos “La Niña”, “The Blob” y “El Niño” en el periodo 2008-2018 en BSV. De derecha a izquierda el espacio entre la linea azul muestra la fase fria de “La Niña”, el espacio entre la linea roja muestra la fase calida de “El Niño” y la linea gris representa el ENSO neutral. 75

Índice de tablas.

Tabla 1. Clasificación de variables analizadas..... 31

Tabla 2. Promedio, intervalo de tallas (LPC) y desviación estándar de hembras y machos de tiburón azul en el periodo de estudio (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 y 2018). 35

Tabla 3. Valores de Chi cuadrada (X^2) de los años 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 y 2018 de *P. glauca*. P indica el valor de significancia usado para encontrar X^2 38

Tabla 4. Razón sexual de hembras y machos de *P. glauca* (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 y 2018) en LM en BSV..... 38

Tabla 5. Promedio, intervalo de tallas (LPC) y desviación estándar de hembras y machos de tiburón mako de aletas cortas, en el periodo de estudio (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018)..... 39

Tabla 6. Valores de Chi cuadrada (X^2) de los años 2008, 2014, 2015, 2017 y 2018 de *I. oxyrinchus*. P indica el valor de significancia usado para encontrar X^2 42

Tabla 7. Razón sexual de hembras y machos de *I. oxyrinchus* (2008, 2014, 2015, 2017 y 2018) en LM en BSV..... 42

Tabla 8. Número de viajes de pesca de por año y estación de la pesca ribereña de Laguna Manuela (2008-2018)..... 44

Tabla 9. Número de días muestreados de <i>P. glauca</i> e <i>I. oxyrinchus</i> por mes, estación y año de pesca ribereña en Laguna Manuela (2008-2018).....	44
Tabla 10. Meses de capturas de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV en periodo 2008-2018.....	45
Tabla 11. Valores promedio, máximo y mínimo de las variables predictoras (TSM, SURGENCIA y EKE) en el periodo de “The Blob” y “El Niño” (2013-2016).....	57
Tabla 12. Anomalías máximas y mínimas de TSM por mes y estación en el periodo 2008-2018 en BSV, BC.....	60
Tabla 13. Anomalías máximas y mínimas de CHL por mes y estación en el periodo 2008-2018 en BSV, BC.....	60
Tabla 14. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-Azul (variables predictoras). El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (ED%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (<i>p-value</i>) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de la TSM, CHL, SURGENCIA, EKE, ELEVACION, LUNA, MES, TRIMESTRE, AÑO, LAT y LON.....	65
Tabla 15. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-Azul (interacciones). El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (ED%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (<i>p-value</i>) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de la LAT-LON, TSM-TRIMESTRE, SURGENCIA-TRIMESTRE y EKE-TRIMESTRE.....	65
Tabla 16. Resumen del GAM final (EKE, LUNA, LAT, LON, AÑO y TSM-TRIMESTRE) ajustado a datos de CPUE de <i>P. glauca</i> en LM, en BSV (2008-2018). Para cada término del modelo se muestra: el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (ED%), los grados de libertad (df) y el criterio de información de Akaike (AIC).....	66
Tabla 17. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-Azul-Final (variables predictoras). Significancia de la asociación (<i>p-value</i>) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de EKE, LUNA, LAT, LON, AÑO y TSM-TRIMESTRE.....	67
Tabla 18. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-MAC (variables predictoras). El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (ED%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (<i>p-value</i>) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de la TSM, CHL, SURGENCIA, EKE, ELEVACION, LUNA, MES, TRIMESTRE, AÑO, LAT y LON.....	70

Tabla 19. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-MAC (interacciones). El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (ED%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (p-value) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de la SURGENCIA, EKE, TSM, CHL, LAT-LON, ELEVACION, TRIMESTRE, LUNA y AÑO..... 71

Tabla 20. Resumen del GAM final (TSM, EKE, AÑO, LAT-LON y SURGENCIA-TRIMESTRE ajustado a datos de CPUE de *I. oxyrinchus* en LM, en BSV (2008-2018). Para cada término del modelo se muestra el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (ED%), los grados de libertad (df) y el criterio de información de Akaike (AIC)..... 71

Tabla 21. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-MAC-Final (variables predictoras). Significancia de la asociación (*p-value*) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de TSM, EKE, AÑO, LAT-LON y SURGENCIA-TRIMESTRE..... 72

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La importancia ecológica y pesquera de los tiburones en el mundo y en México.

El estudio de la dinámica oceanográfica y pesquera del Pacífico mexicano se inició en la década de los 40's, donde se generó gran interés científico en estudiar el comportamiento espaciotemporal del Sistema de la Corriente de California (SCC) frente a las costas de California (EUA) y Baja California (BC), México (Palacios-Hernández *et al.*, 1996). Gracias al conocimiento oceanográfico generado por Investigaciones Cooperativas de Pesca Oceánica de California (CalCOFI, por sus siglas en inglés) se ha logrado documentar una zona de alta productividad biológica a lo largo de la costa occidental de BC.

El territorio mexicano cuenta con una extensión de 11,122 km de litorales, de los cuales, 7,828 km corresponden al Océano Pacífico y 3,294 km al Golfo de México y mar Caribe (INEGI, 2003), que ha permitido históricamente llevar a cabo actividades pesqueras con fines alimentarios y desde la época prehispánica (Applegate *et al.*, 1979). México, históricamente ha sido una de las principales regiones que explotan al tiburón en sus aguas y es uno de los primeros cinco países con mayores capturas de tiburones en el mundo (FAO, 2020).

En México, la pesca artesanal de tiburones representa aproximadamente el 40% de la captura del total nacional, la cual comprende hasta el 80% del esfuerzo de pesca de elasmobranquios, con aproximadamente el 62% de capturas nacionales de tiburón provenientes del litoral del Pacífico mexicano (SAGARPA, 2007).

Algunos métodos indirectos para recopilar información sobre los elasmobranquios son el análisis y la interpretación de datos pesqueros que provienen de embarcaciones comerciales que explotan el recurso en el ambiente pelágico, debido a la dificultad de hacer investigación *in situ* por el costo elevado que representa emplear plataformas de investigación marina. Los datos provenientes de pesquerías son de vital importancia para conocer la situación geográfica y composición de las poblaciones de elasmobranquios (Jaime-Rivera, 2004).

1.2 Distribución horizontal y vertical de *Prionace glauca* e *Isurus oxyrinchus*.

El tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) es el tiburón más pescado en aguas del Pacífico mexicano, que aporta el mayor volumen de producción en toneladas y en número de individuos (Godínez-Padilla *et al.*, 2016). Es una especie cosmopolita que habita en aguas oceánicas subtropicales y templadas (Castro, 2011), que ocupa una posición clave como depredador tope en los ecosistemas pelágicos de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico, y se distribuye comúnmente entre los 50° N y los 50° S, aunque, se le puede encontrar a mayores latitudes (Compagno, 1984; Mecklenburg *et al.*, 2002). A lo largo de la costa del Pacífico de Norteamérica, el tiburón azul se extiende en su parte más norteña en Isla Kodiak, en el Golfo de Alaska (Mecklenburg *et al.*, 2002) hasta el sur de México (Castro, 2011).

El tiburón azul habita normalmente en intervalos de temperaturas superficiales (10-20 °C) y se le puede capturar generalmente desde la superficie hasta los 200 m de profundidad, donde la temperatura del mar oscila entre los 11 y 16 °C (Castro 2011), aunque,

Strasburg (1958) informó que en el Pacífico Norte las mejores capturas se producían entre los 13-23 °C, entre la zona de transición entre la corriente (aguas frías) de las Aleutianas y la corriente (agua cálida) del Pacífico Norte.

Prionace glauca es un tiburón ectotérmico de reproducción vivípara y de una relativamente elevada fecundidad (Compagno, 1984). Strasburg (1958) encontró que el tamaño de la camada en el Océano Pacífico ecuatorial (entre 24-35° N) fue de 23-40 crías, posteriormente, Nakano (1994) indicó que el intervalo de la camada de las hembras en el Pacífico Norte fue de 1-62 crías, con una media de 25.6 crías, no obstante, en su estudio, Nakano (1994) comenta que las hembras abortan a los embriones al ser capturadas, por lo que el extremo inferior del intervalo de crías puede ser inexacto.

Strausburg (1958) teorizó la posibilidad de que el tiburón azul realiza una migración de norte a sur en el Pacífico Norte en relación directa con la temperatura del agua. Nakano (1994) sugiere que el tiburón azul tiene una gran biomasa cerca del límite subártico en el Océano Pacífico, éste, observó una zona de alta abundancia relativa entre los 35-45° N y que el tiburón azul se desplazaba estacionalmente de norte a sur entre el límite subtropical y subártico.

Nakano (1994) desarrolló un modelo esquemático de migración para el tiburón azul, en el cual los partos se producen a principios de verano en la zona de crianza situada entre los 30-40° N. Las hembras de 2-5 años de edad generalmente se desplazan hacia el norte, mientras que los machos de 2-4 años de edad se desplazan generalmente hacia el sur. El desplazamiento de los adultos es principalmente desde las aguas ecuatoriales al sur de la zona de crianza a los 40° N. El apareamiento tiene lugar a principios del verano en la zona de los 20-30° N, y las hembras preñadas migran a las zonas de parto al verano siguiente (Nakano, 1994). Se cree que la segregación sexual de los tiburones subadultos es una adaptación de las hembras para evitar el peligro asociado al comportamiento de apareamiento de los machos (morder a las hembras) (Nakano, 1994).

Castro (1992) sugiere que las migraciones que realiza el tiburón azul pueden ser reproductivas, por alimentación o debido a los cambios de temperatura del agua en el océano.

El estado de la población del tiburón azul, debido a su prevalencia en las capturas costeras y en alta mar, es el mejor estudiado de los elasmobranquios pelágicos principalmente en las regiones templadas (Camhi *et al.*, 2008; Nakano y Seki, 2003). De acuerdo con las evaluaciones poblacionales (*Stock assessment*) realizadas por el Comité Científico Internacional para el Atún y Especies Afines del Pacífico Norte (ISC por sus siglas en inglés), las especies de tiburones oceánicos cuyas poblaciones han sido evaluadas en el Pacífico Norte son el tiburón azul (*P. glauca*) (1975-2014) y el tiburón mako de aletas cortas (*I. oxyrinchus*) (1976-2016), las cuales se encuentran aprovechadas cerca del máximo sostenible en la región del Pacífico Norte. La biomasa reproductora actual para *P. glauca* se encuentra en un 65% más alta que la correspondiente en el rendimiento máximo sostenible y se estimó en 285,385 t. La mortalidad anual por pesca en el 2018 se estimó en 29% por debajo de la mortalidad del rendimiento máximo sostenible. Por lo anterior, actualmente en la pesquería del tiburón azul no ha existido sobrepesca ni está siendo sobreexplotado en el Pacífico Norte (ISC, 2022).

El ISC (2017) realizó una evaluación del tiburón azul en el Pacífico Centro-Occidental en el periodo de 1975-2014, donde se encontró que las capturas de *P. glauca* se han incrementado desde niveles inferiores a 500 t en la década de 1970, aumentando a unas 1,000 t en la década de los 90's, hasta unas 4,000 t en la segunda mitad del 2000, reportándose la captura más alta en 2014 con 5,500 t, donde Sosa-Nishisaki y Castillo-Géniz (2017) reportan que en BC en el periodo 2005-2015 se han pescado aproximadamente 1,500-2,500 t por año.

El tiburón mako de aletas cortas (MAC) (*Isurus oxyrinchus*) (Rafinesque, 1810) es la 2da especie de tiburón de importancia pesquera que se captura en la costa occidental de la Península de Baja California, habita la zona pelágica, con una amplia distribución en aguas templadas y tropicales de los océanos del mundo y se le encuentra aproximadamente a 50° N (hasta 60° N en el Atlántico nororiental) hasta 50° S (Compagno, 2001). En el Atlántico occidental se le encuentra desde el noreste de los Grandes Bancos, hacia el sur, en el Golfo de México y los trópicos. En el Pacífico oriental se le puede encontrar desde California hacia el sur y hasta los trópicos (Castro, 2011). Es un tiburón endotérmico de la familia *Lamnidae* y habita desde la superficie del océano hasta al menos 500 m de profundidad (Compagno, 2001; Carey *et al.*, 1978). Loefer y colaboradores (2005), mediante marcas satelitales encontraron una profundidad de desplazamiento vertical del tiburón MAC en el Océano Pacífico desde los 0 a los 556 m de profundidad asociado a temperaturas de 10.4-28.6 °C.

El tiburón MAC, en el extremo norte y sur de su área de distribución, tiene tendencia a seguir los movimientos de las masas de agua cálida hacia el polo en verano. Los movimientos generales de este tiburón no son bien conocidos. Esta especie es vivípara oogafo, con 4 a 16 crías por camada (Compagno, 1984). Posteriormente, Castro (2011) informó acerca del número de crías del tiburón MAC, siendo habitual la camada de 10-16 crías.

Isurus oxyrinchus es un depredador oceánico que se alimenta de otros tiburones (tiburón azul, tiburón gris, del género *Carcharhinus*, y tiburones martillo, familia Sphyrnidae, Compagno 1984), Su biología es poco conocida a pesar de su abundancia en aguas cálidas y es importante desde el punto de vista económico. Este tiburón puede mantener una temperatura de 7 a 10 °C por encima de la temperatura del agua (Compagno, 1984). Posee un sistema vascular muy desarrollado que sirve como una barrera térmica, que minimiza el calor a la sangre circulante (Carey y Tel, 1969). Experimentos con marcas sónicas (Hoey, 1983) han demostrado que el rango de temperatura en capturas de *I. oxyrinchus* es de 17-22 °C en el Golfo de México, concordando con Holts y Bedford (1993) quienes encontraron un rango de temperaturas similar de 18-21 °C frente a las costas de California en el Océano Pacífico.

El tiburón MAC tiene una tasa de crecimiento poblacional ligeramente superior a la de otros tiburones pelágicos (Smith *et al.*, 2008a), a pesar de ello, sigue siendo muy vulnerable a la presión pesquera. El ISC (2017) realizó estimaciones de *I. oxyrinchus* en cuatro estados del noroeste del Pacífico mexicano (1976-2016), donde se encontró que el tiburón MAC no fue una especie importante en las capturas hasta la década de 1980, donde estas, aumentaron de unas 60 a 250 t. Desde la segunda mitad de la década de 1990 y con el desarrollo en las pesquerías de palangre en Mazatlán Sinaloa, las capturas actuales han

alcanzado un nivel de aproximadamente 1,000 t, capturándose este tiburón principalmente en la Península de BC y en el Golfo de California (Sosa-Nishisaki *et al.*, 2017). Sosa Nishisaki y colaboradores (2017) reportan que de 2005 al 2016, el tiburón MAC ha tenido una producción sostenida que oscila aproximadamente en las 300 t por año, no obstante, reportan también que en 2014 *I. oxyrinchus* tuvo una producción de 531 t en el estado de BC.

Debido a que los elasmobranquios representan engranajes vitales en los ecosistemas marinos del mundo, es de gran importancia el realizar investigaciones que arrojen luz al estado de salud de sus poblaciones y cómo interactúan estos con el entorno físico que los rodea.

1.3. La pesca de elasmobranquios (tiburones y rayas) en Baja California.

La pesca de elasmobranquios (tiburones y rayas) en aguas de México es una importante actividad desde el punto de vista económico, alimentario y social, que genera empleos en su fase de captura, manejo, proceso primario de la producción, distribución y comercialización, donde más del 90% de la producción tiene como destino el consumo nacional, adquiriendo gran importancia alimentaria al proporcionar carne de bajo costo a amplios sectores de la sociedad. Los productos que se generan de esta industria son: la carne, su piel, sus vísceras y aletas (DOF, 2007).

Las especies de tiburones que sustentan las pesquerías que se distribuyen en jurisdicción federal en los litorales del país son aproximadamente 111 especies (Del Moral-Flores *et al.*, 2015) de las cuales 39 especies se presentan con mayor frecuencia en la producción, siendo 12 las más abundantes, las cuales pertenecen a las familias Alopidae, Carcharhinidae, Squatinidae y Triakidae (Castillo 1992; DOF, 2007).

En BC existen principalmente dos pesquerías de tiburones: la pesquería de mediana altura con palangre de embarcaciones de 10-27 m de eslora, motor estático y con un sistema de conservación por medio de hielo (bodega) lo cual les proporciona hasta tres semanas de autonomía (DOF, 2007), y la pesca artesanal ribereña con palangres y redes de enmalle en la que se emplean embarcaciones menores tipo “panga”, la cual opera en ambos litorales de la península (Castillo-Géniz *et al.*, 2009; DOF, 2007; Furlong-Estrada *et al.*, 2017). Aunque la diferencia de las embarcaciones en ambas pesquerías es notoria debido a sus dimensiones, material de construcción y autonomía, los tipos de anzuelos se asemejan, utilizando el palangre superficial. Estos anzuelos son el de forma circular plano 16/0 denominado “Garra de Águila” y el de forma J o recto de tamaño 9/0 (DOF, 2007; Galeana-Villaseñor *et al.*, 2009; Godínez-Padilla, 2017).

La pesca artesanal se distingue por la participación de embarcaciones construidas en fibra de vidrio con eslora de 7.5 a 10 m, motor fuera de borda de entre 60 a 150 hp, no cuentan con sistema refrigerante, por lo que su autonomía es de pocos días (1-3 días). La longitud del palangre o cimbra superficial es de 3-4 km de línea madre, con 350 hasta 450 anzuelos (DOF, 2007; Furlong-Estrada *et al.*, 2017), utilizando (por lo general) como carnada: calamar (*Dosidicus gigas*), macarela (*Scomber japonicus*), lisa (*Mugil cephalus*) y barrilete (*Katsuwonus pelamis*) (Galeana-Villaseñor *et al.*, 2009).

Las pesquerías artesanales representan hasta el 80% de la actividad pesquera de elasmobranquios en aguas mexicanas, sin embargo, los detalles asociados al esfuerzo pesquero no están disponibles, según Cartamil y colaboradores (2011), en su estudio de la pesquería artesanal de elasmobranquios de la costa del Pacífico de Baja California, en BSV, donde se identificaron 44 campamentos de pesca artesanal, de los cuales 29 (el 66%) tenían como objetivo los elasmobranquios (al menos estacionalmente), utilizando principalmente redes de enmalle de fondo y palangre. Se documentaron en el campamento pesquero de Laguna Manuela (LM) 25 especies de elasmobranquios.

El tiburón azul y el tiburón mako de aletas cortas son las dos especies más comunes en las pesquerías pelágicas de palangre en el océano Pacífico, el mar Mediterráneo y el Atlántico (Strasburg, 1958), además que, el tiburón azul es la especie principal que sostiene las pesquerías artesanales y de mediana altura en la costa occidental de la península de BC (Sosa-Nishizaki *et al.*, 2002; Godínez-Padilla *et al.*, 2016). Los desembarques de elasmobranquios en BC han aumentado de un promedio de 1,757 mt en la década de 1990 y un promedio de 4,160 mt entre 2000 y 2008 (a diferencia de las tendencias de las capturas en otras partes de México), con un valor económico estimado de 37 millones de pesos en 2008 (Cartamil *et al.*, 2011). Además, BC representó el 12.6% de la captura total de elasmobranquios de México durante el período 2000-2008. La producción de tiburón y cazón de BC de 2008-2017 promedió anualmente 3,501.2 t, ubicándolo como el tercer lugar nacional con el 9.8% de la producción de tiburones reportada en el Pacífico mexicano (CONAPESCA, 2017).

1.4. Factores medio ambientales que influyen en la distribución y abundancia en los tiburones pelágicos-costeros.

Los pelágicos mayores (atunes, tiburones y peces pico) son organismos de alta movilidad, con capacidad para reaccionar rápidamente a los cambios ambientales y a las necesidades de alimento en su búsqueda de condiciones más propicias para el desarrollo de su ciclo vital (Santana-Hernández, 2001).

Alcalá-Molina (2017) indicó que los factores ambientales pueden estar relacionados con la disponibilidad de capturas de los tiburones en una variedad de escalas espacio-temporales, no obstante Bigelow y colaboradores (1999) indican que los modelos de dinámica de los recursos ignoran en gran medida los procesos ambientales, volviendo de vital importancia considerar el efecto de la temperatura en la distribución de especies debido a que los organismos migran hacia zonas en busca de alimentación y para su reproducción. Según Tavares y colaboradores (2012) y Walsh y Kleiber (2001) la temperatura es un factor ambiental que está fuertemente relacionada con los movimientos de los tiburones azules en el océano Pacífico como en el Atlántico.

Las fluctuaciones del entorno abiótico pueden desencadenar movimientos y cambios en el comportamiento y el uso del hábitat de muchas especies de tiburones y rayas. En la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha se han centrado selectivamente en pocos factores abióticos (por ejemplo temperatura y la salinidad); no obstante también se han documentado otros factores como el oxígeno disuelto, la marea, el fotoperíodo, entre otros impulsores del movimiento en especies de tiburones y rayas, aunque los factores abióticos

rara vez actúan de manera aislada y a menudo difieren en su nivel de influencia según la especie, el sexo, la etapa ontogénica, la estación y la ubicación geográfica (Schlaff *et al.*, 2014).

Schlaff y colaboradores (2014) indicaron que estos desplazamientos pueden ocurrir en respuesta a un límite fisiológico próximo o a una preferencia fisiológica, donde los individuos se mueven para mantener los factores abióticos en niveles que les proporcionen algún tipo de ventaja ya sea para escapar de depredadores o en busca de alimento.

1.5. Características oceanográficas de Bahía de Sebastián Vizcaíno (surgencia costera, remolino anticiclónico, “El Niño”, “La Niña” y “The Blob”).

1.5.1. Surgencia costera.

La fuerza horizontal del viento que actúa sobre la superficie del océano (esfuerzo o estrés del viento) genera una transferencia de momento horizontal, siendo un mecanismo de transferencia de energía desde la atmósfera hacia el océano. Esta transferencia de energía o *momentum* generada por los vientos que soplan del norte (NO) a lo largo de la costa, ejercen una presión extra sobre la superficie del océano, generando desplazamiento de masas de agua (afloramiento costero) en ángulo recto a la derecha del viento (hemisferio norte) y la aparición de la capa de Ekman (Bellot y Carrió, 2013). El agua en la superficie es desplazada mar adentro y es remplazada por agua situada por debajo de la capa de Ekman, de forma tal que existe conservación de masa, advectando agua profunda hacia la superficie con una menor temperatura, menor salinidad y rica en nutrientes (Lynn y Simpson, 1987).

La Bahía de Sebastián Vizcaíno está localizada dentro de la región de la Corriente de California (CC), donde los vientos dominantes del Noroeste dan lugar a una de las principales regiones de surgencia costera (Bakun y Nelson, 1997). La zona frente a Punta San Antonio hasta Punta Canoas (~60 km) representan la región donde se producen las surgencias costeras que se intensifican o se relajan conforme a la estación del año (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995).

En un estudio realizado por Espinoza-Carreón y colaboradores (2004), se examinaron campos medios, ciclos estacionales y la variabilidad interanual de las concentraciones de pigmentos de clorofila-a (CHL) (Fig. 1), la altura superficial del mar (ASM) y la temperatura de la superficie del mar (TSM), utilizando datos de satélite durante 1997-2002 en el Pacífico mexicano en la parte sur del SCC. Estos autores identificaron tres regiones dinámicas: 1) una zona de afloramiento junto a la costa, 2) el Frente de Ensenada en el norte y 3) regiones de meandros y/o variabilidad de remolinos al oeste y suroeste de Punta Eugenia, denotando la fuerte relación de la clorofila con “El Niño” 1997-1998 y relaciones bajas de la clorofila con “La Niña” 1998-1999.

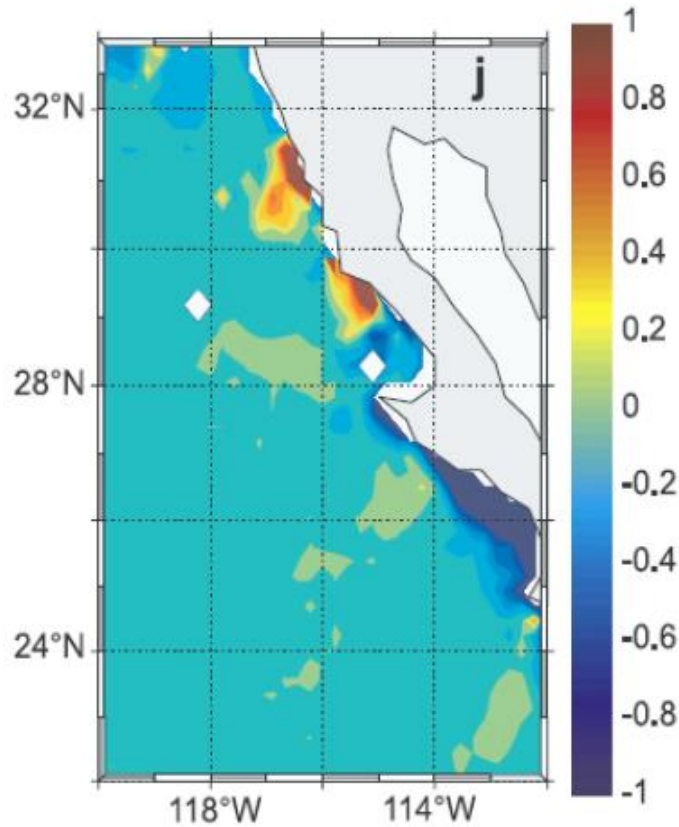


Figura 1. Anomalías no estacionales de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) durante El Niño de septiembre de 1997 a agosto de 1998. (j) Junio (tomado de Espinoza-Carreón *et al.*, 2004).

1.5.2. Remolino anticiclónico semipermanente y de núcleo cálido.

Los remolinos de mesoescala son entes energéticos que estructuran los ecosistemas de alta mar en escalas temporales (semanas a meses) y espaciales (decenas a cientos de kilómetros) (McGillicuddy, 2016). La energía cinética de los remolinos (EKE, por sus siglas en inglés), derivada de la circulación dependiente del tiempo, se usa comúnmente para estudiar los remolinos de mesoescala (Vallis, 2017). Además, se ha demostrado que estos fenómenos oceanográficos controlan flujos biogeoquímicos afectando a las comunidades biológicas (McGillicuddy, 2016; Mahadevan, 2016). El acoplamiento de estas estructuras de mesoescala con la biología marina ha identificado (en algunos casos) características específicas como “*hot spots*” o “*focos*” de actividad biológica, abarcando desde los productores primarios (Benitez-Nelson *et al.* 2007), hasta los grandes peces pelágicos (Hobday *et al.*, 2014; Gaube *et al.*, 2018).

Una de las características más sobresalientes de BSV es la presencia de un remolino anticiclónico (semipermanente) y de núcleo cálido, reportado por primera vez por McEwen (1916). Éste posee un diámetro que varía entre 50-65 km (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995) y se extiende hasta una profundidad de 60-70 m (Dawson, 1952; *Scripps Institution of Oceanography* [SIO], 1962), con velocidades en su periferia de hasta 0.70 m s^{-1} (SIO, 1962). Este se observa la mayor parte del año, siendo más evidente en otoño y menos notable en invierno. La posición del centro del remolino ha sido ubicada en la parte occidental de la bahía ($28^{\circ}15' \text{ N}$), aproximadamente a 25 km al este de Isla Cedros (Fig. 2) (Amador-

Buenrostro *et al.*, 1995), aunque se ha reportado variaciones latitudinales de este (Dawson, 1952), aparentemente debido a las variaciones en la intensidad del viento en la bahía.

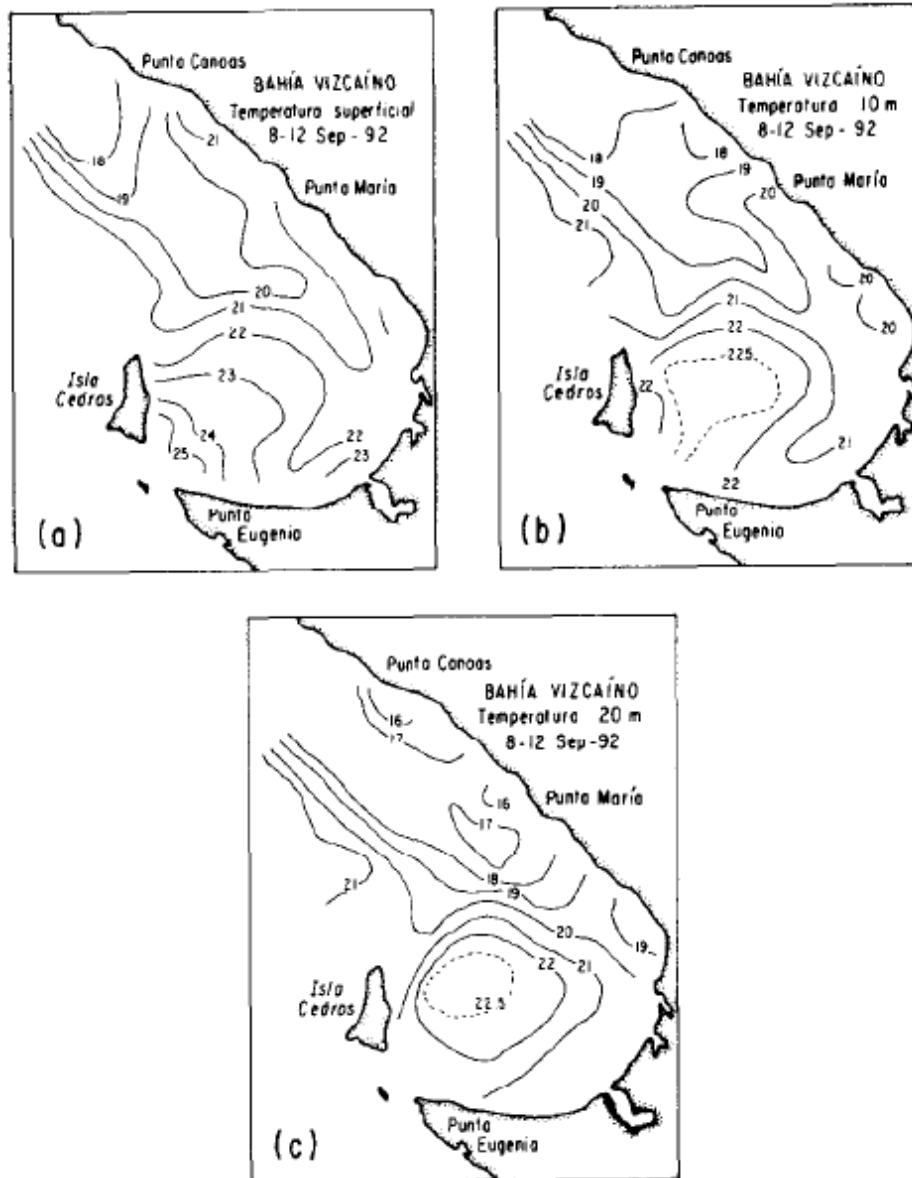


Figura 2. Distribución horizontal de la temperatura obtenida a partir de mediciones directas (CTD) en la red de estación. (a) superficial (b) 10 m de profundidad y (c) 20 m de profundidad (Figura tomada de Amador-Buenrostro *et al.*, (1995).

Desde la década de 1950 se ha debatido el cómo los depredadores utilizan los frentes y los remolinos como señal migratoria, para encontrar mejores zonas de alimentación y como hábitat térmico preferido, no obstante, la influencia de los remolinos de mesoescala en el comportamiento de los grandes peces pelágicos permanece en gran medida poco explorado (Braun *et al.*, 2019).

Braun *et al.*, (2019) mediante marcas satelitales (en el océano Atlántico), con base a >2,000 días de seguimiento y casi 500,000 mediciones de series temporales de alta resolución

recogidas por 15 individuos marcados de *P. glauca*, demostraron que este tiburón busca el interior de los remolinos anticiclónicos, donde se sumerge a profundidad en busca de alimento, contradiciendo el paradigma existente de que los remolinos anticiclónicos son “desiertos” oceánicos improductivos (Gaube *et al.*, 2014; Williams y Follow, 1998). Y sugieren que las temperaturas anormalmente cálidas, conectan a estos depredadores con las comunidades de peces mesopelágicos.

1.5.3. “La Mancha de agua cálida” (“The Blob”).

En invierno de 2013-2014 una gran masa de agua anormalmente cálida llamada “La Mancha” o “The Blob”, apareció en la costa de Alaska y posteriormente se extendió hacia el sur, hasta la costa de BC (2015). Esta masa de agua anormalmente cálida persistió en el noroeste del Pacífico hasta finales del 2015 provocando notorios cambios en la estructura biológica y la composición de los ecosistemas costeros y abiertos. Estos cambios incluyeron desplazamientos geográficos de especies como copépodos tropicales, cangrejos rojos, y atún, además del cierre de pesquerías de importancia comercial (cangrejo *Dungeness*); varamientos masivos de mamíferos marinos (leones marinos de California) y aves marinas (auklets de Cassin), además de una floración de algas nocivas (HAB) sin precedentes que se extendió desde Alaska hasta BC (Cavole *et al.*, 2016).

El tiburón zorro, el tiburón martillo y mahi mahi (pez delfín) fueron vistos más al norte que nunca (Cavole *et al.*, 2016). “The Blob” se atribuyó a fuertes anomalías positivas en la presión del mar en el noroeste del Pacífico (Swain, 2013) donde se suprimió la pérdida de calor del océano a la atmosfera (Bond *et al.*, 2015; Swain, 2015). Las temperaturas superficiales del mar (TSM) fueron 1-4 °C más altas que el promedio a lo largo de la costa oeste de América del Norte. Se generó en distintas fases (o parches), la primera en el Golfo de Alaska en 2013, abarcando al menos 1,600 km horizontalmente y 90 m de profundidad (Brond *et al.*, 2015), en la segunda fase se extendió desde Oregón hasta BC presentando una variación estacional y anual.

La reducción del flujo de calor en el océano debilitó los patrones típicos de tormentas de invierno y vientos (Cavole *et al.*, 2016), esto generó el aumento de la estratificación alterando el transporte y bombeo de Ekman impulsados por el viento, afectando a las surgencias a lo largo de las costas (Dewey, 2016).

El aumento de la temperatura a escala global y local en 2015 tuvo como consecuencia un incremento atípico de la temperatura del agua en el otoño de 2015, coincidente con la brusca disminución de la fuerza de afloramiento y del aporte de nutrientes advectados a la superficie (Jiménez-Quirós *et al.*, 2019). “The Blob” causó anomalías fisicoquímicas en el noreste del Pacífico como termoclinas y nutriclinas más profundas y una fuerte estratificación, lo que provocó una disminución de los flujos de nutrientes y modificó la distribución vertical de la clorofila-a (Chl-a) (Zaba y Rudnick, 2016)

Gómez-Ocampo (2017) utilizó un Modelo Aditivo Generalizado (GAM, por sus siglas en inglés) para entender la relación entre umbrales ecológicos determinados que estuvieron relacionados con alta productividad en la escala estacional y en la interanual, ligados a valores bajos en la topografía dinámica absoluta (TDA) (45-60 cm), a la contribución de algunas variables físicas y espacio-temporales de la biomasa y producción

del fitoplancton en el Pacífico tropical-subtropical frente a México en el SCC (2003-2016). Esta autora encontró que el bombeo de Ekman estuvo relacionado principalmente con la variabilidad estacional, asociada a la intensidad de los vientos durante invierno-primavera, en contraste con una disminución de la biomasa en otoño-invierno durante condiciones “El Niño” (2015-2016) y “The Blob” (2013-2015), evidenciando una alta TDA.

Gómez-Ocampo (2017) observó que “El Niño” (débil) 2015-2016 pudo haber proporcionado un mecanismo de retroalimentación a “The Blob” a través de una teleconexión atmosférica desde la región del Ecuador hasta la región de la península de BC. Además, expone que el agua calidad durante “The Blob” que persistió en 2016 debido al cálido ENSO, modificó la termodinámica de la columna de agua y produjo cambios en la circulación, impactando negativamente la cantidad de biomasa (fitoplancton) disponible para los niveles tróficos superiores en el ecosistema pelágico en las regiones costeras en el SCC.

2. ANTECEDENTES.

Godínez-Padilla y colaboradores (2016) indican que las especies de tiburones pelágicos más abundantes en la costa occidental de Baja California Sur (BCS) son: *P. glauca* e *I. oxyrinchus*, concordando con los resultados del estudio de Cartamil y colaboradores (2011) en BSV. Godínez-Padilla y colaboradores (2016) documentaron que las especies de tiburón con mayores capturas numéricas en el Pacífico mexicano en el periodo 2011-2015 fueron el tiburón azul (89.25%) y el tiburón MAC (7.77%), siendo los principales factores de influencia la temperatura superficial del mar (TSM), historias de vida, alimentación, reproducción y patrones migratorios.

Las evidencias de Castillo-Géniz, y colaboradores (2011 y 2012) sugieren una segregación por tallas y sexos de las principales especies de tiburones juveniles capturados (azules y makos) y que algunas zonas dentro de BSV pueden ser áreas de refugio, nacimiento, y crianza de varias especies. Según Furlong-Estrada y colaboradores (2017) la pesquería artesanal impacta principalmente sobre organismos juveniles (119 cm LT) (1-2 años) mientras que la pesquería de mediana altura captura en su mayoría pre-adultos (3-5 años), concordando con Vögler-Santos (2011), quien indica que la estructura poblacional del tiburón azul en la zona de transición tropical-subtropical del Pacífico Noroeste está bien definida y caracterizada por la presencia de agregaciones semipermanentes de juveniles (ambos sexos) distribuidos en aguas costeras.

