



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



VARIABILIDAD DE LAS TASAS DE CAPTURA  
DEL PEZ VELA (*Istiophorus platypterus*) Y SU  
RELACIÓN CON ALGUNAS VARIABLES  
AMBIENTALES EN LA BOCA DEL GOLFO DE  
CALIFORNIA

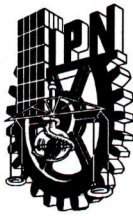
TESIS

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

PRESENTA

FÁTIMA GISELA MEDINA JASSO

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2015



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

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 01 del mes de Junio del 2015 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

“VARIABILIDAD DE LAS TASAS DE CAPTURA DEL PEZ VELA (Istiophorus platypterus) Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS VARIABLES EN LA BOCA DEL GOLFO DE CALIFORNIA”

Presentada por el alumno:

MEDINA
Apellido paterno

JASSO
materno

FÁTIMA GISELA
nombre(s)

Con registro: B 1 3 0 8 6 5

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

[Signature of Dra. Sofía Ortega García]

DR. SOFÍA ORTEGA GARCÍA
Directora de Tesis

[Signature of Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón]

DR. RAÚL OCTAVIO MARTÍNEZ RINCÓN
2º. Director de Tesis

[Signature of Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas]

DR. LEONARDO ANDRÉS ABITIA CÁRDENAS

[Signature of Dr. Germán Ponce Díaz]

DR. GERMAN PONCE DIAZ

[Signature of Dr. Héctor Villalobos Ortiz]

DR. HÉCTOR VILLALOBOS ORTIZ

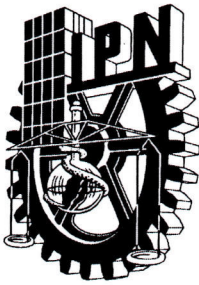
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

[Signature of Dra. María Margarita Casas Valdez]

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



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

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 16 del mes Junio del año 2015  
el (la) que suscribe OCEAN. FÁTIMA GISELA MEDINA JASSO alumno(a) del  
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS  
con número de registro B130865 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS  
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:  
DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA y DR. RAÚL OCTAVIO MARTÍNEZ RINCÓN  
y cede los derechos del trabajo titulado:

**"VARIABILIDAD DE LAS TASAS DE CAPTURA DEL PEZ VELA (*Istiophorus platypterus*)**

**Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS VARIABLES EN LA BOCA DEL GOLFO DE CALIFORNIA"**

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: fatima.gisela.medina.jasso@gmail.com - sortega0408@gmail.com - raul.martinez.rincon@gmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

OCEAN. FATIMA GISELA MEDINA JASSO

nombre y firma

## **DEDICATORIA**

*A mis queridos padres, Martha Alicia Gasso Ibarra y Salvador Medina Vega, a quienes debo todo lo que soy, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome y dándome ánimos para seguir adelante.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar a la Dra. Sofía Ortega García y al Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón por ser mis directores de tesis, por todo su apoyo desde antes de iniciar en el programa de maestría, así como por su dedicación y paciencia durante todo el proceso.

A mi comité de tesis: Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas, Dr. Germán Ponce Díaz y Dr. Héctor Villalobos Ortiz por su tiempo y sugerencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) por las becas que ayudaron a completar los objetivos propuestos, así como a los apoyos obtenidos mediante Subdirección Académica de Investigación (SAI) y a la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del I.P.N. (COFAA).

Al municipio de Los Cabos por el apoyo económico otorgado para la asistencia a la 66<sup>th</sup> Tuna Conference.

A todo el personal administrativo por atender siempre a los estudiantes con tanta paciencia.

A Alfredo Miramontes por hacer tan amenos los viajes de muestreo, así como sus enseñanzas en la obtención de muestras en Cabo San Lucas.

A todos aquellos que me ayudaron a realizar análisis para mi tesis así como a filosofar: Hideki Yoshida Hernández, Juan Carlos Hernández Padilla, Priscilla Casandra Gutiérrez Gálvez, Ariana Trujillo, Juan Ángel Payan Alcacio, Tatiana Acosta Pachón, Emigdio Marín Enríquez.

A los amigos que siempre están a para desestresarte después de un largo día, y de quienes sin sus conversaciones los días serían muy aburridos. Gracias por acompañarme en cada nueva aventura.

Y a todos aquellos que estuvieron presentes de una u otra forma en este proceso y que por mala memoria no los menciono, pero sepan que se los agradezco.

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	III
LISTA DE TABLAS .....	VIII
GLOSARIO .....	X
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT .....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	4
4. OBJETIVOS .....	9
5. MATERIAL Y MÉTODOS .....	10
5.1 Área de estudio .....	10
5.2 Bases de datos pesqueros .....	13
5.3 Información ambiental .....	13
5.4 Análisis estadístico .....	15
6. RESULTADOS .....	19
6.1 Tasas de captura .....	19
6.2 Variables ambientales .....	24
6.2.1 Temperatura superficial del mar (TSM) .....	24
6.2.2 Altura superficial del mar (ASM) .....	28
6.2.3 Velocidad del viento (VV) .....	32
6.3 Relación entre variables ambientales .....	35
6.4 Relación de las variables ambientales con las tasas de captura. ....	36
6.4.1 Temperatura superficial del mar (TSM) .....	36
6.4.2 Altura superficial del mar (ASM) .....	38

6.4.3 Velocidad del viento (VV) .....	39
6.4.4. Anomalías estandarizadas .....	41
6.5 Modelación estadística de las tasas de captura.....	43
6.5.1 Mazatlán, Sinaloa. ....	43
6.5.2 Buenavista, B.C.S. ....	45
6.5.3 Cabo San Lucas, B.C.S.....	47
7. DISCUSIÓN .....	50
7.1 Tasas de captura.....	50
7.2 Caracterización ambiental y su relación con las tasas de captura .....	53
7.3 Modelación de las tasas de captura .....	55
9. CONCLUSIONES .....	59
10. RECOMENDACIONES .....	61
11. BIBLIOGRAFÍA .....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pez vela <i>Istiophorus platypterus</i> .....	1
Figura 2. Zonas de manejo para las especies de pesca deportiva en las aguas mexicanas del Pacífico (tomado de Sosa-Nishizaki, 1998).....	3
Figura 3. Ubicación de las tres localidades donde se registró la información pesquera, así como las principales corrientes que interactúan en la superficie y sub-superficie en la boca del Golfo de California, Corriente de California (CC), Agua del Golfo de California (AGC), Corriente Costera Mexicana (CCM), Agua Subtropical Subsuperficial (AStSs).....	11
Figura 4. Serie de tiempo del Índice Oceánico del Niño (ONI) para el periodo 1990-1999, valores superiores a 0.5 se consideran de El Niño y valores por debajo de -0.5 La Niña (Tomado de <a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml</a> l).....	14
Figura 5. Serie de tiempo de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) para el periodo 1990-1999 Valores positivos indican la fase de calentamiento, valores negativos la fase de enfriamiento (Tomado de <a href="http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/">http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/</a> )..	15
Figura 6. Diagrama de caja de las tasas de captura (TC) de pez vela registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante periodo 1990-1999.....	20
Figura 7. Diagrama de caja de la variabilidad interanual de las tasas de captura (TC) de pez vela registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.....	21
Figura 8. Diagramas de caja de la variabilidad mensual de las tasas de captura (TC) de pez vela para un año tipo (1990-1999) registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S.....	22



Figura 9. Diagramas de caja de la variabilidad estacional de las tasas de captura (TC) de pez vela para un año tipo (1990-1999), registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. ....	23
Figura 10. Periodograma del análisis de Fourier de las tasas de captura de pez vela registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1990-1999. ....	24
Figura 11. Diagrama de caja de la temperatura superficial del mar (TSM) registradas en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante periodo 1990-1999. ....	25
Figura 12. Diagramas de caja de la variabilidad interanual de la temperatura superficial del mar (TSM) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. durante el periodo 1990-1999. ....	26
Figura 13. Diagramas de caja de la variabilidad mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. ....	27
Figura 14. Diagramas de caja de la variabilidad estacional de la temperatura superficial del mar (TSM) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. ....	27
Figura 15. Diagrama de caja de la altura superficial del mar (ASM) registrada en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1993-1999. ....	29
Figura 16. Diagramas de caja de la variabilidad interanual de la altura superficial del mar (ASM) registrada en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S durante el periodo 1993-1999. ....	30
Figura 17. Diagramas de caja de la variabilidad mensual de la altura superficial del mar (ASM) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a),	

Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. ....	31
Figura 18. Diagramas de caja de la variabilidad estacional de la altura superficial del mar (ASM) para una año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. ....	31
Figura 19. Diagrama de cajas de la velocidad del viento (VV) en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1990-1999. ....	32
Figura 20. Diagramas de caja de la variabilidad interanual de la velocidad de viento (VV) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.....	33
Figura 21. Diagrama de caja de la variabilidad mensual de la velocidad del viento (VV) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S.....	34
Figura 22. Diagramas de cajas de la variabilidad estacional de la velocidad del viento (VV) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. ....	34
Figura 23. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la temperatura superficial del mar (TSM) en la localidad de Mazatlán, Sin., durante el periodo 1990-1999. ....	36
Figura 24. Series de tiempo de las tasas de captura promedio (TC) de pez vela y la temperatura superficial del mar (TSM) en la localidad de Buenavista, B.C.S. durante el periodo 1990-1999. ....	37
Figura 25. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la temperatura superficial del mar (TSM) en la localidad de Cabo San Lucas, B.C.S. durante el periodo 1990-1999. ....	37

Figura 26. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la altura superficial del mar (ASM) en la localidad de Mazatlán, Sin., durante el periodo 1990-1999. ....	38
Figura 27. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la altura superficial del mar (ASM) en la localidad de Buenavista, B.C.S. durante el periodo 1990-1999. ....	38
Figura 28. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la altura superficial del mar (ASM) en la localidad de Cabo San Lucas, B.C.S. durante el periodo 1990-1999. ....	39
Figura 29. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) y la velocidad del viento (VV) en la localidad de Mazatlán, Sin. (MZ), durante el periodo 1990-1999. ....	39
Figura 30. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) y la velocidad del viento (VV) en la localidad de Buenavista (BV), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.....	40
Figura 31. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) y la velocidad del viento (VV) en la localidad de Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.....	40
Figura 32. Anomalías estandarizadas de tasas de captura (TC), temperatura superficial del mar (TSM), altura superficial del mar (ASM) y velocidad del viento (VV) en Mazatlán, Sin., Buenavista y Cabo San Lucas, B.C.S. durante el periodo 1990-1999. ....	42
Figura 33. Efecto de la temperatura superficial del mar (TSM) sobre las tasas de captura de pez vela en Mazatlán, Sin. Las líneas sobre el eje x muestran la densidad de observaciones, el eje y está en la escala del predictor lineal y se especifican los grados de libertad, el área sombreada representa al error estándar.....	44
Figura 34. Tasas de captura (TC) registradas por la flota deportiva durante el periodo 1990 a 1999 en Mazatlán, Sin. y la validación del modelo de predicción utilizando la información de los años 1998-1999.....	45