Tradicionalmente se ha intentado relacionar la distribución horizontal y vertical de los tiburones con la temperatura del agua bajo la suposición de ser organismos poiquilotermos (Jaime-Rivera, 2004), desde ese entonces y por medio de distintas técnicas como telemetría y sensores remotos se han realizado investigaciones sobre tiburones de diversas especies; no obstante, debido a la complejidad de estos estudios han sido pocas las publicaciones. Jaime-Rivera (2004) encontró que la TSM es un indicador significativo sobre la CPUE de *P. glauca* en las aguas cercanas a la costa occidental de BCS.

Jaime-Rivera (2004) observó que los fenómenos de “El Niño” 1997-1998 y “La Niña 1999” influyeron negativamente en la abundancia relativa de *P. glauca* y en la composición total de las capturas para la costa occidental de BCS para el periodo de estudio 1996-2001.

P. glauca dominó las capturas con 210 t (71%), seguido del tiburón piloto (*Carcharhinus falciformis*) con 35 t (12%) y posteriormente *I. oxyrinchus* con cerca de 30 t (10%). Se observó también que no existe una relación significativa entre la disponibilidad de captura de *P. glauca* en la costa occidental de BCS con la concentración de pigmentos fotosintéticos y que no existe una relación significativa entre la disponibilidad de captura de *I. oxyrinchus* (en BCS) con la TSM, probablemente debido a su condición endotérmica.

La zona de crianza del tiburón azul en el Océano Pacífico según Nakano (1994), queda situada entre los 30-40° N (a principios de verano), donde las hembras (2-5 años) generalmente se desplazan hacia el norte, mientras que los machos (2-4 años) se desplazan generalmente hacia el Sur. Nakano (1994) concluye que la concepción se produce cerca de las aguas ecuatoriales, las hembras migran hacia el norte y las crías nacen en las zonas septentrionales, entre los 30-40° N, al año siguiente. La abundancia de este tiburón incrementa latitudinalmente en ambos hemisferios del planeta a partir del ecuador (Strasburg, 1958) y se encuentran segregados por edad, sexo y fase reproductiva (juveniles, sub-adultos, maduros o adultos) (Nakano y Stevens, 2008).

Godínez-Padilla (2017) observó que las estructuras de tallas del tiburón azul, en la zona de transición subtropical-tropical en el Pacífico Noreste, quedan establecidas con mayores agregaciones de tiburones juveniles en la zona subtropical y los adultos en la zona tropical. La distribución longitudinal de tiburones juveniles se concentra mayormente en aguas costeras (Pacífico oriental), mientras que los adultos abundan más en la zona tropical (Godínez-Padilla, 2017). El autor encontró también que la relación de la CPUE del tiburón azul con algunas variables ambientales (TSM y Chl) es significativa, demostrando que los mayores valores de CPUE ocurren durante los meses de invierno (Dic-Feb), con TSM bajas y relativamente altas concentraciones de Clorofila-a (Chl). Las anomalías cálidas de la TSM en los eventos de “The Blob” 2013-2015 y “El Niño” (en periodo 2006-2016) influyeron aparentemente de manera negativa en la CPUE del tiburón azul, mientras que en condiciones de anomalías frías de “La Niña” (período 2006-2016) influyeron positivamente con la CPUE del tiburón azul (Godínez-Padilla, 2017; Godínez-Padilla *et al.*, 2022).

Se han utilizado en el pasado técnicas estadísticas como los Modelos Lineales Generalizados (GLM, por sus siglas en inglés) para comprender las relaciones existentes entre las especies de interés y su medio ambiente (Martínez-Rincón, 2012), no obstante, a lo largo de los últimos años se han desarrollado técnicas estadísticas más complejas y novedosas, como los Modelos Aditivos Generalizados (GAM, Hastie y Tibshirani, 1990) y los Árboles de Regresión Impulsados (ARI), que son métodos estadísticos que exploran las relaciones de tipo no lineal y que no están sujetas a supuestos estadísticos como la “normalidad” de los datos. Estos modelos relativamente recientes, han sido empleados para describir las relaciones de diversos componentes biológicos de la cadena trófica, desde los productores primarios hasta los grandes depredadores y su relación con estructuras de mesoescala (Martínez-Rincón, 2012; Vögler-Santos, 2011; Gómez-Ocampo, 2017; Alcalá-Molina, 2017) y climáticas (Godínez-Padilla *et al.*, 2022).

Godínez-Padilla y colaboradores (2022) mediante modelos GAMs encontró que en el Pacífico oriental frente a la península de Baja California, la distribución horizontal del

tiburón azul se concentra sobre todo en procesos físicos de mesoescala como el Frente de Ensenada, los remolinos ciclónicos y afloramientos de aguas costeras, mientras que los juveniles están más asociados a procesos donde se impulsa una alta productividad biológica. Los resultados de los modelos GAMs que utilizó revelaron que la CPUE del tiburón azul está influenciada por cinco factores relevantes: TSM, NPGO, año, latitud, distancia a la costa e interacciones trimestrales, y anzuelos calados. Anomalías cálidas de la TSM, como los eventos “El Niño” “La Niña” y “The Blob” ocurridos durante 2006-2016 afectaron negativamente a la CPUE del tiburón azul. Las anomalías frías de la TSM, como “La Niña”, que se produjeron entre 2006 y 2016, influyeron positivamente en la CPUE del tiburón azul. El mejor GAM presentado fue un modelo de 10 variables predictoras que explicaba el 65.5% de la desviación total explicada del comportamiento de la CPUE de los tiburones azules hembras juveniles en el NWMP durante el periodo de estudio.

En un estudio realizado por Megalofonou y colaboradores (2009) entre 1998 y 2001 sobre las capturas incidentales de *P. glauca*, en las pesquerías de pez espada de superficie en Italia y Grecia (en el Mar Mediterráneo), donde se tuvo como objetivo el examinar si las capturas tuvieron relación con algunos parámetros ambientales, espaciales, temporales u operativos y en qué medida, aplicando GLM. Los análisis indicaron que los factores espaciales y temporales fueron los que más influyeron en la distribución y abundancia del tiburón azul. La distribución espacial reveló un fuerte gradiente longitudinal en el que la presencia de *P. glauca* aumentó en dirección este-oeste, mientras que las capturas por latitud fueron mayores en las regiones más meridionales y septentrionales. Los tiburones azules se encontraron con más frecuencia en otoño y en aguas abiertas lejanas.

En el periodo 1994-2013, el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Caza y Pesca de California (CDFG, por sus siglas en inglés), iniciaron un estudio de abundancia independiente de la pesquería con seguimiento en la abundancia relativa y el tamaño de los juveniles de *I. oxyrinchus* y de *P. glauca* en la Bahía del Sur de California (SCB) (Runcie *et al.*, 2016). Runcie y colaboradores (2016) exponen el primer y único estudio independiente de la pesquería de tiburón azul y tiburón mako de aletas cortas en SCB, encontrando que la captura estandarizada por unidad de esfuerzo (CPUE) del tiburón mako de aletas cortas mostró una tendencia general a la baja desde 1994 hasta 2010, con aumentos durante los últimos años, mientras que en el tiburón azul la CPUE estandarizada mostró una tendencia general a la baja a lo largo de la serie temporal con valores más bajos en 2012 y 2013, y una CPUE anormalmente alta en 2000 (Runcie *et al.*, 2016). Los autores determinaron que los tiburones de las clases (edades) de 0-2 representaron la mayoría de los ejemplares capturados en el estudio (~81% de los tiburones azules y el 58% de los tiburones makos de aletas cortas).

Se han realizado algunos estudios en genética y marcado (Chin *et al.*, 2017) y de pesca independiente (Yates *et al.*, 2017) mediante Marcos de Evaluación Integrada (MAI) en poblaciones de Indonesia, Papúa Nueva Guinea y en Australia, que han permitido observar la segregación por sexo y tamaño de tiburones del género *Sphyrna*, además de examinar la relación mediante GLM entre variables ambientales y los impulsores ecológicos de la abundancia de tiburones del género *Carcharhinus* y *Sphyrna*. Se destaca en ambos estudios el análisis de zonas de crianza o zonas de gran importancia para estos géneros de tiburón.

Mediante un estudio realizado en estuarios en Texas (Froschke *et al.*, 2010) se observó la estrecha relación de tiburones del género *Carcharhinus* y *Sphyrna*, con la salinidad, la temperatura y la proximidad a las entradas de mareas, demostrando relaciones no lineales, multivariadas e interactivas.

El Instituto de Oceanografía Scripps (SIO), mediante mediciones de corrientes con flotadores lagrangianos, sostiene varias hipótesis sobre los mecanismos de generación del remolino anticiclónico (semipermanente) y de núcleo cálido, que se genera en la parte central de BSV (SIO, 1962). Algunos de estos mecanismos ya han sido expuestos en otros estudios, tales como: el campo de viento local, la forma de la cuenca, la existencia de una zona de calma a sotavento situada al este de Isla Cedros (en presencia del campo de vientos del Noroeste) y la batimetría de la bahía (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995). Palacios-Hernández y colaboradores (1996) utilizaron un modelo numérico de dos dimensiones y encontraron que la presencia de Isla Cedros en BSV genera una zona de calmas en el campo de viento, desarrollándose un rotacional negativo, en consecuencia, proponen que esta variabilidad espacial del viento es el factor más importante en la generación del remolino anticiclónico.

Se ha demostrado que no sólo los grandes depredadores emplean los remolinos como una vía de desplazamiento (Ruvalcaba-Aroche *et al.*, 2020), sino también el alimento de estos se asocia a estructuras físicas de mesoescala. Ruvalcaba-Aroche y colaboradores (2020) analizaron la distribución y transporte del complejo *Sthenoteuthis oualaniensis* - *Dosidiscus gigas* (complejo SD, Cephalopoda; Ommastrephidae) en la convergencia tropical-subtropical frente a las costas de México, utilizando un modelo lagrangiano de dispersión basado en corrientes geostróficas, donde se observó cómo los huevos y paralarvas del complejo SD se asociaban a estructuras de mesoescala, en algunos casos sirviendo de barreras físicas, reteniendo a estos organismos cerca de aguas costeras productivas. Vögler-Santos (2011) sugiere que los mayores valores de CPUE de *P. glauca* ocurren en los bordes de meandros y remolinos (cyclónicos y anticiclónicos) en el SCC. Braun y colaboradores (2019) siguieron en su estudio en la Corriente del Golfo (mediante marcas electrónicas y datos satelitales) que *P. glauca* (n=15) se dirige al interior de los remolinos anticiclónicos donde se sumergen en profundidad en búsqueda de alimento.

BSV es una enorme región costera con una alta productividad biológica, en la que trece campamentos pesqueros y flotas de mediana altura como la de camarón y la de palangre pescan en su interior, por lo que sus recursos, incluyendo los tiburones azules y tiburones MAC están aparentemente sujetos a una intensa explotación comercial. El estudiar el papel que juega BSV en la historia de vida de estas dos especies de tiburones y los fenómenos de mesoescala que influyen en sus abundancias estacionales, es un conocimiento que puede ayudar a mejorar los esquemas de manejo pesquero y conservación de los tiburones en el noroeste del Pacífico mexicano.

El estudio de la dinámica oceanográfica ha permitido observar gran variedad de estructuras como surgencias, frentes, remolinos, etc, en los océanos del mundo. Muchos de estos fenómenos se han asociado a actividades como la pesca, zonas de migración, zonas de reproducción y zonas de crianza, por lo cual, es de vital importancia el generar conocimiento de las interrelaciones entre la fauna marina y la dinámica de los flujos en los océanos y en las costas.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La distribución espaciotemporal del tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV es influenciada por los procesos físicos de mesoescala como: 1) surgencia costera, 2) el remolino anticiclónico (semipermanente) y 3) por los eventos climáticos como “El Niño”, “La Niña” y “The Blob”, durante el periodo de pesca 2008-2018.

3.1 Hipótesis 1

Existe un efecto positivo de la surgencia costera con la CPUE del tiburón azul y el mako de aletas cortas, para el periodo de pesca 2008-2018, en Laguna Manuela en BSV.

3.2 Hipótesis 2

La mayor intensidad del remolino anticiclónico (EKE) se correlaciona positivamente con la CPUE del tiburón azul, y es inversamente proporcional para la CPUE del tiburón mako de aletas cortas, durante el periodo de pesca 2008-2018, en Laguna Manuela en BSV.

3.3 Hipótesis 3

Los eventos climáticos “El Niño”, “La Niña” y “The Blob” (2008-2018) influyeron significativamente en la distribución y abundancia del tiburón azul y mako de aletas cortas en la pesca artesanal ribereña de Laguna Manuela en BSV.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general.

Evaluar la posible relación entre la abundancia relativa (CPUE) de *P. glauca* e *I. oxyrinchus* en la Bahía de Sebastián Vizcaíno en Laguna Manuela, con distintos procesos físicos de mesoescala: 1) la surgencia costera estacional, 2) el remolino anticiclónico y 3) particularmente, comprender las interconexiones que se suscitaron en el periodo 2013-2016 con la presencia de los eventos de aguas cálidas denominados “The Blob” (2013-2015) y “El Niño” (2015-2016).

4.2. Objetivos específicos:

1. Conocer los intervalos de tallas de longitud precaudal (LPC) de *P. glauca* e *I. oxyrinchus* presentes en la pesca ribereña de BSV en el periodo 2008-2018.
2. Estimar la CPUE nominal de la pesca artesanal ribereña con palangre para el tiburón azul y mako de aletas cortas en la Bahía de Sebastián Vizcaíno, durante el periodo 2008-2018.
3. Desarrollar y aplicar un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) que permita evaluar la posible relación de la CPUE del tiburón azul y mako de aletas cortas, con la variabilidad de procesos físicos y oceanográficos como la intensidad de la surgencia y la energía cinética del remolino anticiclónico (EKE) durante el periodo 2008-2018.
4. Relacionar el impacto de “La Mancha de agua cálida” (“The Blob”, 2013-2015) y “El Niño” (2015-2016) en la distribución y abundancia del tiburón azul y en el mako de aletas cortas, en el periodo 2008-2018.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Área de estudio.

La Bahía de Sebastián Vizcaíno (BSV) (Fig. 3) se localiza en la parte media de la Península de Baja California en el litoral del Pacífico mexicano, tiene un diámetro aproximado de 100 km y presenta una extensa comunicación con el Océano Pacífico Norte (Palacios-Hernández *et al.*, 1996). La BSV cuenta con 35,678 km² (Hernández-Rivas *et al.*, 2000) y se localiza al oeste de la península de BC (28°30' N y 115° W) (Palacios-Hernández *et al.*, 1996). La batimetría presenta una pendiente suave (1:500), la profundidad media es de ~130 m y su máxima profundidad 200 m (Palacios-Hernández *et al.*, 1996). Tiene tres lagunas: Laguna Ojo de Liebre, Laguna Guerrero Negro y Laguna Manuela. Su clima es desértico (sin desembocadura de ríos) y los vientos son dominantes en dirección noroeste (Secretaría de Marina, 1972).

El campamento de pesca artesanal de Laguna Manuela (LM) se encuentra dentro de BSV, aproximadamente a 30 km de la frontera con Baja California Sur (BCS), siendo LM uno de los campamentos de pesca de elasmobranquios más importantes de BC (Cartamil *et al.*, 2011).

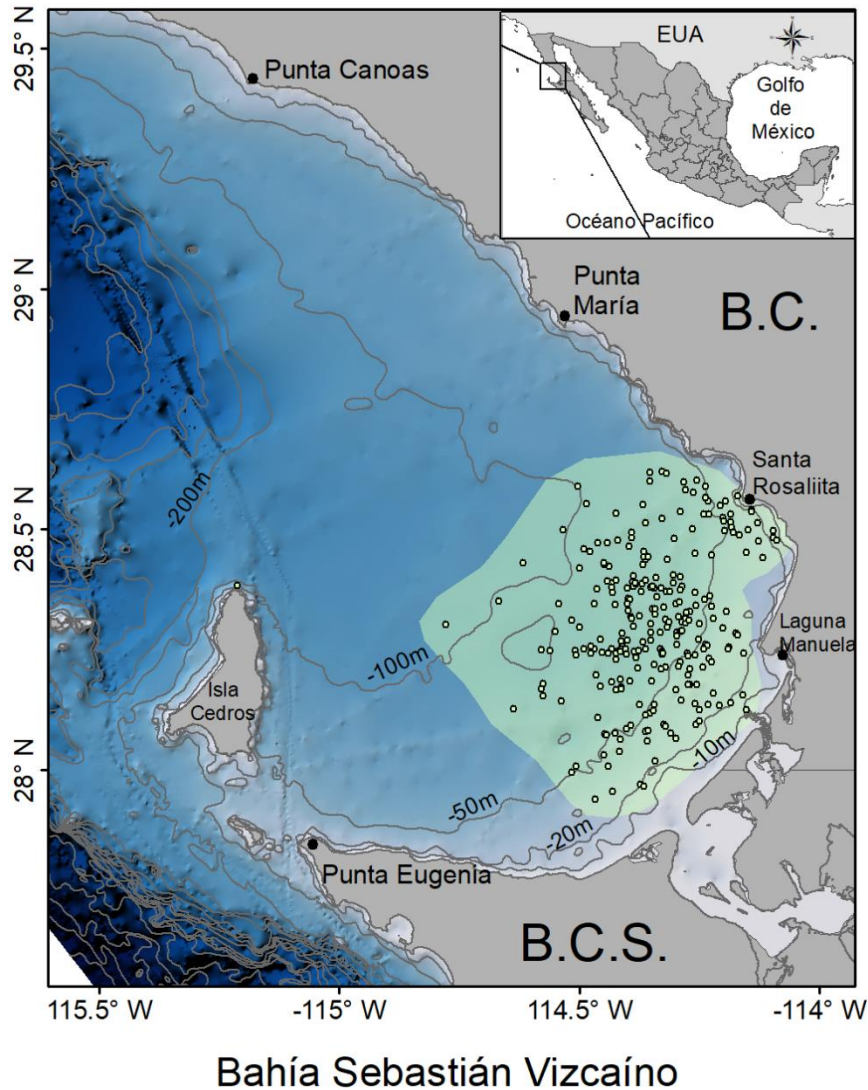


Figura 3. Mapa de Bahía de Sebastián Vizcaíno B.C, con isobatas de 10 a 200 m de profundidad, donde se realizaron los viajes de pesca (círculos amarillos representan los lances de pesca en el polígono verde) por la flota artesanal con base en Laguna Manuela durante 2008-2018.

En su porción más norteña se encuentra Punta Baja (30° N), donde existe un cambio abrupto en la dirección de la línea de costa y un ensanchamiento en la plataforma continental (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995). A la altura de Punta El Rosario (28° 30' N) el contorno de la costa comienza a curvarse, adquiriendo una forma muy característica de anzuelo (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995), donde su parte más sureña es Punta Eugenia (27° 50' N). Aunque, Lomelí-Guijarro (2023) propone que BSV posee una geometría en forma de un capibara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) visto de perfil. En el punto de máximo grosor de la plataforma continental emergen un conjunto de islas en dirección Oeste (Islas de San Benito),

de las que destaca Isla Cedros, que posee una altura máxima de 1,200 m sobre el nivel del mar (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995). Entre Isla Cedros y Punta Eugenia existen dos canales someros (Kellet y Dewie), ambos de 50 m de profundidad, que comunican la bahía con el océano adyacente (Palacios-Hernández *et al.*, 1996).

La BSV presenta condiciones hidrográficas y una biomasa del fitoplancton correspondiente a una zona de transición subtropical-templada que es afectada por eventos tropicales, subtropicales (de gran extensión espaciotemporal) y eventos originados en regiones subpolares en el océano Pacífico. En los primeros 50 m de profundidad la bahía posee características mayormente templadas con un promedio de temperatura de 15.5 °C, salinidad promedio de 33.6 y características mesotróficas con biomasa de fitoplancton mayor 1 mg m⁻³ (Martínez-Fuentes *et al.*, 2016).

La presente investigación cubrió una zona de 0° 40' 55.2" (0.682 grados decimales) de latitud y 1° 7' 22.8" (1.123 grados decimales) de longitud, abarcando los límites entre la zona de transición subtropical-templada (Martínez-Fuentes, 2015) en el Pacífico Noroeste.

5.2. Frecuencias de tallas (LPC) documentadas en descargas de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV (2008-2018).

Durante el periodo 2008-2018 se realizaron muestreos biométricos de las capturas de la flota artesanal de LM en playa, gracias a la colaboración de los pescadores los cuales traían intactos a los tiburones. Durante los viajes de monitoreo al campamento pesquero en Laguna Manuela en BSV, se midieron la longitud total (LT) y longitud precaudal (LPC) (Fujinami *et al.*, 2017) de tiburones azules y makos de aletas cortas.

Intervalos de frecuencia de tallas de LPC y sexo (submuestra): Debido a datos faltantes de LPC en las bitácoras, se realizó una interpolación mediante el cálculo de los coeficientes *a* y *b* (ordenada al origen y la pendiente, respectivamente) de los datos que tenían las dos medidas (LT y LPC), con el fin de obtener la LPC de toda la submuestra de tallas, donde, se lograron extrapolar 460 valores (35.35 %) de LPC de un total de 1,301 datos de capturas y tallas de tiburones juveniles azules y MAC (hembras y machos). Los sexos se calcularon mediante un análisis de Chi-Cuadrada el cual se realizó con una Chi de tabla (teórica) de 3.84 (al 95%), un grado de libertad (*n*-1) y $\alpha= 0.05$ para el periodo 2008-2018.

Así mismo, se realizaron un total de 283 viajes de pesca en los años de estudio, donde, se monitoreo un total de 124 días de viajes de pesca. Se documentó la fecha, nombre de la embarcación, hora del muestreo, tipo de anzuelo, número total de anzuelos, tiempo efectivo de pesca, longitud del palangre, número de registro pesquero, especie, sexo, diversas tallas como: LT, LPC y longitud furcal (LF), peso (individuos < 20 kg) y madurez sexual, entre otras.

El autor de la presente investigación tuvo la oportunidad de asistir en tres ocasiones a la zona de estudio. En dos ocasiones, se logró estar en la apertura de la temporada de pesca. La temporada de veda tiene una duración de tres meses (01-mayo al 31-julio), la cual se implementó en la Norma Oficial Mexicana (NOM-029-PESC-2006), que inició el 11 de junio de 2012. Y en una salida de marcaje convencional de tiburones y rayas en LM.

5.3. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) del tiburón azul y mako de aletas cortas.

Los datos que se emplearon en este estudio fueron generados por el Programa Tiburón del Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP) de Ensenada del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) durante el periodo 2008-2018, y se obtuvo la autorización oficial de su uso exclusivo para este trabajo de tesis. Estos datos consistieron en el monitoreo de descargas de tiburones en BSV que comprenden las capturas numéricas del tiburón azul y del mako de aletas cortas de cada viaje de pesca con palangre, de la flota de embarcaciones menores artesanales del Campamento Pesquero de Laguna Manuela del Ejido Villa Jesús María en BC, durante el periodo del 15 de mayo del 2008 al 07 de agosto del 2018. La unidad de pesca en este estudio fue el viaje de pesca, que por lo general tuvo una duración de un solo día (Cartamil *et al.*, 2011).

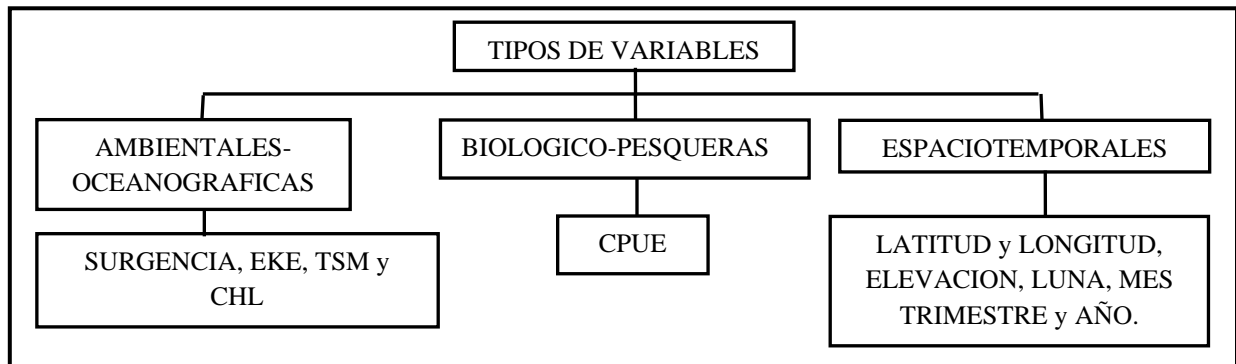
Para estimar la captura por unidad de esfuerzo para el tiburón azul y el tiburón MAC, se emplearon las capturas numéricas de 283 viajes de pesca con palangre por parte de las embarcaciones menores de LM durante el periodo 2008-2018. Debido a que no se pudo registrar el número de anzuelos por lance, en el 19.08% de los viajes monitoreados en BSV, se decidió emplear el valor de la mediana del número de anzuelos que fue de 250 para completar la serie de datos. El índice de captura CPUE nominal se calculó con la siguiente ecuación:

$$CPUE = 100 * (\text{núm. individuos} / \text{núm. anzuelos})$$

5.4. Variables predictoras (oceanográficas y ambientales).

Después de una serie de análisis de exploración y comprobación en diversas variables predictoras contempladas para evaluar su correlación con la CPUE del tiburón azul y el MAC en los GAMs, fueron seleccionadas (Tabla 1) la temperatura superficial del mar TSM (ambiental), SURGENCIA (oceanográfica), Energía cinética del remolino EKE (oceanográfica), clorofila-*a* CHL (ambiental) LATITUD y LONGITUD (espacial), elevación del mar ELEVACION (espacial), CICLO LUNAR (temporal), MES, TRIMESTRE y AÑO (temporal).

Tabla 1. Clasificación de variables analizadas.



Para generar los valores de SURGENCIA, TSM y CHL se utilizaron las composiciones mensuales en formato .nc (NetCDF-3) con resolución espacial de 0.25°, 4 km y 4 km respectivamente descargados del formulario de acceso de datos ERDDAP (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>). De igual forma mediante ERDDAP se obtuvieron los valores de la velocidad de la corriente geostrofica con los componentes “u” y “v” con resolución de 1/3° para calcular la energía cinética del remolino (EKE) mediante la fórmula $\frac{1}{2}(u^2 + v^2)$ (Maxwell *et al.*, 2019). Para obtener la ELEVACION o profundidad, también se descargó la cuadrícula de batimetría GEBCO 2022 en formato netCDF (https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/).

Las imágenes (TSM, CHL, SURGENCIA, EKE y ELEVACION) se convirtieron como formato ráster para trabajarlas en el programa ArcGis® versión 10.8. Se delimitó el área del esfuerzo de pesca y mediante la herramienta Spatial Analyst Tools se extrajeron los valores de raster a los puntos correspondientes de los lances de pesca realizados durante el periodo de estudio. Mientras que los valores para el ciclo lunar fueron obtenidos para cada viaje de pesca desde la página (<http://www.sbk-mexico.com/calendarioLunar.php>).

Para explorar y analizar las variaciones espaciotemporales de los factores ambientales y oceanográficos con la CPUE del tiburón azul y mako de aletas cortas, se definieron cuatro estaciones del año de tres meses cada una; 1) invierno: enero-marzo, 2) primavera: abril-junio, 3) verano: julio-septiembre y 4) otoño: octubre-diciembre. Por cuestiones financieras e institucionales no fue posible monitorear los viajes de pesca de todos los meses de los años que duró el estudio, por lo que para fines de los análisis estadísticos se optó por ordenar los datos de pesca por trimestre.

Los datos de latitud y longitud se recopilaron mediante entrevistas a algunos patrones de pesca de las embarcaciones, debido a que algunos patrones de pesca no proporcionaron las coordenadas exactas se utilizaron referencias locales (distancia y rumbo) y mediante ArcGis se obtuvieron los puntos.

Para el análisis de las anomalías de la TSM y la CHL, se sacaron los promedios de todos los meses de todos los años de estudio (2008-2018), con respecto del promedio del mes de cada año, menos el promedio mensual de los meses de todos los años de estudio (ESA, 2000-2014), con el propósito de observar la variación anual de las anomalías de estas variables en LM, en BSV. Se tomó en cuenta la climatología del mes menos su climatología mensual (promedios) del periodo de estudio.

5.5. Modelos aditivos generalizados (GAM).

Los Modelos Lineales Generalizados (GLM) (McCullagh y Nelder, 1989) y los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) (Hastie y Tibshirani, 1990) son dos de las herramientas estadísticas más utilizadas para evaluar la posible relación entre capturas de peces pelágicos (como variable de respuesta) y factores espaciotemporales y ambientales, entre otros, como variables de predicción. Los GAMs pueden discernir las relaciones complejas y no lineales que ocurren entre las especies y las variables de predicción de forma no paramétrica (Vögler-Santos, 2011; Martínez-Rincón, 2012; Gómez-Ocampo, 2017; Alcalá-Molina, 2017).

Los GAMs son extensiones semi-paramétricas de los GLM (Nelder y Wedderburn, 1972) donde la parte del predictor lineal es una suma de “funciones suavizadoras” o “*splines*” de variables predictivas (Wood, 2006). Un suavizador describe la tendencia media de la variable de respuesta, por medio de una curva definida por segmentos con base en polinomios (Alcalá-Molina, 2017).

Los GAMs pueden ajustar datos con las siguientes distribuciones de error: normal (para números continuos), Poisson (para números enteros positivos), binomial (para proporciones o datos de presencia/ausencia), entre otros (Crawley, 2007). La robustez estadística de los GAMs radica en su capacidad para hacer frente a relaciones no lineales y no monotónicas entre la respuesta y el conjunto de variables explicativas (Alcalá-Molina, 2017).

Para cuantificar la relación entre variables ambientales, oceanográficas y espaciotemporales (variables predictivas) se aplicaron GAMs a los datos de CPUE (variable respuesta) del tiburón azul y el MAC para el periodo 2008-2018. Las variables predictivas que se incluyeron en los GAMs fueron: dos variables ambientales (temperatura y clorofila), dos variables oceanográficas (intensidad de la surgencia y energía cinética del remolino), dos variables espaciales (latitud-longitud y elevación) y cuatro variables temporales (ciclo lunar, mes, trimestre y año, consideradas variables discretas).

La opción de usar GAMs se basa en la capacidad que tienen estos de trabajar mediante el uso de estadística no-paramétrica, con relaciones complejas y no lineales que ocurren frecuentemente entre la distribución de las especies y las variables predictivas (Vögler-Santos, 2011).

Debido a que la serie de datos de CPUE no se ajustó a una distribución normal (por la presencia de ceros en los datos), después de haber realizado análisis exploratorios comparando la distribución de Poisson y la distribución Binomial Negativa, se concluyó que la Binomial Negativa es la distribución de probabilidad más adecuada para la descripción de la variable respuesta (CPUE). Se usó la función logarítmica de enlace, la cual describe la devianza total explicada, siendo modelada como la suma de las funciones suavizadas de las covariables (Wood, 2006).

La siguiente ecuación representó matemáticamente el modelo GAM que se aplicó a la CPUE de cada especie para estimar los efectos y verificar cuales fueron las variables más significativas, que en conjunto intervinieron en su distribución y abundancia:

Modelo 1 (Saturado):

Ecuación 1:

```
gam(CPUEAZ/MK ~ s(TSM) + s(CHL) + s(SURGENCIA) + s(EKE) + s(ELEVACION) + s(LUNA,
bs="ps",k=4) + s(MES, bs="ps",k=12) + s(TRIMESTRE, bs="ps",k=4) + s(AÑO) + s(LAT) +
s(LON), family = negbin(c(0.1,1)),optimizer="perf",data = CPUEdat)
```

Donde:

gam() es la función que produce el ajuste del modelo a los datos.

CPUEAZ y CPUEMK fueron las variables de respuesta del modelo, que representaron la captura por unidad de esfuerzo del tiburón azul y el MAC respectivamente.

s (TSM) suavizado de los valores de temperatura superficial del mar.

s (CHL) suavizado de los valores de la clorofila.

s (SURGENCIA) suavizado de los valores de la intensidad de la surgencia.

s (EKE) suavizado de los valores de la energía cinética del remolino.

s (ELEVACION) suavizado de los valores de elevación.

s (LUNA) suavizado de los valores del ciclo lunar.

s (MES) suavizado de los valores de la CPUE por mes.

s (TRIMESTRE) suavizado del efecto (paramétrico) del factor trimestre.

s (ANIO) suavizado del efecto (paramétrico) del factor año.

s (LAT) suavizado de la latitud.

s (LON) suavizado de la longitud.

bs= función de suavizado *Splines* con penalizaciones (ps) para ajustar el efecto no lineal

k=4 especifica el número adecuado de “nudos” (knots) en el suavizamiento para los 4 niveles del factor trimestre y k=11, los 11 niveles del factor año y Luna (Fridley, 2017).

family= establece la estructura de error residual aleatorio de la distribución binomial negativa [negbin()], con función de enlace logarítmica (por default).

c (0.1,1) acota un intervalo donde buscar el valor óptimo del parámetro adicional (“theta”) de la distribución de error binomial negativa.

optimizer =” pref” define un procedimiento (“performance”) para optimizar el valor del parámetro adicional “theta”.

Los modelos se ejecutaron utilizando el lenguaje de programación R (versión 4.0.2.), desarrollados con la librería “*mgcv*” (Wood, 2011). Las variables predictoras finales se seleccionaron con el método de regresión paso a paso (Forward-*Stepwise*) para ajustar el mejor modelo y eliminar las variables no significativas utilizando la prueba *F* de Fisher ($\alpha = 0.5$). Se eligió el modelo mejor ajustado a los datos con los valores más bajos del criterio de información de Akaike AIC y/o el estimador insesgado de riesgo (UBRE por sus siglas en inglés) (Wood, 2011). También la devianza total explicada se utilizó para estimar en qué medida la distribución de probabilidad de la variable de respuesta (CPUE) será reproducida por el GAM, es decir, el porcentaje de probabilidad generada por los parámetros del modelo en relación con la probabilidad de la variable dependiente observada (Gómez-Ocampo, 2017).

En este estudio los GAMs tienen como propósito estudiar el efecto de cada variable explicativa (TSM, CHL, SURGENCIA, EKE, ELEVACION, LUNA, MES, TRIMESTRE, AÑO, LAT y LON) sobre la variable de respuesta (CPUE), lo cual permite obtener predicciones más precisas (Aguilar-Barreiro, 2019) de la probabilidad de ocurrencia de los valores de CPUE del tiburón azul y el MAC en la región de BSV, por lo que las variables objetivo fueron SURGENCIA, EKE y TSM para analizar su comportamiento (2008-2018).

6. RESULTADOS.

6.1. Frecuencia de tallas (LPC) documentadas en descargas de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV (2008-2018).

En total se analizaron intervalos de tallas de LPC para 1,262 tiburones juveniles, 500 azules y 765 tiburones MAC (hembras y machos).

6.1.1 *Análisis de frecuencias de tallas (LPC) y proporción sexual por año y por periodo de estudio (2008-2018) de Prionace glauca en LM en BSV.*

Se midieron tallas de LPC a 500 tiburones azules, donde 305 fueron hembras y 195 machos en el periodo de estudio. El intervalo de tallas para todos los tiburones azules registrados de las capturas (2008-2018) en LM en BSV fue 55-190 cm LPC (Fig. 5), con un promedio general de 110.1 ± 25.29 cm de LPC (Tabla 2).

Se construyeron nueve histogramas de frecuencias de tallas de longitud precaudal (LPC) de hembras y machos de tiburón azul (por año), para el periodo de estudio (2008-2018) (Fig. 4).

Tabla 2. Promedio, intervalo de tallas (LPC) y desviación estándar de hembras y machos de tiburón azul en el periodo de estudio (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 y 2018).