Figura 35. Efecto de las variables predictivas Mes como factor (a) y la temperatura superficial del mar (TSM) (b) sobre las tasas de captura de pez vela en Buenavista, B.C.S. Las líneas sobre el eje x muestran la densidad de observaciones, el eje y está en la escala del predictor lineal y se especifican los grados de libertad, el área sombreada representa al error estándar..... 46

Figura 36. Tasas de captura (TC) registradas por la flota deportiva durante el periodo 1990 a 1999 en Buenavista, B.C.S. y la validación del modelo de predicción utilizando la información de los años 1998-1999. .... 47

Figura 37. Efecto parcial de las variables predictivas: a. temperatura superficial del mar (TSM) y b. el índice oceánico El Niño (ONI) sobre las tasas de captura de pez vela en Cabo San Lucas, B.C.S. Las líneas sobre el eje x muestran la densidad de observaciones, el eje y está en la escala del predictor lineal y se especifican los grados de libertad, el área sombreada representa al error estándar..... 48

Figura 38. Tasas de captura (TC) registradas por la flota deportiva durante el periodo 1990 a 1999 en Cabo San Lucas, B.C.S. y la validación del modelo de predicción utilizando la información de los años 1998-1999. .... 49

## LISTA DE TABLAS

Tabla I. Rangos de temperatura de las diferentes masas de agua que confluyen en la BGC.....	11
Tabla II. Resumen descriptivo de las tasas de captura (orgs. /viaje) registradas por la flota deportiva que operó en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabos San Lucas (CSL), B.C.S. durante 1990-1999.....	19
Tabla III. Resumen descriptivo de la temperatura superficial del mar (°C) en las localidades de Mazatlán, Sin. (MZ), Buenavista (BV) y Cabos San Lucas (CSL), B.C.S. durante 1990-1999.....	24
Tabla IV. Resumen descriptivo de la altura superficial del mar (cm) en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabos San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1993-1999. ....	28
Tabla V. Resumen descriptivo de la velocidad del viento ( $m \cdot s^{-1}$ ) en las localidades de Mazatlán, Sin. (MZ), Buenavista (BV) y Cabos San Lucas (CSL), B.C.S. durante 1990-1999. ....	32
Tabla VI. Correlaciones entre variables ambientales temperatura superficial del mar (TSM), altura superficial del mar (ASM), velocidad del viento (VV), el índice oceánico de El Niño (ONI), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y el mes, evaluadas en las localidades de Mazatlán, Sin., Buenavista y Cabo San Lucas, B.C.S. durante el periodo 1990-1999. Los valores en negritas corresponden a las correlaciones que fueron significativas ( $p < 0.05$ ).....	35
Tabla VII. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado para las tasas de captura del pez vela en Mazatlán, Sin. ....	43
Tabla VIII. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado para las tasas de captura del pez vela en Buenavista, B.C.S.....	45

Tabla IX. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado para las tasas de captura del pez vela en Cabo San Lucas, B.C.S. .... 47

## GLOSARIO

**Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR):** Sensor remoto utilizado para medir la radiación emitida por una superficie que en este caso es la del océano (Cracknell, 1997).

**Análisis de Fourier:** Procedimiento analítico que describe o mide las fluctuaciones en una serie de tiempo comparándola con componentes senoidales (Boomfield, 2000).

**Colinealidad:** Cuando las variables explicativas de un modelo presentan fuerte correlación lineal entre ellas (Besley *et al.*, 2005).

**Concurvidad:** Término usado en estadística no paramétrica, análogo a la colinealidad, describe las dependencias no lineales entre variables predictivas, pudiendo provocar una sobre-estimación de parámetros o subestimación del error estándar (Ramsay *et al.*, 2002).

**Escaterómetro QuikSCAT:** Se utiliza para medir la rugosidad u ondas capilares de la superficie oceánica las cuales se encuentran relacionadas con el viento local superficial (Tang *et al.*, 2004).

**Índice Oceánico de El Niño:** Distinguido como ONI (*Oceanic El Niño Index*), mide anomalías de la temperatura superficial del mar en la región 3.4 (5° N-5° S, 120°-170° W), se basa en un promedio móvil de 30 años usado para calcular las anomalías 5 años consecutivos. Los eventos cálidos o fríos se definen cuando el índice se encuentra por encima o debajo de 0.5 durante, al menos, 5 meses consecutivos. ([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_change.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml))

**Máxima verosimilitud:** Es el método estadístico que consiste en determinar los parámetros de un conjunto de datos, seleccionando aquellos valores que maximizan la probabilidad de obtener los valores observados (Gómez *et al.*, 2012).

**Oscilación Decadal del Pacífico:** Más conocida como PDO (*Pacific Decadal*

*Oscillation*) es una variación del clima que alterna fases de calentamiento y de enfriamiento cada 20 o 30 años. Esta oscilación se detecta midiendo las temperaturas del Pacífico Norte (al norte del paralelo 20°N) (Mantua, 2002).

**Pesca deportiva:** Ésta actividad tiene como objetivo la recreación y/o competencia, los pescadores buscan el organismo con mayor dimensión o peso. Usualmente se utiliza caña, carrete, piola, anzuelos, carnada, así como hawaiana o pistola (NOM-017-PESC-1994).

**Sensor remoto:** Dispositivo para obtener información de un objeto o fenómeno sin estar en contacto directo con éste (Schott, 2000).

**TOPEX/Poseidon:** Satélite que proporcionó mediciones de la topografía superficial del océano con una precisión de 3.3 cm (Ducet *et al.*, 2000).

**Validación:** Es el proceso de determinar si un modelo es una buena representación de los datos observados (Mitchell, 1997).



## RESUMEN

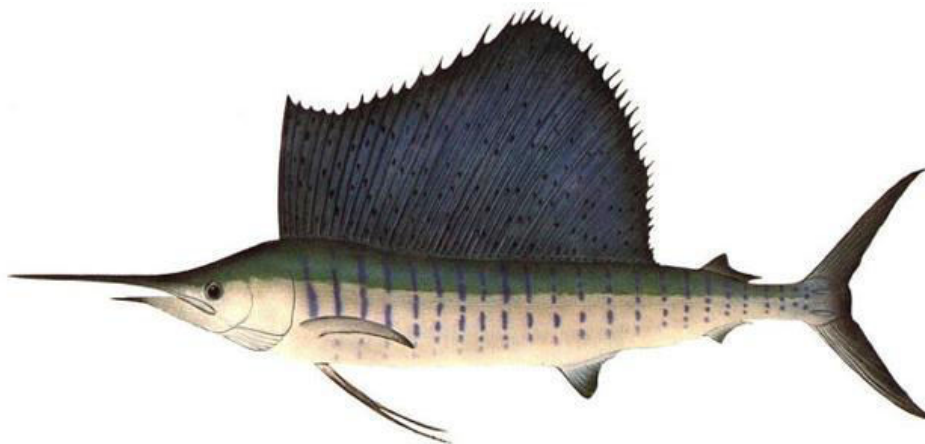
El pez vela *Istiophorus platypterus* habita en aguas tropicales y subtropicales de los océanos Atlántico e Indo-Pacífico. Pertenece a las especies objetivo de la pesca deportiva en México y es parte de la captura incidental de las flotas comerciales. A pesar de su importancia en el Pacífico mexicano, existen pocos estudios realizados en el límite norte de su distribución que analicen la relación entre el ambiente y las tasas de captura (TC: orgs. /viaje). El objetivo de este estudio fue determinar las variaciones estacionales e interanuales de las TC y el efecto de algunos factores ambientales en su abundancia en tres localidades de la boca del Golfo de California (BGC). Los datos pesqueros corresponden a información de TC promedio mensuales de las principales flotas deportivas que operaron de 1990-1999 en Mazatlán (MZ), Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL) y la información ambiental fue derivada de imágenes satelitales e índices oceanográficos. Se encontraron diferencias significativas en las TC entre localidades, MZ registró los valores más altos (0.85 orgs. /viaje) mientras CSL presentó los más bajos (0.06 orgs. /viaje). No se encontraron diferencias significativas en el análisis interanual, sin embargo, se observaron TC mayores en 1991 para MZ, 1990 para BV y 1997 para CSL. Las TC presentaron una variabilidad estacional significativa, con valores más altos en primavera-verano para MZ y en verano para BV y CSL. El análisis de Fourier determinó un ciclo de un año en las TC para los tres sitios. El análisis de las variables ambientales mostró que la temperatura superficial del mar (TSM) fue significativamente superior en MZ, mientras que la velocidad del viento lo fue en CSL, la altura superficial del mar fue similar en los tres sitios. La variabilidad estacional fue significativa para todas las variables ambientales y de acuerdo al análisis de correlaciones cruzadas las TC mostraron correlaciones significativas con las variables ambientales. Los resultados de los Modelos Aditivos Generalizados sugieren que la TSM es la que mejor describe la variabilidad de las TC además del índice de El Niño en CSL, la devianza explicada por cada uno de los modelos fue de 49, 22.9 y 29.6% para MZ, BV y CSL, respectivamente. En conclusión, se observó un patrón estacional muy marcado para esta especie en la BGC, que está principalmente correlacionado con temperaturas cálidas superiores a 25 °C presentes durante primavera y verano.