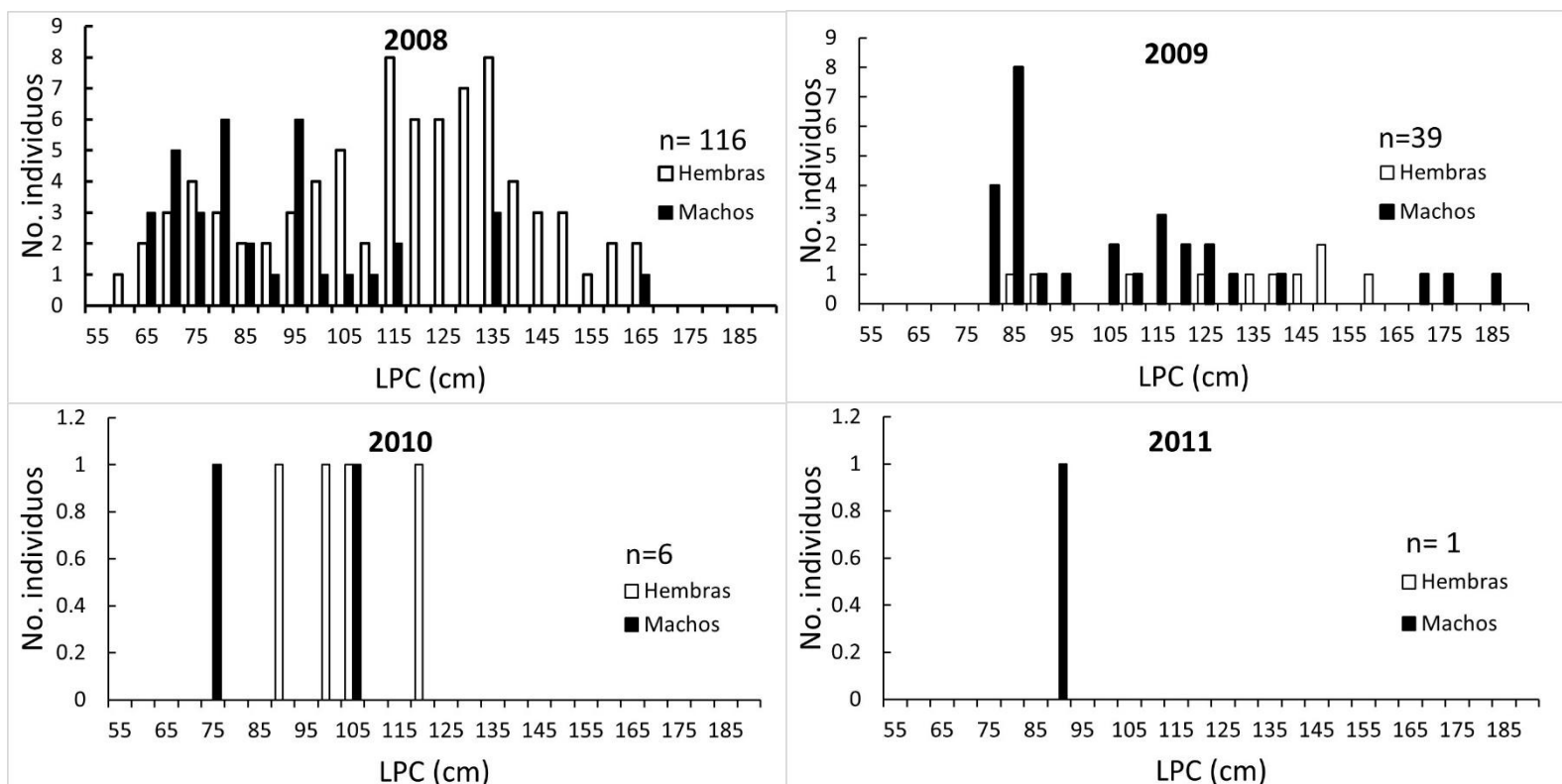
<i>P. glauca</i>	Promedio (cm)	INT. TALLAS (LPC) (cm)	Desv. Est. (cm)
Hembras			
2008	119.43	55-170	25.84
2009	112.69	85-165	24.47
2010	120.24	85-120	28.72
2011	-	-	-
2014	123.18	90-95	-
2015	122.74	100-175	30.98
2017	95.72	65-175	17.5
2018	123.40	75-170	17.91
2008-2018	112.69	55-170	24.47
Machos			
2008	110.09	65-170	27.49
2009	111.06	80-190	29.52
2010	94.00	75-110	19.79

2011	94.31	90-95	-
2014	97.93	120-125	-
2015	117.83	90-190	30.26
2017	90.10	70-130	9.94
2018	108.64	75-160	20.07
2008-2018	106.28	70-190	26.1
H-M (2008-2018)	110.18	55-190	25.29

Se encontró que el año con el intervalo de tallas de LPC más amplio para hembras de tiburón azul fue (55-170 cm) el 2008 (Fig. 4), con un promedio de 119.4 ± 25.8 cm de LPC (Tabla 2). En machos, los años con el intervalo de LPC más amplias fueron el 2008 y 2009 (65-170, 80-190 cm LPC), con un promedio de 110.1 ± 27.5 cm y 111.1 ± 29.5 cm LPC respectivamente (Tabla 2). En 2011 no se capturaron hembras y en 2014 solo se capturaron dos tiburones azules, un macho y una hembra (Fig. 4). El intervalo de talla de LPC más corto en hembras fue el 2014 (90-95 cm) donde solo se registró un tiburón azul. En machos los intervalos de tallas de LPC más cortos fueron el 2011 y 2014, con solo una captura de tiburón azul (90-95 cm y 120-125 cm) para esos años (Tabla 2).

Cabe mencionar que las tallas más grandes registradas de hembras y machos fueron en 2015 (sinergia de “The Blob” y “El Niño”) (100-175, 90-190 cm LPC) con un promedio de 122.7 ± 30.9 cm y 117.8 ± 30.2 cm LPC respectivamente (Tabla 2).

En hembras, la mayor concentración de capturas se encontró en el intervalo de tallas 105-145 cm LPC para el 2008 (año “La Niña”), también se encontró que los machos de tiburón azul tuvieron la mayor concentración de capturas entre las tallas 65-115 cm LPC para el mismo año (Fig. 4).



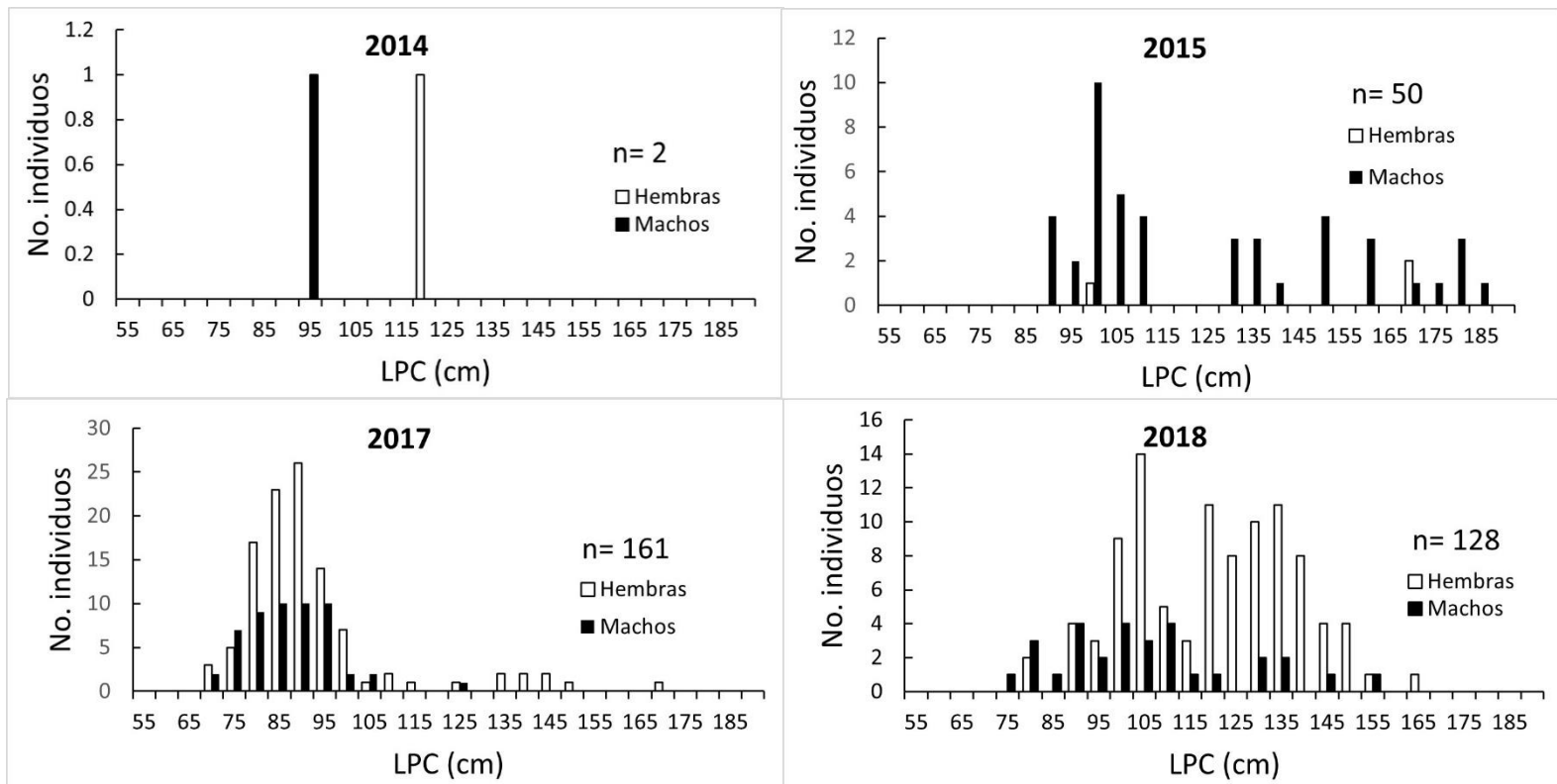


Figura 4. Histogramas de frecuencias de tallas de hembras y machos de *P. glauca* (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 y 2018). En el eje x se encuentran los intervalos de tallas de LPC. En el eje y se encuentra el número de individuos. Las barras blancas son hembras y las oscuras son machos. n es el número total de individuos por año.

El mayor número de hembras y machos de tiburón azul se documentaron en 2017 ($h=108$, $m=53$), donde las mayores tallas se concentraron en el intervalo de 70-105 cm de LPC (Fig. 4).

Se observó que los machos de tiburón azul en 2018 tuvieron la mayor concentración de capturas entre las tallas 75-125 cm de LPC, mientras que, en hembras la mayor concentración de capturas se encontró en el intervalo de tallas 100-150 cm de LPC para el mismo año (Fig. 4).

Los intervalos de tallas de LPC de *P. glauca* que dominaron en el periodo de estudio 2008-2018 fueron: hembras 65-110 cm de LPC, con otro intervalo con menor cantidad de registros de 110-155 cm LPC (Fig. 5). En machos fue: 65-115 cm LPC. Los promedios de todas las tallas de LPC fueron 112.7 ± 24.5 cm (hembras) y 106.3 ± 26.1 cm (machos) de LPC para el periodo de estudio (Tabla 2).

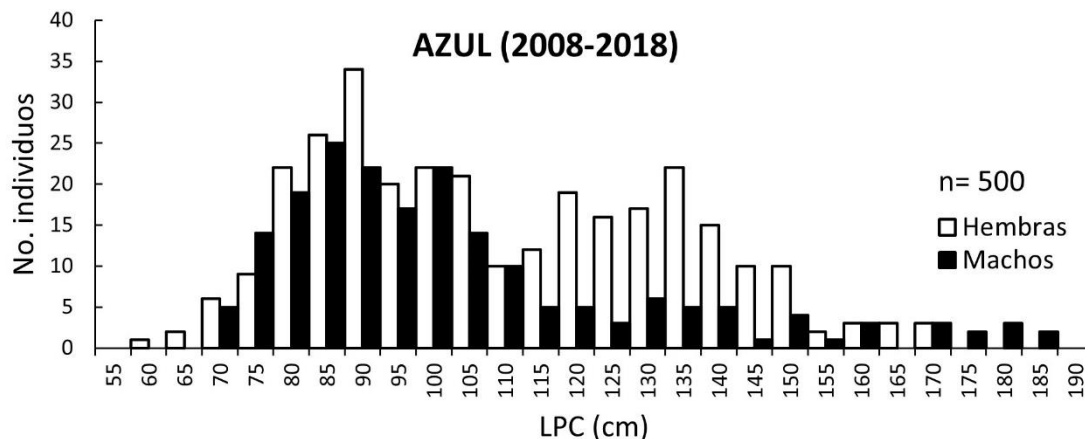


Figura 5. Histograma de frecuencia de tallas de LPC de hembras y machos de *P. glauca* (2008-2018) en LM en BSV.

Mediante una prueba de Chi cuadrada se determinó la razón sexual de las capturas de tiburón azul para los años 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 y 2018 (Zar, 1999). La razón sexual entre hembras y machos fue diferente de 1:1, siendo las hembras las que dominaron la muestra de tallas en BSV (Tabla 4).

Tabla 3. Valores de Chi cuadrada (X^2) de los años 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 y 2018 de *P. glauca*. *P* indica el valor de significancia usado para encontrar X^2 .

AZUL	X^2	<i>P</i>
2008	18.24	0.05
2015	36.75	0.05
2017	19.48	0.05
2018	36.12	0.05
2008-2018	23.94	0.05

Tabla 4. Razón sexual de hembras y machos de *P. glauca* (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2017 y 2018) en LM en BSV.

<i>P. glauca</i>	<i>N</i>	Razón	Sexo
2008	81	1.00	H
	35	0.43	M
2015	3	1.00	H
	45	15.00	M
2017	108	1.00	H
	52	0.48	M
2018	98	1.00	H
	30	0.31	M
2008-2018	305	1.00	H
	195	0.64	M

En 2015 los machos dominaron los muestreos con una proporción sexual 1H:15M (Tabla 4 y Fig. 4). La razón sexual de toda la submuestra de tallas medidas de LPC en este estudio (2008-2018) indicó (Tabla 4), que las hembras medidas dominaron sobre los machos (1H: 0.64M) en LM en BSV con excepción del 2015, año en que coincidieron con “The Blob” y “El Niño” (2013-2016).

6.1.2. *Análisis de frecuencias de tallas (LPC) y proporción sexual por año y por periodo de estudio (2008-2018) de Isurus oxyrinchus en LM en BSV.*

Se registraron las tallas de 765 tiburones juveniles MAC, donde 360 correspondieron a hembras y 405 a machos en el periodo de estudio. El intervalo de tallas para todos los tiburones MAC registrados de las capturas (2008-2018) en LM en BSV fue 55-205 cm LPC, con un promedio de 104.7 ± 19.5 cm LPC. La talla más grande registrada fue un macho de 205 cm LPC capturado en BSV en 2009 (año “La Niña”) (Fig. 6).

Se construyeron 10 histogramas de frecuencias de tallas de LPC de hembras y machos de tiburón MAC (un histograma por año) para el periodo de estudio (2008-2018) (Fig. 6).

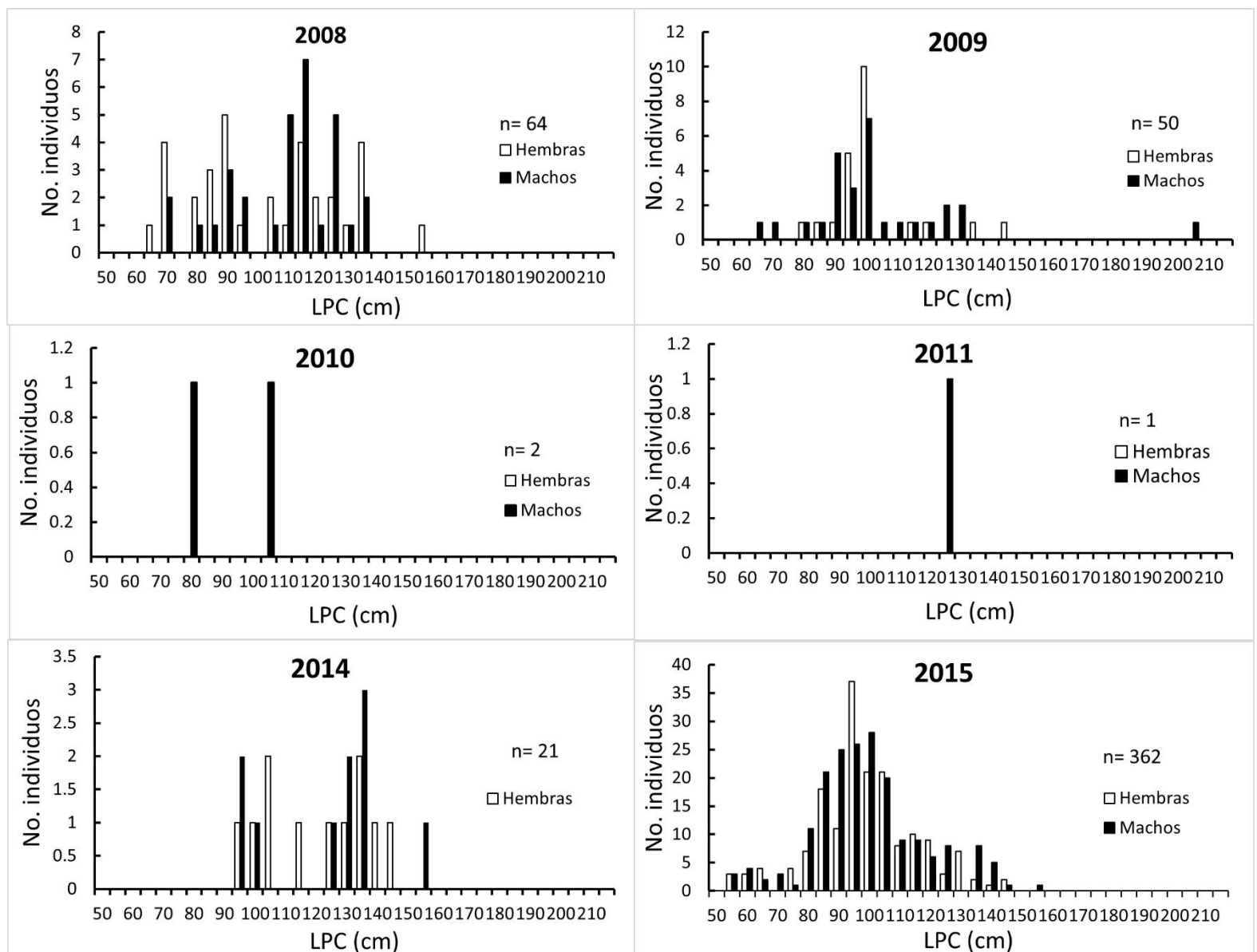
Tabla 5. Promedio, intervalo de tallas (LPC) y desviación estándar de hembras y machos de tiburón mako de aletas cortas, en el periodo de estudio (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018).

<i>I. oxyrinchus</i>	Promedio (cm)	INT. TALLAS (LPC) (cm)	Desv. Est. (cm)
Hembras			
2008	102.87	65-160	20.2
2009	104.16	80-150	14.73
2010	-	-	-
2011	-	-	-
2014	122.38	95-150	17.37
2015	103.37	55-150	19.03
2016	105.56	55-150	18.87
2017	101.72	60-180	19.66
2018	107.01	55-175	20.29
2008-2018	104.33	55-180	19.53
Machos			
2008	103.53	70-140	21.04
2009	106.13	65-210	25.41
2010	103.10	80-110	20.53
2011	129.74	125-130	-
2014	126.45	95-160	20.22
2015	104.49	55-160	20.22
2016	105.00	65-135	19.23
2017	111.45	65-150	19.55

2018	106.60	75-200	17.72
2008-2018	105.04	55-210	19.6
H-M (2008-2018)	104.71	55-210	19.55

Los años 2017 y 2018 fueron los periodos donde se documentó los intervalos de tallas más amplios (55-180, 50-175 cm LPC), respectivamente (Fig. 6) con los promedios de 101.7 ± 19.6 cm y 107.01 ± 20.3 cm LPC en hembras (Tabla 5). En machos, el año con el intervalo de LPC más amplio (75-200 cm LPC) fue el 2018 (Fig. 6), con un promedio de 106.6 ± 17.7 cm LPC (Tabla 5).

El 2014 (año “The Blob”) tiene el promedio más alto en hembras y machos, con 122.4 ± 17.4 cm y 126.4 ± 20.2 cm LPC (respectivamente), en el resto de los años (a excepción de 2011) los promedios fueron menores a 115 cm LPC para ambos sexos (Tabla 5). Se registró que los machos de tiburón MAC en 2008 (año “La Niña”), tuvieron la mayor “moda” entre las tallas 65-115 cm LPC, mientras que, en hembras, la mayor moda se observó en el intervalo de tallas 105-145 cm de LPC para el mismo año (Fig. 6).



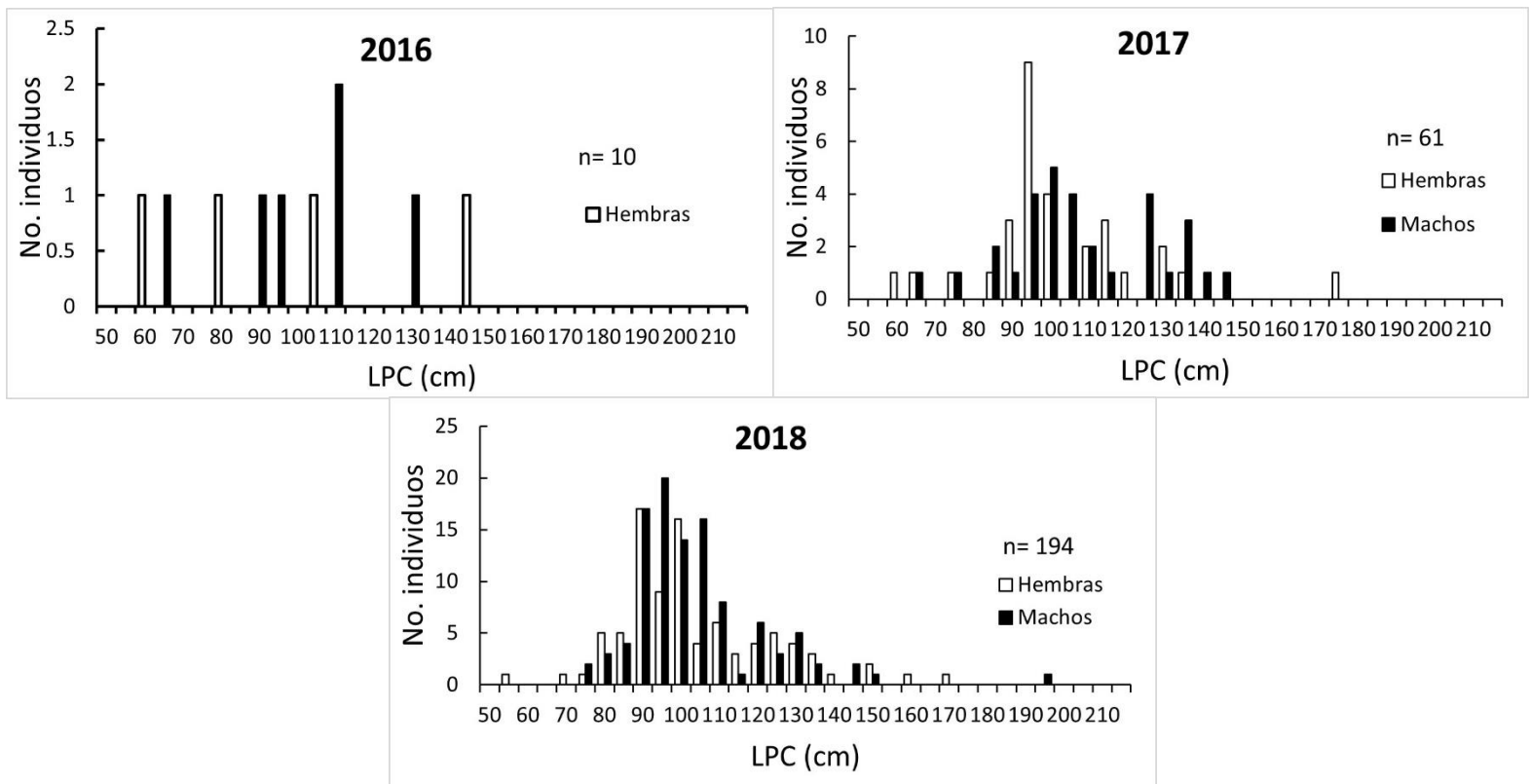


Figura 6. Histogramas de frecuencias de tallas de hembras y machos de *I. oxyrinchus* (2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018). En el eje *x* se encuentran los intervalos de tallas de LPC. En el eje *y* se encuentra el número de individuos. Las barras blancas son hembras y las oscuras son machos. *n* es el número total de individuos por año.

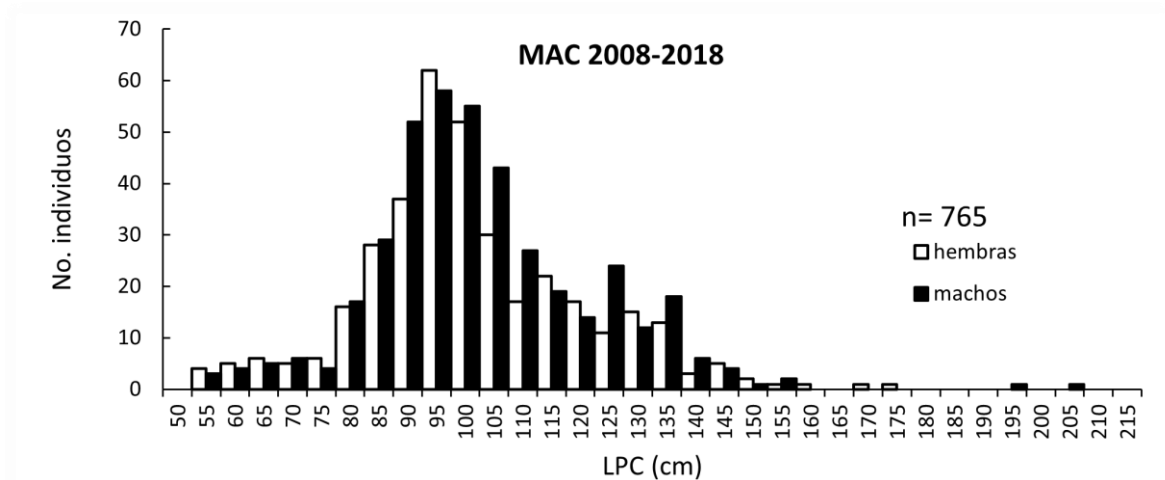


Figura 7. Histograma de frecuencia de tallas de LPC de hembras y machos de *I. oxyrinchus* (2008-2018) en LM en BSV.

Se observó que en hembras y machos de tiburón MAC en 2015 (sinergia entre “The Blob” y “El Niño”), tuvieron la mayor moda de tallas de capturas en el intervalo 80-105 cm LPC (Fig. 6).

Los machos de *I. oxyrinchus* presentaron en el 2017 las tallas de captura más representativas entre el intervalo 85-135 cm de LPC, mientras que, en hembras el intervalo de tallas más representativas fue de 95-120 cm de LPC (Fig. 6).

Para el 2018 las tallas de captura de los machos de tiburón MAC representaron la moda más abundante entre las tallas 95-115 cm LPC, mientras que, en hembras fue el intervalo de 95-105 cm LPC para el mismo año (Fig. 6).

Los intervalos de tallas de *I. oxyrinchus* que fueron más representativas en el periodo de estudio 2008-2018 fueron: hembras 75-125 cm LPC (Fig. 7), mientras que, en machos fue: 80-115 cm LPC. Los promedios de todas las tallas de LPC fueron 104.3 ± 19.5 cm (hembra) y 105.04 ± 19.6 cm LPC (macho) para el periodo de estudio (Tabla 6).

Para calcular la razón sexual de *I. oxyrinchus*, se obtuvieron los valores de chi cuadrada (χ^2) para los años 2008, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, estos, se compararon con el valor teórico de chi cuadrada de tablas que es 3.84 (Zar, 1999), donde se encontró que, en los seis años, el valor fue menor al teórico (Tabla 6), lo que indica que en los años mencionados la razón sexual fue diferente de 1:1, dominando los machos (Tabla 7) sobre las hembras (1H: 1.13M) en LM en BSV. En el año 2008 y 2014 dominaron las hembras y de 2015-2018 dominaron los machos.

Tabla 6. Valores de Chi cuadrada (χ^2) de los años 2008, 2014, 2015, 2017 y 2018 de *I. oxyrinchus*. *P* indica el valor de significancia usado para encontrar χ^2 .

<i>I. oxyrinchus</i>	χ^2	<i>P</i>
2008	0.06	0.05
2014	0.04	0.05
2015	1.1	0.05
2016	0.4	0.05
2017	0.016	0.05
2018	1.32	0.05
2008-2018	3.08	0.05

Tabla 7. Razón sexual de hembras y machos de *I. oxyrinchus* (2008, 2014, 2015, 2017 y 2018) en LM en BSV.

<i>I. oxyrinchus</i>	<i>N</i>	Razón	Sexo
2008	33	1.00	H
	31	0.94	M
2014	11	1.00	H
	10	0.91	M

2015	171	1.00	H
	191	1.12	M
2016	4	1.00	H
	6	1.50	M
2017	30	1.00	H
	31	1.03	M
2018	89	1.00	H
	105	1.18	M
2008-2018	360	1.00	H
	405	1.13	M

La razón sexual de toda la submuestra de tallas medidas de LPC para el tiburón MAC en este estudio (2008-2018) indica (Tabla 7), que los machos dominaron sobre las hembras (1H: 1.13M) en LM en BSV a excepción del 2008 (año “La Niña”) y 2014, año que coincide con “The Blob” y “El Niño” (2013-2016).

6.2. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de *Prionace glauca* e *Isurus oxyrinchus* (2008-2018).

Se registró un total de 283 viajes de pesca monitoreados correspondientes a la flota de pesca ribereña de LM, durante el periodo 2008-2018, donde se pescaron 2,106 tiburones azules y 3,167 tiburones MAC, dando un total de 5,273 individuos, con un 39.93% de capturas de *Prionace glauca* y un 60.06% de capturas de *Isurus oxyrinchus*.

De la totalidad de los viajes de pesca, el 71.37% de los viajes tuvieron capturas de tiburón azul. Para el tiburón MAC, se registró que el 81.23% de los viajes de pesca tuvieron capturas (2008-2018).

La estación que más viajes de pesca tuvo fue el verano con 215 viajes, seguida por primavera con 33 viajes de pesca, siendo el invierno el trimestre con menos viajes de pesca con tan solo 4 viajes (Tabla 8).

Tabla 8. Número de viajes de pesca de por año y estación de la pesca ribereña de Laguna Manuela (2008-2018).

Número de viajes por año y estación					
Año/Estacion	INVIERNO	PRIMA	VERANO	OTOÑO	TOTAL
2008		4	14	2	20
2009			6		6
2010	1	2	5	3	11
2011	1	5	3	1	10
2012		2	13	9	24
2013		3	8	10	21
2014	2	5	42	1	50
2015		6	48	3	57
2016		4	37	2	43
2017		2	12		14
2018			27		27
Total	4	33	215	31	283

En el trimestre de verano se realizó la mayor cantidad de días de muestreo sobre las capturas de ambas especies de tiburón, con 68 días, seguido por la primavera, con 30 días de muestreo, dando un total de 124 días representados con viajes de pesca con capturas en nuestro periodo de estudio (Tabla 9).

Tabla 9. Número de días muestreados de *P. glauca* e *I. oxyrinchus* por mes, estación y año de pesca ribereña en Laguna Manuela (2008-2018).

Número de días muestreados por mes, estación y año												
Año/Mes	INVIERNO		PRIMAVERA			VERANO			OTOÑO			Total año
	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2008				1	1		3		1			6
2009						3	2					5
2010		1			2	2		3	3			11
2011		1	1	2	2	3			1			10
2012				2		2	4	2	3			13
2013			1	1	1	2	2	2	3	2	3	17
2014	2		2	1	2	4	6		1			18
2015			2	4		1	6		2	1		16
2016				1	2	2	6	2	2			15
2017				1	1		5					7
2018							6					6
Total mes	2	2	6	13	11	19	40	9	16	3	3	124
Total por trimestre/ estación												
INVIERNO		PRIMA.			VERANO			OTOÑO				
4		30			68			22				

El estudio comprendió 11 años de monitoreos de las capturas artesanales de tiburones de LM, que representó muestreos en 56 meses en donde se registraron viajes de pesca. El año con el mayor número de meses con viajes de pesca documentados fue el 2013 (9 meses) y el año con menos meses con viajes de pesca fue el 2018 con solo un mes (agosto) (Fig. 8). La Tabla 10 presenta los meses en que se documentaron capturas de *P. glauca* e *I. oxyrinchus*,

observándose que el año 2013 tuvo la mayor cantidad de meses con registros de capturas de ambas especies en BSV.

Tabla 10. Meses de capturas de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV en periodo 2008-2018.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2008					X	X	X	X		X		
2009							X	X				
2010			X			X	X		X	X		
2011			X	X	X	X	X	X		X		
2012					X		X	X	X	X		
2013				X	X	X	X	X	X	X	X	X
2014		X		X	X	X	X	X		X		
2015				X	X		X	X		X	X	
2016					X	X	X	X	X	X		
2017					X	X		X				
2018								X				

La Fig. 8 muestra los años y meses de viajes de pesca ribereña en LM, en el periodo 2008-2018 en BSV, donde se puede observar que en el periodo 2013-2016 dominaron las capturas del tiburón MAC, siendo el 2013 el año con más capturas de este y el inicio del evento de sinergia entre “The Blob” y “El Niño” (Gómez-Ocampo, 2017).

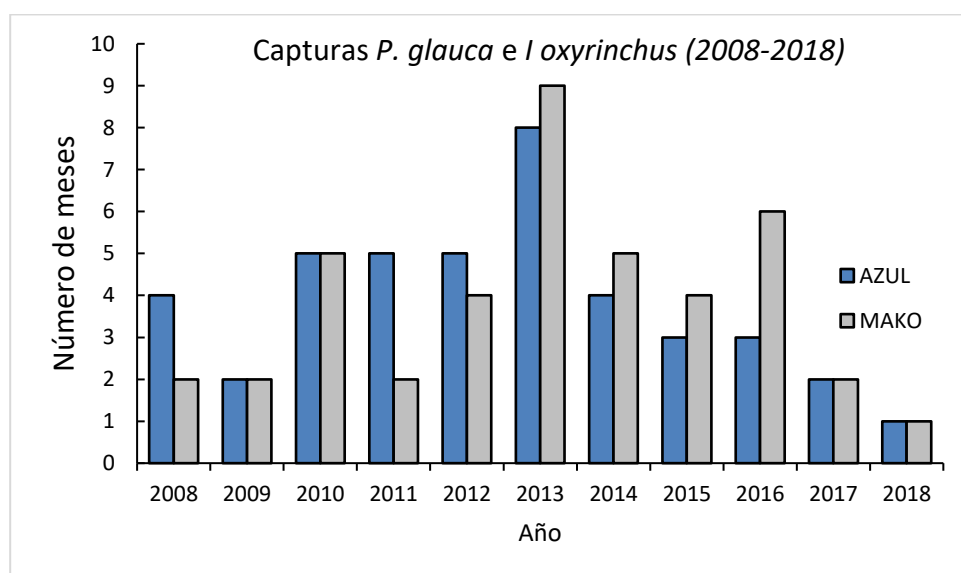


Figura 8. Número de individuos capturados registrados mensualmente de tiburón azul y mako de aletas cortas en el campamento pesquero de LM en BSV en el periodo 2008-2018.

El año donde se registró las mayores capturas de tiburón azul fue 2008, con 556 individuos, seguido del 2014 con 343 individuos, y 2012, 2013 y 2018 con una cantidad similar de individuos capturados (< 210 individuos) (Fig. 9) El año con menores capturas de tiburón azul fue 2016 con tan solo 35 ejemplares en 6 meses de pesca (Fig. 9).

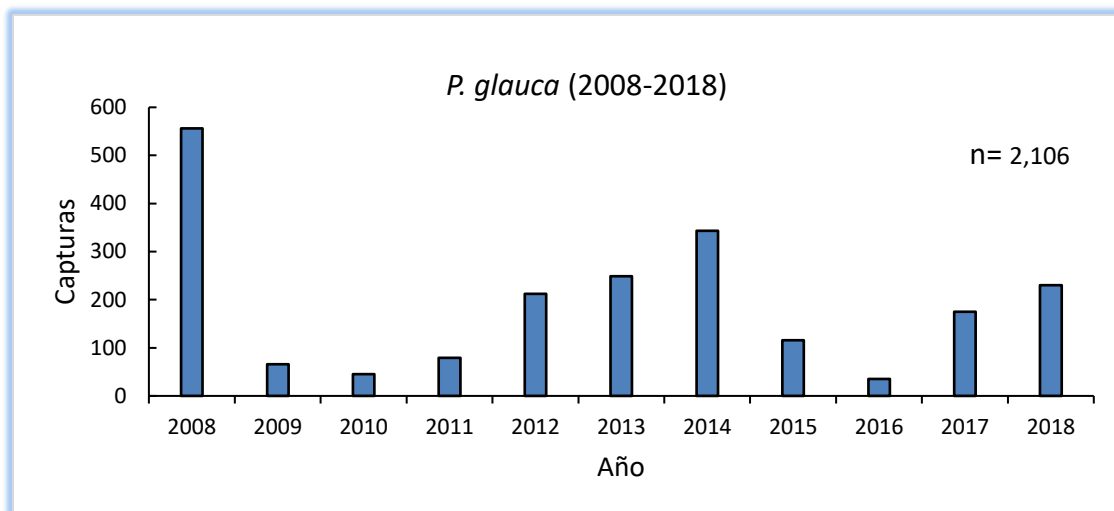


Figura 9. Número de capturas de *P. glauca* en LM, en BSV en el periodo de pesca 2008-2018.

El año donde se documentaron las mayores capturas de tiburón MAC fue 2015 con un máximo de 1,140 individuos, seguido del 2018 con 642 individuos, y 2014 y 2016 con 553 y 362 individuos respectivamente. (Fig. 10). Los años con menores capturas de tiburón MAC fueron 2011 y 2010 con 11 y 17 individuos registrados respectivamente (Fig.10).

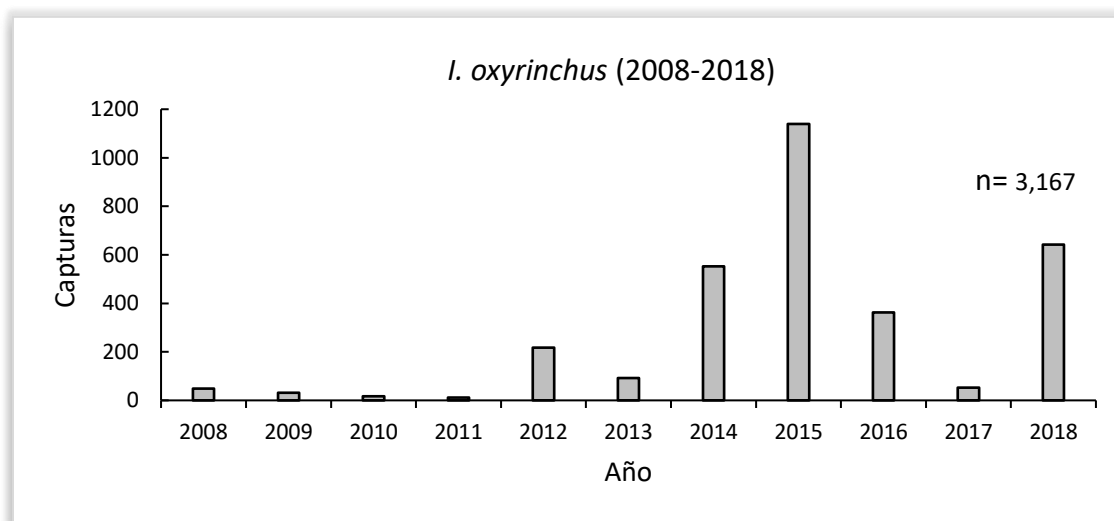


Figura 10. Número de individuos de *I. oxyrinchus* documentados en las capturas desembarcadas de la flota artesanal en LM, en BSV en el periodo 2008-2018.

Se calculó la CPUE para ambas especies en el periodo de estudio, estimándose que el mayor promedio de la CPUE del tiburón azul fue de 10.99 ± 11.15 tiburones por cada 100 anzuelos (Fig. 11), y que correspondió al mes de agosto (verano) del 2008. Los valores mínimos del promedio de la CPUE del tiburón azul (sin considerar capturas nulas) fue de 0.85 ± 0.99 y 0.37 ± 0.56 tiburones por viaje de pesca en 2015 y 2016 respectivamente, que correspondieron a los meses de junio a septiembre (verano) coincidiendo con los años cálidos de la sinergia de “The Blob” y “El Niño” (2013-2016) (Fig. 11).

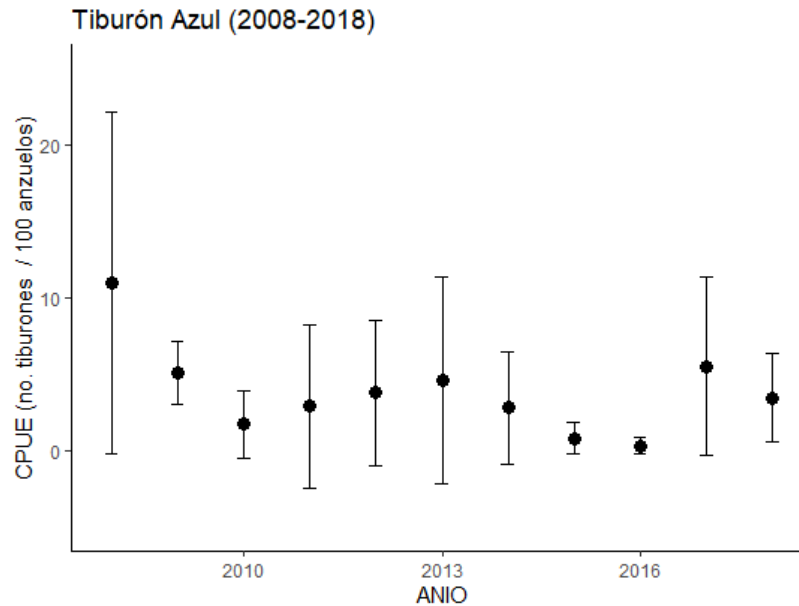


Figura 11. Variación de la CPUE anual (promedio \pm DE) del tiburón azul para el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC. Las barras representan la desviación estándar del promedio.

El valor máximo del promedio de la CPUE del tiburón MAC fue de 9.99 ± 7.76 individuos por cada 100 anzuelos, para el año 2018 (Fig. 12). El valor mínimo de CPUE del tiburón MAC (sin considerar capturas nulas) fue de 0.41 ± 0.48 individuos, correspondiente al 2010 (Fig. 12).

Se decidió omitir los valores de CPUE de ambos tiburones en el trimestre de invierno, debido a que fueron solo cuatro viajes de pesca, los cuales no fueron representativos de las capturas para esa estación en el periodo de estudio.

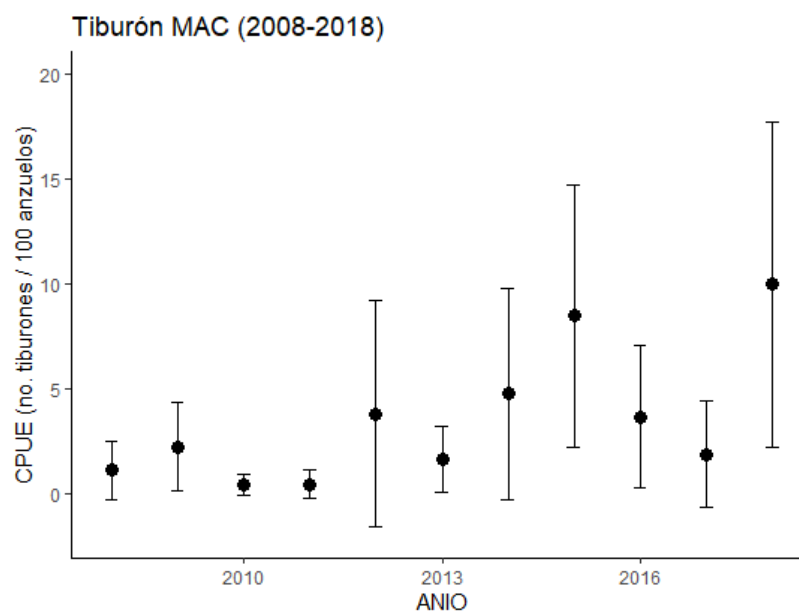


Figura 12. Variación de la CPUE anual (promedio \pm DE) del tiburón mako de aletas cortas para el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC.

La Fig. 13 mostró el promedio y la desviación estándar de la CPUE de *P. glauca*, evidenciando que en primavera se tiene el menor valor (1.97 ± 3.44) y en otoño el mayor valor (4.15 ± 5.85) de CPUE en el periodo de estudio.

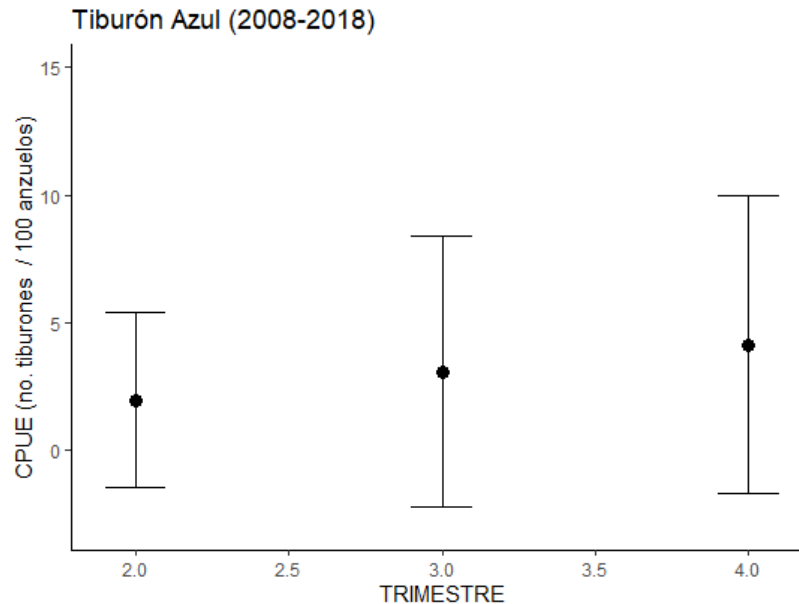


Figura 13. Variación de la CPUE por estación o trimestre (promedio \pm DE) del tiburón azul en el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC.

La Fig. 14 mostró el promedio y la desviación estándar de la CPUE de *I. oxyrinchus*, evidenciando que en primavera se tiene el menor valor (0.68 ± 1.42) y en verano el mayor valor (5.56 ± 5.9) de CPUE en el periodo de estudio.

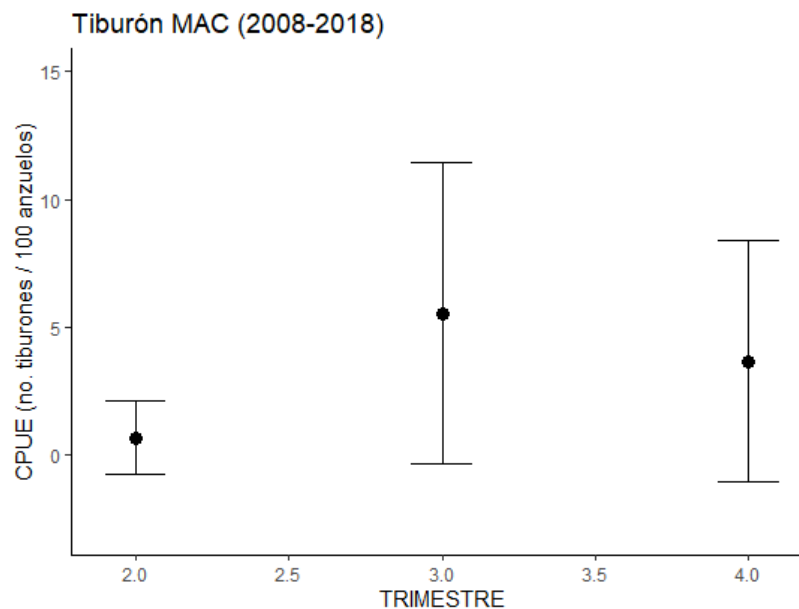


Figura 14. Variación de la CPUE por estación o trimestre (promedio \pm DE) del tiburón mako de aletas cortas en el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC.

En el periodo de “The Blob” y “El Niño” (2013-2016) se observó que los valores de la CPUE del tiburón azul fueron menores en comparación a la CPUE del tiburón MAC (Fig. 15).

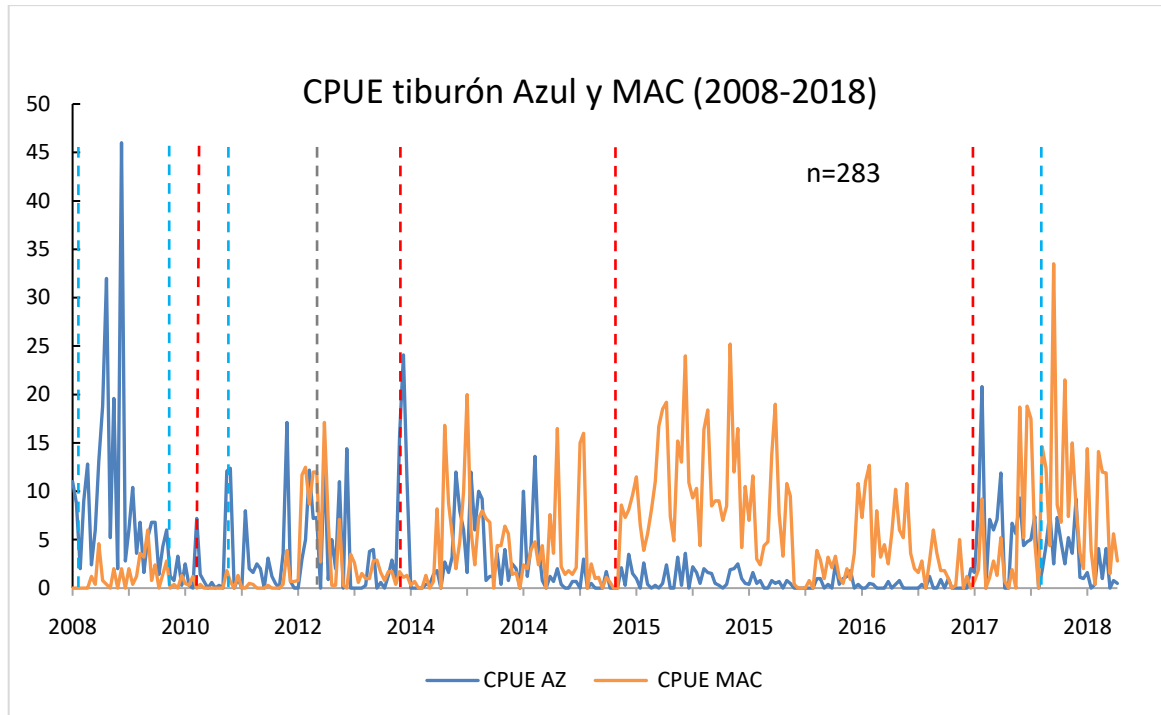


Figura 15. Variación de la CPUE por día de muestreo del tiburón azul y el mako de aletas cortas en el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC, con la presencia de los eventos climáticos “La Niña”, “El Niño”, ENSO neutral y “The Blob”. La línea azul muestra las fases frías de “La Niña”, la línea roja muestra las fases cálidas “The Blob” y “El Niño” y la línea gris representa el ENSO neutral.

Los años 2015 y 2016 tuvieron el promedio de CPUE más bajo para el tiburón azul (0.86 ± 0.99 y 0.37 ± 0.56 respectivamente) en todo el periodo de estudio, notándose que para el tiburón MAC, el 2014 y 2015 fueron los años con los mayores promedios de CPUE (4.75 ± 5.02 y 8.47 ± 6.22 respectivamente) (Fig. 16), siendo evidente una relación inversa de la CPUE de ambos tiburones en el periodo donde la temperatura del agua en BSV aumentó debido a la presencia de estos fenómenos oceanográficos.

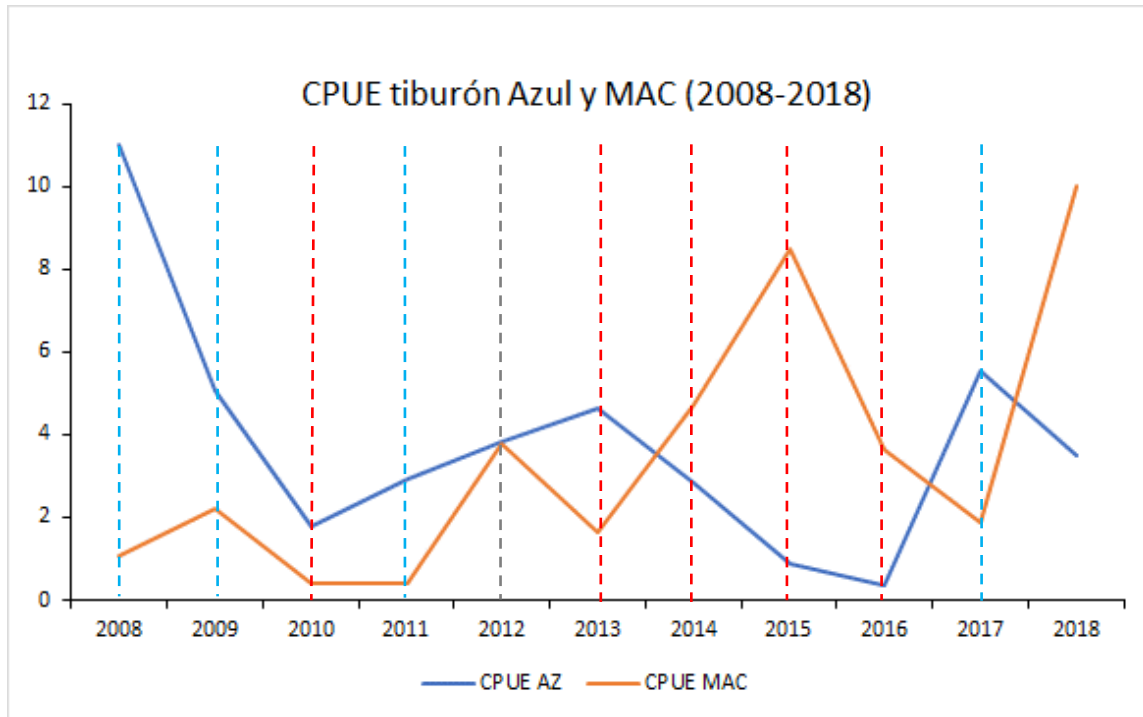


Figura 16. Variación de la CPUE anual (promedio) del tiburón azul y el mako de aletas cortas en el periodo 2008-2018 de la flota artesanal de Laguna Manuela, BC, con la presencia de los eventos climáticos “La Niña”, “El Niño”, ENSO neutral y “The Blob”. La línea azul muestra las fases frías de “La Niña”, la línea roja muestra las fases cálidas “The Blob” y “El Niño” y la línea gris representa el ENSO neutral.

Las Fig. 15 y 16 nos permiten comparar que en 2013-2016 hubo una relación inversa de la CPUE de ambos tiburones, mientras una disminuyó, la otra aumentó y viceversa, por ende, se capturaron más tiburones MAC y menos tiburones azules en el momento de la sinergia de “The Blob” y “El Niño”, en BSV.

Se observó en las Fig. 17 y 18 que las mayores concentraciones de CPUE se reflejaron en verano, al noroeste de Punta Eugenia, aproximadamente a los -114.4° W, 28.5° N para ambas especies, entre los límites de las interacciones de la surgencia costera estacional y el remolino anticiclónico de BSV.

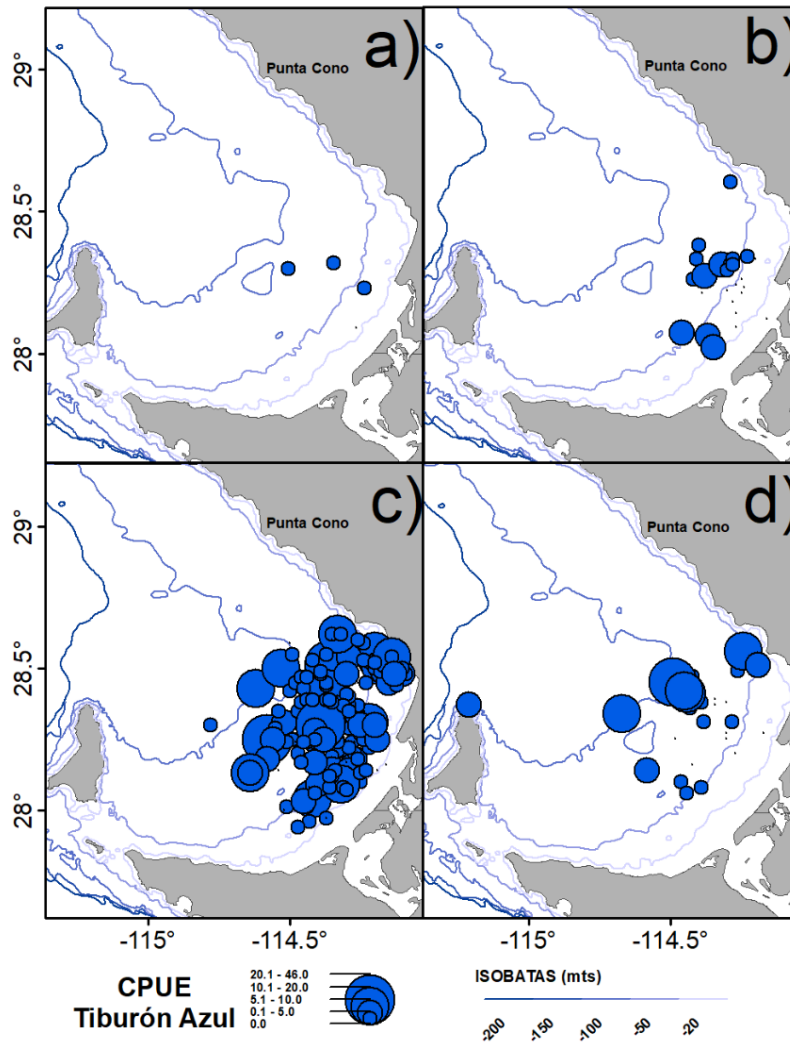


Figura 17. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) por trimestre de *Prionace glauca* (2008-2018) en BSV, por estación: a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

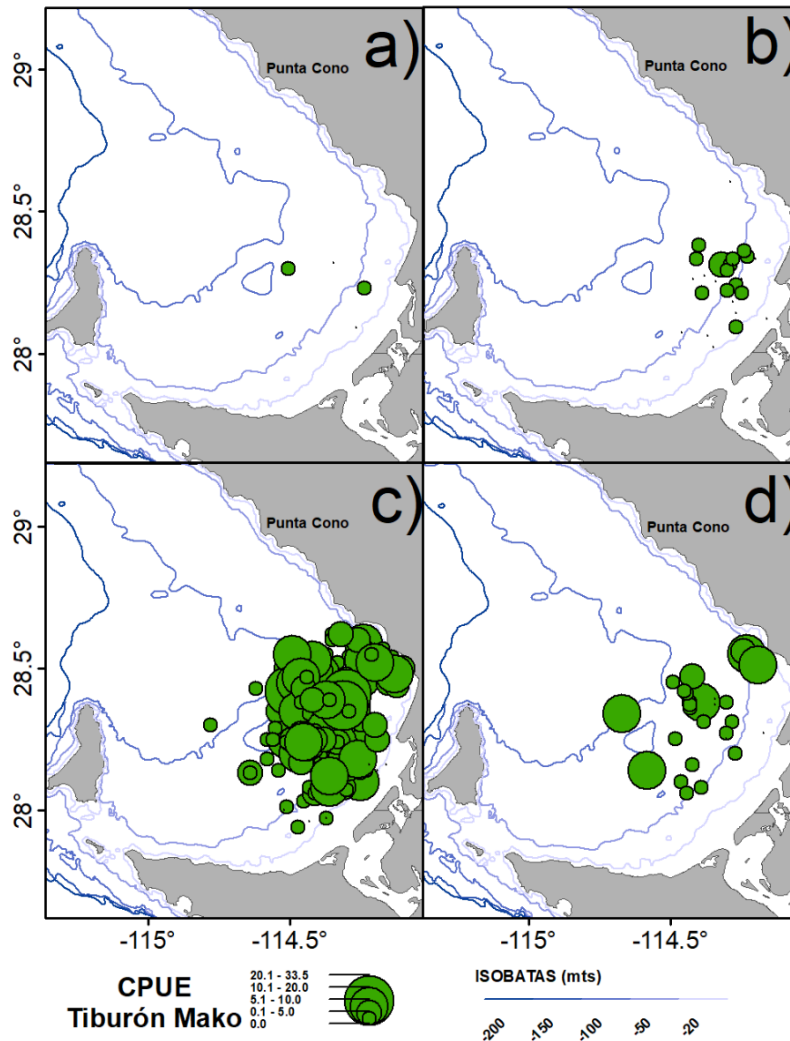


Figura 18. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *Isurus oxyrinchus* por trimestre de (2008-2018) en BSV, por estación: a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño.

6.3. Variables de estudio en BSV (2008-2018).

Se realizaron gráficos de variación anual, trimestral (o por estación) y mensuales de las variables SURGENCIA, EKE, TSM y CHL para el periodo 2008-2018. Donde observó que las variables oceanográficas y ambientales son un *proxy* que pudiese reflejar los patrones dinámicos de los fenómenos físicos de mesoescala que se desarrollaron en BSV en el periodo 2008-2018.

La Fig. 19a mostró el promedio por estación de la intensidad de la SURGENCIA en BSV, notándose que el valor más bajo ($1.6 \times 10^{-3} \pm 9.2 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$) sucedió en primavera (abril-junio) y el mayor ($4.8 \times 10^{-3} \pm 1.5 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$) en otoño. La EKE del remolino anticiclónico en BSV, reflejó promedio más bajo ($1.6 \times 10^{-3} \pm 2.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) en otoño, mientras que el mayor promedio de la EKE ($6.2 \times 10^{-3} \pm 5.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) se observó en verano (Fig. 19b).

La TSM en la bahía mostró el promedio más bajo (17.91 ± 1.25 °C) en primavera, mientras que el mayor promedio (22.64 ± 1.20 °C) se observó en verano (Fig. 19c). En el caso de la CHL el promedio más bajo (0.40 ± 0.18 mg m⁻³) se observó en otoño y el mayor promedio (1.33 ± 1.06 mg m⁻³) en primavera (Fig. 19d), coincidiendo con la época de surgencias costeras en BSV reportada por Martínez-Fuentes (2015).

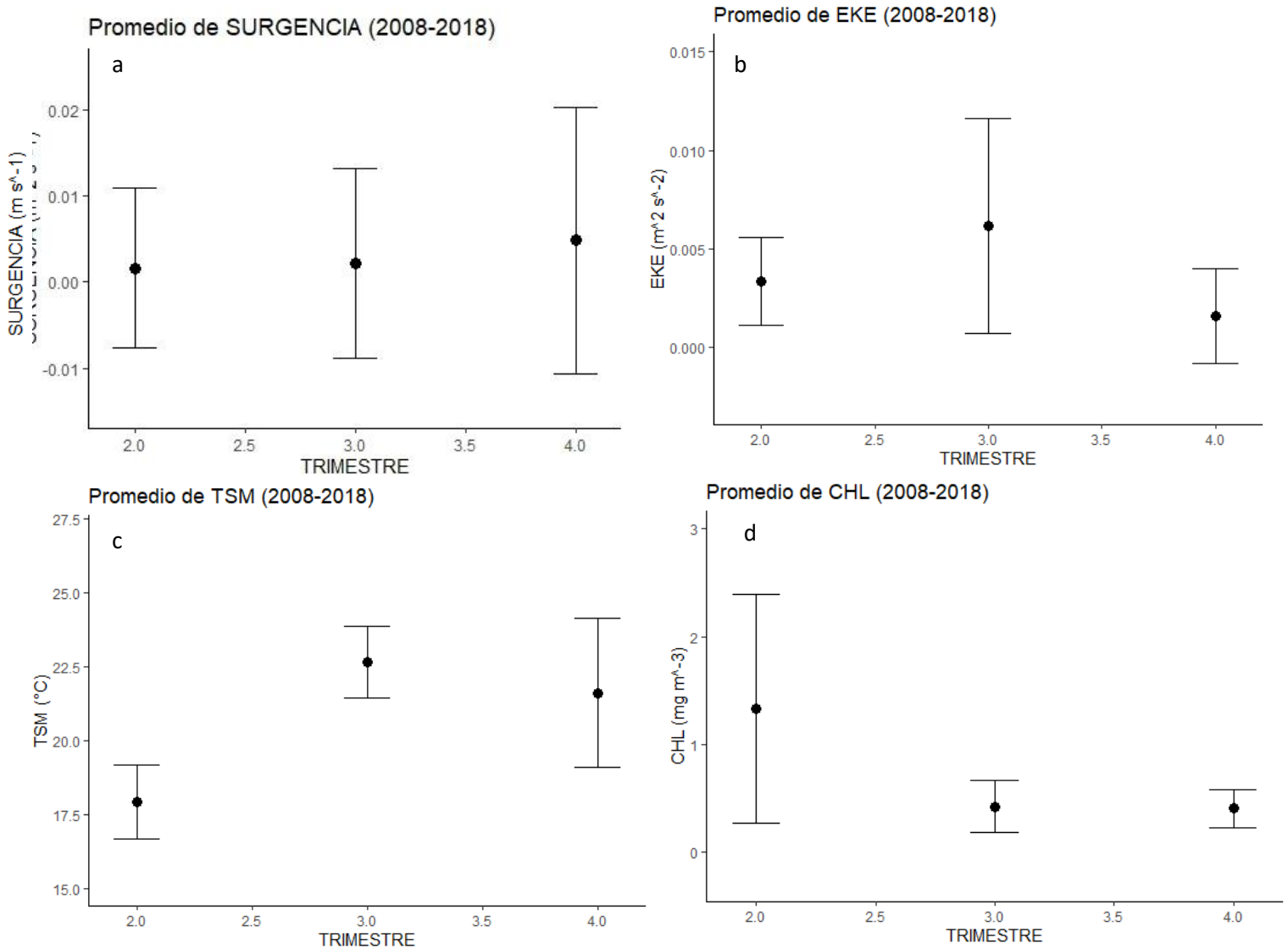


Figura 19. Variación de la SURGENCIA (a), EKE (b), TSM (c) y CHL (d) por estación o trimestre (promedio \pm DE) en el periodo 2008-2018 en BSV, BC.

En BSV en nuestro periodo de estudio, se observó que la SURGENCIA tubo los promedios más altos en 2010 y 2013 ($1.49 \times 10^{-2} \pm 2.51 \times 10^{-2}$ y $2.42 \times 10^{-2} \pm 2.96 \times 10^{-2}$ m s⁻¹ respectivamente), mientras que el menor promedio sucedió en 2014 ($-3.83 \times 10^{-7} \pm 8.28 \times 10^{-7}$ m s⁻¹) (Fig. 20a). Para la variable EKE en BSV, se observó que el menor promedio sucedió en 2009 (año “La Niña”), teniendo $9.5 \times 10^{-4} \pm 8.7 \times 10^{-4}$ m² s⁻², mientras que el promedio mayor

fue $1.1 \times 10^{-2} \pm 5.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ en 2014, indicando la máxima EKE en el periodo de estudio (Fig. 20b).

Se observó en BSV cómo hubo variación en la TSM desde el 2008 hasta el 2013, teniendo el menor promedio en 2011, con $17.71 \pm 1.89 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que el mayor promedio fue $24.06 \pm 0.32 \text{ }^\circ\text{C}$ en 2018 (Fig. 20c). También se observó que el promedio de temperatura comenzó a aumentar en 2013 y después presentó un comportamiento más o menos constante hasta el 2017 (Fig. 20c). periodo donde se presentaron los fenómenos oceanográficos “The Blob” y “El Niño” (Gómez-Ocampo, 2017).

Para el caso de la CHL, el menor promedio se presentó en 2015, con $0.36 \pm 0.19 \text{ mg m}^{-3}$, mientras que el mayor promedio se observó en 2011 (año “La Niña”), con $1.57 \pm 1.42 \text{ mg m}^{-3}$ (Fig. 20d). Se pudo observar que el promedio de la CHL comenzó a aumentar de 2009 al 2011, además que fue más o menos constante en el periodo 2012-2016, con una ligera disminución en 2015 (Fig. 20d).

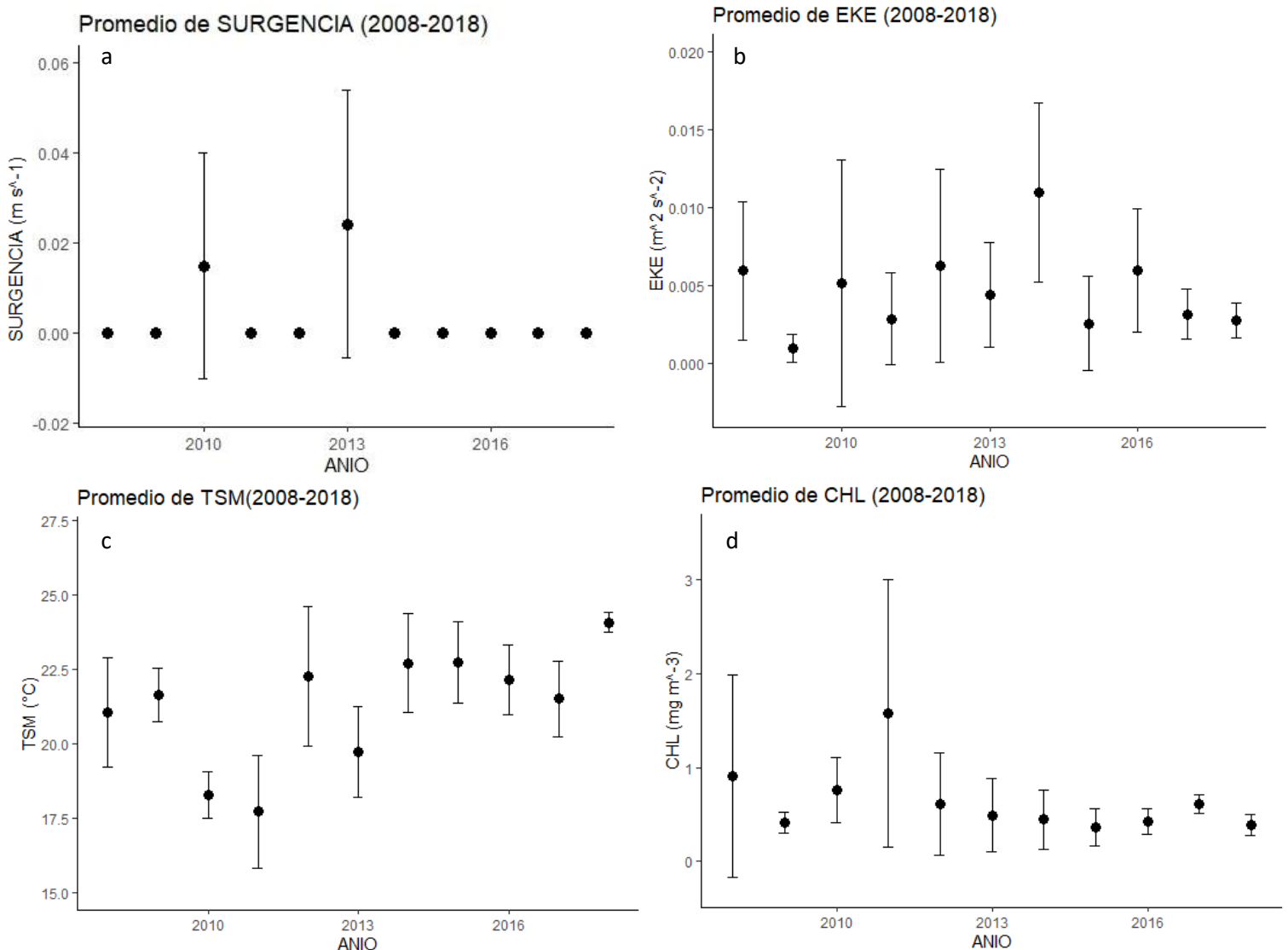


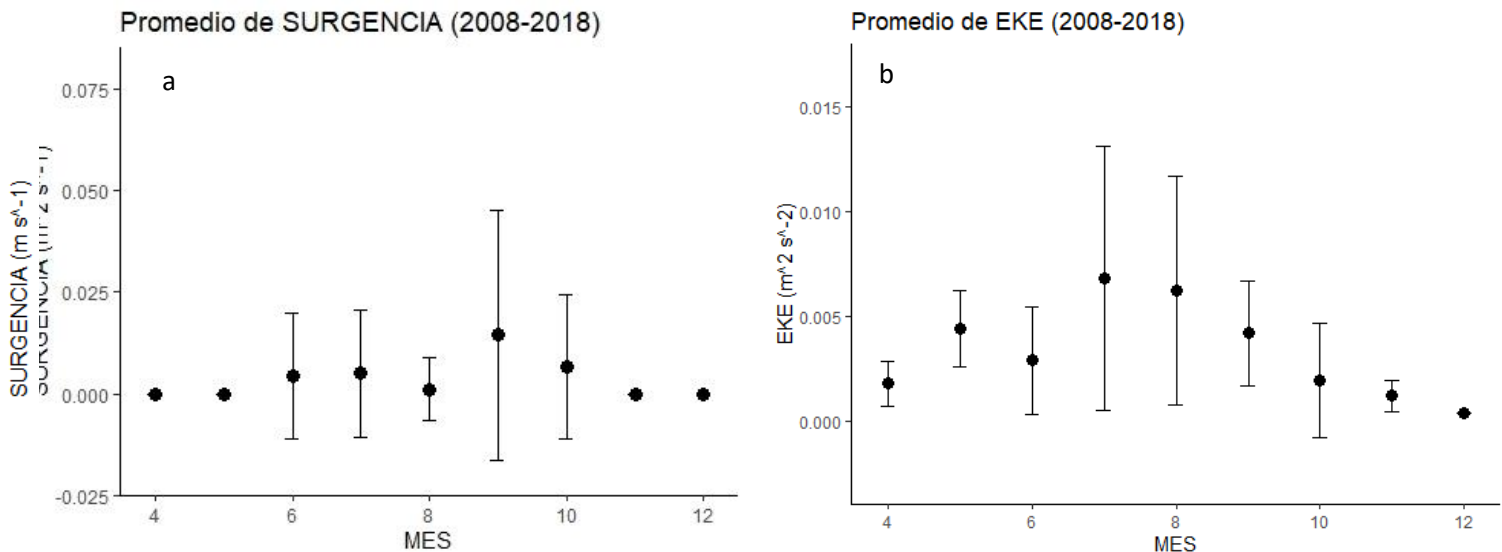
Figura 20. Variación anual de SURGENCIA (a), EKE (b), TSM (c) y CHL (d) (promedio \pm DE) en el periodo 2008-2018 en BSV, BC.

La Fig. 21a mostró la variabilidad mensual del promedio de la SURGENCIA, en el periodo 2008-2018, donde se observó que el menor promedio fue $-3.87 \times 10^{-7} \pm 2.79 \times 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$, en noviembre (otoño) mientras que, la señal de la SURGENCIA presentó los mayores promedios de junio a julio (verano) con $4.4 \times 10^{-3} \pm 1.53 \times 10^{-2}$ y $5.0 \times 10^{-3} \pm 1.57 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$ (respectivamente) y de septiembre a octubre (otoño) con $1.43 \times 10^{-2} \pm 3.07 \times 10^{-2}$ y $6.5 \times 10^{-3} \pm 1.77 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$ (respectivamente) (Fig. 21a). En agosto (verano) se presentó una disminución en la intensidad de la SURGENCIA con un promedio de $1.1 \times 10^{-3} \pm 7.7 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ (Fig. 21a), en BSV para el periodo de estudio (2008-2018).

La EKE en BSV en el periodo 2008-2018 mostró el menor promedio en diciembre (otoño) con $3.73 \times 10^{-4} \pm 0 \times 10^0 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, mientras que el mayor promedio se presentó en julio $6.79 \times 10^{-3} \pm 6.32 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, mostrando los mayores promedios hasta septiembre, siendo la estación de verano la que presentó las mayores energías cinéticas del remolino anticiclónico en BSV para el periodo de estudio (Fig. 21b).

Para el caso de la TSM el menor promedio se observó en abril (primavera) con $17.61 \pm 1.36 \text{ }^\circ\text{C}$, donde se presentaron los menores valores de la serie desde abril hasta junio (Fig. 21c). El mayor promedio se presentó en agosto con $22.91 \pm 0.80 \text{ }^\circ\text{C}$, donde se observaron los mayores promedios de TSM desde agosto hasta noviembre (verano a otoño) (Fig. 21c).

La CHL presentó el menor promedio en noviembre con $0.27 \pm 0.01 \text{ mg m}^{-3}$ (Fig. 21d), mientras que el mayor promedio se presentó en junio (primavera) con $1.51 \pm 1.33 \text{ mg m}^{-3}$. Los mayores promedios de CHL se observaron de abril-junio y los menores de julio a diciembre (verano-otoño) (Fig. 21d). La TSM y la CHL mostraron una tendencia inversa en las series mensuales, es decir, mientras que los promedios de TSM fueron menores, los de la CHL fueron mayores y viceversa en el periodo (2008-2018) (Fig. 21d).