## ABSTRACT

Sailfish *Istiophorus platypterus* inhabits tropical and subtropical waters of the Atlantic and Indo-Pacific oceans. In Mexico, this species is reserved to sport fishing for exploitation, however it is considered as bycatch species of large-scale fisheries operating in coastal waters of Mexico. Despite its importance, there are few studies conducted on the northern limit of its distribution in the Mexican Pacific that analyze the relationship between the environment and catch rates (CR: number of fishes per fishing trip). The aim of this study was to determine the seasonal and inter-annual variations in CR of the species and the effect of some environmental variables on its abundance in three locations in the mouth of the Gulf of California. Fishery data was obtained from the monthly logbook recorded by the recreational fleet operating in Mazatlán (MZ) in Sinaloa, Buenavista (BV) and Cabo San Lucas (CSL) in Baja California Sur, Mexico during 1990-1999. Environmental data was derived from satellite images and oceanographic indexes. Significant differences in CR between locations were observed, MZ showed the highest CR with 0.85 fish /trip, while CSL had the lowest CR with a value of 0.06. Although no significant differences were found in the CR by year, we observed some variations; MZ had highest values in 1991, BV in 1990 and CSL in 1997, lowest CR were observed in 1994 in MZ, and 1996 in BV and CSL. Significant seasonal CR changes were observed in the three locations, in MZ highest CR values were recorded during spring-summer, BV and CSL had the highest average CR during summer, which was supported by the Fourier analysis. Cross-correlation analysis determined that CR were significantly correlated with the environmental variables, sea surface height was correlated to CR with a lag of one month and wind speed were correlated to CR with a maximum lag of four months. Generalized Additive Models were used to explain the effect of environmental and temporal variables on sailfish CR. Best-fit models showed highest CR when sea surface temperature was warmer ( $> 25^{\circ}\text{C}$ ) and at El Niño conditions in CSL. Best-fit models explained 49, 22.9 and 29.6% of total deviance in MZ, BV and CSL, respectively. In conclusion a strong seasonal pattern was observed for the species in the mouth of Gulf California, which is mostly related with warm temperatures present during spring and summer.

## 1. INTRODUCCIÓN

El pez vela es de las especies más apreciadas por los pescadores deportivos, constituyendo más del 50% de la captura y llegando al 90% en los principales puertos del Pacífico mexicano (Arias-Olaiz, 2007). Físicamente se caracteriza por la altura y longitud de la aleta dorsal en forma de vela náutica (Fig. 2), así como por la extensión de las aletas pélvicas, en tanto que las aletas pectorales y caudales son cortas (Nakamura, 1985). Su color es azul oscuro en la parte dorsal del cuerpo, café con azul en los lados y plateado en el vientre, con aproximadamente 20 líneas en los laterales del cuerpo (Nakamura, 1985). Se ha estimado que estos organismos pueden alcanzar una edad mayor a 15 años (Prince *et al.*, 1986) y tallas mayores a 340 cm (Nakamura, 1985), alcanzando la mitad de su longitud en los dos primeros años y superando el 80% a los 3 años de edad (Cerdenares-Ladrón de Guevara, 2011),



© Windsor Nature Discovery

Figura 1. Pez vela *Istiophorus platypterus*.

Esta especie se distribuye en aguas costeras tropicales y subtropicales de los océanos Atlántico e Indo-Pacífico (Nakamura, 1985; Graves y McDowell, 2003; Ortega-García *et al.*, 2015). En el Pacífico Occidental se le puede encontrar en latitudes entre los 40° N y 27° S, en tanto que en el Oriental se distribuye entre los 25°

N y 5° S (Nakamura, 1985). Es un pez epipelágico que pasa la mayor parte del tiempo en la capa de mezcla (Hoolihan y Luo, 2007; Chiang *et al.*, 2011; Mourato *et al.*, 2014), sin embargo, puede realizar inmersiones que sobrepasan los 60 m, tolerando cambios de temperatura de aproximadamente 8 °C (Prince y Goodyear, 2006; Chiang *et al.*, 2011).

Se ha observado que esta especie tiene una distribución costera en comparación con los demás picudos (Nakamura, 1985) y que posee una alta capacidad migratoria relacionada con el desplazamiento de las isothermas de 28 (Nakamura, 1985) y 21 °C, siendo ésta última el límite físico de su distribución en el Pacífico Mexicano (PM) (Arias-Olaiz, 2005). Características que lo relacionan estrechamente con las condiciones ambientales que rigen su entorno, influyendo en su disponibilidad y vulnerabilidad (Ortega-García *et al.*, 2015), lo que destaca la importancia de estudiar la influencia que tienen los cambios de distintas variables ambientales en la abundancia de ésta especie.

En las costas del PM, se distribuye desde las costas de Chiapas hasta Bahía Magdalena en Baja California Sur (Squire, 1974), siendo el GT su zona núcleo en el Océano Pacífico Oriental (OPO) (Ortega-García *et al.*, 2015). Durante el primer semestre de año se le puede encontrar en el sur del PM y conforme las aguas cálidas comienzan a desplazarse al norte, también lo hace parte de la población, haciendo posible su captura en las aguas adyacentes a la BGC (Arias-Olaiz, 2007; Macías-Zamora *et al.*, 2011). La presencia de pez vela en las cercanías de Cabo San Lucas y Buenavista, B.C.S. se registra de mayo a noviembre, con capturas mayores de agosto a noviembre; en Mazatlán, Sin. se captura durante todo el año, aunque con máximos en junio y mínimos en invierno (Uosaki y Bayliff, 1999; Arias-Olaiz, 2005; Macías-Zamora *et al.*, 2011; DOF, 2012).

Se ha estimado que la talla de primera madurez se presenta cuando el organismo sobrepasa los 164 cm de longitud para las hembras y 157 cm en el caso de los machos (Hernández-Aguilar, 2012), realizando varios desoves durante su época reproductiva, la cual abarca los meses de verano y otoño (Hernández-Herrera, 2001; Pimenta *et al.*, 2005; Cerdaneres-Ladrón de Guevara, 2011).

Respecto a la alimentación, es catalogado como un depredador tope con

hábitos alimentarios selectivos y preferencia hacia presas que forman cardúmenes como sardinas, anchovetas, macarelas y calamar, entre otros (Nakamura, 1985; Pimenta *et al.*, 2005; Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2006, Hernández-Aguilar *et al.*, 2013), sin embargo, algunos autores lo consideran oportunista debido a su amplio espectro alimentario (Hernández-Herrera, 2001).

En México, el pez vela al igual que las otras especies de peces de pico y otros peces pelágicos como el pez gallo, dorado y sábalo se encuentran reservadas a la pesca deportiva dentro de las primeras 50 millas náuticas de mar territorial (Fig. 2), además de dos zonas de exclusión para la flota comercial por considerarse áreas de reproducción para los picudos, una en el Golfo de Tehuantepec (GT) y otra que abarca la costa occidental de Baja California Sur y la boca del Golfo de California (BGC) (DOF, 1987; NOM-017-PESCA-1994).

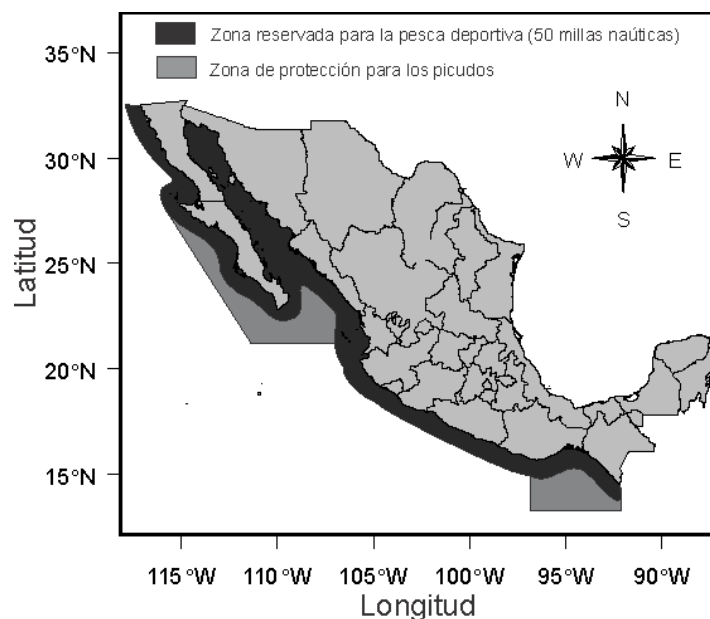


Figura 2. Zonas de manejo para las especies de pesca deportiva en las aguas mexicanas del Pacífico (tomado de Sosa-Nishizaki, 1998)

La pesca deportiva es una actividad que genera grandes divisas para el país, por lo que el estudio de las especies que participan en ella es de gran importancia.

En la actualidad, la mayoría de las investigaciones recurso-ambiente realizadas en el límite norte de la distribución del pez vela, han considerado principalmente el

efecto de la temperatura superficial del mar. Sin embargo, actualmente el acceso a datos ambientales derivados de imágenes satelitales nos permite llevar a cabo análisis más detallados y con mayor profundidad enfocados a este aspecto.

Tomando en cuenta que estudios enfocados a la investigación de cambios en la abundancia relativa del pez vela en el noroeste del PM, y su relación con variables bióticas y abióticas que delimitan su hábitat son escasos, el presente estudio pretende evaluar el efecto que diferentes variables derivadas de imágenes satelitales como la temperatura superficial del mar, altura superficial del mar y velocidad del viento, así como el que los índices oceánico de El Niño y Oscilación Decadal del Pacífico tuvieron en la abundancia relativa de pez vela en tres localidades ubicadas en la boca del Golfo de California. Conocimiento que nos ayudará a comprender la variabilidad que sea debida a estos factores y poder inferir y pronosticar los cambios en las tasas de captura como consecuencia de los mismos.

## **2. ANTECEDENTES**

La influencia de las variables ambientales en la distribución y abundancia del pez vela ha sido documentada en diferentes partes del mundo. Prince y Goodyear (2006), a través del uso de marcas electrónicas colocadas en peces vela del Pacífico Oriental Tropical (POT) y del noroeste del océano Atlántico, encontraron que ocupan nichos ecológicos diferentes. En el primer caso mostraron preferencia por permanecer la mayor parte del tiempo en profundidades menores a 50 m y en asociación con la temperatura superficial del mar (TSM) superior a los 28 °C, en tanto que en el segundo permanecieron más tiempo en profundidades menores a 75 m, y en TSM superior a 24 °C. Sin embargo, observaron que los organismos del POT realizaban inmersiones ocasionales, tolerando temperaturas más frías que el pez vela del Atlántico.

Hoolihan y Luo (2007), marcaron 18 peces vela para determinar su hábitat preferente dentro del Golfo Árabe, encontraron que estos organismos pasaron la mayor parte del tiempo a una profundidad no mayor a 10 m, sin embargo realizaron inmersiones hasta profundidades de 61 m. Los organismos marcados mostraron preferencia por aguas con temperaturas cercanas a 25 °C, aunque realizaron

exploraciones en un rango de 19.7 a 30.1 °C. Sugieren que ésta población permanece aislada dentro del golfo debido a que las marcas no registraron que algún organismo saliera de éste cuerpo de agua.

Boyce *et al.* (2008), en una revisión bibliográfica de estudios elaborados en todo el mundo, describen los rangos de temperatura preferentes para distintas especies de atunes y picudos, mencionan que el pez vela tiene afinidad por la TSM que se encuentra en el rango de 20 a 27.8 °C, aunque con preferencia por aguas en límite superior de su tolerancia por lo que muestran asociación a temperaturas superiores a 25°C.