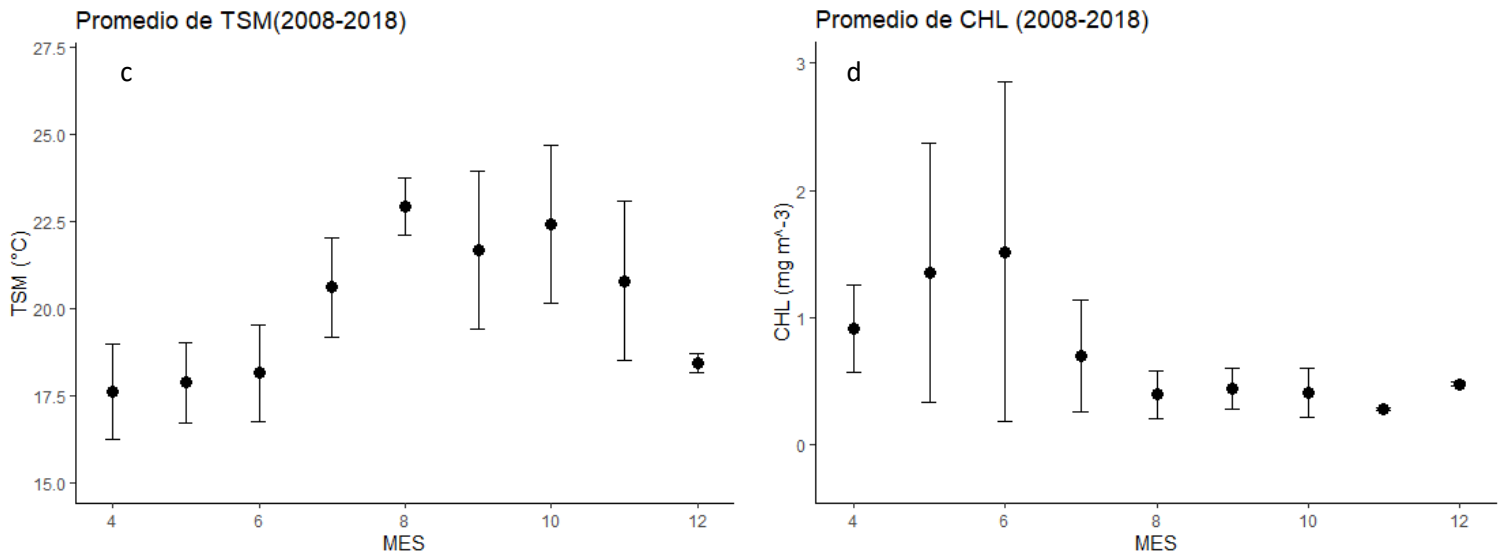


Figura 21. Variación mensual de la SURGENCIA (a), EKE (b), TSM (c) y CHL (d) (promedio \pm DE) en el periodo 2008-2018 en BSV, BC.

En la Tabla 11 se mostró los mayores promedios de la TSM, SURGENCIA, EKE y CHL para los años donde se registró “The Blob” y “El Niño” en el periodo 2013-2016, donde se observó que los promedios de TSM más cálidas sucedieron en 2014 y 2015 con 22.70 ± 1.66 y 22.71 ± 1.36 °C respectivamente, concordando con el fenómeno de sinergia entre ambas masas de agua cálidas que coincidieron en BSV (Gómez-Ocampo, 2017), cambiando la termodinámica de la columna de agua afectando al tiburón azul y al MAC y sus valores de CPUE en el periodo de pesca (Figura 16).

Nuestros resultados sugieren que el año 2013 fue donde se debilitaron los patrones típicos de vientos del Noroeste (Cavole *et al.*, 2016), lo que pudo haber generado un evento de relajamiento de la SURGENCIA, con un promedio de $2.42 \times 10^{-2} \pm 2.96 \times 10^{-2}$ m s⁻¹, teniendo el mínimo valor de la surgencia costera del periodo 2013-2016. (Tabla 11). El 2014 fue el año donde hubo la mínima intensidad de la surgencia costera ($-3.83 \times 10^{-7} \pm 8.2 \times 10^{-7}$ m s⁻¹), presentando los valores más bajos de este periodo (Tabla 11). Los valores de SURGENCIA (Tabla 11) sugieren que los años donde también hubo relajamiento de la surgencia (aunque con menor intensidad) fueron 2015 y 2016 con promedios de $3.44 \times 10^{-6} \pm 6.38 \times 10^{-6}$ m² s⁻² y $4.24 \times 10^{-6} \pm 3.03 \times 10^{-6}$ m² s⁻² respectivamente.

La EKE presentó el mayor promedio en 2014 con $1.1 \times 10^{-2} \pm 5.7 \times 10^{-3}$ m² s⁻², mientras que el menor promedio en 2015 con $2.5 \times 10^{-3} \pm 3.0 \times 10^{-3}$ m² s⁻² (Tabla 11). El promedio de la CHL mostró fluctuaciones relativamente pequeñas en sus valores para el periodo 2013-2016, probablemente debido a un flujo ligero pero persistente de la surgencia costera (Martínez-Fuentes, 2015), mostrando el menor promedio en 2015 con 0.36 ± 0.19 mg m⁻³ (Tabla 11).

Tabla 11. Valores promedio, máximo y mínimo de las variables predictoras (TSM, SURGENCIA y EKE) en el periodo de “The Blob” y “El Niño” (2013-2016).

TSM	2013	2014	2015	2016
MEDIA	19.71 ± 1.52	22.70 ± 1.66	22.71 ± 1.36	22.15 ± 1.17
V. MINIMO	16.61	16.88	18.64	18.51
V.MAXIMO	21.66	24.99	25.44	23.03
SURGENCIA				
MEDIA	$2.42 \times 10^{-2} \pm 2.96 \times 10^{-2}$	$-3.83 \times 10^{-7} \pm 8.2 \times 10^{-7}$	$3.44 \times 10^{-6} \pm 6.38 \times 10^{-6}$	$4.24 \times 10^{-6} \pm 3.03 \times 10^{-6}$
V. MINIMO	-1.75×10^{-6}	-1.76×10^{-6}	-2.84×10^{-6}	-5.27×10^{-6}
V.MAXIMO	8.29×10^{-2}	3.32×10^{-6}	1.08×10^{-5}	1.36×10^{-5}
EKE				
MEDIA	$4.4 \times 10^{-3} \pm 3.3 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-2} \pm 5.7 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{-3} \pm 3.0 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-3} \pm 3.9 \times 10^{-3}$
V. MINIMO	3.73×10^{-4}	1.17×10^{-3}	2.28×10^{-4}	2.16×10^{-4}
V.MAXIMO	8.8×10^{-3}	2.16×10^{-2}	1.15×10^{-2}	1.16×10^{-2}
CHL				
MEDIA	0.49 ± 0.39	0.45 ± 0.31	0.36 ± 0.19	0.42 ± 1.38
V. MINIMO	0.24	0.25	0.17	0.32
V.MAXIMO	1.94	1.58	1.35	1.11

La Fig. 22 muestra la variación en tiempo (2008-2018) de las variables SURGENCIA, EKE, TSM y CHL.

Mediante un análisis exploratorio de los datos se encontró que el valor más bajo de SURGENCIA fue $-5.33 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ en verano (julio-septiembre) de 2009 (año “El Niño”) y el más alto fue $8.29 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$ en verano de 2013. Se puede notar en la serie de tiempo dos picos de valores altos en 2010 y 2013 (Fig. 22a). El promedio de la SURGENCIA en BSV para el periodo 2008-2018 fue $2.36 \times 10^{-3} \pm 1.141 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$.

El valor más bajo de EKE ($1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) se presentó en verano de 2011 (año “La Niña”), mientras que el mayor valor ($2.26 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) se observó en verano de 2012 (ENSO neutral) (Fig. 22b). Se observó en la Fig. 22b que en 2014 la energía cinética del remolino tuvo picos de valores máximos, siendo más o menos constante en comparación a los otros años de la serie de tiempo, año que coincidió con el periodo de “The Blob” y “El Niño” (2013-2016). El promedio de la EKE en BSV para el periodo 2008-2018 fue $5.34 \times 10^{-3} \pm 5.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$.

En caso de la TSM, el valor más bajo fue $15.78 \text{ }^\circ\text{C}$ en primavera (abril-junio) de 2011 (año “La Niña”) (Bjorkstedt *et al.*, 2012; Martínez-Fuentes, 2015) y el mayor fue $25.44 \text{ }^\circ\text{C}$ en otoño (octubre-diciembre) de 2015 (Martínez-Fuentes, 2015) (Fig. 22c). Se observó en la Fig. 22c que desde 2014-2016 la TSM en BSV fue casi constante, a excepción de descensos mínimos a principios de 2015 y principios de 2016. El promedio de la TSM en BSV para el periodo 2008-2018 fue $21.96 \pm 2.07 \text{ }^\circ\text{C}$.

La CHL presentó su menor valor (0.174 mg m^{-3}) en otoño de 2015 y el mayor (4.17 mg m^{-3}) en primavera de 2008 (año “La Niña”) (Fig. 22c). Se observó también en la Fig. 22c

una zona de picos o valores máximos de CHL de finales de 2009 a mediados de 2013. El promedio de la CHL en BSV para el periodo 2008-2018 fue $0.526 \pm 0.514 \text{ mg m}^{-3}$.

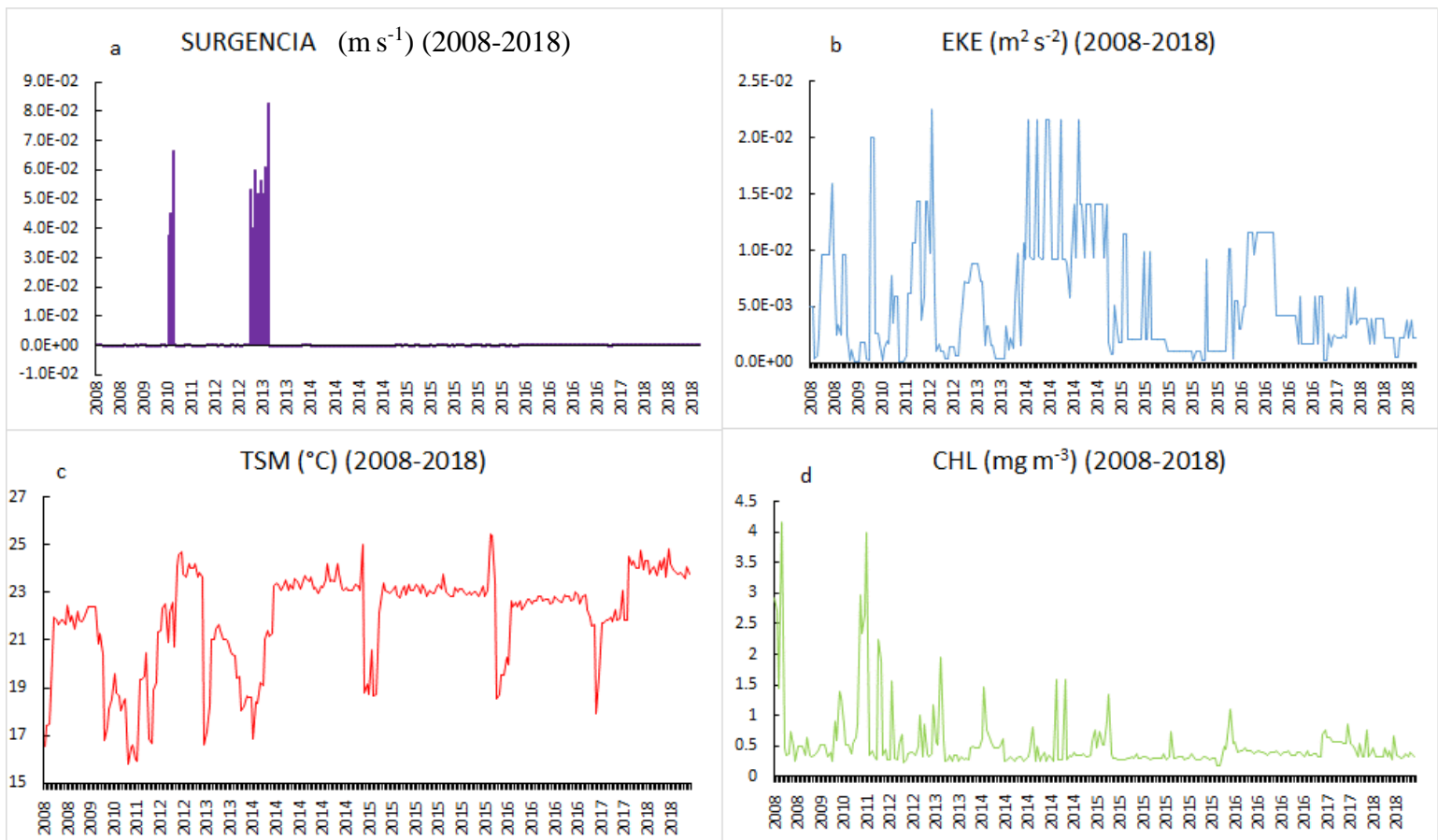


Figura 22. Variación anual de la SURGENCIA (a), EKE (b), TSM (c) y CHL (d) en el periodo 2008-2018 en BSV, BC.

La Fig. 23 muestra la variación de las anomalías de la TSM y CHL (2008-2018). Se observó que la TSM tuvo anomalías negativas de 2009 a 2012 y en 2013, mientras que de 2014 a principios de 2016 se presentaron anomalías positivas Fig. 23a. Las anomalías de la CHL en el periodo de estudio presentaron variaciones entre valores positivos y negativos, donde se observaron relativamente más eventos negativos de 2013 a 2017 (Fig. 23b).

La menor anomalía negativa de la TSM de todo el periodo de estudio fue en 2010 (otoño) (año “La Niña”) con -4°C y la mayor anomalía positiva fue en 2015 (otoño) (“The Blob” y “El Niño”) con 3°C (Tabla 12). Mientras que la menor anomalía negativa de la CHL fue en 2013 (primavera) con -1.01 mg m^{-3} y la mayor anomalía positiva fue en 2011 (primavera) (año “La Niña”) con 1.812 mg m^{-3} para todo el periodo de tiempo (Tabla 13).

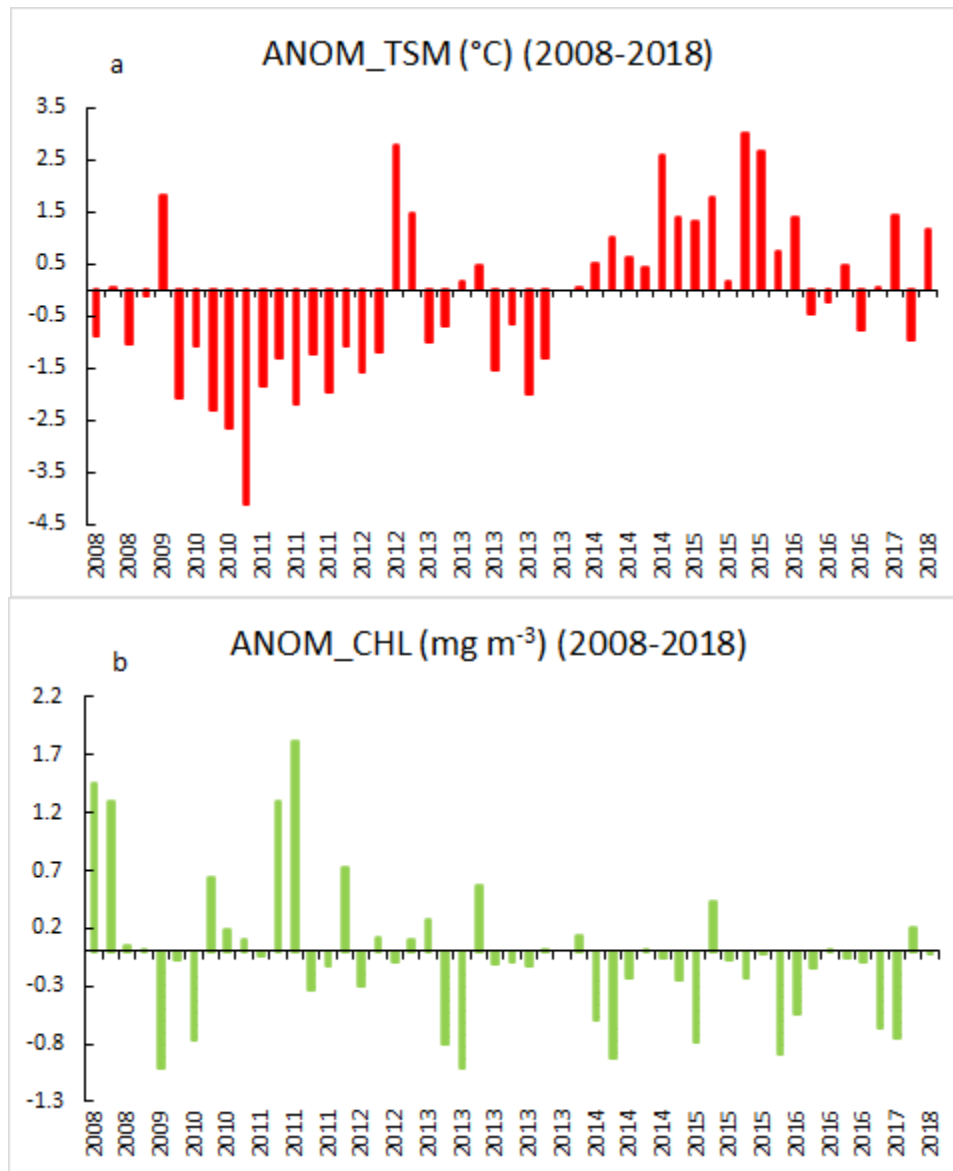


Figura 23. Climatología de las anomalías (anuales) de TSM y CHL en el periodo 2008-2018 en BSV, BC.

Tabla 12. Anomalías máximas y mínimas de TSM por mes y estación en el periodo 2008-2018 en BSV, BC.

Año	Anomalías TSM (°C)		Mes	Estación
2008	Min	-0.86	MAY	PRIMAVERA
	Max	0.03	JUN	VERANO
2009	Min	-2.07	AGO	VERANO
	Max	1.8	JUL	VERANO
2010	Min	-4.1	OCT	OTOÑO
	Max	-1.05	JUN	VERANO
2011	Min	-2.19	JUN	VERANO
	Max	-1.2	JUL	VERANO
2012	Min	-1.56	JUL	VERANO
	Max	2.77	SEP	VERANO
2013	Min	-1.99	OCT	OTOÑO
	Max	0.45	JUL	VERANO
2014	Min	0.03	ABR	PRIMAVERA
	Max	2.6	OCT	OTOÑO
2015	Min	0.16	AGO	VERANO
	Max	2.99	OCT	OTOÑO
2016	Min	-0.76	OCT	OTOÑO
	Max	1.4	JUN	VERANO
2017	Min	-0.94	AGO	VERANO
	Max	1.43	JUN	VERANO
2018		1.15	AGO	VERANO

Tabla 13. Anomalías máximas y mínimas de CHL por mes y estación en el periodo 2008-2018 en BSV, BC.

Año	Anomalías CHL (mg m ⁻³)		Mes	Estación
2008	Min	0.0021	OCT	OTOÑO
	Max	1.46	MAY	PRIMAVERA
2009	Min	-1.009	JUN	PRIMAVERA
	Max	-0.066	AGO	VERANO
2010	Min	-0.769	JUN	PRIMAVERA
	Max	0.642	JUL	VERANO
2011	Min	-0.325	JUL	VERANO
	Max	1.812	JUN	PRIMAVERA
2012	Min	-0.292	JUL	VERANO
	Max	0.097	OCT	OTOÑO
2013	Min	-1.01	JUN	PRIMAVERA
	Max	0.568	JUL	VERANO
2014	Min	-0.924	JUN	PRIMAVERA
	Max	0.133	ABR	PRIMAVERA
2015	Min	-0.788	MAY	PRIMAVERA
	Max	0.436	JUL	VERANO
2016	Min	-0.88	MAY	PRIMAVERA
	Max	0.0007	AGO	VERANO
2017	Min	-0.747	JUN	PRIMAVERA
	Max	0.197	AGO	VERANO
2018		-0.004	AGO	VERANO

6.4. Distribución de la CPUE de *Prionace glauca* e *Isurus oxyrinchus* con relación a las variables predictoras (SURGENCIA, EKE, TSM y CHL) en BSV (2008-2018).

Se elaboraron ocho mapas que presentaron la distribución espaciotemporal de la CPUE del tiburón azul y el MAC y los valores del promedio de las variables de respuesta del modelo GAM (SURGENCIA, EKE, TSM y CHL) en BSV en el periodo de estudio (2008-2018), cabe mencionar que la CHL no presentó significancia en los modelos GAM.

6.4.1. *Prionace glauca*

El intervalo de valores promedio de la SURGENCIA fue -2.17×10^{-5} a $1.74 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ en BSV, mostró un núcleo de valores altos de CPUE de *P. glauca*, al este de Isla Cedros (zonas claras/blancas) a los 28.5° N , -114.25° W frente a Laguna Manuela (Fig. 24), coincidiendo con valores bajos de SURGENCIA los cuales fueron favorables para el desarrollo de la surgencia costera.

Se observó que la mayoría de las capturas de tiburones azules que sustentaron la pesca en embarcaciones menores (pangas) se llevó a cabo cerca de la costa, entre TSM $\sim 16^\circ \text{ C}$ (Fig. 24). El intervalo de TSM promedio para la bahía fue de 13.6 - 21.23° C para el periodo de estudio.

Mediante el promedio de la EKE en la bahía, se pudo observar que, en la parte central existe un núcleo con valores bajos de EKE, cabe mencionar que pocas capturas se llevaron a cabo en la zona de la “lente cálida” o “núcleo” del remolino anticiclónico ($\sim 25 \text{ km}$ al este de Isla Cedros) (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995), mostrando los mayores promedios de EKE al oeste y norte de Isla Cedros. El intervalo del promedio de EKE para BSV fue 1.88×10^{-2} - $2.254 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ (Fig. 24).

La CHL evidenció el flujo de nutrientes que se desarrolló al norte de Isla Cedros, frente a Punta Canoas, bajando hacia el sur y disminuyendo su intensidad al acercarse al remolino anticiclónico en el centro de BSV. El intervalo de valores promedio de la CHL fue 0.0691 - $10.9429 \text{ mg m}^{-3}$ (Fig. 24).

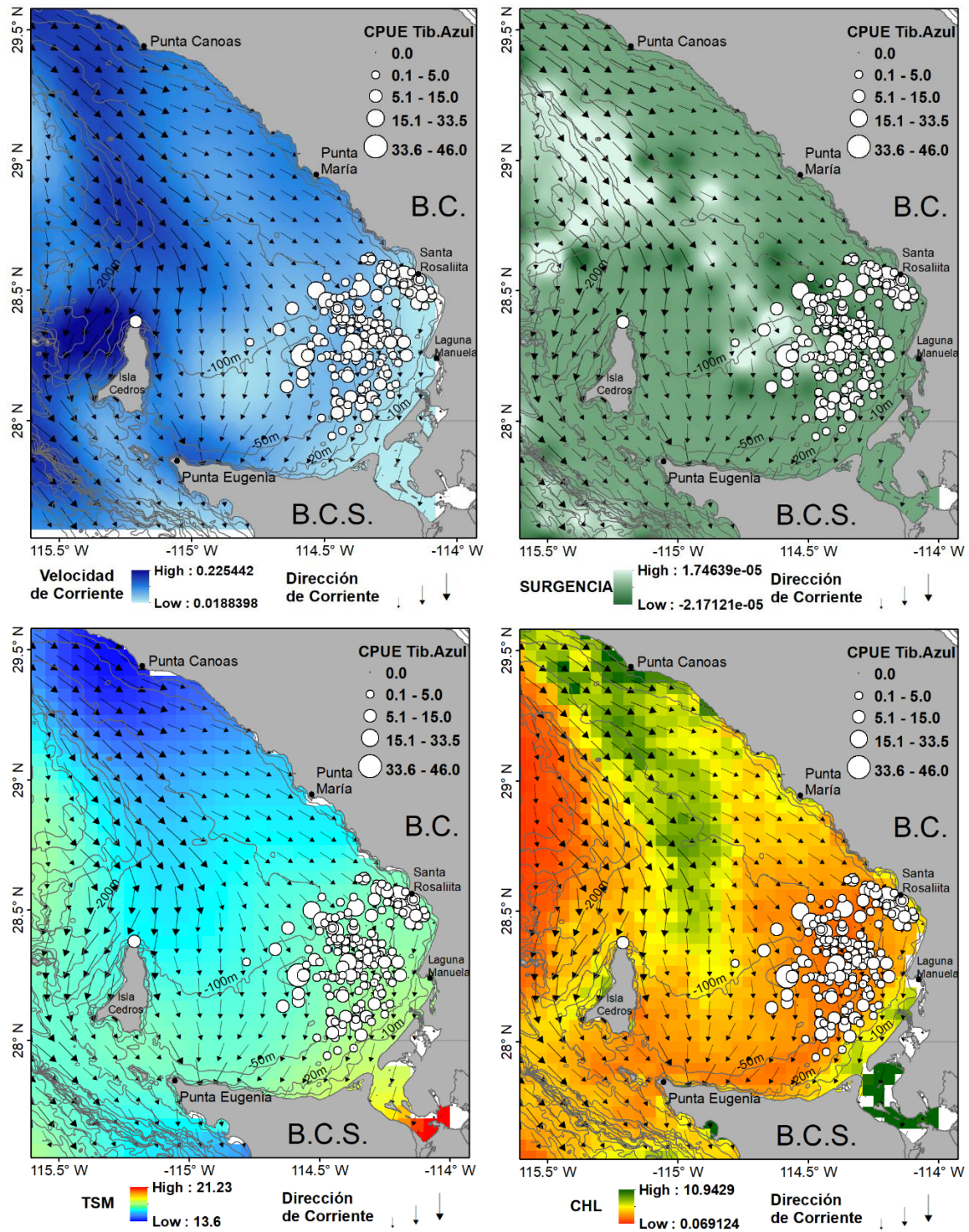


Figura 24. Promedio de la distribución espaciotemporal de la SURGENCIA, EKE, TSM y CHL y la CPUE de *P. glauca* en BSV para el periodo 2008-2018.

6.4.2. *Isurus oxyrinchus*.

La Fig. 25 presentó la distribución espaciotemporal de la CPUE del tiburón MAC y los valores del promedio de las variables de respuesta del modelo GAM (SURGENCIA, EKE, TSM y CHL) en BSV en el periodo de estudio (2008-2018), presentando un núcleo pequeño de CPUEs frente a Santa Rosalita (28.67° N) y otro mayor frente a LM (28.2° N), abarcando un área varias decenas de km² (Fig. 25). Pocas capturas de *I. oxyrinchus* se llevaron a cabo en la zona de la lente cálida del remolino anticiclónico (Fig. 25).

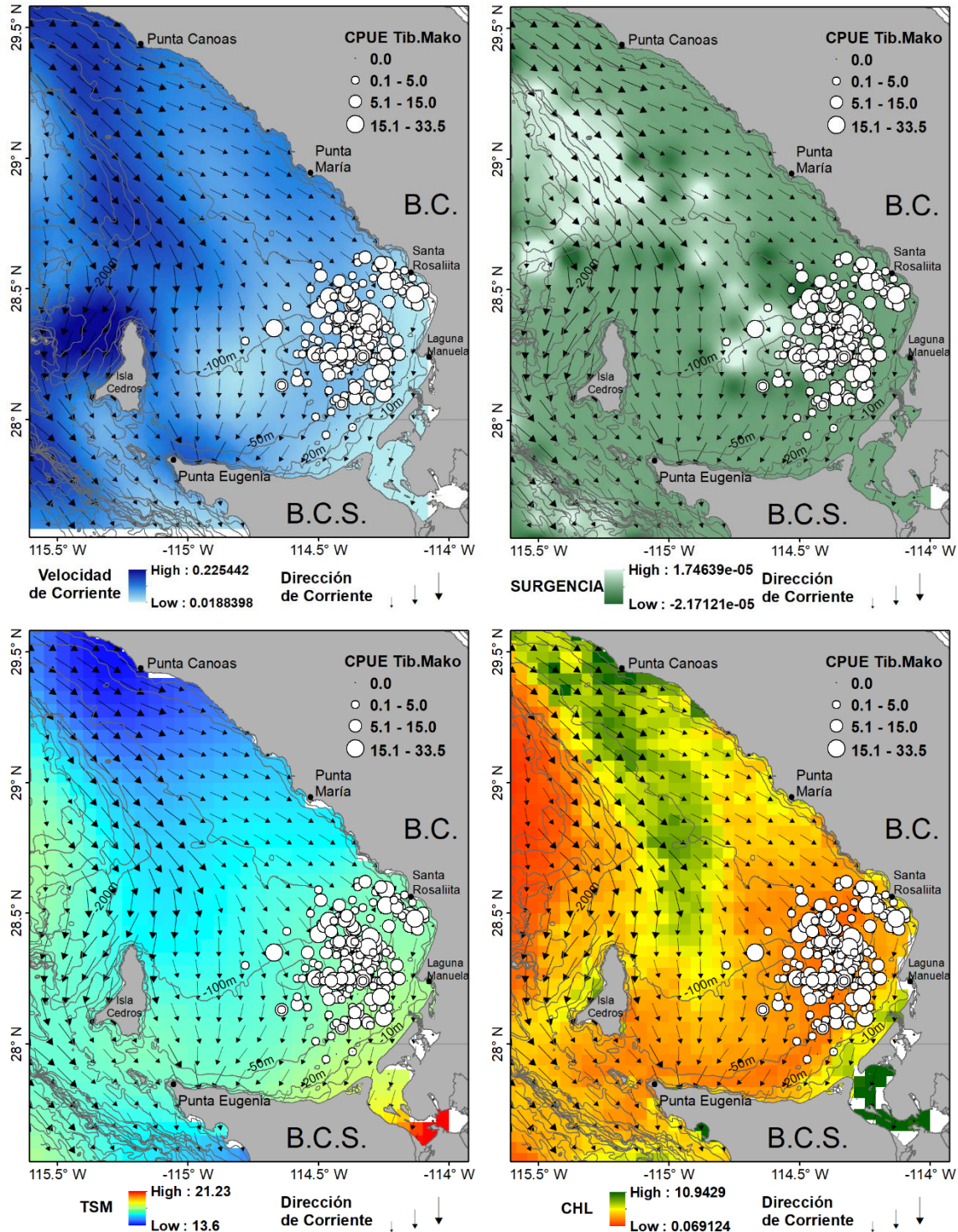


Figura 25. Promedio de la distribución espaciotemporal de SURGENCIA, EKE, TSM y CHL y la CPUE de *I. oxyrinchus* en BSV para el periodo 2008-2018.

6.5. Resultados de los Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) para la CPUE de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV en el periodo 2008-2018.

Se realizó una combinación de GAMs sobre relación de las variables oceanográficas, ambientales y espaciotemporales con la CPUE del tiburón azul y MAC. Las rutinas generadas se condujeron para conocer los valores individuales de las variables predictoras, así como sus interacciones y con el objetivo de conocer sus valores estadísticos, para la construcción del modelo más aceptable que pueda representar la relación de los procesos físicos en BSV con la actividad de la pesca ribereña en LM en el periodo de estudio.

6.5.1. Tiburón azul.

Se realizaron rutinas de GAMs con la librería “*mgcv*” en R 4.0.2 para verificar la relación individual de cada variable predictora con la CPUE del tiburón azul usando suavizadores gráficos (s) (Tabla 14). Esto con el fin de observar la significancia de cada variable (TSM, CHL, SURGENCIA, EKE, ELEVACION, LUNA, MES, TRIMESTRE, AÑO, LAT y LON) para empezar a hacer las combinaciones pertinentes y encontrar el mejor modelo. También se consideraron los valores del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (DE%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (p-value), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

El modelo con la variable predictora AÑO explicó el 32.6% de la devianza explicada (DE%) de la CPUE del tiburón azul, con un $R^2_{adj}= 0.246$ (Tabla 14), esta, fue la variable más significativa (p-value $<2e-16$ ***) del modelo, con un valor de UBRE= 1.0339 y AIC= 1143.697. La segunda variable predictora más significativa fue TSM con el 18.9 % de la devianza total explicada (DE%) de la CPUE de *P. glauca*, con un $R^2_{adj}= 0.13$, un valor de UBRE= 1.0347 y AIC= 10.487949. La variable predictora menos significativa fue TRIMESTRE, con una devianza total explicada de 1.48 (DE%), $R^2_{adj}= 0.00813$, un valor de UBRE= 1.0071 y AIC= 1250.565. Las variables predictoras que no tuvieron significancia con la CPUE del tiburón azul fueron: CHL, SURGENCIA, ELEVACION y LAT.

Tabla 14. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-Azul (variables predictoras). El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (DE%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (p-value) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de la TSM, CHL, SURGENCIA, EKE, ELEVACION, LUNA, MES, TRIMESTRE, AÑO, LAT y LON.

Prionace glauca

Modelo	Predictor	R ² adj	DE%	UBRE	df	AIC	F	p-value
1	TSM	0.13	18.9	1.0347	10.4879	1196.947	7.382	<2e-16 ***
2	CHL	-0.00347	0.00725	1.0071	3	1255.727	0.017	0.896
3	SURGENCIA	-0.00347	0.0104	1.0071	3	1255.453	0.029	0.865
4	EKE	0.0233	9.98	1.0339	10.2814	1230.578	3.464	0.000327 ***
5	ELEVACION	0.0293	3.98	1.0146	5.0731	1241.953	2.192	0.062
6	LUNA	0.0294	4.37	1.0101	3.8293	1237.74	6.242	0.00222 **
7	MES	0.0167	1.83	1.0071	3.8959	1237.576	5.043	0.0255 *
8	TRIMESTRE	0.00813	1.48	1.0071	3	1250.565	4.391	0.037 *
9	AÑO	0.246	32.6	1.0339	10.2738	1143.697	15.15	<2e-16 ***
10	LAT	0.0266	3.32	1.0113	4.1665	1253.004	2.376	0.0727
11	LON	0.0644	5.61	1.0157	5.386	1238.823	2.6	0.0344 *

Se realizaron 4 rutinas GAM de interacciones (LAT-LON, TSM-TRIMESTRE, SURGENCIA-TRIMESTRE y EKE-TRIMESTRE) con la CPUE del tiburón azul, donde se encontró que las interacciones, LAT-LON, TSM-TRIMESTRE y EKE-TRIMESTRE fueron significativas (Tabla 15), con una devianza total explicada (DE%) de 11.4, 25.8 y 16.7% (respectivamente) y un R²adj de 0.0898, 0.176 y 0.113 (respectivamente).

Tabla 15. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-Azul (interacciones). El coeficiente de determinación ajustado (R²adj), el porcentaje de devianza total explicada (DE%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (p-value) se presentan mediante los códigos "0", "***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de la LAT-LON, TSM-TRIMESTRE, SURGENCIA-TRIMESTRE y EKE-TRIMESTRE.

Prionace glauca

Modelo	INTERACCION	R ² adj	DE%	UBRE	df	AIC	F	p-value
1	LAT-LON	0.0898	11.4	1.0297	9.1739	1224.726	2.568	0.00562**
2	TSM-TRIMESTRE	0.176	25.8	1.0766	21.1421	1191.549	3.534	9.79e-07 ***
3	SURGENCIA-TRIMESTRE	-0.376	2.4	1.0517	8.8126	1260.328	1.305	0.207
4	EKE-TRIMESTRE	0.113	16.7	1.0168	4	1252.003	16.92	<2e-16 ***

Con el análisis del método *Forward-Stepwise* (paso a paso), donde, se inicia con un modelo sin variables explicativas y en cada paso se agrega una variable explicativa significativa, donde si en un paso hay una variable no significativa, se quita y repite el paso.

Se realizaron los modelos necesarios (datos no mostrados) para llegar a un modelo aceptable (Tabla 16) de las interacciones que fueron significativas para el tiburón azul donde se encontró que, el modelo final mostró una devianza total explicada de 53.5%, un $R^2_{adj}=0.537$ y con el menor valor de UBRE de todos los modelos generados.

Tabla 16. Resumen del GAM final (EKE, LUNA, LAT, LON, AÑO y TSM-TRIMESTRE) ajustado a datos de CPUE de *P. glauca* en LM, en BSV (2008-2018). Para cada término del modelo se muestra: el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (DE%), los grados de libertad (df) y el criterio de información de Akaike (AIC).

<i>Prionace glauca</i>					
MODELO FINAL	R ² adj	DE%	UBRE	df	AIC
CPUEAZ~s(EKE) + s(LUNA) +s(LAT) +... ...s(LON) + s(AÑO) + s(TSM, TRIMESTRE)	0.537	53.5	0.7696	47.5425	119.497

Se observó en la Tabla 17 la variable que más significancia tuvo en el modelo final fue AÑO ($p\text{-value} < 2e-16$ ***), seguido de LUNA ($p\text{-value}= 2.8e-05$ ***) y en tercer lugar de significancia fue LON ($p\text{-value}= 0.00010$ ***), siendo EKE la variable menos significativa del modelo final (0.01122 *). Se eligió el mejor modelo final (Tabla 16) con un mejor ajuste en las variables predictoras, donde se encontró que las variables que mejor describen la CPUE del tiburón azul fueron:

- 1) AÑO
- 2) LUNA
- 3) LON
- 4) LAT
- 5) TSM-TRIMESTRE
- 6) y EKE

y ese fue el orden (mayor a menor influencia) del peso de las variables predictoras sobre la CPUE del tiburón azul, demostrándose que la variable AÑO fue la de mayor peso en el modelo y EKE la de menor peso.

Tabla 17. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-Azul- Final (variables predictoras). Significancia de la asociación ($p\text{-value}$) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de EKE, LUNA, LAT, LON, AÑO y TSM-TRIMESTRE.

<i>Prionace glauca</i>		
No.	PREDICTORES	p-value
1	EKE	0.01122 *
2	LUNA	2.8e-05 ***
3	LAT	0.00458 **
4	LON	0.00010 ***
5	AÑO	< 2e-16 ***
6	TSM-TRIMESTRE	0.00571 **

La Fig. 26 muestra el diagnóstico del modelo ajustado para los datos de CPUE de *P. glauca*.

La Fig. 26a compara los residuos del modelo con una distribución Binomial Negativa, donde se presentó el ajuste de la nube de puntos a la línea de cuantiles teóricos, la cual se ajusta en general a la CPUE del tiburón azul, mostrando unas colas en los extremos, donde en la parte superior estuvo más alejada de la línea teórica (cola derecha), mostrando que no hay un ajuste óptimo, probablemente debido a que en los últimos años -por ejemplo 2018- tenemos pocos muestreos y solo en el mes de agosto.

La Fig. 26b muestra los valores de los residuales (residuos vs el predictor lineal), donde se observa que los residuos se distribuyen uniformemente, mostrando que la varianza es constante. La concentración de valores que forman la línea recta en la parte media del gráfico pueden ser explicados por la presencia de ceros en los datos.

Se puede observar en la Fig. 26c el histograma de frecuencias de los residuales, donde las máximas frecuencias se concentran en los intervalos de -1.5 a 1, dibujando la distribución Binomial Negativa con una ligera cola a la derecha.

La Fig. 26d es una gráfica de respuesta frente a los valores ajustados (residuos vs ajuste), la cual muestra distribución casi uniforme, en los residuos de los valores ajustados de *P. glauca* en el periodo de 2008-2018. Los valores más alejados en la parte superior derecha pueden ser explicados por los pocos meses representados en los últimos años del estudio (2017 y 2018).

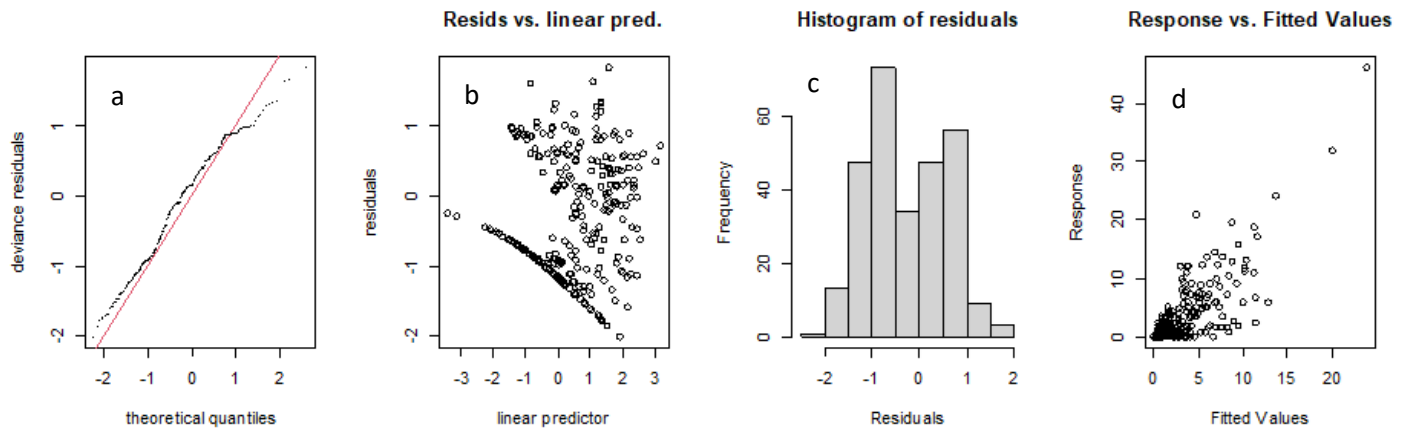


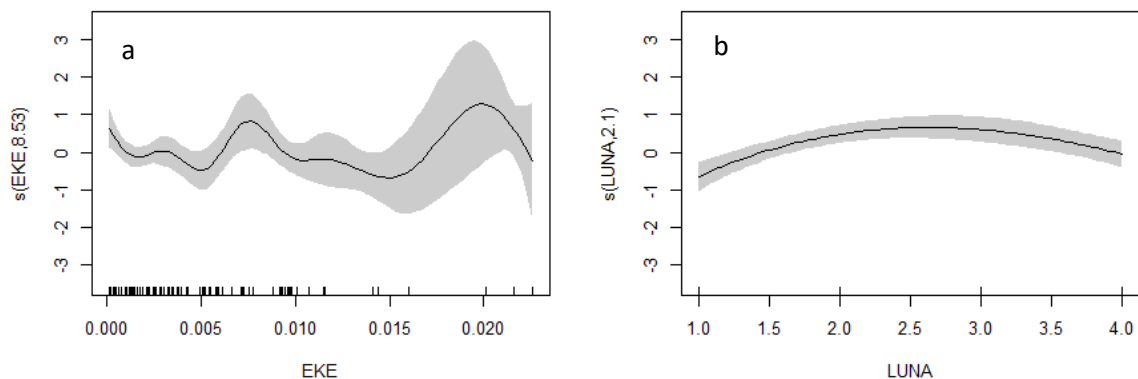
Figura 26. Gráficos de residuales del modelo (final) GAM-CPUE-AZUL con distribución de probabilidad Binomial Negativa, (a) grafica cuantil-cuantil, (b) residuales vs el predictor lineal, (c) histograma de frecuencias de los residuales y (d) residuos vs ajustes.

En la Fig. 27 se muestra mediante el paquete `gam.check()` los gráficos del modelo final para *Prionace glauca* en el periodo de estudio (2008-2018) en BSV.

El efecto del suavizador sobre la variable predictora EKE (Fig. 27a) indica que la mayor cantidad de datos (eje x) se encuentran en el intervalo de energía de los 0.001 a los 0.010 $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$, donde se observó una relación positiva de la CPUE del tiburón azul (0.005-0.010 $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) y donde se encuentra una alta confianza del modelo. El modelo predice que a mayores energías (0.015-0.020 $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) habrá un efecto positivo en la CPUE de *P. glauca*.

El efecto del suavizador sobre la variable predictora LUNA (Fig. 27b) mostró una relación positiva de la CPUE del tiburón azul con el ciclo lunar Creciente-Llena (2.0-3.0), es decir, cuando la influencia lunar se vuelve más intensa sobre el océano, esta, tuvo capturas positivas de tiburón azul en BSV en LM (2008-2018).

El efecto del suavizador sobre la variable predictora LAT (Fig. 27c), mostró capturas positivas de tiburón azul, aproximadamente a los 28.3° N y otro evento positivo a los 28.5° N con un intervalo de confianza ligeramente mayor respecto al primer efecto.



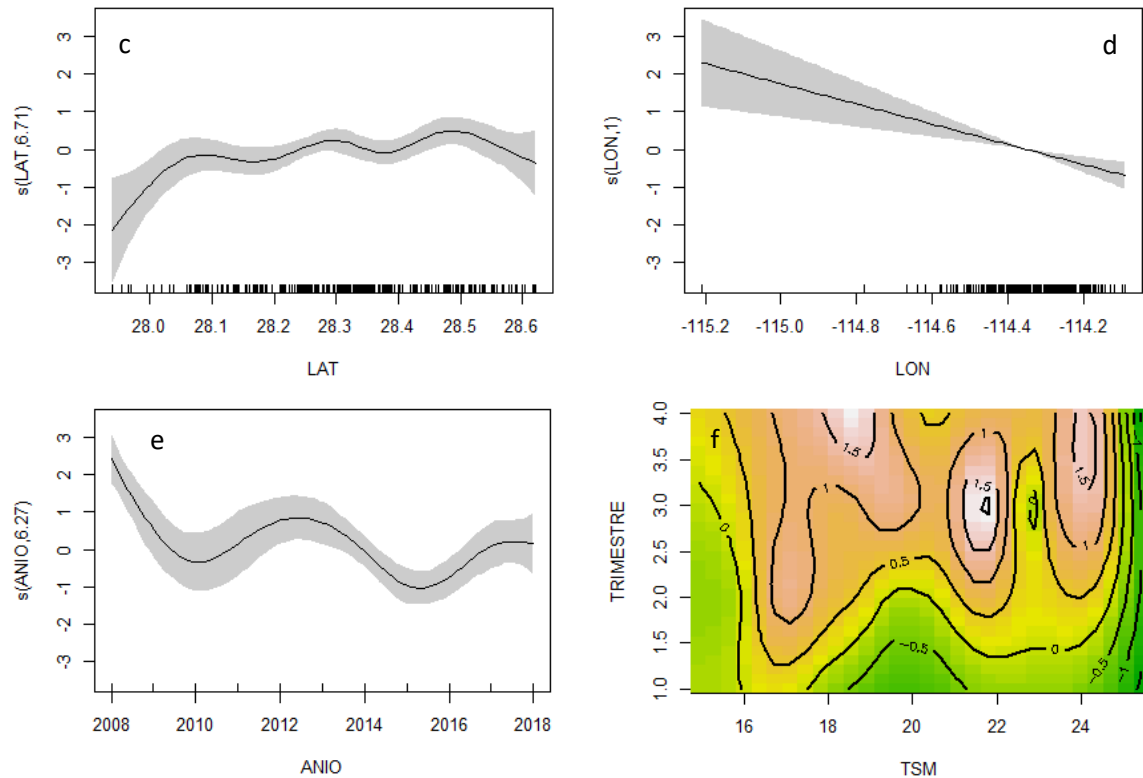


Figura 27. Gráficos del MODELO FINAL (GAM-CPUE-AZ) de respuesta parcial (línea negra continua) que muestran los efectos de las variables predictoras añadidas al modelo para la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *P. glauca* en BSV de la flota palangrera ribereña de LM durante el periodo 2008-2018. Las líneas grises son intervalos de confianza del 95%, las marcas en el eje x muestran la ubicación y la densidad de los datos. Los valores del eje y representan la suavidad del GAM.

El efecto del suavizador sobre la variable predictor LON (Fig. 27d), mostró una relación inversamente proporcional, donde tenemos la mayor cantidad de datos (eje x) concentrados entre los -114.5 a los -114.2° W. Tenemos un efecto positivo de la CPUE del tiburón azul a los -114.42° W, con un intervalo de confianza bastante estrecho.

El efecto del suavizador de la variable predictor (temporal) AÑO (Fig. 27e) sobre la CPUE de *P. glauca* presentó una relación positiva entre 2012-2014, con un estrecho intervalo de confianza.

El efecto del suavizador en la interacción de TSM-TRIMESTRE (Fig. 27f) permitió observar valores elevados de CPUE a los 17°C desde primavera a otoño (abril-diciembre). Se observó también que entre temperaturas de $18-20^\circ\text{C}$ se pueden encontrar las mayores CPUE del tiburón azul de mediados de verano a otoño (agosto-diciembre). Se observaron elevados CPUE a los 22°C , de primavera a mediados de otoño (abril-noviembre) y otro conjunto de valores altos de CPUE a los 24°C de mediados de primavera a otoño (mayo-diciembre).

6.5.2. Tiburón mako de aletas cortas (MAC).

Se realizaron rutinas de GAMs con la librería “*mgcv*” en R 4.0.2 para verificar la relación individual de cada variable predictora con la CPUE del tiburón MAC usando suavizadores gráficos (s) (Tabla 18). Esto con el fin de observar la significancia de cada variable (TSM, CHL, SURGENCIA, EKE, ELEVACION, LUNA, MES, TRIMESTRE, AÑO, LAT y LON). Para empezar a hacer las combinaciones pertinentes y encontrar el mejor modelo. también se consideraron los valores del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (DE%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (p-value), donde se obtuvieron las siguientes tablas:

Tabla 18. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-MAC (variables predictoras). El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (DE%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (p-value) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de la TSM, CHL, SURGENCIA, EKE, ELEVACION, LUNA, MES, TRIMESTRE, AÑO, LAT y LON.

<i>Isurus oxyrinchus</i>								
Modelo	Predictor	R ² adj	DE%	UBRE	df	AIC	F	p-value
1	TSM	0.318	41.6	0.7803	8.208	1343.551	27.66	<2e-16 ***
2	CHL	0.132	20.9	1.0212	6.8724	1426.781	8.332	<2e-16 ***
3	SURGENCIA	0.0075	4.94	1.0178	5.9608	1485.103	3.707	0.00358 **
4	EKE	0.0244	5.98	1.0267	8.3493	1485.304	2.912	0.00414 **
5	ELEVACION	0.0582	6.52	1.0216	6.9897	1479.969	3.403	0.00295 **
6	LUNA	0.14	11.3	1.0071	3	1457.405	45.63	<2e-16 ***
7	MES	0.14	26.6	0.9245	11.9299	1412.869	11.96	<2e-16 ***
8	TRIMESTRE	0.0788	15	1.014	4.8997	1445.044	19.87	<2e-16 ***
9	AÑO	0.266	28.6	0.8639	10.6451	1401.982	14.96	<2e-16 ***
10	LAT	0.0628	8.36	1.0337	10.2206	1481.431	3.348	0.000495 ***
11	LON	0.0037	0.86	1.01	3.8083	1493.921	0.812	0.396

El modelo con la variable predictora TSM explico el 41.6% de la devianza total explicada (DE%) de la CPUE del tiburón *I. oxyrinchus*, con un R^2_{adj} = 0.318 (Tabla 18), esta, fue variable más significativa (p-value <2e-16 ***) del modelo, con el valor más bajo de UBRE=0.7803 y AIC= 1343.551. La segunda variable predictora más significativa fue AÑO con el 28.6% (DE%) de la CPUE de *I. oxyrinchus*, con R^2_{adj} = 0.266, UBRE= 0.8639 y AIC= 1401.982 (Tabla 18).

La variable predictora menos significativa fue LON, con una devianza total explicada de 0.86 (DE%), R^2_{adj} = 0.0037, UBRE=1.01 y AIC= 1493.921. El resto de las variables predictoras tuvieron significancia con CPUE del tiburón MAC (Tabla 18).

Se realizaron 4 rutinas GAM de interacciones (LAT-LON, TSM-TRIMESTRE, SURGENCIA-TRIMESTRE y EKE-TRIMESTRE) con la CPUE del tiburón MAC (Tabla 19), y cuyo resultado fue que todas las interacciones fueron significativas, pero la que mejor

se ajustó al modelo fue la TSM-TRIMESTRE, con una devianza explicada de 45.7% y UBRE= 0.7512.

Tabla 19. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-MAC (interacciones). El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (DE%), la puntuación del estimador de riesgo no sesgado (UBRE), los grados de libertad (df), la prueba F (F) y la significancia de la asociación (p-value) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de la SURGENCIA, EKE, TSM, CHL, LAT-LON, ELEVACION, TRIMESTRE, LUNA y AÑO.

<i>Isurus oxyrinchus</i>								
Modelo	Predictor	R ² adj	DE%	UBRE	df	AIC	F	p-value
1	LAT-LON	0.082	12.2	1.0558	15.966	1477.371	1.849	0.0176 *
2	TSM-TRIMESTRE	0.322	45.7	0.7512	18.9038	1348.403	10.94	<2e-16 ***
3	SURGENCIA-TRIMESTRE	0.0918	21.1	0.9509	8.6337	1428.565	11.76	<2e-16 ***
4	EKE-TRIMESTRE	0.113	16.7	1.0168	5.6724	1439.773	16.92	<2e-16 ***

Posteriormente, mediante el método *Stepwise* (como en el tiburón azul), se realizaron los modelos necesarios (datos no mostrados) para llegar a un modelo aceptable (Tabla 20) de las interacciones que son significativas para el tiburón MAC, donde se encontró que, modelo final mostró una devianza total explicada de 57.8%, un R^2_{adj} = 0.37 y con el menor valor de UBRE y AIC de todos los modelos generados.

Tabla 20. Resumen del GAM final (TSM, EKE, AÑO, LAT-LON y SURGENCIA-TRIMESTRE ajustado a datos de CPUE de *I. oxyrinchus* en LM, en BSV (2008-2018). Para cada término del modelo se muestra el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el porcentaje de devianza total explicada (DE%), los grados de libertad (df) y el criterio de información de Akaike (AIC).

<i>Isurus oxyrinchus</i>					
MODELO FINAL	R ² adj	DE%	UBRE	df	AIC
CPUEMK~s(TSM) + s(EKE) +s(AÑO) +... ... s(LAT,LON) + s(SURGENCIA, TRIMESTRE)	0.37	57.8	0.6251	38.7909	1338.26

Se muestra en la Tabla 21 que la variable que más significancia tuvo el modelo final fue la TSM (p -value < 2e-16 ***), seguido de la interacción LAT-LON (p -value= 0.00325 **) y en tercer lugar de significancia fue la variable AÑO (p -value= 0.00429 **), siendo EKE la variable menos significativa del modelo final (p -value= 0.05462.).

Se eligió el mejor modelo final (Tabla 20) con un mejor ajuste en las variables predictoras, donde se encontró que las variables que mejor describen la CPUE del tiburón MAC son:

- 1) TSM
- 2) LAT-LON
- 3) AÑO
- 4) SURGENCIA-TRIMESTRE
- 5) y EKE

y ese fue el orden (mayor a menor influencia) del peso de las variables predictoras sobre la CPUE del tiburón MAC, demostrándose que la variable TSM fue la de mayor peso en el modelo y EKE la de menor peso en el modelo.

Tabla 21. Significancia aproximada de los términos de suavizado del GAM-CPUE-MAC- Final (variables predictoras). Significancia de la asociación (*p-value*) se presentan mediante los códigos "0", ***0,001; **0,01; *0,05; ".", 0,1; "1" para las variables predictoras de TSM, EKE, AÑO, LAT-LON y SURGENCIA-TRIMESTRE.

<i>Isurus oxyrinchus</i>		
No.	PREDICTORES	p-value
1	TSM	< 2e-16 ***
2	LAT-LON	0.00325 **
3	AÑO	0.00429 **
4	SURGENCIA-TRIMESTRE	0.02692 *
5	EKE	0.05462 .

La Figura 28 muestra el diagnóstico del modelo ajustado para los datos de CPUE de *I. oxyrinchus*.

La Fig. 28a comparó los residuos del modelo con una distribución Binomial Negativa, donde se presentó el ajuste de la nube de puntos a la línea de cuantiles teóricos, la cual siguen de forma general el patrón de la línea diagonal indicando un ajuste moderado de la CPUE del tiburón MAC, mostrando unas colas en los extremos, donde en la parte superior estuvo más alejada de la línea teórica (cola a la derecha), mostrando que no hay un ajuste óptimo, probablemente debido a que en los últimos años tenemos pocos muestreos y en pocos meses representados de capturas.

La Fig. 28b mostró los valores de los residuales (residuos vs el predictor lineal), donde se observó que los residuos se distribuyen uniformemente mostrando que la varianza es constante. La concentración de valores que forman la línea recta en la parte media del gráfico pueden ser explicados por la presencia de ceros en los datos.

Se pudo observar en la Fig. 28c el histograma de frecuencias de los residuales, donde las máximas frecuencias se concentran en los intervalos de -1 a 1, dibujando la distribución Binomial Negativa.

La Fig. 28d es una gráfica de respuesta frente a los valores ajustados (residuos vs ajuste), la cual mostró distribución uniforme en los residuos de los valores ajustados de *I. oxyrinchus* en el periodo de 2008-2018.

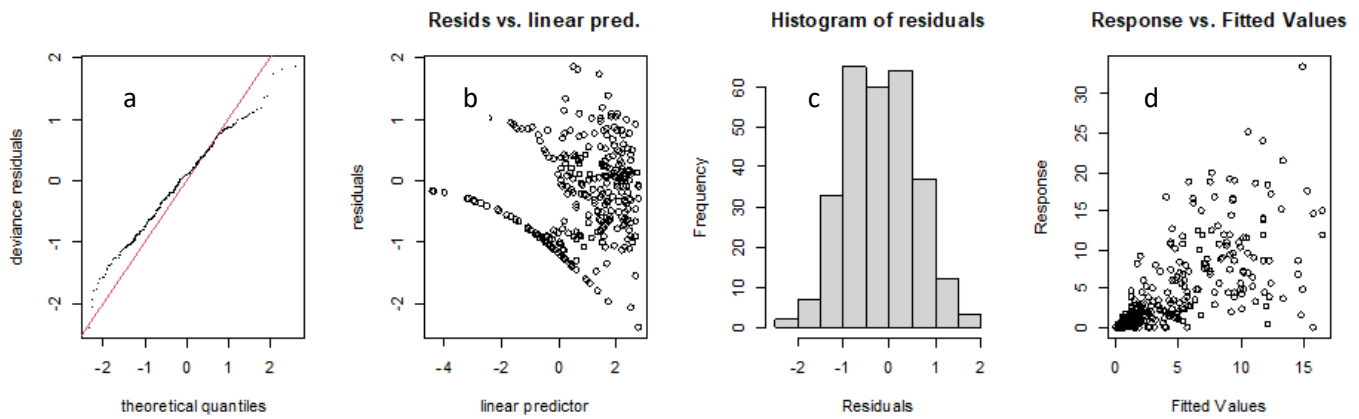


Figura 28. Gráficos de residuales del modelo (final) GAM-CPUE-MAC con distribución de probabilidad Binomial Negativa, (a) grafica cuantil-cuantil, (b) residuales vs el predictor lineal, (c) histograma de frecuencias de los residuales y (d) residuos vs ajustes.

En la Fig. 29 se muestra mediante el paquete `gam.check()` en R 4.0.2 los gráficos del modelo final para *Isurus oxyrinchus* en el periodo de estudio (2008-2018) en BSV.

El efecto del suavizador sobre la variable predictora TSM (Fig. 29a) indica que la mayor cantidad de datos (eje x) se encuentran en el intervalo de los 22-24 °C, que sugiere o indica una relación positiva con la CPUE del tiburón MAC. El efecto del suavizador sobre la variable predictora EKE (Fig. 29b) mostró una relación positiva de la CPUE en el intervalo de EKE de los 0.001-0.005 $m^2 s^{-2}$, es decir, en bajas energías se observaron valores positivos de capturas.

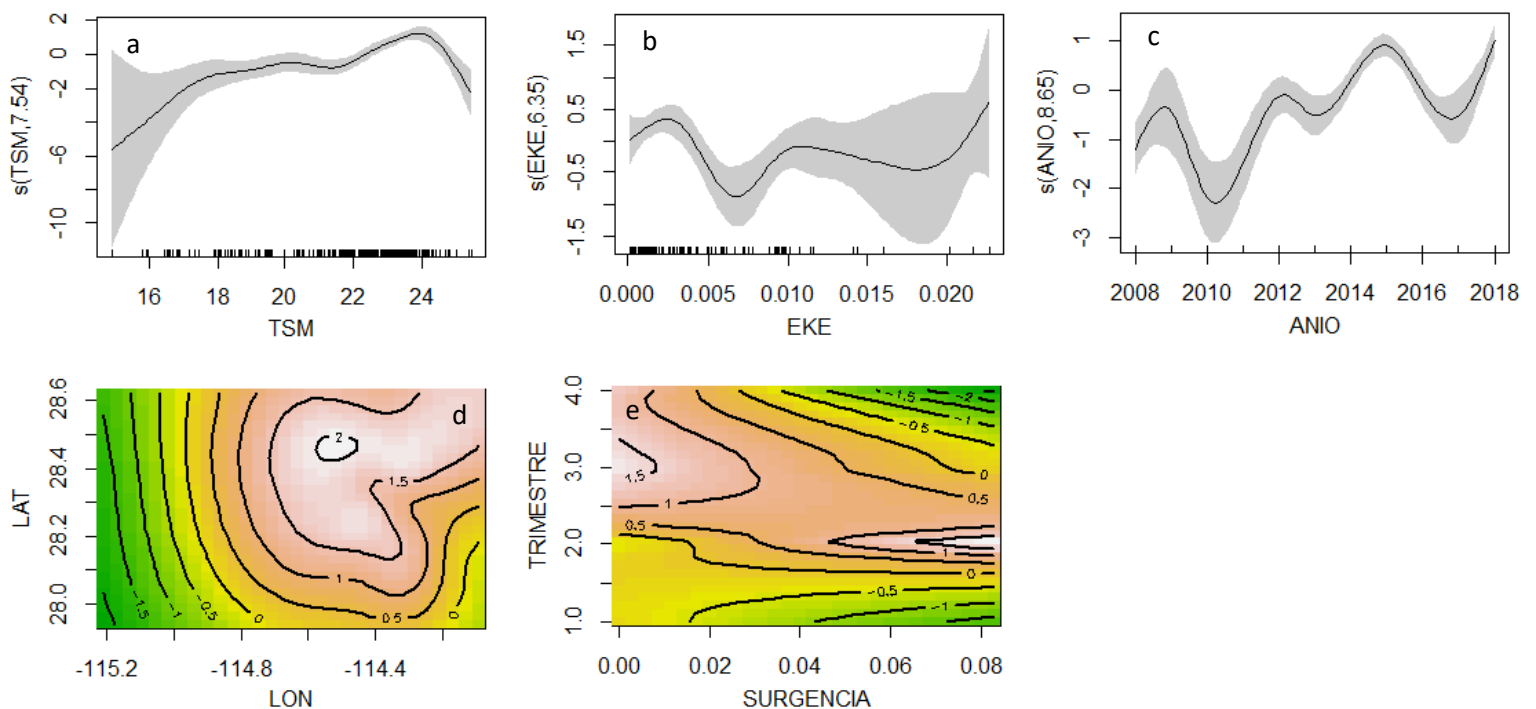


Figura 29. Gráficos del MODELO FINAL (GAM-CPUE-MK) de respuesta parcial (línea negra continua) que muestran los efectos de las variables predictoras añadidas al modelo para la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *I. oxyrinchus* en BSV realizada por la flota palangrera ribereña de LM durante el periodo 2008-2018. Las líneas grises son intervalos de confianza del 95%, las marcas en el eje x muestran la ubicación y la densidad de los datos. Los valores del eje y representan la suavidad del GAM.

El efecto del suavizador sobre la variable predictora AÑO (Fig. 29c), muestra dos picos de capturas positivas de tiburón MAC, el primero en 2012 con un intervalo de confianza relativamente estrecho y el segundo pico del 2014-2015, donde hubo valores positivos de CPUE de este tiburón.

En la Fig. 29d (variable predictora LON) se pudo observar que existió una zona o núcleo de agregación de valores máximos de CPUE de *I. oxyrinchus*. Esta zona quedó ubicada a los 28.5° N, 114.5° W, frente a desembarcadero de Miller, lo cual podría sugerir que este tiburón permanece entre el límite físico de la surgencia costera (100 m de profundidad) que está en contacto con la influencia del remolino anticiclónico en la parte norte de este.

Además, valores relativamente altos de CPUE (en profundidades de 50-100 m) (Fig. 29d) indicaron que tal vez existió un corredor desde Santa Rosalita, bajando hacia el sur frente a LM. Probablemente hubo movimiento del tiburón MAC entre estas dos masas de agua a lo largo de los once años de estudio (2008-2018), debido a que es tolerante a las diferencias térmicas del medio que le rodea (endotermia). Se puede destacar que, el modelo GAM indicó que los mayores valores de CPUE del tiburón MAC se mantuvieron fuera de la influencia de la lente o núcleo cálido del remolino anticiclónico de BSV, que ha sido reportado a ~25 km al este de Isla Cedros (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995).

El efecto del suavizador de la interacción entre SURGENCIA-TRIMESTRE (Fig. 29e) mostró altas concentraciones de CPUE de *I. oxyrinchus* desde mediados de primavera (abril-junio) hasta invierno (enero-marzo) en valores de 0.001-0.03 $m\ s^{-1}$ y concentraciones positivas (relativamente más bajas) de CPUE entre 0.05-0.08 $m\ s^{-1}$ de la surgencia costera en primavera (abril-junio).

6.5.3. Comparación de los modelos finales del GAM del tiburón azul y mako de aletas cortas (mejor ajuste de modelo) en el periodo de estudio 2008-2018 en BSV.

El mejor modelo ajustado de todas las rutinas para ambos tiburones fue el de tiburón MAC, con una devianza total explicada de 57.8%, un $R^2_{adj}= 0.37$ y el menor valor de UBRE (0.6251) (Tabla 20) en comparación con el modelo final de tiburón azul que tuvo una devianza total explicada de 53.5%, un $R^2_{adj}= 0.537$ y UBRE= 0.7696 (Tabla 16). Los modelos finales de ambos tiburones mostraron que las variables predictoras que afectaron a ambos tiburones fueron TSM, EKE y AÑO (Tabla 17 y 21) en mayor o menor medida.

La variable predictora LUNA solo se correlacionó con la CPUE del tiburón azul, siendo la fase de “Creciente-Llena” el periodo donde hubieron CPUEs positivas para esta especie (Fig. 27b).

La Fig. 27a y 29b mostraron un patrón inverso en los suavizados de la variable predictora EKE en relación con la CPUE del tiburón azul y del MAC. Se puede observar en ambos gráficos que aproximadamente en el mismo intervalo de valores de EKE (entre $0.005-0.0010 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$), la CPUE de *P. glauca* aumenta de manera positiva y disminuye de manera negativa la CPUE de *I. oxyrinchus*. A altas energías ($>0.020 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$) los modelos predicen que la CPUE del tiburón azul será positiva y negativa para el tiburón MAC.

La Fig. 30 mostró los resultados del GAM para ambos tiburones, observándose que para la CPUE del tiburón azul la fase fría de “La Niña” (2008-2009), afectó de manera negativa (Fig. 30a), mientras que para el tiburón MAC hay un incremento en la CPUE para el mismo periodo (Fig. 30b).

En 2009-2010 tenemos la presencia del evento cálido “El Niño” donde la CPUE del tiburón azul es ligeramente afectada de manera negativa (Fig. 30a), mientras que para el mismo periodo la CPUE del tiburón MAC es afectada también de manera negativa en mayor medida (Fig. 30b).

En 2012 se observó una fase de ENSO neutral (Martínez-Fuentes, 2015), en la cual ambas especies tuvieron una relación positiva de la CPUE, siendo el preludeo para la llegada de los eventos “The Blob” y “El Niño” en 2013-2016, donde se puede observar la relación inversa que se presentó entre las capturas (CPUE) de ambas especies de tiburones (Fig. 30a y 30b). Los datos mostraron que la CPUE del tiburón azul disminuyó, mientras que la del tiburón MAC aumentó, presentándose las mayores capturas para *I. oxyrinchus*, probablemente debido a su condición endotérmica lo cual le permitió ocupar este nicho ecológico en BSV.

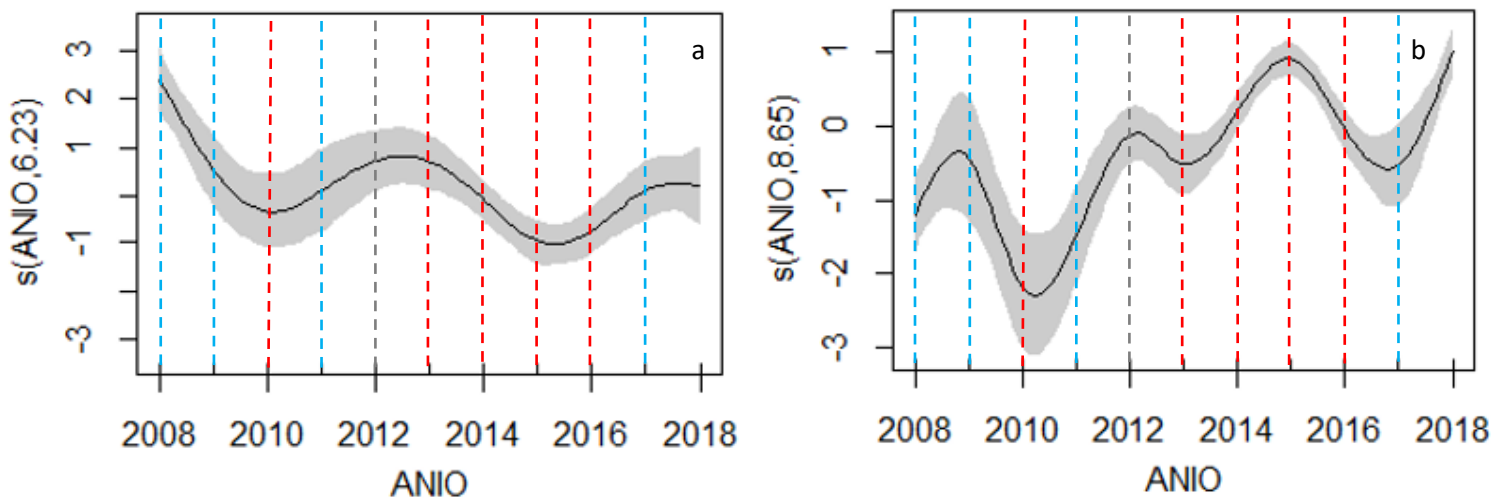


Figura 30. Comparación de los GAMs de tiburón azul (a) y mako de aletas cortas (b) con la presencia de los eventos climáticos “La Niña”, “El Niño”, ENSO neutral y “The Blob” en el periodo 2008-2018 en BSV. La línea azul muestra la fase fría de “La Niña”, la línea roja muestra la fase cálida de “El Niño” y la línea gris representa el ENSO neutral.

7. DISCUSION.

7.1. Razón sexual y estructura de tallas de captura de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV (2008-2018).

En el periodo 2008-2018 se muestrearon en BSV 1,265 tiburones juveniles, 500 tiburones azules ($h=305$, $m=195$), con intervalos de tallas de 55-190 cm LPC y con un promedio de 110.0 ± 25.29 (ambos sexos), teniendo que las hembras tuvieron un promedio de tallas de 112.7 ± 24.5 y los machos 106.3 ± 26.1 cm LPC.

La proporción sexual por años para los juveniles (*P. glauca*) fueron dominados por las hembras de 1H:0.64 M (Tabla 4), en el periodo de estudio (2008-2018), concordando con lo reportado por Godínez-Padilla (2017), quien encontró que las hembras de *P. glauca* dominaron 1H:0.96M de 2006-2016 en la costa occidental de la Península de Baja California (COPBC), México, donde estos tiburones fueron < 200 cm, lo que indica que probablemente se pueden encontrar especímenes de hembras influenciadas por distintas variables ambientales y espaciotemporales para su reproducción y eventual zona de crianza de juveniles en BSV.

Se ha demostrado (Vögler-Santos (2011) que en el Pacífico Noreste frente a México representa un hábitat crítico para *P. glauca*, con una gran importancia en su ciclo reproductivo, especialmente como área de cría de juveniles y posiblemente de partos (Nakano 1994), donde la zona de transición tropical-subtropical en el Pacífico Noreste está bien definida y caracterizada por la presencia de agregaciones semipermanentes de juveniles (ambos sexos) (Vögler-Santos (2011), concordando con Litvinov (2006) quien indica que la presencia de juveniles de *P. glauca* en aguas costeras en zonas subtropicales está situada en el borde este de los océanos Pacífico y Atlántico, donde dichas agregaciones fueron confirmadas en ambos hemisferios.

En 2008 la razón sexual de los tiburones juveniles de azul estuvo dominada por hembras (1H:0.43M) con un intervalo de tallas de 105-145 cm LPC (Fig. 4) con un $P=0.05$, $X^2= 18.24$ (Tabla 3) y con $n= 116$, concordando con Vögler-Santos (2011), quien reportó (para el mismo año) una proporción sexual de hembras juveniles de tiburón azul de 1H:0.49M ($P=0.05$), con $n= 106$, en aguas costero-oceánicas en el Pacífico Noroeste, concordando también con lo observado por Godínez-Padilla (2017) quien encontró una razón sexual similar para el mismo año con la presencia de la condición fría de “La Niña”, lo cual sugiere que probablemente las hembras adultas dan a luz a una mayor cantidad de hembras durante los periodos fríos en BSV.

En el presente estudio se observó que la razón sexual (Tabla 4) fue muy similar para los años 2008, 2017 y 2018 (con un n similar) dominando las hembras juveniles en la

submuestra de tallas de LPC (1H:0.64M) del tiburón azul en LM, en BSV (2008-2018), coincidiendo con los resultados de Vögler-Santos (2011); Godínez-Padilla *et al.*, (2022) y Guerrero-Maldonado (2005). Tales resultados en nuestro estudio pueden tener por explicación la influencia del evento frío de “La Niña” registrado en 2008-2009 y 2016-2017, el cual probablemente favorece al nacimiento de más hembras en BSV.

Se observó en el año 2015 (Fig. 4) que (con $n=50$) los machos dominaron a una razón de 1H:15M ($X^2=36.75$, $P=0.05$) (Tabla 3), habiendo tres veces más machos que hembras - probablemente debido a que el tamaño de la muestra es pequeño- con un intervalo de tallas en hembras de 100-175 cm LPC y en machos de 90-190 cm LPC, coincidiendo con Godínez-Padilla *et al.*, (2017), donde, indicaron que los mayores promedios en tallas de capturas para *P. glauca* en la costa occidental de la Península de Baja California se reportaron en 2016 (hembras y machos) (Tabla 2), aunque, en nuestro estudio no se registraron LPC en 2016, además que diferimos en que este autor uso la LT.

Dados nuestros resultados encontrados en los intervalos de tallas de LPC (Fig. 4) en hembras y machos de *P. glauca* para el año 2015, donde el número de machos fue tres veces mayor (con $n=50$) que las hembras y en relación al estudio de Vögler-Santos (2011), donde se indica que en aguas costero-oceánicas la segregación sexual de *P. glauca* provoca que los machos se distribuyan en un estrato de menor profundidad que las hembras, esto sugiere que en los años donde el agua en BSV fue más cálida debido a la presencia de las masas de agua “The Blob” y “El Niño” (2013-2016), probablemente las hembras buscaron aguas más profundas o alejadas de la costa, capturándose más machos juveniles que hembras en ese año en BSV. Aunque cabe mencionar que este autor también indica que la presencia o ausencia temporal de las agregaciones de juveniles podría relacionarse con su permanencia estacional dentro de las zonas subtropicales.