Mourato *et al.* (2010b), analizaron datos de distribución de frecuencia de tallas de peces vela capturados por redes de enmalle, así como por la flota palangrera que operó en el Atlántico ecuatorial y sudoccidental durante el periodo 1998 a 2007 y su relación con variables ambientales y espaciales. Encontraron que peces jóvenes (< 155 cm LF) presentaron capturas mayores en aguas con temperaturas superiores a 28 °C. En cambio, los adultos (> 155 cm LF) mostraron abundancia mayor en áreas con TSM superior a 24 °C y en concentraciones de clorofila-a de 0.3 mg·m<sup>-3</sup>. También fueron más abundantes cuando la capa de mezcla se encontró a menos de 20 m, así como donde el suelo marino alcanzó 4000 m de profundidad. Los adultos se encontraron con mayor frecuencia en el Atlántico oriental y los jóvenes en el occidental.

Chiang *et al.* (2011), al analizar información obtenida a través de marcas satelitales colocadas en peces vela en el mar de China oriental, determinaron que este organismo tiene preferencia por habitar en la parte superior de la capa de mezcla, realizando inmersiones a mayor profundidad durante la noche, estos autores mencionan que los movimientos verticales se asocian a cambios de temperatura de aproximadamente 8 °C. Además se hizo evidente su permanencia en zonas con TSM mayores a 25 °C.

Hinton y Maunder (2013), examinaron los datos de capturas reportadas por flotas palangreras de cerco y deportivas que operaron en el OPO de 1964 a 2011. Reportan una disminución en la captura de esta especie, ya que en 1993 se registraron 5027.9 toneladas y a partir de 2008 se han reportado cifras estables en la

orden de cientos de toneladas. Los autores confirman la preferencia de este organismo por TSM cálidas cercanas a los 28 °C.

Mourato *et al.* (2014), al analizar la información de captura de la flota palangrera brasileña y su relación con diferentes variables ambientales, determinan que el pez vela tiende a agregarse en dos áreas, la primera denominada *zona de desove* en el sureste de Brasil y la segunda *zona de no desove* en el noreste. Construyeron un modelo *espacio-temporal* en el que pudieron observar que el efecto de la variable *mes* fue el término más importante en la *zona de desove*, a diferencia de la *zona de no desove* donde la ubicación geográfica fue la más importante. En el caso del modelo *ambiental* que mostró que el viento y la concentración de clorofila fueron las variables más importantes para las dos áreas. Tanto en la *zona de desove* como en la de *no desove* se encontraron capturas mayores cuando la TSM fue superior a 26 °C, así como cuando la velocidad del viento fue mayor a 4 m s<sup>-1</sup> y en concentraciones de clorofila-*a* con valores de 0.5 a 1.0 mg·m<sup>-3</sup> y 0.5 a 0.6 mg·m<sup>-3</sup>, respectivamente.

Particularmente para el PM, diversos autores han evaluado la influencia del medio ambiente en su distribución y abundancia. Kume y Joseph (1969), analizaron la información de la captura reportada por la flota palangrera japonesa de 1964 a 1966, observaron que el pez vela se encuentra en el centro del PM durante todo el año y que realiza migraciones cercanas a la costa asociadas con el desplazamiento de la isoterma de 28 °C, presentando mayor abundancia entre los 10 y 25 °N.

Estudiando las tasas de captura registradas en torneos de pesca deportiva en Manzanillo, Colima de 1954 a 1989, Macías-Zamora (1993) analizó la relación de la captura con la TSM y el nivel medio del mar como indicadores del fenómeno El Niño. Encontró una relación positiva entre éstas variables, mostrando que las tasas de captura aumentaban cuando se presentaban eventos El Niño en el área.

Santana-Hernández *et al.* (1996), analizaron la captura y temperatura reportada por la flota palangrera que se mantuvo en operación en el PM durante los años 1980 a 1990, encontrando que los indicadores de abundancia aumentaban conforme lo hacía la temperatura.



Martínez-Rincón (2005), analizó la distribución espacio-temporal de captura de esta especie registrada por la flota palangrera que operó en el GT durante 1985-1986. Encontró que las capturas mayores se obtuvieron cuando la temperatura presentó valores cercanos a 29 °C y cuando la concentración de pigmentos fotosintéticos fue baja (valores cercanos a 0.1 mg·m<sup>-3</sup>).

Arias-Olaiz (2005), al analizar las capturas de la flota palangrera mexicana que operó en el Golfo de California durante 1985-1987, determinó que la abundancia mayor se presentó en aguas con TSM superiores a 27 °C y que la isoterma de 21 °C delimita su hábitat. Arias-Olaiz (2007), para esta misma flota pero para el periodo 1983-1996, encontró que el pez vela se encuentra presente durante todo el año en el GT, iniciando su migración en el mes de julio con dirección norte hasta la BGC. Además de obtener una relación directa de la captura con la TSM, observó que los valores de abundancia fueron mayores en la zona costera donde el alimento se encuentra fácilmente disponible y la profundidad del suelo marino varía en un rango de 0 a 2000 m de profundidad. También encontró abundancia alta en la zona oceánica frente a las costas del GT donde el suelo oceánico tiene profundidades entre 2000 a 4000 m y se caracteriza por poseer alta productividad. En cuanto al fenómeno La Niña, encontró mayor abundancia relativa con enfriamiento de las aguas, sugiriendo que se podría deber a la compresión de su hábitat a la superficie.

Santana-Hernández (2009), examinó información de captura de diferentes especies de pelágicos mayores, así como del esfuerzo de pesca realizado por barcos palangreros que operaron en el PM de 1983 a 1996 y su relación con la TSM. Menciona que el pez vela se encuentra en las costas de Chiapas durante todo el año y que realiza desplazamientos al norte durante el tercer trimestre del año siguiendo la isoterma de 28 °C. También encontró que se asocia a otras especies pelágicas como el dorado y tiburón martillo, los cuales se caracterizan por encontrarse con mayor abundancia durante el tercer y cuarto trimestre del año.

Martínez-Rincón *et al.* (2015), estudiaron el efecto de las variables ambientales en la captura incidental de pez vela registrada por la flota atunera mexicana que operó en el OPO durante 1998-2007. Encontraron que la probabilidad de captura del pez vela es mayor en zonas costeras cuando la TSM presenta valores mayores a 26 °C,

en concentraciones de clorofila-*a* menores a  $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , además se ve favorecida en la presencia de eventos El Niño.

## **4. OBJETIVOS**

### 4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto que tienen las variables ambientales en la variabilidad estacional e interanual de las tasas de captura del pez vela durante el periodo 1990 - 1999.

### 4.2 Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad interanual y estacional de las tasas de captura promedio para el período 1990-1999.
- Establecer la variabilidad interanual y estacional de la temperatura superficial del mar, altura superficial del mar y la velocidad del viento.
- Evaluar la relación entre las tasas de captura y las variables ambientales.
- Construir un modelo de pronóstico de las tasas de captura a través del uso de Modelos Aditivos Generalizados.

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

### 5.1 Área de estudio

El Golfo de California (GC) es un mar marginal con una superficie aproximada de 210, 000 km<sup>2</sup>, se le considera como una cuenca de evaporación que aumenta en profundidad conforme se avanza en dirección sur (Castro *et al.*, 2000). Tiene colindancia al este con la costa de los estados de Sonora y Sinaloa, al oeste con la península de Baja California y en el extremo sur se encuentra la BGC con aproximadamente 200 km de ancho y donde el suelo oceánico alcanza hasta 2, 500 m de profundidad, mediante la cual mantiene comunicación permanente con el océano Pacífico (Castro *et al.*, 2000).

El área de interés de éste estudio es la BGC, considerada como una zona de transición por la interacción compleja de distintas corrientes (Castro *et al.*, 2000; Lavín y Marinone, 2003). Castro *et al.* (2000) mencionan que la circulación en la BGC es ciclónica en los meses de primavera, otoño e invierno, es decir, el agua ingresa por las costas de Sinaloa y sale por la costa este de Baja California Sur.

Las principales masas de agua que interactúan en la superficie de la BGC corresponden a la Corriente de California, la Corriente Costera Mexicana y el Agua del Golfo de California, las cuales convergen en los primeros 200 m, y además se mezclan un poco con el Agua Subtropical Subsuperficial que se encuentra debajo (Castro *et al.*, 2000 y 2006; Lavín y Marinone, 2003; Pantoja *et al.*, 2012) (Fig. 3). En la Tabla I, se muestra como dichas corrientes poseen distintos rangos de temperatura favoreciendo la existencia de diferencias de densidad y por lo tanto la formación de giros de mesoescala (cientos km) (Lavín y Marinone, 2003; Pantoja *et al.*, 2012), así como la presencia de frentes térmicos en el área.

Tabla I. Rangos de temperatura de las diferentes masas de agua que confluyen en la BGC.

	Temperatura
Corriente de California	12 - 18 °C
Corriente Costera Mexicana	18 – 31 °C
Agua del Golfo de California	12 – 31 °C
Agua Subtropical Subsuperficial	9 – 18 °C

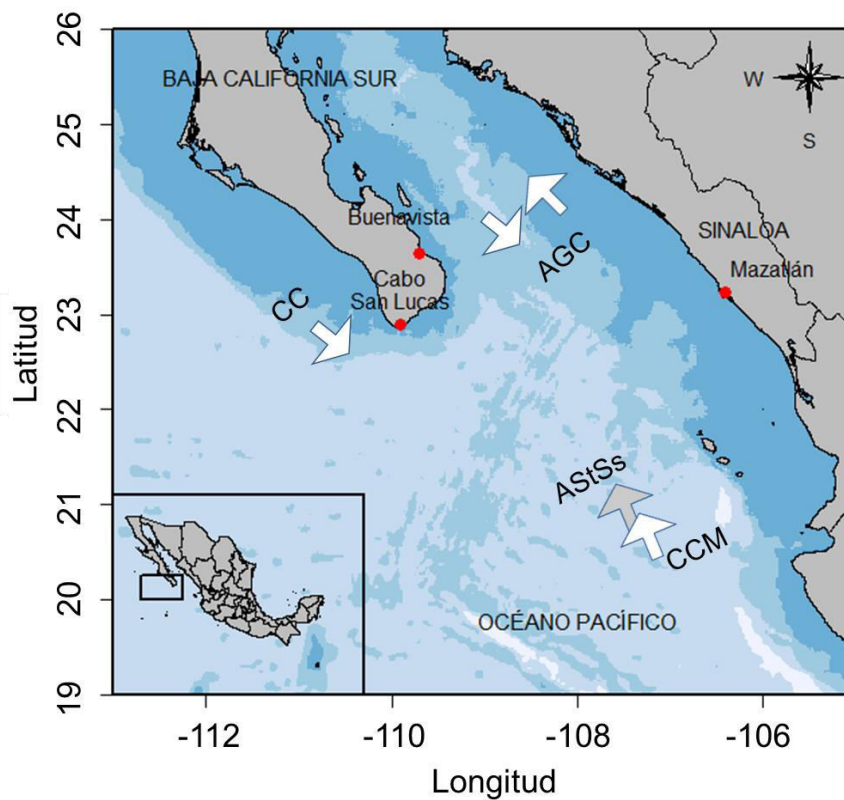


Figura 3. Ubicación de las tres localidades donde se registró la información pesquera, así como las principales corrientes que interactúan en la superficie y sub-superficie en la boca del Golfo de California, Corriente de California (CC), Agua del Golfo de California (AGC), Corriente Costera Mexicana (CCM), Agua Subtropical Subsuperficial (AStSs).