Nuestra hipótesis de la segregación de hembras y machos de *P. glauca* en 2015 difiere de los propuesto por Litvinov (2006), quien indicó en su estudio en el Atlántico oriental que la segregación de las hembras juveniles implicó que estas permanecieron cercanas a la costa, mientras que los machos juveniles se distribuyeron hacia el océano abierto.

También propone Litvinov (2006) que esta segregación ocurre en tallas inferiores a los 70 cm y que al alcanzar una longitud de 160-190 cm estos parten hacia agua oceánicas, contrastando con nuestros resultados donde pudimos observar (Fig. 5) que el intervalo de tallas de LPC en hembras de *P. glauca* estuvo concentrado desde los 70-150 cm de LPC, siendo este más amplio que el de los machos, donde las tallas se concentraron en el intervalo de los 70-110 cm LPC en el periodo de estudio (2008-2018), lo cual demuestra que un mayor número de hembras tuvieron un intervalo de tallas más amplio que los machos, siendo estas en su mayoría más grandes que los machos en nuestro estudio.

Nuestros resultados son similares a lo que reporta Godínez-Padilla *et al.*, (2022) quien analizó capturas de juveniles hembras de *P. glauca* a lo largo de la península de BC desde los 25° N hasta la frontera con EE. UU., con tallas de 58-199 cm LT y machos de 60-179 cm LT, contrastando con nuestro estudio donde se observó tallas en hembras de 60-170 cm LPC y machos 70-190 cm LPC, indicando que las capturas estuvieron compuestas principalmente de hembras juveniles (Fig. 5).

Guerrero-Maldonado (2005) mediante el análisis de la demografía del tiburón azul tanto para la flota industrial como la artesanal (1998-2004) en el Pacífico mexicano, encontró que la composición de edad que asignó a juveniles menores a cinco años (<194 cm LT), donde encontró varios patrones en la composición de edades a lo largo de su zona de estudio, señalando la incidencia de estos a partir del paralelo 28° N (división del estado de BC) y hacia el norte, fue de tiburones juveniles de 0-3 años de edad, con una proporción sexual casi 1H:1M cerca de la costa, contrastando con nuestra zona de estudio y nuestros valores de proporción sexual y tallas de LPC (Tabla 2 y 4), lo cual sugiere que los juveniles de *P. glauca* utilizan BSV como una zona ideal de crianza y crecimiento rápido como indica Castillo-Géniz *et al.*, (2017).

La presente investigación encontró el mismo comportamiento de agregación de tiburones azules juveniles descritos anteriormente por Guerrero-Maldonado (2005), Vögler-Santos (2011), Castillo-Géniz *et al.*, (2017) y Godínez-Padilla (2017) en el Pacífico Norte mexicano.

Los tiburones MAC que se muestrearon en el periodo 2008-2018 fueron 765 (h=405, m=360), con intervalos de tallas de 55-205 cm LPC y con un promedio de 104.7 ± 19.5 , teniendo que las hembras tuvieron un promedio de tallas de 104.3 ± 19.5 y los machos 105.04 ± 19.6 cm LPC. En nuestra investigación encontramos que los juveniles de *I. oxyrinchus* fueron dominados por machos de 1H:1.13M (Tabla 7) para el periodo de estudio 2008-2018, aunque tal evidencia puede ser debatible debido a los sesgos de la información en los años de muestreo, donde, por ejemplo, en 2018 solo se muestreo el mes de agosto, y en 2012 y 2013 no se tuvieron muestreos de tallas ni de sexos en BSV, debido a cuestiones de presupuesto y logística.

Nuestros intervalos de tallas de LPC (55-205 cm) (Tabla 7) de *I. oxyrinchus* pueden contrastarse con lo encontrado por Medina-Trujillo (2003), quien indicó en su estudio en el Pacífico Nororiental, mediante telemetría satelital, donde utilizando la información de once hembras marcadas con un intervalo de tallas de 160-220 cm LT (ninguna sexualmente madura), encontró que estos tuvieron un comportamiento más costero todo el año, probablemente debido a la función del área como zona de crianza de los juveniles, donde, confirmamos en nuestro estudio la presencia semipermanente del tiburón MAC en BSV en nuestro periodo de estudio (2008-2018), concordando con Carreón-Zapiain *et al.*, (2018),

quien indicó que los juveniles de tiburón MAC (1 año) tienden a desplazarse hacia el norte en el océano Pacífico mexicano, a medida que aumenta la TSM y concordando con la ocupación de posibles hábitats de zonas de cría para esta especie.

En 2014 (año “The Blob”) encontramos que los promedios más altos para hembras y machos de *I. oxyrinchus* fueron de 122.4 ± 17.4 cm y 126.4 ± 20.2 cm LPC (respectivamente) (Tabla 5). Los promedios de intervalo de tallas de LPC que dominaron en BSV para este tiburón fueron 104.3 ± 19.5 en hembras y 105.04 ± 19.6 en machos para todo el periodo de estudio (2008-2018), donde los machos dominaron sobre las hembras en toda la muestra de tallas de LPC (1H:1.13M) (Tabla 7).

Tanto el tiburón azul y el MAC coinciden en que en 2015 fue el año donde dominaron los machos en las tallas, con un intervalo de 90-190 cm de LPC (Tabla 21) y 55-150 cm de LPC, (respectivamente) (Tabla 24), y por ello, se capturaron individuos más grandes de tiburones azules, que MAC en BSV.

La razón de la dominancia de machos juveniles de ambas especies (*P. glauca* e *I. oxyrinchus*) en BSV, no es clara, pero podría existir la probabilidad de que las altas TSM en el periodo de la sinergia de “The Blob” y “El Niño” (2013-2016), ocasionó una efímera, pero marcada segregación sexual de juveniles, la cual quedó bien representada en la submuestra de tallas de nuestro estudio.

Las capturas de *P. glauca* de las embarcaciones artesanales se sustentaron principalmente en juveniles (Cartamil, *et al.*, 2011; Godínez-Padilla *et al.*, 2022) a lo largo de la costa occidental de la península de BC (WCBCP) concordando con nuestros resultados de estructura de tallas de LPC (Fig. 5), coincidiendo también en juveniles capturados de tiburón MAC en BSV en el periodo 2008-2018. Godínez-Padilla *et al.*, (2022) indican que esto puede explicarse debido la elevada producción biológica generada por los sistemas de surgencias costeras inducidas por el régimen de vientos en la plataforma continental (~200 m), donde también se puede encontrar en la WCBCP a pequeños cangrejos pelágicos (*Pleuroncodes planipes*) los cuales son parte de la dieta de peces pelágicos migratorios como *P. glauca* (Lara-Lara *et al.*, 2008).

Dadas las condiciones de elevada producción biológica antes mencionadas, Nakano y Seki (2003) y Godínez-Padilla y colaboradores (2022) indican que las hembras grávidas de *P. glauca* eligen estas zonas para alimentarse y dar a luz a sus crías, donde los neonatos o juveniles tempranos pueden explotar estos hábitats como “zonas de crianza” que les permite desarrollar sus metabolismos hasta tener la energía suficiente para poder luego migrar a regiones oceánicas donde viven los adultos.

Se ha demostrado que en los bordes de las corrientes marinas (en zonas tropicales, subtropicales y subárticas), la alimentación puede influir en las tallas de *P. glauca*, como lo demostró Godínez-Padilla y colaboradores (2022), además que los juveniles de tiburón azul

se han documentado en regiones costeras que se caracterizan por poseer condiciones óptimas de crecimiento debido a la alta disponibilidad de presas asociadas a características físicas como islas, montes submarinos y procesos oceanográficos locales (Litvinov, 2006; Maxwell *et al.*, 2019; Godínez-Padilla *et al.*, 2022).

Nuestro estudio (2008-2018) es el primero en el océano Pacífico Norte mexicano, en la Bahía de Sebastián Vizcaino, en reportar la estructura de tallas y proporciones sexuales de *P. glauca* e *I. oxyrinchus* en la pesca ribereña artesanal en LM.

7.2. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *Prionace glauca* e *Isurus oxyrinchus* (2008-2018).

En el presente estudio se calculó el mayor promedio de CPUE del tiburón azul el cual fue 10.99 ± 11.15 tiburones por cada 100 anzuelos para el mes de agosto (verano) de 2008 (año “La Niña”) (Fig. 11) concordando con Godínez-Padilla (2017) -en el mismo año-, además de coincidir en reportar una disminución de la CPUE al año siguiente (2009), esta disminución en la CPUE probablemente fue debida al aumento de la TSM con la llegada de la condición “El Niño” en (2009-2010), aunque se debe recalcar que este autor analizó la pesca de *P. glauca* de mediana altura en la costa occidental de la Península de BC.

También se observó en nuestro estudio que el promedio máximo de CPUE del tiburón MAC se calculó en el mes de agosto de 2018 con 10 ± 7.86 tiburones por cada 100 anzuelos (Fig. 12), aunque este resultado puede ser debido a que el tamaño de muestra se enfocó solo en el mes de agosto lo cual provoca un sesgo en los datos.

Los valores mínimos (promedios) de CPUEs de ambas especies coincidieron en invierno, esto debido a un tamaño de muestra pequeño, ya que solo hubo cuatro viajes de pesca en esta estación (datos no mostrados), por lo que se optó por omitir el trimestre de invierno en los análisis de CPUE.

Los promedios anuales indicaron una disminución de la CPUE de *P. glauca* en el periodo 2013-2016 donde se registró “El Blob” y “El Niño” (Gómez-Ocampo, 2017), teniendo los promedios mínimos de CPUE en el periodo de estudio (2008-2018) (Fig. 16), concordando con lo expuesto en Godínez-Padilla (2017) quien encontró que en el periodo (2013-2015) la CPUE del tiburón azul tuvo efectos negativos en la costa occidental de la Península de BC, aunque otros autores (Carey *et al.*, (1990); Compagno *et al.*, (2005) y Nakano y Seki (2003)) han caracterizado la distribución de *P. glauca* preferentemente en aguas templadas, probablemente tal efecto negativo en la CPUE de nuestro estudio puede explicarse a que los juveniles de tiburón azul son más sensibles a los aumentos repentinos o bruscos en la TSM.

En el caso de tiburón MAC, fue lo opuesto, su CPUE aumentó en este mismo periodo (2013-2016), estimándose sus valores máximos en 2015 (Fig. 16). En su estudio Gómez-Ocampo (2017), indicó que, debido a la presencia de estas masas de agua cálidas, la cadena trófica sufrió afectaciones desde la base primaria en el fitoplancton. Se debe recalcar que

existe un desfase entre la producción primaria y la asimilación de la energía en los niveles superiores de consumidores tope como los tiburones pelágicos.

Fue evidente la disminución de las capturas de tiburón azul (2015), como se puede observar en sus valores de CPUE (Fig. 16), mientras que los valores del tiburón MAC aumentaron en la misma zona de pesca en BSV para el mismo año. Es probable que las altas temperaturas que se generaron a causa de “La Mancha de agua cálida” (“The Blob”) proveniente del norte y el efecto del Niño del sur hayan obligado al tiburón azul a desplazarse por fuera de BSV o mayores profundidades por cuestiones fisiológicas (Braun *et al.*, 2019) donde los equipos de pesca no pudieron capturarlo.

Al abandonar el tiburón azul el nicho ecológico de BSV (2015) pudo haber permitido que los juveniles del tiburón MAC ocupasen dicho espacio en gran número, debido a su capacidad de habitar en aguas frías o cálidas (endotermia) (Compagno, 2001; Carey *et al.*, 1978), lo que generó un aumento en sus capturas por la flota artesanal de LM. Es importante mencionar que los muestreos anuales de los desembarques de las capturas de esta flota artesanal en el periodo 2008-2018 demostraron que ambas especies se encuentran presentes en BSV a lo largo de todo el año.

La presencia de *I. oxyrinchus* en BSV siempre se ha reportado en otoño (Fig. 14), con sus mayores capturas, pero en los años de la presencia de “La Mancha de agua cálida” (“The Blob”) y El Niño (2013-2016), fue evidente un aumento considerable en sus capturas por embarcación (Fig. 15), no obstante, existen muchos huecos de información referentes a esta especie. Un estudio destacado es Carreón-Zapiain *et al.*, (2018) quien indicó que en el océano Pacífico Norte, *I. oxyrinchus* presentó una migración de juveniles de edad 0 y 1 año, en relación con el aumento de la TSM, además, esta autora indicó que existe la posibilidad de que los juveniles migren en respuesta al movimiento de peces más pequeños que sirven de alimento y que a su vez buscan aguas ricas en nutrientes como zonas de surgencias coteras en la Corriente de California.

Nuestro estudio es el primero en el océano Pacífico Norte mexicano, en la Bahía de Sebastián Vizcaíno en reportar la CPUE de juveniles *P. glauca* e *I. oxyrinchus* en la pesca artesanal ribereña de LM.

7.3. Variables de estudio en BSV (2008-2018).

De acuerdo con Gaxiola-Castro *et al.*, (2008) la SURGENCIA se caracteriza por un ligero pero persistente esfuerzo del viento desde el Noroeste a lo largo de la costa, generándose surgencias principalmente en primavera y verano, siendo similar a nuestro estudio, donde nuestros datos sugieren que la SURGENCIA tuvo eventos de relajación (menores valores) de noviembre a mayo (otoño-primavera), donde se observó que los mayores promedios de CHL sucedieron de abril a junio (primavera), con el mayor promedio de la CHL de $1.51 \pm 1.33 \text{ mg m}^{-3}$ en junio, mientras que el menor promedio se observó en noviembre (otoño) con $0.27 \pm 0.01 \text{ mg m}^{-3}$ (Fig. 21d), coincidiendo con Martínez-Fuentes (2015), quien indicó que el mayor promedio de la CHL en BSV fue 0.2 mg m^{-3} en abril y el menor en octubre (otoño) con -0.3 mg m^{-3} .

Zaytsev y colaboradores (2003) lograron observar en su investigación en la costa de la Península de BC -al igual que en nuestro presente estudio- que el proceso de afloramiento costero tiene su máxima intensidad en primavera (abril a junio) (Fig. 19a) Cabe resaltar que, en nuestro estudio, el periodo de máximas EKE fue de mayo-septiembre (primavera-verano) (Fig. 21b).

Observamos que, el menor promedio de la EKE fue en diciembre (otoño) (Fig. 21b) con $3.73 \times 10^{-4} \pm 0 \times 10^0 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, mientras que el mayor promedio se presentó en julio (verano) con $6.79 \times 10^{-3} \pm 6.32 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, coincidiendo con el periodo de generación de surgencias costeras en la zona sur del SCC que exponen Gaxiola-Castro *et al.*, (2008) y Martínez-Fuentes (2015), aunque esta última autora, describió en su estudio la relación de la SURGENCIA mediante la CHL en BSV en el periodo 1997-2012.

El promedio mínimo de SURGENCIA (valores negativos) se observó en 2014 (sinergia de “The Blob” y “El Niño”) con $-3.83 \times 10^{-7} \pm 8.2 \times 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$, sugiriendo el evento de relajación de la surgencia costera para todo el periodo de estudio (2008-2018) (Tabla 11). Este evento coincidió también con el mayor promedio de la EKE que fue $1.1 \times 10^{-2} \pm 5.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ en el mismo año (2014) y para todo el periodo de estudio (Tabla 11), lo cual podría sugerir que el viento que es el principal mecanismo del desarrollo de la surgencia costera y aportó la energía necesaria a la vorticidad del remolino, el cual probablemente debido a las altas TSM de BSV en 2014 y por el efecto de estas dos masas de agua, disminuyó la densidad del agua y por ende probablemente la velocidad de rotación del remolino anticiclónico aumentó junto con su termodinámica.

En 2015 y 2016 se observó la relajación de la SURGENCIA con $3.44 \times 10^{-6} \pm 6.38 \times 10^{-6}$ y $4.24 \times 10^{-6} \pm 3.03 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ (respectivamente), coincidiendo con una disminución en el promedio de la EKE con $2.5 \times 10^{-3} \pm 3.0 \times 10^{-3}$ y $5.9 \times 10^{-3} \pm 3.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ respectivamente para los mismos años 2015-2016 (Tabla 11) y coincidiendo con los promedios mínimos de CPUE con 0.86 ± 0.99 y 0.37 ± 0.56 (respectivamente), de *P. glauca* para todo el periodo de estudio (2008-2018) (Fig. 16), donde probablemente la acción de los vientos del Noroeste disminuyó, afectando el aporte de nutrientes en BSV.

Estos promedios de intensidad de la SURGENCIA (valores bajos) y de la EKE (valores altos) en 2014, podrían indicar el momento del máximo desarrollo de la sinergia entre las masas de agua térmicas “The Blob y “El Niño”, año donde probablemente también se desarrolló un evento extraordinario de vientos del Noroeste y de surgencia, generándose advección de aguas profundas y frías hacia la superficie, el cual originó un transporte superficial y hacia el interior de la bahía, recirculando el agua en el remolino anticiclónico como propone Durazo *et al.*, (2005), donde, probablemente como sugiere Braun *et al.*, (2019) y Ruvalcaba-Aroche *et al.*, (2020), el tiburón azul pudo haberse sumergido a profundidad en busca de peces mesopelágicos, utilizando el puente térmico entre ambas masas de agua, el cual favoreció su metabolismo y le facilitó las inmersiones a zonas más profundas dentro del remolino anticiclónico. Aunque no se descarta la hipótesis de que los juveniles de *P. glauca* hayan abandonado la BSV debido a las altas TSM presentes en el periodo 2013-2016.

El aporte de la CHL en BSV fue constante en los años 2013-2016 (Tabla 11), lo cual sugiere que se favoreció a las comunidades de organismos que componen la cadena alimenticia, donde el remolino anticiclónico sirve como barrera térmica, atrapó partículas orgánicas (huevos y paralarvas del complejo SD) como propone Ruvalcaba-Aroche *et al.*, (2020), volviendo el remolino anticiclónico de BSV un sistema fértil y dinámico en el espacio y en el tiempo.

El promedio anual sugiere que la TSM en BSV comenzó a aumentar en 2013 (19.71 ± 1.52 °C). En 2014-2015 se presentaron los promedios más altos de TSM, con 22.70 ± 1.66 , 22.71 ± 1.36 °C (respectivamente) de nuestro periodo de estudio (2008-2018), concordando con Godínez-Padilla (2017), quien reportó que los valores más altos en su periodo de estudio (2006-2016) en la costa occidental de la Península de BC fueron 21.2° C (2014) y 21.7° C (2015), siendo similares a nuestros resultados (Tabla 11), esto puede ser debido a que en el Pacífico Norte la TSM comenzó a aumentar debido a la presencia de las masas de agua cálidas “The Blob” y “El Niño” (2013-2016) (Gómez- Ocampo, 2017).

Es apropiado mencionar que desde el 2013 el promedio de la CPUE del *P. glauca* comenzó a disminuir hasta el 2016 (Fig. 16). Esta disminución podría sugerir que, al ser tiburones juveniles probablemente debieron trasladarse a aguas cercanas a la costa adentro de BSV, ya que probablemente las distancias que estos juveniles recorren han de limitarse a algunas decenas de kilómetros, permaneciendo relativamente cerca de las costas debido a los importantes aportes de nutrientes originados por la surgencia costera frente a Punta Canoas y que fertilizan la BSV.

Para el caso *I. oxyrinchus*, debido a que puede regular su calor interno con el del medio (endotermia), el aumento de los promedios de la CPUE comenzó de 2013-2015, teniendo un promedio de 4.75 ± 5.02 de CPUE en 2014 y el máximo promedio de toda la serie de tiempo (2008-2018) en 2015 con 8.47 ± 6.22 de CPUE, observándose la relación inversa de sus capturas debido al cambio en la termodinámica de la columna de agua en BSV ocasionado por la sinergia entre “The Blob” y “El Niño”.

Encontramos en nuestro estudio que la Bahía de Sebastián Vizcaino presentó una marcada estacionalidad anual, con TSM menores en primavera (17.91 ± 1.25 °C) y más altas de verano a otoño (22.64 ± 1.20 - 21.60 ± 2.51 °C), concordando con lo reportado por Martínez-Fuentes, (2015) (Fig. 19c).

El promedio de las anomalías de la TSM mostró una tendencia de valores negativos desde primavera de 2008 (año “La Niña”) hasta otoño de 2013 (inicio de “The Blob” y “El Niño”) con -0.8 a -2 °C (Tabla 12). Entre este periodo observó una anomalía positiva en verano de 2009 de 1.8 °C, lo que sugiere la transición hacia un breve evento de “El Niño” (2009-2010) hacia un evento “La Niña” (2010-2011) (Martínez-Fuentes, 2015) presentando la anomalía negativa más pequeña con -4 °C de todo nuestro periodo de estudio.

En 2011 (verano) las anomalías mínimas y máximas (-2.2 y 1.2 °C) mostraron la presencia de la condición “La Niña” también reportada por Martínez-Fuentes (2015), antecedendo a un evento de ENSO neutral en 2012, donde en nuestro estudio, observamos anomalías de TSM positivas de 2.7 °C (Tabla 12) en verano, sugiriendo aquí el preludio a “The Blob” en 2013.

En 2013 se presentaron anomalías negativas mínimas en otoño con -2 °C (Tabla 11). A inicios de 2014 la TSM en BSV comenzó a aumentar (Fig. 22c), presentando anomalías mínimas y máximas de 0.03 a 2.6 °C de primavera a otoño, mostrando en la señal de anomalías anuales otra tendencia de 2014 a 2016 de TSM positivas (Fig. 23a y Tabla 12).

En otoño de 2015 (“El Niño”) se observó la anomalía positiva más grande de todo el periodo de estudio con 3° C (Tabla 12) coincidiendo con Martínez-Fuentes (2015) quien reportó que “El Niño” 1997-1998 presentó TSM en BSV de 3° C mayores al promedio y con Ruvalcaba-Aroche y colaboradores (2020), quienes encontraron que la TSM tuvo 3° C por encima de la media durante “El Niño” 2010 y 2016, mientras que en el periodo de “La Niña” las anomalías de TSM fueron de hasta 2° C por debajo de la media coincidiendo con nuestros resultados.

El Niño de 2015-2016 (Martínez *et al.*, 2017) fue, según algunas mediciones, uno de los más fuertes de los que se tiene constancia, comparable a los episodios de 1982-1983 y 1997-1998 los cuales desencadenaron cambios en los ecosistemas del Pacífico nororiental (Jacox *et al.*, 2016).

Para el caso de la CHL, en nuestro estudio se observó que la mayor anomalía positiva fue en primavera de 2011 con 1.8 mg m⁻³ (año “La Niña”) (Martínez-Fuentes, 2015) con una mínima de -0.325 1.8 mg m⁻³ en verano del mismo año (Fig. 23b y Tabla 13), mientras que la menor anomalía negativa de la CHL se presentó en primavera de 2013 (inicio de “The Blob”) con -1.01 mg m⁻³ (Tabla 13).

Se observó en la serie de tiempo de anomalías de la CHL valores negativos evidentes de 2013 hasta 2016, coincidiendo con las altas TSM en BSV (Fig. 23b), lo cual sugiere la relación inversa de dichas variables.

Los resultados de este presente capítulo podrían tomarse como una descripción cualitativa de los fenómenos físicos (oceanográficos y ambientales): surgencia costera estacional, energía cinética del remolino, temperatura superficial del mar, clorofila *a*, “La Niña”, “El Niño” y “The Blob”, en la BSV (2008-2018).

7.4. Distribución de la CPUE de *Prionace glauca* e *Isurus oxyrinchus* con relación a las variables predictoras (SURGENCIA, EKE, TSM y CHL) en BSV (2008-2018).

Los mapas de los promedios generales de SURGENCIA, EKE, TSM y CHL para la BSV en el periodo de estudio (que describen la CPUE) indican que la mayor parte de las capturas de tiburones azules y tiburones MAC, se concentran en la periferia del remolino anticiclónico (Fig. 22) concordando con Vögler-Santos (2011), no obstante, Braun *et al.*, (2019) sugieren que es significativamente probable encontrar a *P. glauca* en los núcleos de los remolinos anticiclónicos, aunque en nuestro estudio no se pudo corroborar o refutar esto, debido a que pocas capturas de la pesca ribereña se ubicaron dentro de la influencia del remolino anticiclónico semipermanente de BSV.

Se observó en el mapa de los promedios de la energía cinética del remolino (EKE) (Fig. 24, 25) que los mayores valores de las CPUEs del tiburón azul y el MAC se localizaron en la periferia del remolino anticiclónico (al este de Isla Cedros) concordando con Vögler-Santos, (2011) quien indica que las mayores CPUE de *P. glauca* sucedieron sobre los bordes de remolinos ciclónicos (fríos) y anticiclónicos (cálidos) asociados a altas velocidades geostróficas derivadas de la circulación a gran escala del SCC. Nuestros resultados pueden coincidir con este autor debido a que las capturas que realiza la flota palangrera ribereña se limitaron a las cercanías de la costa frente a LM, debido a las limitantes en los artes y equipos de pesca además de la autonomía de las embarcaciones, coincidiendo con los límites de la interacción de la surgencia costera que se desarrolla frente a Punta Canoas y el remolino anticiclónico semipermanente de BSV.

Se observó también una pequeña concentración de valores altos de CPUE de *P. glauca* e *I. oxyrinchus* frente a Punta Santa Rosalita, donde, -concordando con Amador-Buenrostro y colaboradores (1995)-, donde, en septiembre de 1992, mediante mediciones *insitu* y mediante datos de satélite, observaron una pluma de agua relativamente más fría, generada por el desarrollo de la surgencia costera (Fig. 2) que asciende frente a Punta Canoas y viaja por el contorno de la costa hacia el sur, delimitando la bifurcación de la surgencia en la periferia del remolino anticiclónico, mostrando diferencias térmicas entre ambos fenómenos oceanográficos, donde en nuestros resultados vimos el mismo patrón de campos TSM y CHL (promedio) (Fig. 24 y 25).

Por lo anterior y, de acuerdo con Vögler-Santos (2011), las mayores capturas estuvieron ubicadas en sitios con altas velocidades geostróficas, en los bordes de giros oceánicos, observando en su estudio este traslape o relación de la CPUE con eventos climáticos como “El Niño”, “La Niña” y eventos “ENSO neutral”. Pero es necesario mencionar que la escala de los fenómenos oceanográficos medidos en este estudio difirió en unidades de cientos a miles de kilómetros en comparación al estudio realizado por Vögler-Santos (2011). También se observó que las mayores CPUEs (Fig. 17) de tiburón azul sucedieron en verano a otoño (julio-diciembre) concordando con este autor.

Mediante análisis de telemetría satelital en el programa de Marcaje de Pelágicos del Pacífico (TOPP) y del Centro de Ciencias Pesqueras del Suroeste (SWFSC) de la Oficina de Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), Medina-Trujillo (2013) observó que los juveniles de *I. oxyrinchus* en el Pacífico Nororiental presentaron un comportamiento más costero durante todo el año probablemente por la función del área como zona de crianza para los juveniles concordando con nuestros hallazgos donde probablemente BSV es también una zona de crianza para el tiburón MAC, donde se debe resaltar que Carrión-Zapiain *et al.*, (2018) indicó que en el Pacífico Norte en la CC, los juveniles de *I. oxyrinchus* -con edades de 0-1 años- presentan migraciones en relación a la TSM y los sistemas de surgencias costras, favoreciendo las cuestiones de alimentación debido a la gran cantidad de nutrientes indicando las preferencias térmicas de la especie.

Medina-Trujillo (2013) mencionó que *I. oxyrinchus* pasó la mayor parte del tiempo experimentando temperaturas de 16-20° C en la columna de agua en zonas costeras y de 22-24° C en zonas oceánicas, concordando con la significancia de nuestro GAM para el tiburón MAC (Fig. 29 a) donde encontramos que el intervalo de TSM que habitó este tiburón fue de los 16-24° C, aunque esta diferencia de intervalos de TSM en relación a las zonas costeras y oceánicas en nuestro estudio pudieron deberse debido al efecto de las masas de agua cálidas “The Blob” y “El Niño” (2013-2016), los cuales fueron eventos extraordinarios que indudablemente afectaron la termodinámica de la columna de agua en BSV (2008-2018).

Godínez-Padilla *et al.*, (2022) indicaron que en invierno la distribución horizontal de la CPUE de *P. glauca* se encontró en el rango latitudinal de 21- 32.5° N, donde se encuentra nuestra zona de estudio que abarca 27.5- 29.5° N, observándose en la costa oeste de la Península de BC una densa agregación de juveniles hembras y machos a los 30- 32.5° N, 117.5- 118.5° W, distribuyéndose fuera del límite de la zona de afloramiento a unos 65 km de Ensenada, y que se asoció a TSM intermedia de 15- 17° C y CHL de 0.3- 0.8 mg m⁻³.

Las evidencias de la relación del tiburón azul con remolinos oceánicos ya han sido respaldadas por Carey y Scharold (1990), quienes, mediante telemetría acústica en la Corriente del Golfo, indicaron que *P. glauca* se posicionó en un remolino anticiclónico (cálido) en el punto donde la velocidad de la corriente fue más fuerte y donde es posible obtener mayores ventajas si la dirección del nado es paralela a la dirección de la corriente, concordando con el estudio de Vögler-Santos (2011), quien sugiere la hipótesis de que este tiburón pelágico podría utilizar los remolinos oceánicos para ahorrar energía durante la natación, aprovechando la alta velocidad de la corriente y como una estrategia de transporte.

Este estudio es el primero en el océano Pacífico Norte mexicano, en la Bahía de Sebastián Vizcaíno que relaciona la pesca ribereña artesanal del tiburón mako de aletas cortas

con la influencia de la surgencia costera frente a Punta Canoas y la energía cinética del remolino anticiclónico (cálido) semipermanente en LM.

7.5 Resultados de los GAMs en relación con la CPUE de tiburón azul y mako de aletas cortas en BSV en el periodo 2008-2018.

Se encontró en este estudio que las variables predictoras que no tienen relación con la CPUE del tiburón azul fueron: CHL, SURGENCIA, ELEVACION y LAT ($p > 0.05$) (Tabla 14) ya que no fueron significativas, concordando con Jaime-Rivera (2004) y Godínez-Padilla *et al.*, (2022) quienes expone que la CHL no es un indicador significativo sobre la CPUE de *P. glauca* en la costa occidental de la península de BC, probablemente debido al desfase temporal entre la asimilación de los nutrientes hacia los organismos que se encuentran en niveles superiores de la cadena trófica, aunque, Mitchell *et al.*, (2014) encontraron en su estudio de 1998-2011 (océano Atlántico) mediante un GAM, que la CPUE de *P. glauca* presenta una DE= 1.4% con relación a la TSM, mientras que la CHL presentó una DE= 27.5%, contrastando con nuestros valores de DE en nuestro GAM, donde la TSM tuvo 18.9 % de la devianza total explicada y la CHL 0.00725% de la DE.

Jaime-Rivera en su estudio de 2004 en BCS, determinó que en valores de 18-22° C de TSM pueden ser buenos indicadores de la probabilidad de encuentro con *P. glauca*, coincidiendo con nuestro modelo GAM donde encontramos un intervalo similar (Fig. 29f).

Martínez-Rincón (2012) también encontró en su modelo GAM en el océano Pacífico oriental (1998-2007) que las variables ambientales que tienen un mayor efecto en las capturas incidentales de pelágicos mayores fueron la TSM y la CHL, probablemente nuestros resultados difieren de este autor debido a las distintas metodologías que se usaron para desarrollar los modelos GAM.

Las variables predictoras más significativas y utilizadas en diversos GAMs, desarrollados por otros autores (Bigelow *et al.*, 1999; Walsh y Kleiber, 2001; Vögler-Santos 2011; Godínez-Padilla *et al.*, 2022) que describen la posible influencia de las tasas de capturas de *P. glauca* son latitud, longitud, trimestre y año (variables espaciotemporales).

Al realizar las rutinas con los modelos GAMs y las interacciones, se encontró que el modelo final explicaba en su conjunto el 53.5% de la devianza total explicada (Tabla 16) de la CPUE para *P. glauca*, denotando los efectos significativos de cinco variables predictoras y una interacción (TSM-TRIMESTRE) (Tabla 17), donde, se encontró elevadas CPUEs de tiburón azul entre los 16-18 °C, concordando con Mitchel y colaboradores (2014) quienes reportaron CPUEs altas de tiburón azul a los 16.7 °C y con Vögler-Santos (2011) con TSM de 14-15 °C (hembras), no obstante (Fig. 27f), nuestro GAM reflejó CPUEs altas de tiburón azul para hembras y machos en conjunto, ya que no fue posible analizar si existió segregación sexual debido a la temperatura como reporta Vögler-Santos (2011), además que observamos

altas concentraciones de CPUE a los 22-24 °C en verano (julio-septiembre), lo cual amplía la información existente en BSV en intervalo de temperaturas 16-24 °C asociado a las capturas de juveniles de *P. glauca* en el Pacífico Noreste.

Las evidencias mencionadas anteriormente del intervalo de TSM en nuestro modelo GAM de *P. glauca* en relación con la CPUE concuerdan con el rango de TSM expuesto por Godínez-Padilla *et al.*, (2022) que se encuentra entre los 15-24° C, en la costa oeste de la Península de BC.

Cabe resaltar que al seleccionar el modelo final (Tabla 16), la variable TSM no tuvo significancia en el modelo como tal, tuvo significancia en forma de interacción (TSM-TRIMESTRE), esto difiere de lo que propone Vögler-Santos (2011) (mediante GAM), quien encontró que en la distribución de machos juveniles de tiburón azul en aguas costeras-oceánicas en el Pacífico Norte tuvo significancia la variable predictora TSM, aunque se debe remarcar que en su estudio uso temperaturas a 100 m de profundidad y en nuestro estudio fueron temperaturas superficiales, concordando con Godínez-Padilla y colaboradores (2022) quienes exponen en su análisis por medio de GAM las variables que tuvieron significancia con la CPUE del tiburón azul en el Pacífico Norte fueron: TSM, AÑO y LATITUD, concordando con nuestros resultados (Tabla 17), aunque estos autores utilizaron datos de pesca de mediana altura en sus respectivos estudios.

Se logró observar en nuestro estudio que en 2008-2009 se presentó la condición “La Niña” (Fig. 30a) donde la CPUE de *P. glauca* tuvo un efecto negativo concordando con lo propuesto por Vögler-Santos (2011), quien indicó que durante el evento “La Niña” 1998-1999 ocurrió un efecto negativo en la disponibilidad de las capturas del tiburón azul en el Pacífico Noreste.

Los resultados de los modelos GAM para la CPUE del tiburón azul revelan que la EKE tiene una relación positiva con la abundancia de este tiburón, reflejando altas CPUEs en el intervalo de energía 0.005-0.010 $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ (Fig. 27a) (con intervalos de confianza estrechos), mostrando el poder estadístico del GAM al predecir que a mayores energías ($\sim 0.020 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$), -aunque con intervalos de confianza grandes- del orden de aproximadamente tres veces más, se tendrán mayores capturas de tiburón azul en BSV.

En el caso del tiburón MAC, se observó el efecto contrario, es decir, la EKE tiene una relación negativa con la abundancia de este tiburón (Fig. 29b), el GAM indicó que a bajas energías ($\sim 0.005 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$), la CPUE es baja y con intervalos de confianza estrechos. Aquí el GAM vuelve a predecir que, a mayores energías, del orden de aproximadamente cuatro veces más ($\sim 0.020 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$), la CPUE de *I. oxyrinchus* tenderá a disminuir, entonces podemos aceptar nuestra hipótesis de que a mayor intensidad del remolino anticiclónico de núcleo cálido de BSV, se ven favorecidas a las capturas del tiburón azul y afectadas las del tiburón MAC. El

hecho de que se tienen más capturas de este tiburón, en los años cálidos (2015-2016) puede deberse a que la intensidad del remolino disminuyó para estos años (Fig. 16, 20, 22 y Tabla 11).

Nuestros resultados de los modelos GAM de la CPUE de *P. glauca* e *I. oxyrinchus* en el periodo de estudio 2008-2018, permiten aceptar la hipótesis 2 que indica que “La mayor intensidad del remolino anticiclónico (EKE) se correlaciona positivamente con la CPUE del tiburón azul y es inversamente proporcional para la CPUE del tiburón MAC en BSV”.

Quiros *et al.*, (2022) encontraron que en el SCC mediante un conjunto de proyecciones oceánicas de alta resolución que cubren el periodo 1980-2100 donde prevén que la EKE aumentará a lo largo del periodo y hacia finales de siglo (2071-2100) en comparación al periodo de referencia de 1980-2010, sugiriendo que la actividad de mesoescala esta modulada principalmente por inestabilidades baroclínicas más que por cambios en los campos de vientos. Estos cambios en el aumento de la actividad de remolinos oceánicos podrían provocar cambios en la distribución y agregación de material biogénico, tendiendo importantes implicaciones en el SCC, concordando con las proyecciones que hace nuestro modelo GAM para *P. glauca* (Fig. 27a) donde observamos que a mayores EKE la CPUE del tiburón azul aumentará, contrastando con el resultado para el tiburón MAC (Fig. 29b), donde de acuerdo con lo que propone este autor, con el aumento a final de siglo de la EKE en el SCC, la CPUE de *I. oxyrinchus* probablemente disminuirá a final de siglo (2071-2100).

La variable predictora LUNA tuvo una relación significativa ($2.8e-05^{***}$) con *P. glauca*, teniendo CPUEs positivas en las fases de “Creciente” a “Llena” (Fig. 27b y Tabla 17), concordando con lo que reporta Zaytsey y colaboradores (2003) (mediante GAM), quienes teorizan que el transporte de nutrientes en la CC hacia las lagunas costeras puede estar forzado por el acoplamiento de la surgencia costera y el bombeo mareal (efecto lunar) afectando a la biomasa y la producción primaria en la costa oeste de la Península de BC.