Entre otras características hidrográficas se puede mencionar que la profundidad de la capa de mezcla puede variar de 10 a 40 m en verano e invierno, respectivamente (Castro *et al.*, 2000). Además, la zona de mínimo oxígeno ( $< 0.5 \text{ lm}\cdot\text{l}^{-1}$ ) se encuentra a una profundidad muy somera en comparación a otros sitios (aproximadamente de 75 m de profundidad) (Hendrickx y Serrano, 2010), lo cual puede influir en la distribución de especies pelágicas (Prince y Goodyear, 2006).

La intensidad y dirección de los vientos tienen una estacionalidad muy marcada en la zona de estudio. Durante el invierno, los vientos más intensos provienen del noroeste, mientras que en verano provienen del sureste, además se observan dos épocas de transición en los meses de junio y noviembre, respectivamente (Wilkinson *et al.*, 2009)

Con respecto a la productividad primaria, se puede decir que la región es oligotrófica debido a sus bajos niveles de clorofila ( $<0.2\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) con excepción de la costa de Sinaloa, donde la concentración de clorofila aumenta por las surgencias estacionales, las cuales se presentan en la temporada de invierno y primavera (Espinoza-Carreón y Valdez-Holguín, 2007).

Eventos de gran escala como El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) pueden ocasionar temperaturas anómalamente cálidas (El Niño) o frías (La Niña), lo que repercute en las variables ambientales, los ecosistemas y las actividades relacionadas con la pesca (Magaña-Rueda, 1999).

## 5.2 Bases de datos pesqueros

La información analizada corresponde a datos de captura y esfuerzo a partir de los cuales se estimó la tasa de captura del pez vela (número de organismos por viaje: orgs. /viaje) promedio mensuales de las principales flotas deportivas que operaron en Mazatlán, Sin., Buenavista y Cabo San Lucas en B.C.S. durante 1990-1999, recopilada a través del Proyecto de Pelágicos Mayores del CICIMAR-IPN. Debido a que el término CPUE (captura por unidad de esfuerzo) es usualmente asociado a una estandarización del esfuerzo (CPUE estandarizada) en el que se toman en cuenta las características físicas y mecánicas de las embarcaciones, así como el equipo de pesca utilizado; en este trabajo se utiliza el término tasa de captura (TC) como medida de abundancia relativa en lugar del término CPUE, ya que en la pesca deportiva es muy difícil realizar dicha estandarización debido a la gran diversidad de características del arte de pesca y el tipo de embarcaciones que realizan esta actividad, en adición muchas veces este tipo de información no es proporcionado por las empresas que ofrecen esta actividad.

$$TC = \frac{C}{E}$$

TC = tasa de captura (número de organismos/viaje)

C = captura (número de organismos)

E = esfuerzo (número de viajes de pesca)

## 5.3 Información ambiental

Las variables oceanográficas analizadas en el presente trabajo fueron la temperatura superficial del mar (TSM), altura superficial del mar (ASM) y velocidad del viento (VV), así como el Índice Óceánico El Niño (ONI), y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). Los valores de la TSM fueron obtenidos de imágenes de satélite

(1990-1999) del sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) con resolución de 1.1 km. El promedio mensual de la VV se obtuvo de las imágenes del escaterómetro QuikSCAT con resolución de 25 km, en tanto que la ASM fue inferida de las imágenes de satélite del sensor TOPEX/Poseidon con resolución de 27 km, el sensor comenzó a operar a partir de octubre de 1992, por lo que se carece de información previa (<http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/coastwatch/CWBrowser.jsp>). Todas las imágenes se analizaron con el software Windows Image Manager (WIM 6.6; Kahru, 2010). El índice ONI se obtuvo de la página electrónica de la NOAA ([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)), valores superiores a 0.5 sugiere eventos El Niño, mientras que los inferiores a -0.5 corresponden a eventos La Niña (Fig. 4). El PDO se obtuvo del sitio de internet <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/> (Fig. 5).

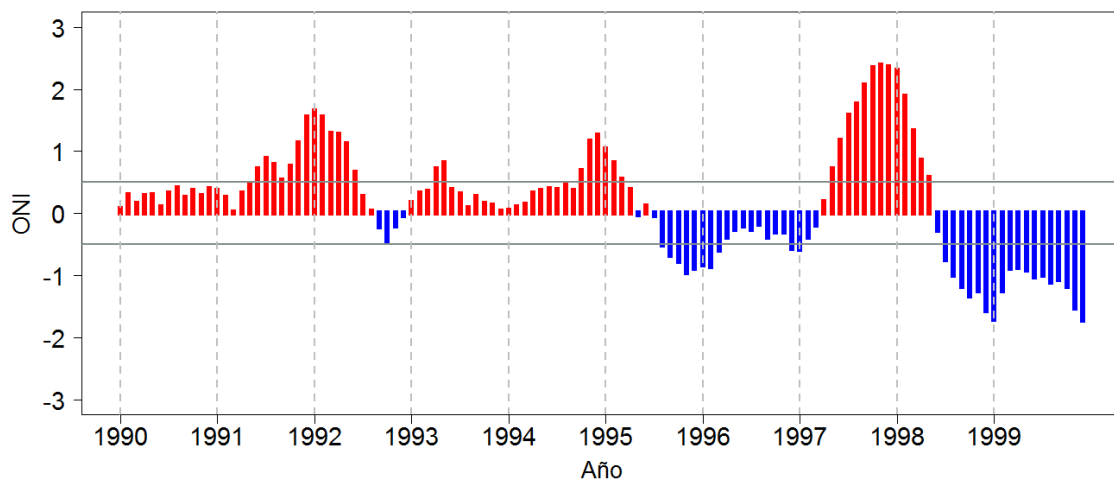


Figura 4. Serie de tiempo del Índice Oceánico del Niño (ONI) para el periodo 1990-1999, valores superiores a 0.5 se consideran de El Niño y valores por debajo de -0.5 La Niña (Tomado de [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)).



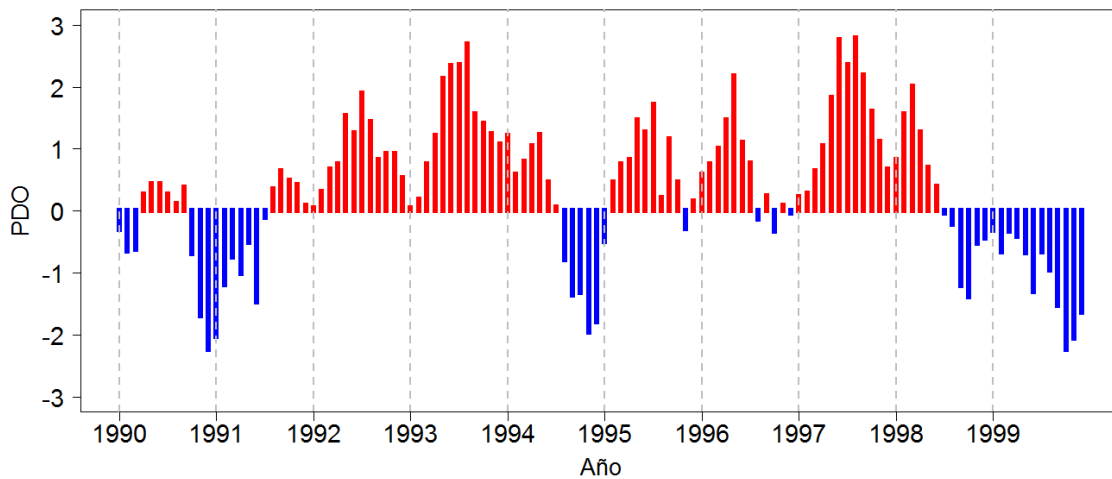


Figura 5. Serie de tiempo de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) para el periodo 1990-1999. Valores positivos indican la fase de calentamiento, valores negativos la fase de enfriamiento (Tomado de <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>).

#### 5.4 Análisis estadístico

En primer término, se llevó a cabo un análisis de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y de homogeneidad de varianzas (Bartlett) de la información. Dado que los datos no fueron normales ( $D_{(120)} = 0.5$ ,  $p < 0.05$ ) ni homocedásticos ( $B_{(2,360)} = 336.04$ ,  $p < 0.05$ ), se aplicaron análisis de varianza no paramétricos (Kruskal-Wallis) para determinar si existían diferencias significativas en las tasas de captura y en las variables ambientales tanto estacional como interanualmente.

Con la finalidad de visualizar los cambios con mayor detalle, tanto en la serie de tasas de captura como en las variables ambientales se calcularon anomalías estandarizadas. Las anomalías se definieron respecto al ciclo anual para eliminar la estacionalidad, es decir que en este caso que son promedios mensuales, el ciclo anual se determinó como el promedio de todos los enero, febrero, etc. del período del registro.

$$An_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i}$$

$An_{ij}$  = anomalía del i-ésimo mes y j-ésimo año.

$X_{ij}$  = valor observado del i-ésimo mes y j-ésimo año.

$\bar{X}_i$  = valor promedio del i-ésimo mes para el período de estudio

$S_i$  = desviación estándar del i-ésimo mes.

Para llevar a cabo el análisis estacional se consideró el trimestre I (enero-marzo) para invierno, trimestre II (abril-junio) para primavera, trimestre III (julio-septiembre) para verano y trimestre IV (octubre-diciembre) para otoño.

Para la identificación de fluctuaciones temporales en las tasas de captura se utilizaron análisis de Fourier. En éstos se descomponen las series de tiempo en una suma de componentes armónicos utilizando transformaciones discretas de Fourier, las cuales convierten una serie de datos que se encuentran en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, utilizando como entrada números reales (Smith, 1999), identificando así, los componentes periódicos para determinar la presencia de estacionalidad en la serie de tiempo. Para éste análisis se utilizó la función *fft* del programa estadístico R (R Core Team, 2013).