Mediante un GAM realizado por Damalas y Megalofonou (2010) se encontró que *P. glauca* mostró una preferencia por masas de agua más frías y su distribución estuvo frecuentemente dictada por el ciclo lunar, donde la iluminación del disco lunar influyó positivamente en las capturas, siendo la probabilidad mayor alrededor de la luna llena, además expone este autor que, la luz de la luna puede sincronizar la reproducción o alterar el comportamiento de los peces, mejorando el cuidado parental o la evitación de depredadores (Taylor, 1984).

La variable predictora AÑO (Fig. 27e) fue la más significativa del modelo final ($< 2e-16^{***}$) del tiburón azul, con el valor más alto de devianza total explicada (32.6 %, Tabla 14), concordando con el estudio de Godínez-Padilla y colaboradores (2022) quienes también encontraron significancia en esa variable predictora en su modelo GAM. En el año 2015 el

grafico de suavizado de la variable AÑO mostró que la CPUE de *P. glauca* disminuyó, contrario a la CPUE de *I. oxyrinchus* la cual fue mayor en el año 2015 (Fig. 30a, b), año donde se presentó la sinergia entre “The Blob” y “El Niño” (Zaba y Rudnick, 2016), coincidiendo con la mayor anomalía de la TSM (3 °C) (Tabla 12) de todo el periodo de estudio en otoño de 2015.

Lo anterior concuerda con Godínez-Padilla *et al.*, (2022) quien expone que durante los eventos “El Niño” (2007 y 2015) y “The Blob” (2013-2015) la CPUE de *P. glauca* fue baja concordando con nuestros resultados (Fig. 9, 11, 15 y 16). Godínez-Padilla *et al.*, (2022) proponen que a mediados de 2015 en su estudio donde trabajó con índices climáticos (NEI, ONI, SanDiAs, NPGO), estos respondieron con anomalías positivas o negativas a los efectos de “El Niño” 2015-2016 y “The Blob” y que en 2016-2017 se registró un evento “La Niña” que no reflejó amplias oscilaciones en sus anomalías concordando con nuestros resultados (Fig. 23)

La TSM en relación con el tiburón MAC, indicó mediante el GAM (Fig. 29a) que las mayores capturas de esta especie sucedieron entre los 22-24 °C (con estrechos intervalos de confianza) en BSV, siendo la TSM la variable más significativa del modelo ($<2e-16^{***}$) con 41.6% de la devianza total explicada (Tabla 18), lo cual sugiere que la capacidad de *I. oxyrinchus* de tolerar altas TSM le da una ventaja sobre *P. glauca* en BSV. La SURGENCIA se usó como interacción (con TRIMESTRE) en el modelo final del GAM de la CPUE del tiburón MAC, ya que solo así tuvo significancia (0.02692*) (Tabla 21).

En este estudio encontramos que el mejor modelo ajustado que explica la CPUE fue para el tiburón MAC, con una devianza total explicada de 57.8% y un $R^2_{adj}= 0.37$, en comparación del GAM para el tiburón azul, que tuvo una devianza total explicada de 53.5% y un $R^2_{adj}= 0.537$ (Tablas 16 y 20 respectivamente), para el periodo de estudio (2008-2018).

Nuestros resultados del modelo GAM de la CPUE de *P. glauca* (Tabla 21) permiten aceptar la hipótesis 1 que indica que “existió un efecto positivo de la surgencia costera con la CPUE del tiburón azul en el periodo de estudio (2008-2018)”, no obstante, no se observó tal efecto para *I. oxyrinchus*.

El estudio de Godínez-Padilla *et al.*, (2022) (Pacífico Noreste) demostró que el mejor modelo ajustado para las hembras juveniles de *P. glauca* tuvo una devianza total explicada de 65.5% (con 10 variables predictoras) ($R_{adj}^2= 0.395$) y para machos juveniles una DE= 44.4% ($R_{adj}^2= 0.410$) (con ocho variables predictoras), contrastando con nuestro modelo GAM de la CPUE del tiburón azul (con seis variables predictoras) con una DE= 53.5% ($R_{adj}^2= 0.537$) (Tabla 16), aunque en nuestro estudio el GAM fue para ambos sexos.

Se logró observar en nuestro estudio que en 2008-2009 se presentó la condición “La Niña” (Fig. 30a) donde la CPUE de *P. glauca* tuvo un efecto negativo concordando con lo propuesto por Vögler-Santos (2011), quien indicó que durante el evento “La Niña” 1998-1999 ocurrió un efecto negativo en la disponibilidad de las capturas en el Pacífico Noreste.

En nuestro estudio concordamos con Godínez-Padilla *et al.*, (2022) quien reportó que las capturas de *P. glauca* fueron más abundantes en invierno y concretamente tuvieron un incremento en 2010-2012 (Fig. 30a), esto probablemente sea debido a la presencia de la condición fría de “La Niña” (2010-2011), la cual pudo haber favorecer las cuestiones metabólicas de la especie (alimentación), presentándose eventos favorables de surgencias los cuales fertilizan la BSV y desarrollan la cadena trófica (Vögler-Santos, 2011).

Nuestros resultados sugieren que los eventos climáticos “La Niña”, “El Niño” y “The Blob” probablemente afectaron mediante la TSM a ambos tiburones en el periodo de estudio (2008-2018) (Fig. 27a y 29b), encontrándose que en el periodo 2013-2016 con la sinergia de “The Blob” y “El Niño”, se generó una relación inversa entre la CPUE de ambos tiburones, es decir cuando las capturas del tiburón azul disminuyeron, las del MAC aumentaron, lo cual fue evidente en los modelos GAMs (Fig 30a, b).

Nuestros resultados de los modelos GAM de la CPUE de *P. glauca* e *I. oxyrinchus* en el periodo de estudio 2008-2018 sugieren que podría aceptarse la hipótesis 3, que indica que: “The Blob” (2013-2015) y “El Niño” (2015-2016) influyeron significativamente en la distribución y abundancia de la pesca ribereña del azul y el MAC en LM en BSV.

Cabe destacar que por primera vez fueron evaluados los efectos positivos y negativos causados por condiciones climáticas y atmosféricas como “La Niña”, “El Niño” y “The Blob” sobre la CPUE de los tiburones juveniles pelágicos *P. glauca* e *I. oxyrinchus* en BSV, aunque, tal relación ya había sido demostrada con anterioridad en el Pacífico Norte (Zaba y Rudninick, 2016; Godínez-Padilla *et al.*, 2022) para *P. glauca*.

Los resultados de Godínez-Padilla *et al.*, (2022) permiten resaltar que las agregaciones de tiburones azules están relacionadas con los remolinos ciclónicos (fríos) (con altas concentraciones de clorofila) frente a la costa occidental de la península de BC, sin descartar a los remolinos anticiclónicos (cálidos) que también son productivos como proponen Williams y Follows (1998) y concordando con el estudio de Braun *et al.*, (2019) donde observaron en la corriente del Golfo (océano Atlántico), que *P. glauca* es más frecuente en remolinos ciclónicos, pero que en los núcleos de los remolinos anticiclónicos están acostumbrados a alimentarse en profundidad, concordando con nuestra hipótesis de que en el periodo 2013-2016, *P. glauca* probablemente abandonó BSV o se fue a profundidad al núcleo del remolino anticiclónico (~ 25 km al este de Isla Cedros) en busca de presas meso pelágicas.

Los resultados obtenidos en este estudio permiten aceptar la hipótesis general, que establece que “existió relación de dependencia de variables oceanográficas y ambientales (variables predictoras) con la CPUE (variable de respuesta) (mediante GAMs) del tiburón azul y el MAC en LM, en BSV (2008-2018)” (Fig. 27 y 29). La solidez de los datos analizados quedó reflejada en un muestreo representativo de individuos capturados por la flota palangrera artesanal ribereña de LM, el cual incluyó una submuestra de intervalos de tallas de LPC, que reflejó la estructura de tallas y la razón sexual de ambos tiburones en el periodo de estudio (2008-2018).

Dadas las evidencias mostradas en nuestra investigación, podemos concluir que nuestro estudio es el primer trabajo reportado en BSV que relaciona la pesca artesanal ribereña de juveniles de tiburón azul y MAC, los cuales son afectados por las condiciones físico-dinámicas de procesos de mesoescala (surgencia costera y remolino anticiclónico) y eventos climáticos como “La Niña”, “El Niño” y “The Blob”, haciendo evidente la necesidad de generar estudios que permitan mejorar los huecos de información de los tiburones pelágicos que sostienen una de las pesquerías más importantes del estado de BC.

8. CONCLUSIONES

- La CPUE del tiburón azul se correlaciona positivamente con la energía cinética del remolino anticiclónico en BSV para el periodo de estudio (2008-2018).
- La CPUE del tiburón mako de aletas cortas se correlaciona negativamente con la energía cinética del remolino anticiclónico en BSV para el periodo de estudio.
- La surgencia costera se correlaciona significativamente con la CPUE del tiburón mako de aletas cortas en BSV (2008-2018).
- Valores máximos de CPUEs (promedios) suceden en verano en BSV (2008-2018) para el tiburón azul y el mako de aletas cortas.
- La CPUE del tiburón azul empezó a disminuir a finales de 2013 hasta 2016 y la del mako de aletas cortas aumentó de 2013 a 2016, probablemente debido a que las altas temperaturas producidas por la sinergia de “The Blob” y “El Niño”, que cambiaron la termodinámica de la bahía, provocaron un nicho ecológico entre *P. glauca* e *I. oxyrinchus*, donde, el mako de aletas cortas dominó en las capturas en ese periodo.
- La temperatura superficial del mar aumentó en el periodo 2013-2016 en BSV.
- Las variables predictoras que se correlacionaron significativamente con el tiburón azul en el periodo de estudio fueron: AÑO, LUNA, LON, LAT, TSM-TRIMESTRE y EKE.

- Las variables predictoras que se correlacionaron significativamente con el tiburón mako de aletas cortas en el periodo de estudio fueron: TSM, LAT-LON, AÑO, SURGENCIA-TRIMESTRE y EKE.
- El GAM del tiburón mako de aletas cortas indicó que las mayores capturas sucedieron a los 22-24 °C para esta especie en BSV.
- Las hembras de tiburón azul dominaron en las tallas de LPC para el periodo 2008-2018.
- Los procesos físicos de mesoescala como la surgencia costera, el remolino anticiclónico semipermanente, “The Blob”, “La Niña” y “El Niño” afectaron la CPUE del tiburón azul y el mako de aletas cortas en BSV (2008-2018).
- Procesos de mesoescala generan las condiciones apropiadas para que BSV sea una región de crecimiento, refugio, alimentación, además, tienen pocos depredadores, etc., favoreciendo a estas especies de tiburones.

9. REFERENCIAS.

- Aguilar-Barreiro, P. (2019). Modelos aditivos generalizados [Tesis de grado, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/handle/11441/89999>
- Alcalá-Molina, C. E. (2017). Distribución de hembras gestantes del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en la pesquería de mediana altura en la región noroeste del pacífico mexicano". [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México].
- Amador-Buenrostro, A., Argote-Espinosa, M. L., Mancilla-Peraza, M. y Figueroa-Rodríguez, M. (1995). Variaciones de periodo corto de la circulación anticiclónica en bahía Sebastián Vizcaíno, B. C. *Ciencias Marinas*, 21(2), 201-223.
- Applegate, S. P., Espinoza-Arrubarrena, L., Menchaca-López, L. B. y Sotelo-Macías, F. (1979). Tiburones mexicanos. Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológica, Dirección General de Ciencia y Tecnología del Mar. 147 pp.
- Bakun, A. y Nelson, C. S. (1977). Climatology of upwelling related processes off Baja California. *CALCOFI Report*, 19: 107-127.
- Bellot-Corbí, A. y Carrió-Alcántara, J. (2013). Tasas de transporte de Ekman y afloramiento costero al noroeste de África a partir de la simulación numérica de campos de viento superficiales. *Nereis*. 5. 53-70.
- Benitez-Nelson, C. R., Bidigare R. R., Dickey, T. D., Landry, M. R., Leonard, C. L., Brown, S. L., Nencioli, F., Rii, Y. M., Maiti, K., Becker, J. W., Bibby, T. S., Black, W., Cai, W., Carlson, C. A., Chen, F., Kuwahara, V. S., Mahaffey, C., McAndrew, P. M., Quay, P. D., Rappé, M. S., Selph, K. E., Simmons, M. P. y Yang, E. J. (2007). Mesoscale eddies drive

increased silica export in the subtropical Pacific Ocean. *Science* 316, 1017–1021. [doi:10.1126/ciencia.1136221](https://doi.org/10.1126/ciencia.1136221)

- Bigelow, K. A., Boggs, C. H. y He, X. (1999). Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery. *Fish Oceanography* 8(3): 178-198.
- Bjorkstedt, E. P., Bograd, S. J., Sydeman, W. J., Thompson, S. A., Goericke, R., Durazo, R., Warzybok, P., Bradley, R., Jahncke, J., McClatchie, S., Weber, E., Watson, W., Gaxiola-Castro, G., Lavaniegos, B., Golightly, R. T., Schneider, S. R., Lo, N., Chavez, F. P., Suryan R. M., Gladics, A. J., Horton, C. A., Peterson W. T., Brodeur, R. D., Collins, C. A., Kim S., Auth, T., Fisher, J., Morgan, C., Peterson, J., Hannah, B., Melin, S. R., DeLong, R. L., Largier, J., Field, J., Sakuma, K., Sattertwate, W., O'Farrell, M., Hayes, S., Harding, J. y Abell, J. (2012). State of the California Current 2011–2012: ecosystems respond to local forcing as La Niña wavers and wanes. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 53, 41-76.
- Bond, N. A., Cronin, M. F., Freeland, H. y Mantua, N. (2015). Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific. *Geophysical Research Letters* 42:3,414–3,420, <http://dx.doi.org/10.1002/2015GL063306>.
- Braun, C. D., Gaube, P., Sinclair-Tylor, T. H., Skomal, G. B. y Thorrold, S. R. (2019). Mesoscale eddies release pelagic sharks from thermal constraints to foraging in the ocean twilight zone. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(35), 17187–17192. <https://doi.org/10.1073/pnas.1903067116>.
- Camhi, M. D., Pikitch, E. K., Babcock E. A. (2008). Sharks of the Open Ocean; *Biology, Fisheries and Conservation*. Blackwell, Oxford, 397-417 pp.
- Carreón-Zapiain, M. T., Favela-Lara, S., González-Pérez, J. O., Tavares, R., Leija-Tristán, A., Mercado-Hernández, R. y Compeán-Jiménez, G. A. (2018). Size, Age, and Spatial–Temporal Distribution of Shortfin Mako in the Mexican Pacific Ocean. *Mar Coast Fish*, 10: 402-410. <https://doi.org/10.1002/mcf2.10029>.
- Carey, F. G. y Teal, J. M. (1969). Mako and porbeagle: Warm-bodied sharks. *Comparative Biochemistry and Physiology* 28: 199–204.
- Carey, F. G., Middleton, L., Stillwell, C., Pratt, W., Kohler, N. y Cavin, C. (1978). Mako Shark Experiment on “WIECZNO,” March 1978. Laboratory Reference no. 78–27. Woods Hole, Mass.: *National Marine Fisheries Service, Northeast Fisheries Center*. 12 pp.
- Cartamil, D., Santana-Morales, O., Escobedo-Olvera, M., Kacev, D., Castillo-Géniz, L., Graham, J. B., Rubin, R. D. y Sosa-Nishizaki, O. (2011). The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Fisheries Research* 108: 393-403.
- Castillo-Géniz, J. L. (1992). Diagnóstico de la Pesquería de Tiburón en México. Secretaría de Pesca-Instituto Nacional de Pesca. 89 p.

- Castillo-Géniz, J. L., Martínez-García, F. J., Rivera-Ulloa, J. L., Ortuño-Manzanarez, G., Haro-Ávalos, H. y Rodríguez-Lorenzo, S. (2011). El Uso de Bahía San Sebastián Vizcaíno como área de crianza de tiburones pelágicos y costeros: Programa Piloto de Marcado de Tiburones en embarcaciones menores”. Informe Final de Investigación 2010. Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada, B.C. Instituto Nacional de Pesca. 48 p.
- Castillo-Géniz, J. L., Martínez-García, F. J. y Rivera-Ulloa, J. L. (2012). Evaluando el papel de Bahía Sebastián Vizcaíno BC, como área de crianza multiespecífica (comunitaria) de tiburones de importancia comercial: Investigación aplicada para su manejo pesquero y conservación”. Informe Final de Investigación 2011. Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada, B.C. Instituto Nacional de Pesca. 53 p.
- Castro, J. I. (1983). The Sharks of North American Waters. Texas A y M. *University Press, College Station*. 179 pp.
- Castro, J. I. (1992). The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review or the nurseries of the southeastern coast of the Unites States. En: *Environmental Biology of Fizes*. 38:37-48.
- Castro, J. I. (1993). The shark nursery of Bull Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the southeastern coast of the United States. *Environmental Biology of Fishes. Netherlands* 38:37-48.
- Castro, J. I. (2011). The sharks of North America. Oxford University Press. ISBN: 0-19-539294-9.
- Cavole, L. M., Demko, A. M., Diner, R. E., Giddings, A., Koester, I., Pagniello, C. M. L. S., Paulsen, M. L., Ramirez-Valdez, A., Schwenck, S. M., Yen, N. K., Zill, M. E., y Franks, P. J. S. (2016). Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future. *Oceanography* 29(2):273–285, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2016.32>.
- Chin, A., Simpfendorfer, C., White, W., Johnson, G. J., McAuley, R. B. y Heupelet, M. R. (2017). Líneas de cruce: un marco multidisciplinario para evaluar la conectividad de los tiburones martillo a través de los límites jurisdiccionales. *Sci Rep* 7, 46061. <https://doi.org/10.1038/srep46061>
- Compagno, L. J. V. (1984). FAO species catalogue. Vol. 4. Sharks of the world. An annotated and ilustrated catalogue of sharks species known to date. Parts. 1 y 2. FAO. *Fish. Synop.* (125), Vol. 4: 1-655.
- Compagno, L. J. V. (2001). FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. No. 1. Sharks of the World: An Annotated and Illustrated Catalogue of Shark Species Known to Date. Vol. 2. Bullhead, Mackerel y Carpet Sharks (Heterodontiformes, Lamniformes and Orectolobiformes). FAO. 269 pp.

- CONAPESCA. (2017). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017. En Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Cordero-Quirós, N., Jacox, M. G., Pozo Buil, M. y Bograd, S. J. (2022). Future changes in eddy kinetic energy in the California Current System from dynamically downscaled climate projections. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL099042. <https://doi.org/10.1029/2022GL099042>.
- Crawley, M. J. (2007). *The R Book*. John Wiley y Sons Ltd. 942 pp.
- Dawson, E. Y. (1952). Circulation within Bahía Vizcaíno, Baja California and its effects on marine vegetation. *American J. Botany*, 39(7): 425-432.
- Del Moral-Flores, L. F., Morrone, J. J., Alcocer-Duran, J., Espinosa-Perez, H. y Pérez-Ponce de León, G. (2015). Lista patrón de los tiburones, rayas y quimeras (Chondrichthyes, Elasmobranchii, Holocephali) de México. *Arxius de Miscel-lania Zoológica*, 13: 47-163.
- Dewey, R. (2016). The warm Pacific anomaly (The Blob): A Summary on the dynamics and some recent Canadian observations. Paper presented at Pacific Anomalies Workshop 2. University of Washington, January 20–21, Seattle, WA.
- DOF. (2007). Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. Diario Oficial de la Federación.
- Durazo, R., Gaxiola-Castro, G., Lavaniegos, B., Castro-Valdez, R., Gómez-Valdés, J., Mascarenhas, A. y Da, S. (2005). Condiciones oceanográficas frente a la costa occidental de Baja California, 2002-2003: Influencia débil y del incremento de agua subártica. *Ciencias Marinas*, 31(3):537-552.
- Espinosa-Carreón, T. L., Strub, P. T., Beier, E., Ocampo-Torres, F., y Gaxiola-Castro, G. (2004), Seasonal and interannual variability of satellite-derived chlorophyll pigment, surface height, and temperature off Baja California, *J. Geophys. Res.*, 109, C03039, doi:10.1029/2003JC002105.
- European Space Agency (ESA). (2000-2014). *El Niño*. https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Weather_ES/SEM62WO1FG_0.html
- FAO.(2001) http://www.fao.org/WAICENT/OIS/PRESS_NE/PRESSPA/1998/PRPS9681.html
- FAO. (2020a). Fishery and Aquaculture Statistics. Global capture production 1950–2018 (FishstatJ). En: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Updated 2020. [Cited 20 July 2020] www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en
- Froeschke, J., Stunz, G. W., y Wildhaber, M. L. (2010). Influencias ambientales en la ocurrencia de tiburones costeros en aguas estuarinas. *Mar Ecol Prog Ser* 407: 279-292. <https://doi.org/10.3354/meps08546>

- Fujinami, Y., Semba, Y., Okamoto, H., Ohshimo, S., y Tanaka, S. (2017). Reproductive biology of the blue shark (*Prionace glauca*) in the western North Pacific Ocean. *Marine and Freshwater Research* 68, 2018-2027. <https://doi.org/10.1071/MF16101>.
- Furlong-Estrada, E., Sosa-Nishizaki, O. y García-Rodríguez, E. (2017). Caracterización de la pesquería de tiburón azul (*Prionace glauca*) en el Pacífico Norte mexicano: un antecedente histórico. *Ciencia Pesquera*, 25(1), 15–25.
- Gaube, P., McGillicuddy Jr D. J., Chelton, D. B., Behrenfeld, M. J. y Strutton, P. G. (2014). Regional variations in the influence of mesoscale eddies on near-surface chlorophyll. *J. Geophys. Res. Oceans* 119, 1–26.
- Gaube, P., Braun, C. D, Lawson, G. L, McGillicuddy Jr, D. J., Della Penna, A., Skomal, B. G., Fischer, C. y Thorrold, R. S. (2018). Los remolinos de mesoescala influyen en los movimientos de las hembras de tiburón blanco maduras en la Corriente del Golfo y el Mar de los Sargazos. *Sci Rep* 8, 7363. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25565-8>.
- Gaxiola-Castro, G., Durazo, R., Lavaniegos, B., De la Cruz-Orozco, M. E., Millan-Núñez, E., Soto-Mardones, L. y Cepeda-Morales, J. (2008). Respuesta del ecosistema pelágico a la variabilidad interanual del océano frente a Baja California. *Ciencias Marinas*, 34 (2), 263-270.
- Godínez-Padilla, C. J. (2017). Dinámica espacio-temporal de la captura del tiburón azul (*Prionace glauca*) de 2006 a 2016 en la costa occidental de la península de Baja California, México [Tesis de maestría, UNINI].
- Godínez-Padilla, C. J., Castillo-Géniz, J. L. y Ortega-Salgado, I. (2016). Diversidad y abundancia relativa de tiburones pelágicos capturados por la flota industrial palangrera de Ensenada, Baja California, México. *Ciencia Pesquera* 24:97-111.
- Godínez-Padilla, C. J., Castillo-Géniz, J. L., Hernández de la Torre, B., González-Ania, L. V. y Román-Verdesoto, M. H. (2022). Marine-climate interactions with the blue shark (*Prionace glauca*) catches in the western coast of Baja California Peninsula, Mexico. *Fisheries Oceanography*, 1–28. <https://doi.org/10.1111/fog.12578>.
- Gómez-Ocampo E. (2017). Effects of physical processes on tropical-subtropical California Current phytoplankton. [Tesis Doctorado, CICESE].
- Guerrero-Maldonado, L. A. (2005). Pesquerías y análisis demográfico del tiburón azul (*Prionace glauca*, Linnaeus 1758) en el Pacífico mexicano. Ensenada: CICESE.
- Hastie, T. y Tibshirani, R. J. (1990). Generalized Additive Models. Monographs on statistics and applied probability. *Chapman and Hall*. 335 pp.
- Hernández-Rivas, M. E., Jiménez-Rosenberg, S. P., Funes-Rodríguez, R., y Saldierna-Martínez, R. J., (2000). El Centro de Actividad Biológica de la Bahía de Sebastián Vizcaíno, una primera aproximación. in: Lluch-Belda, S.E., Lluch-Cota, J. Ponce, G., (Eds). BACs: Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CICIMAR y CONACyT, La Paz, BCS, México. pp. 65-85.

- Hobday, A. J. y Hartog, J. R. (2014). Derived ocean features for dynamic ocean management. *Oceanography* 27, 134–145.
- Hoey, J. J. (1983). Analysis of Longline Fishing Effort for Apex Predators (Swordfish, Shark, and Tuna) in the Western North Atlantic and Gulf of Mexico. Ph.D. diss., University of Rhode Island. 288 pp.
- Holts, D. B. y Bedford, D. W. (1993). Horizontal and vertical movements of the shortfin mako shark, *Isurus oxyrinchus*, in the southern California Bight. *Australian Journal of Marine y Freshwater Research* 44: 901–909.
- INEGI (2003). Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos Edición 2002. No. 61.
- ISC. (2022). Stock assessment and future projections of blue shark in the North Pacific Ocean through 2020. Report of the Shark Working Group, International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean. July, 2022.
- Jacox, M. G., Hazen, E. L., Zaba, K. D., Rudnick, D. L., Edwards, C. A., Moore, A. M. y Bograd, S. J. (2016), Impacts of the 2015–2016 El Niño on the California Current System: Evaluación temprana y comparación a hechos pasados, *Geophys. Res. Letón.*, 43, 7072 – 7080, doi: [10.1002/2016GL069716](https://doi.org/10.1002/2016GL069716) .
- Jaime-Rivera, M. (2004). Captura de tiburones pelágicos en la costa occidental de Baja California Sur y su relación con cambios ambientales. [Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN].
- Jiménez-Quiroz, MdC, Cervantes-Duarte, R., Funes-Rodríguez, R, Barón-Campis, S.A, García-Romero, FdJ., Hernández-Trujill, S., Hernández-Becerril, D. U., González-Armas, R., Martell-Dubois, R., Cerdeira-Estrada, S., Fernández-Méndez, J.I., González-Ania, L.V., Vásquez-Ortiz, M. y Barrón-Barraza, F. J. (2019) Impact of “The Blob” and “El Niño” in the SW Baja California Peninsula: Plankton and Environmental Variability of Bahía Magdalena. *Front. Mar. Sci.* 6:25. doi: [10.3389/fmars.2019.00025](https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00025).
- Lara-Lara, J. R., Arenas-Fuentes, V., Bazán-Guzmán, C., Díaz-Castañeda, V., Escobar-Briones, E., Maria de la Cruz-García, A., Gaxiola-Castro, G., Robles-Jarero, G., Sosa-Avalos, R., Soto- González, L. A., Tapia-García, M., y Valdez-Holguín, J. E. (2008). Los ecosistemas marinos. En Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad (pp. 135–159). CONABIO.
- Litvinov, F. F. (2006). On the role of dense aggregations of males and juveniles in the functional structure of the range of the blue shark *Prionace glauca*. *J. Ichthyol.* 46: 643-655.
- Loefer, J. K., Sedberry, G. R. y McGovern, J. C. (2005). Vertical movements of a shortfin mako in the western North Atlantic as determined by pop-up satellite tagging. *Southeastern Naturalist* 4 (2): 237–246.

- Lynn, R. y Simpson, J. (1987). The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92, 12,947–12,966. [Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas].
- Martínez-Fuentes, L. M. (2015). Efecto de los eventos ENSO 1997-2012 en la producción y biomasa del fitoplancton de Bahía Sebastián Vizcaíno, Baja California. [Tesis de Maestría, CICESE].
- Mahadevan, A. (2016). The impact of submesoscale physics on primary productivity of plankton. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 8, 161–184.
- Martínez, R., Zambrano, E., Nieto, J. J., Hernández, J. y Costa, F. (2017). Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. *Investigaciones Geográficas*, (68), 65-78. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.04>
- Martínez-Rincón, R. O. (2012). Efecto de la Variabilidad Ambiental en la Distribución de las Capturas Incidentales de pelágicos Mayores en el Océano Pacífico Oriental. [Tesis de Doctorado, CICIMAR-IPN].
- Matich, P. y Heithaus, M. R. (2012). Effects of an extreme temperature event on the behavior and age structure of an estuarine top predator, *Carcharhinus leucas*. *Mar Ecol Prog Ser* 447:165-178.
- Maxwell, S. M., Scales, K. L., Bograd, S. J., Briscoe, D. K., Dewar, H., Hazen, E. L., Lewison, R. L., Welch, H. y Crowder, L. B. (2019). Seasonal spatial segregation in blue sharks (*Prionace glauca*) by sex and size class in the Northeast Pacific Ocean. *Biodiversity Research*, 0,1–14. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ddi.12941>
- Medina-Trujillo, E. C. (2013). Description of the movements of the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus* in the Northeastern Pacific Ocean using satellite telemetry. [Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California].
- McEwen, G. F. (1916). Summary and interpretation of the hydrographic observations made by the Scripps Institution for Biological Research of the University of California 1908 to 1915. *Zoology*, 15: 255-356.
- McCullagh, P. y Nelder, J. A. (1989). *Generalized Linear Models*, 2nd ed. Chapman and Hall. 511 p.
- McGillicuddy D. J. (2016). Mechanisms of physical-biological-biogeochemical interaction at the oceanic mesoscale. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 8, 125–159.
- Mecklenburg, C. W., Mecklenburg, T. A. y Thorsteinson, L. K. (2002). *Fishes of Alaska*. Bethesda: American Fisheries Society. 1037 pp.
- Medina-Trujillo, E. C. (2013). Description of the movements of the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus* in the Northeastern Pacific Ocean using satellite telemetry. [Tesis de Maestría en

Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California].

- Megalofonou, P., Damalas, D., Deflorio, M. y De Metrio, G. (2009), Modeling environmental, spatial, temporal, and operational effects on blue shark by-catches in the Mediterranean long-line fishery. *Journal of Applied Ichthyology*, 25: 47-55. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2009.01221.x>
- Mitchell, J. D., Collins, K. J., Miller, P. I. y Suberg, L. A. (2014), Quantifying the impact of environmental variables upon catch per unit effort of the blue shark *Prionace glauca* in the western English Channel. *J Fish Biol*, 85: 657-670. <https://doi.org/10.1111/jfb.12448>.
- Nakano, H. (1994). Age, reproduction and migration of blue shark in the North Pacific Ocean. *Bulletin of the National Research Institute of Far Seas Fisheries* 31: 141–144.
- Nakano, H. y Seki, M. P. (2003). Synopsis of biological data on the blue shark, *Prionace glauca* Linnaeus. *Bulletin of the National Research Institute of Far Seas Fisheries* 6, 18–55.
- Nakano, H., y Stevens, J. D. (2008). The biology and ecology of the blue shark, *Prionace glauca*. En: Camhi M.D., Pikitch E.K., Babcock E.A. (eds) *Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation*. Blackwell, Oxford, pp 140–151.
- Nelder, J. A. y Wedderburn, R. W. M (1972). Generalized linear models. *J. Roy. Statist. Soc. Ser. A* 135 370-384.
- Palacios-Hernández, E., Argote, E. M., Amador, B. A. y Mancilla, P. M. (1996). Simulación de la circulación barotrópica inducida por viento en Bahía Sebastián Vizcaíno, B. C. *Atmósfera*, 9 (3), 171-188.
- Rentería, W., Valarezo, O. O. y García, G. L. (2019). Análisis del esfuerzo pesquero en el territorio marítimo ecuatoriano. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*. 4(6), 25-39.
- Runcie, R., Holts, D., Wraith, J., Xu, Y., Ramon, D., Rasmussen, R. y Kohin, S. (2016). A fishery-independent survey of juvenile shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) and blue (*Prionace glauca*) sharks in the Southern California Bight, 1994-2013. *Fisheries Research*, 183, 233 243.
- Ruvalcaba-Aroche, E. D., Sánchez-Velasco, L., Beier, E., Barton, E. D., Godínez, V. M., y Landeros-Tafolla, D. (2020). Ommastrephid squid paralarvae distribution and transport under contrasting interannual conditions in the tropical-subtropical convergence off Mexico. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103259>
- Santana-Hernández, H. (2001). Estructura de la comunidad de pelágicos mayores capturados con palangre en el Pacífico mexicano (1983-1996) y su relación la temperatura superficial del mar. [Tesis Doctoral, Universidad de Colima]. 122 pp.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2007). NORMA Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. *Diario Oficial de la Federación*.

- Secretaría de Marina (1972). Derrotero de las costas sobre el Océano Pacífico de México, América Central y Colombia. Secretaría de Marina, Dirección Gral. de Oceanografía, Pub. F.H. 102, México, D.F., 349 pp.
- Scripps Institution of Oceanography (SIO) (1962). Data Report. Results of current measurements with drogues, 1958-1961. SIO Reference 62-27. SIO, University of California, San Diego.
- Schlaff, A. M., Heupel, M. R. y Simpfendorfer, C. A. (2014). Influencia de los factores ambientales en el movimiento, comportamiento y uso del hábitat de tiburones y rayas: una revisión. *Rev Fish Biol Fisheries* 24, 1089-1103. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9364-8>
- Schwing, F. B., O'Farrel, M. Steger, J. y Blaltz, K. (1996). Coastal upwelling indices, west coast of North America 1946– 1995, NOAA Tech. Rep., NMFS SWFSC-231.
- Smith, S. E., Au, D. W. y Show, C. (2008a) Intrinsic rates of increase in pelagic elasmobranchs. *En: Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation* (eds. Camhi M. D., Pikitch, E. K. y Babcock, E. A.). Blackwell Publishing, Oxford. pp 397-417.
- Sosa-Nishizaki, O., Furlong-Estrada, J. A., Reyes-González, J. A. y Pérez-Jiménez, J. C. (2002). Blue shark (*Prionace glauca*) fishery in Baja California, México: An example of artisanal and middle scale fisheries interaction. Scientific Council Meeting, September 2002. Northwest Atlantic Fisheries Organization, NAFO SCR Doc 02/140, Serial No. N4762.
- Sosa-Nishizaki, O, Saldaña-Ruiz, L. E., Corro-Espinosa, D., Tovar-Ávila. J., Castillo-Géniz, J. L., Santana-Hernández, H. y Márquez-Farías, J. F. (2017). Estimations of the Shortfin Mako Shark (*Isurus oxyrinchus*) catches by Mexican Pacific fisheries, An update (1976-2016). ISC/17/SHARKWG-3/19. Working document submitted to the ISC. Shark Working Group Workshop, 28 November – 4 December 2017, NRIFSF Shimizu, Shizuoka, Japan.
- Sosa-Nishizaki, O. y Castillo-Géniz, J. L. (2016). Blue shark catches estimations for the Mexican Pacific (1976-2014). ISC/16/SHARKWG-1/24. Working document submitted to the ISC Shark Working Group Workshop, 14-21 November 2016, Haeundae Grand Hotel, Haeundae-gu, Busan, South.
- Strasburg, D. W. (1958). Distribution, abundance and habits of pelagic sharks in the Central Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 58 (138): 335 – 360.
- Swain, D. L. (2013). The extraordinary California dry spell continues: 2013 will probably be the driest year on record. The California Weather Blog, December 13, 2013, <http://www.weatherwest.com/archives/1021>.
- Swain, D. L. (2015). A tale of two California droughts: Lessons amidst record warmth and dryness in a region of complex physical and human geography. *Geophysical Research Letters* 42:9,999–10,003, <http://dx.doi.org/10.1002/2015GL066628>.
- Tavares, R., Ortiz, M., y Arocha, F. (2012). Population structure, distribution and relative abundance of the blue shark (*Prionace glauca*) in the Caribbean Sea and adjacent waters of the North Atlantic. *Fisheries Research*, 129-130, 137-152.

- Taylor, M. H. (1984). Lunar synchronization of fish reproduction. Rhythmicity in fishes. *Transactions of the American Fisheries Society* 113, 484–493.
- Vallis, G. (2017). Turbulencia geostrófica y remolinos baroclínicos. En *Dinámica de fluidos atmosféricos y oceánicos: fundamentos y circulación a gran escala* (págs. 445-472). Cambridge: Cambridge University Press. [doi: 10.1017 / 9781107588417.013](https://doi.org/10.1017/9781107588417.013)
- Vögler-Santos, R. (2011). Ecología espacial, estructura poblacional y dinámica espacio-temporal de *Prionace glauca* (Chondrichthyes, Carcharhinidae) en la zona de transición tropical-subtropical del Pacífico nororiental. [Tesis de Doctorado, Instituto Politécnico Nacional].
- Walsh, A. y P. Kleiber, (2001). Generalized additive model and regression tree analyses of blue shark (*Prionace glauca*) catch rates by the Hawaii-based commercial longline fishery. *Fisheries Research* 53:115-131.
- Williams, R. G. y Follows, M. J. (1998). Eddies make ocean deserts bloom. *Nature* 394, 228–229.
- Wood, S. M. (2006). Generalized additive models: An introduction with R. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Florida. 221-270 pp. <https://doi.org/10.1201/9781420010404>.
- Wood, S. N. (2011). Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 73(1):3-36.
- Yates, P. M., Heupel, M. R., Tobin, A. J., y Simpfendorfer, C. A. (2015). Ecological drivers of shark distributions along a tropical coastline. *PLoS One*. 2015 Apr 8;10 (4): e0121346. [doi:10.1371/journal.pone.0121346](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121346).
- Zaba, K., y Rudnick, D. L. (2016). The 2014–2015 warming anomaly in the Southern California Current System observed by underwater gliders. *Geophysical Research Letters* 43:1,241–1,248, <http://dx.doi.org/10.1002/2015GL067550>.
- Zar, J. H. (1999). Biostatistical analysis. Fourth edition. Prentice Hall, New Jersey, U.S.A. pp. 663.
- Zaytsev, O., Cervantes-Duarte, R., Montante, O. y Gallegos-García, A. (2003). Coastal Upwelling Activity on the Pacific Shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography* 59, 489–502. <https://doi.org/10.1023/A:1025544700632>.