Para evaluar la relación entre las tasas de captura del pez vela y las variables ambientales se aplicaron correlaciones cruzadas. Éste análisis mide la similitud entre dos series de tiempo y ayuda a identificar el retraso o desfase de tiempo entre dos variables, es decir el tiempo en el que las dos señales coinciden. Debido a que incluye un factor de normalización el valor de la correlación toma valores entre -1 y 1. Las correlaciones positivas cercanas a 1 indican una relación lineal casi perfecta, es decir que cuando los valores de una variable aumentan, la otra variable también incrementa sus valores en la misma proporción; por el contrario, valores negativos cercanos a -1 muestran una relación negativa casi perfecta, mientras una variable aumenta sus valores la otra variable decrece en la misma proporción (Zar, 2010). Se utilizó la función *ccf* del programa estadístico R (R Core Team, 2013) para calcular los valores

de las correlaciones.

Para explicar el efecto de las variables ambientales así como de los índices oceanográficos sobre las tasas de captura se utilizaron modelos aditivos generalizados (GAMs, por sus siglas en inglés), los cuales son descritos como una generalización de los modelos lineales generalizados, donde la parte del predictor lineal es especificado como una suma de “funciones suavizadoras” de las variables predictivas que dan como resultado una variable de respuesta que en éste caso son las tasas de captura (Wood, 2006). Los GAMs, además de considerar relaciones lineales entre variables, analizan la posibilidad de que dichas relaciones no sean lineales (Guisan *et al.*, 2002).

Para éste estudio se eligieron como variables predictivas a las variables ambientales, los índices oceanográficos, así como al mes del año para evaluar el efecto que estas tienen en la variable de respuesta. Como paso previo a la modelación estadística se aplicaron rangos de correlación de Spearman entre las variables predictivas para identificar aquellas con alta correlación, se utilizó esta prueba debido a que no realiza supuestos de linealidad en la relación entre dos variables; si dos o más variables predictivas tienen una alta correlación se puede presentar el fenómeno de concurvidad en los modelos de regresión, lo que implica que el efecto de una variable predictiva puede enmascarar el efecto de otra (Zuur *et al.*, 2009).

La construcción del modelo se inició con la evaluación de diferentes tipos de distribución y funciones de enlace. En modelación estadística existen dos formas de construcción de modelos; 1) El que parte del modelo nulo (en el cual se explica la variable respuesta en función de su promedio); y 2) El que parte del modelo máximo (todas las variables predictivas disponibles). En este trabajo se utilizó el criterio de construcción del modelo más simple hasta llegar al modelo mínimo adecuado. El modelo mínimo adecuado es aquel que contiene solo las variables que son las más importantes para explicar la variación de la variable respuesta.

Se utilizaron distintos criterios matemáticos para la construcción del modelo

mínimo adecuado: a) Considerar que la contribución de todas las variables predictivas sea estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ); b) El Criterio de Información de Akaike (AIC), el cual se basa en la estimación de verosimilitud, es decir, calcula la bondad de ajuste de un modelo a los datos observados. Además éste criterio contiene un término de penalización para evitar la sobre-parametrización o inclusión de parámetros innecesarios dentro del modelo. El método de AIC selecciona como mejor modelo al que tiene el valor más bajo de AIC (Wood, 2006); y c) El porcentaje de devianza explicada. La devianza es un equivalente a la estimación de la máxima verosimilitud y se puede clasificar en devianza nula y residual. La devianza nula es la que representa el peor modelo posible el cual solo cuenta con un solo término constante (el promedio de la variable respuesta), mientras la devianza residual es la que se obtiene de un modelo ajustado (incluye variables). Éstas dos se combinan para obtener la cantidad de devianza explicada (Wood, 2006).

$$\% \text{ devianza explicada} = \frac{(\text{devianza nula} - \text{devianza residual})}{\text{devianza nula}} \times 100$$

El efecto de las variables predictivas del modelo mínimo adecuado se evaluó mediante el uso de los gráficos de dependencia parcial. Estos gráficos muestran, como su nombre lo indica, el efecto parcial de los términos de un modelo sobre la variable respuesta.

Para la validación de los GAMs se alimentaron los modelos con información correspondiente a los años 1990 a 1997 para predecir las TC de 1998 y 1999. Para la aplicación de los GAMs se utilizó el paquete *mgcv* (Wood, 2006) del software estadístico R (R Core Team, 2013).

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Tasas de captura

El resumen estadístico de las tasas de captura (TC) analizadas en las localidades de Mazatlán, Sin. (MZ), Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL) en B.C.S. se presenta en la Tabla II. Los resultados muestran que de las tres localidades, MZ mantuvo las TC promedio más altas, siguiendo BV con valores intermedios y por último CSL con los valores más bajos. Tanto en BV como en CSL se presentaron las tasas de captura más bajas de cero orgs. /viaje (Tabla II).

Tabla II. Resumen descriptivo de las tasas de captura (orgs. /viaje) registradas por la flota deportiva que operó en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabos San Lucas (CSL), B.C.S. durante 1990-1999.

Localidad	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
MZ	0.013	3.121	0.852	0.853	0.566
BV	0.000	0.816	0.123	0.174	0.191
CSL	0.000	0.481	0.024	0.068	0.095

### 7.1.1 Análisis por localidad

Se encontraron diferencias significativas en las tasas de captura de las tres localidades ( $H_{(2,280)} = 189.43$ ,  $p < 0.05$ ), siendo MZ la que registró los valores más altos y CSL los más bajos (Tabla II, Fig. 6).

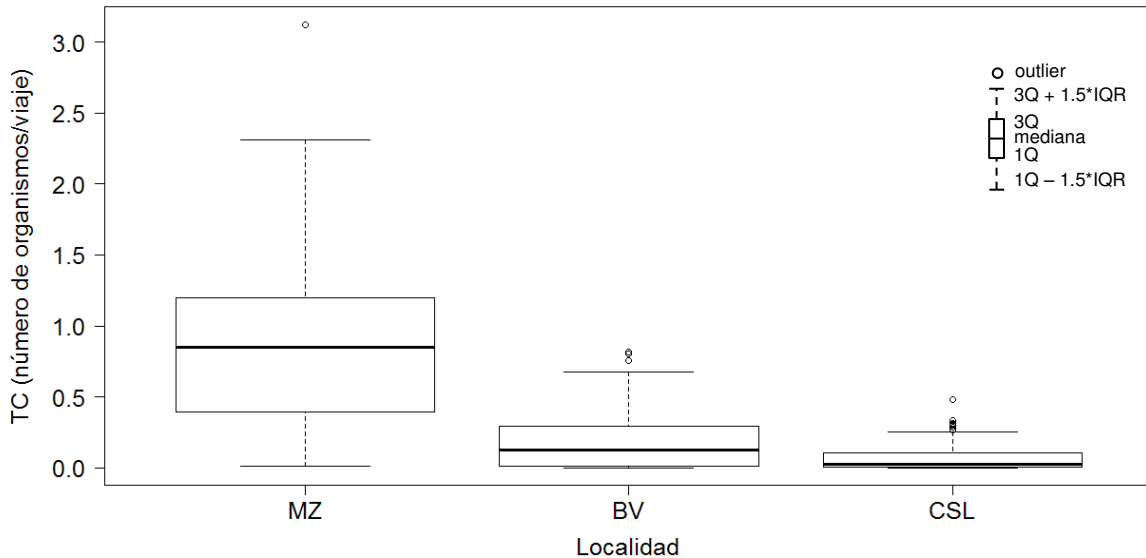


Figura 6. Diagrama de caja de las tasas de captura (TC) de pez vela registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante periodo 1990-1999.

### 7.1.2 Variabilidad interanual

No se encontraron diferencias interanuales en las tasas de captura en ninguna de las localidades: MZ ( $H_{(9,120)} = 7.32$ ,  $p = 0.60$ ), BV ( $H_{(9,91)} = 3.99$ ,  $p = 0.91$ ) o CSL ( $H_{(9,85)} = 16.25$ ,  $p = 0.06$ ), sin embargo MZ presentó las TC promedio más altas en 1991 (1.13 de orgs. /viaje) y las menores en 1994 (0.64 orgs. /viaje), BV registró una TC promedio mayor en 1990 (0.25 orgs. /viaje) y la menor en 1996 (0.09 orgs. /viaje), en tanto que CSL presentó el máximo en 1997 (0.13 orgs. /viaje) y el mínimo en 1996 (0.01 orgs. /viaje) (Fig. 7).

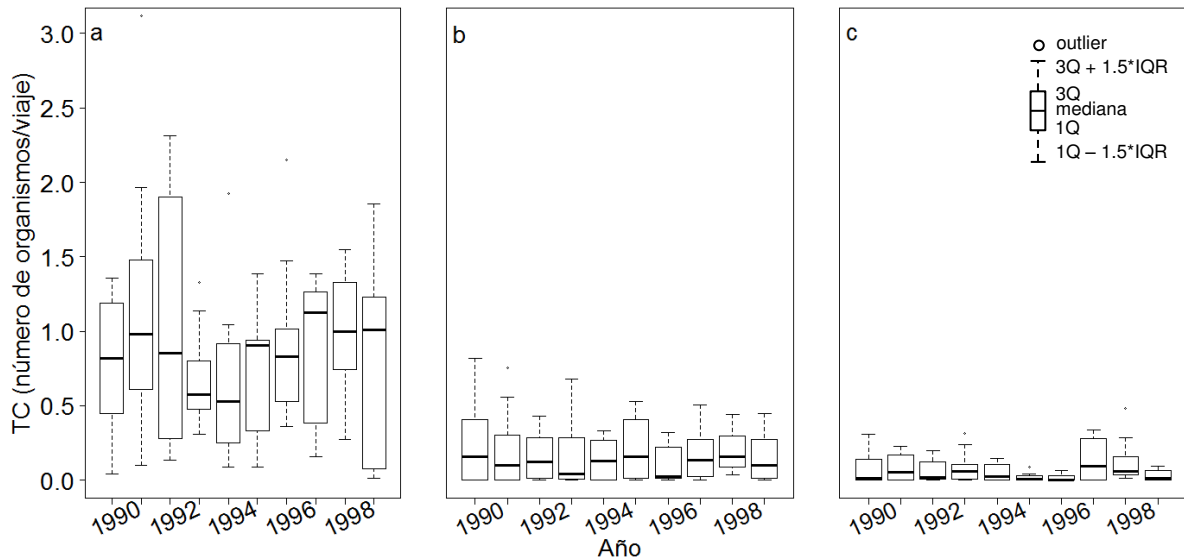


Figura 7. Diagrama de caja de la variabilidad interanual de las tasas de captura (TC) de pez vela registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

### 7.1.3 Variabilidad intra-anual

Se encontraron diferencias significativas en las TC promedio mensuales en las tres localidades: MZ ( $H_{(11,120)} = 71.76$ ,  $p < 0.05$ ), BV ( $H_{(11,91)} = 93.85$ ,  $p < 0.05$ ) y CSL ( $H_{(11,85)} = 80.20$ ,  $p < 0.05$ ). Se puede observar que la TC de pez vela en MZ presentó dos incrementos significativos, el primero en mayo y el segundo en noviembre, en tanto BV y CSL mostraron un aumento importante en los meses de julio a noviembre con máximos en septiembre para la primera localidad y agosto para la segunda (Fig. 8), evidenciando un desfase en los incrementos de las TC entre localidades, presentándose primero en MZ, posteriormente en BV y CSL, para después continuar con el segundo repunte en las TC en MZ (Fig. 8).

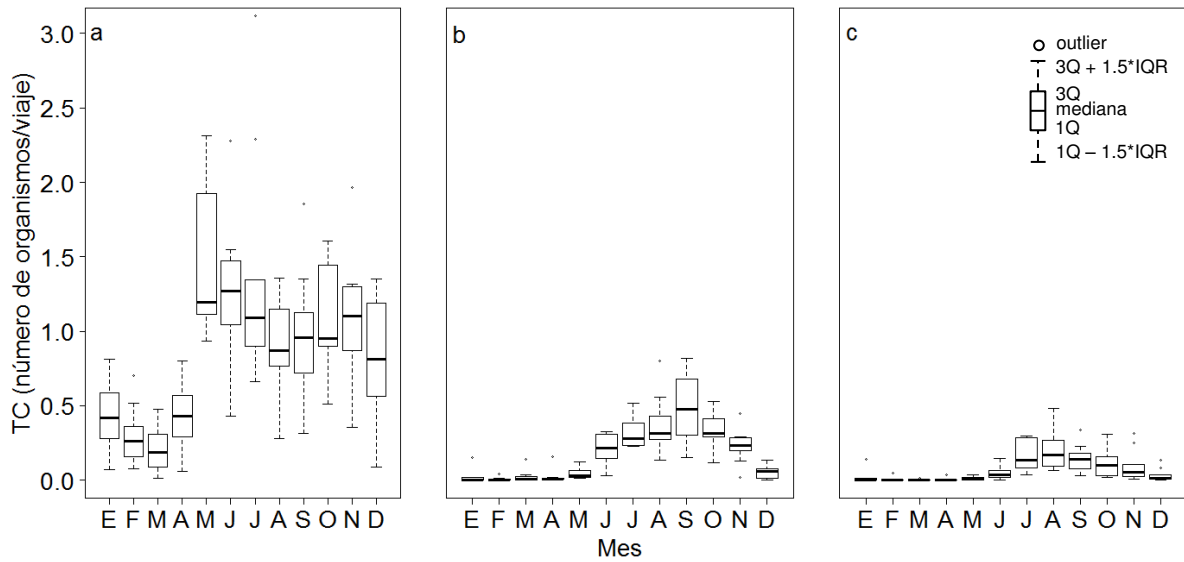


Figura 8. Diagramas de caja de la variabilidad mensual de las tasas de captura (TC) de pez vela para un año tipo (1990-1999) registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S.

El análisis estacional mostró diferencias significativas en las TC en MZ ( $H_{(3,120)} = 46.96, p < 0.05$ ), BV ( $H_{(3,91)} = 73.21, p < 0.05$ ) y CSL ( $H_{(3,85)} = 67.42, p < 0.05$ ) (Fig. 9), en donde las TC mayores se presentaron en primavera en MZ y durante el verano para BV y CSL.



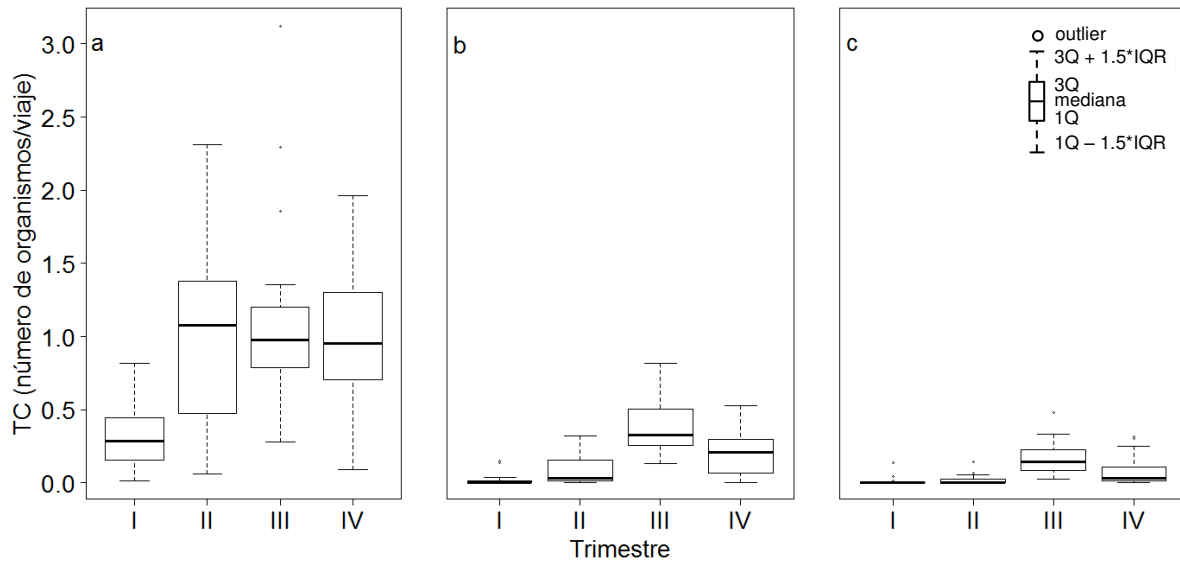


Figura 9. Diagramas de caja de la variabilidad estacional de las tasas de captura (TC) de pez vela para un año tipo (1990-1999), registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S.

### 7.1.3 Análisis de series de Fourier

Mediante el análisis de Fourier se determinó un componente cíclico de 12 meses el cual contiene la mayor parte de la varianza de las TC las tres localidades, es decir, las TC muestran un incremento importante una vez al año. Además, se observó una señal de menor intensidad en MZ con un periodo de tiempo de 6 meses, lo que indica que existe una estacionalidad en las TC, esto debido a los dos incrementos registrados en mayo y noviembre (Figs. 8 y 10).

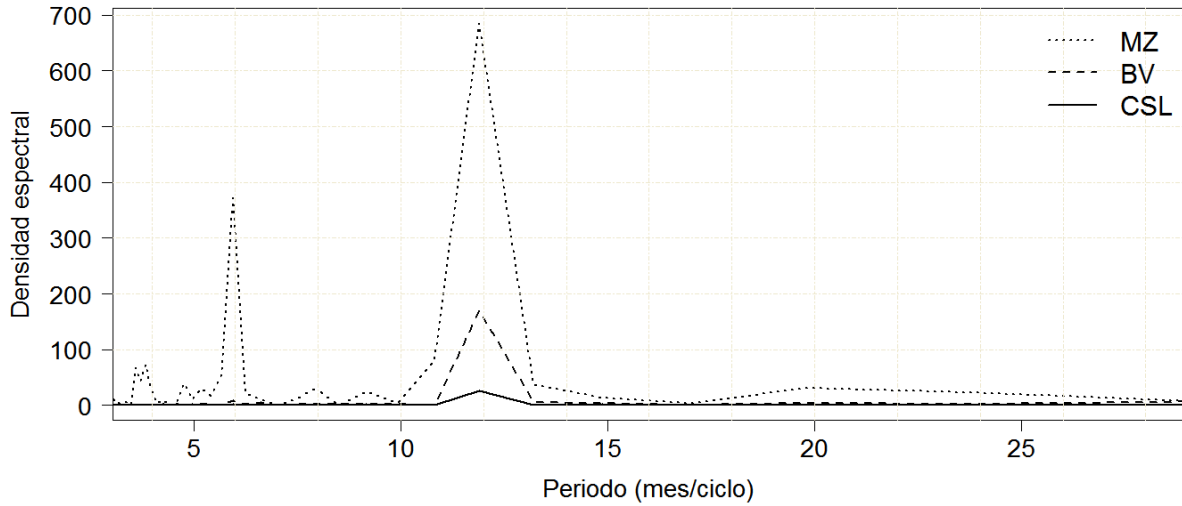


Figura 10. Periodograma del análisis de Fourier de las tasas de captura de pez vela registradas por la flota deportiva en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

## 6.2 Variables ambientales

### 6.2.1 Temperatura superficial del mar (TSM)

En la Tabla III, se muestra que MZ presentó el valor de TSM promedio mayor, seguida de BV y por último CSL.

Tabla III. Resumen descriptivo de la temperatura superficial del mar (°C) en las localidades de Mazatlán, Sin. (MZ), Buenavista (BV) y Cabos San Lucas (CSL), B.C.S. durante 1990-1999.

Localidad	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
MZ	21.1	30.6	26.8	26.3	2.8
BV	20.0	30.8	25.6	25.4	3.1
CSL	21.0	30.2	24.7	25.1	2.6

### 7.2.1.1 Análisis por localidad

Se encontraron diferencias significativas en la TSM entre las tres localidades del área de estudio ( $H_{(2,360)} = 11.44$ ,  $p < 0.05$ ), siendo MZ la que presentó la TSM promedio más alta y CSL la más baja (Tabla III, Fig. 11).

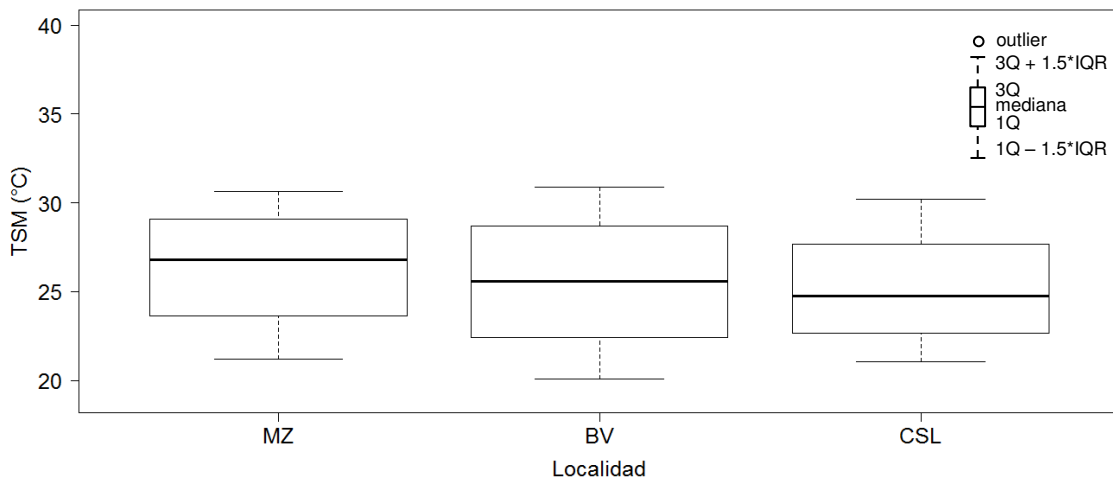


Figura 11. Diagrama de caja de la temperatura superficial del mar (TSM) registradas en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante periodo 1990-1999.

### 7.2.1.2 Variabilidad interanual

Aunque no se encontraron diferencias significativas en la variación interanual de la TSM en MZ ( $H_{(9,120)} = 3.34$ ,  $p = 0.94$ ), BV ( $H_{(9,120)} = 2.91$ ,  $p = 0.96$ ) o CSL ( $H_{(9,120)} = 3.45$ ,  $p = 0.94$ ) (Fig. 12), MZ y BV presentaron la TSM promedio más alta en 1990 (26.90 y 25.95 °C, respectivamente), en tanto que en CSL fue en 1998 (25.70 °C), además las tres localidades mostraron un incremento en temperatura en 1992, así como en 1997. Las TSM más bajas se presentaron en 1999 en los tres sitios (Fig. 12).

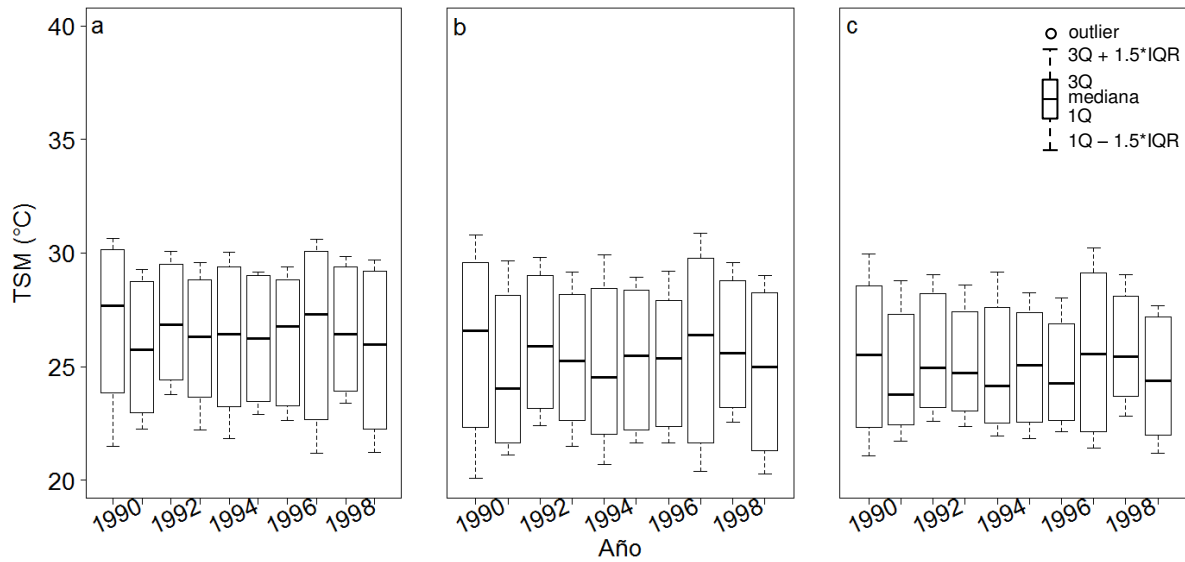


Figura 12. Diagramas de caja de la variabilidad interanual de la temperatura superficial del mar (TSM) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

### 7.2.1.3 Análisis intra-anual

El análisis de la variabilidad intra-anual de la TSM mostró un patrón similar entre localidades, con temperaturas cálidas en los meses de julio a noviembre. Esta variabilidad fue estadísticamente significativa: MZ ( $H_{(11,120)} = 108.84$ ,  $p < 0.05$ ), BV ( $H_{(11,120)} = 109.64$ ,  $p < 0.05$ ) y CSL ( $H_{(11,120)} = 108.07$ ,  $p < 0.05$ ) (Fig. 13).

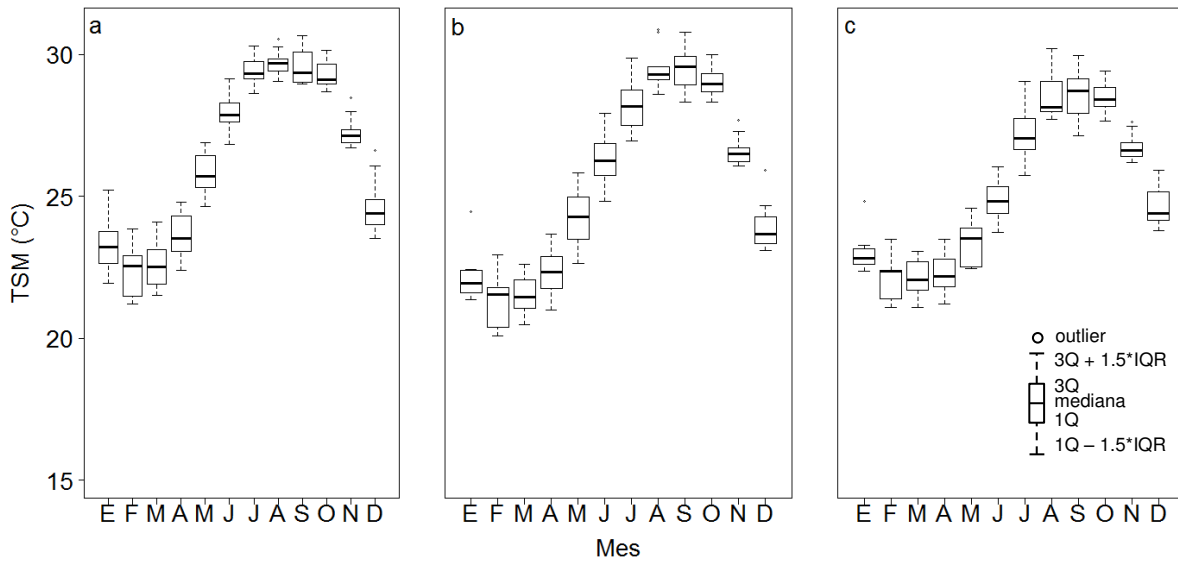


Figura 13. Diagramas de caja de la variabilidad mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S.

Estacionalmente, se encontraron diferencias significativas en las tres localidades: MZ ( $H_{(3,120)} = 88.63, p < 0.05$ ), BV ( $H_{(3,120)} = 89.70, p < 0.05$ ) y CSL ( $H_{(3,120)} = 89.38, p < 0.05$ ), la TSM más alta se registró durante el verano para los tres sitios (Fig. 14).

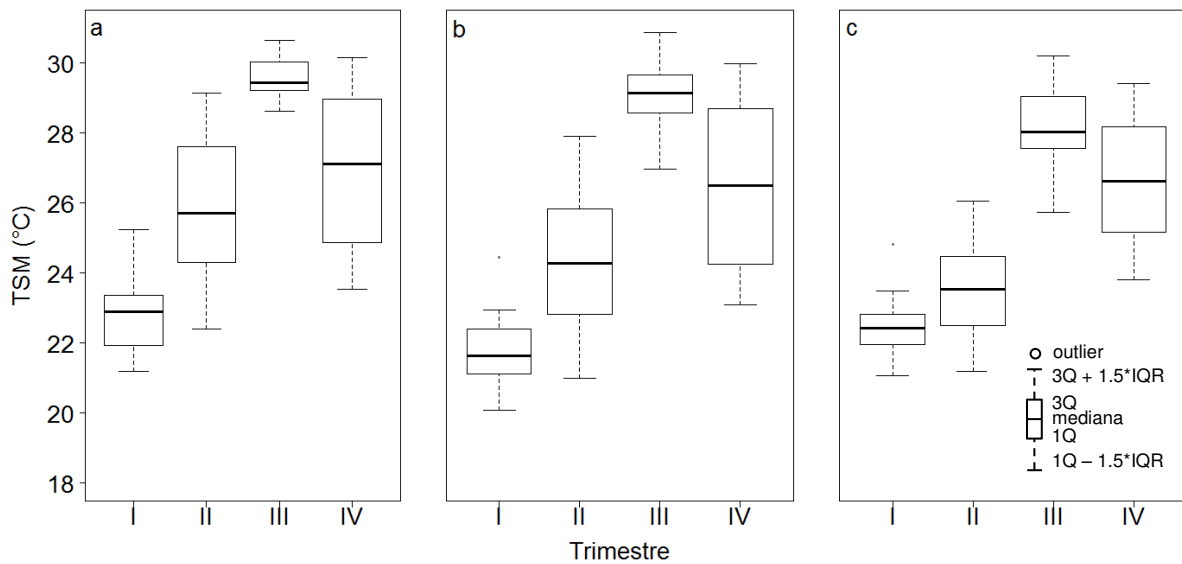


Figura 14. Diagramas de caja de la variabilidad estacional de la temperatura superficial del mar (TSM) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San

Lucas (c), B.C.S.

### 6.2.2 Altura superficial del mar (ASM)

De acuerdo al resumen estadístico (Tabla IV), los valores promedio de la ASM fueron muy similares entre localidades, siendo CSL la localidad que presentó la ASM promedio ligeramente mayor y BV la menor.

Tabla IV. Resumen descriptivo de la altura superficial del mar (cm) en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabos San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1993-1999.

Localidad	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
MZ	26.2	45.7	32.0	32.2	4.7
BV	25.2	44.6	31.7	32.2	4.5
CSL	26.7	44.4	32.4	32.8	3.9

#### 7.2.2.1 Análisis por localidad

No se encontraron diferencias significativas en la ASM entre localidades ( $H_{(2,247)} = 2.11$ ,  $p = 0.34$ ) manifestando una alta similitud para los tres sitios (Tabla IV, Fig. 15).

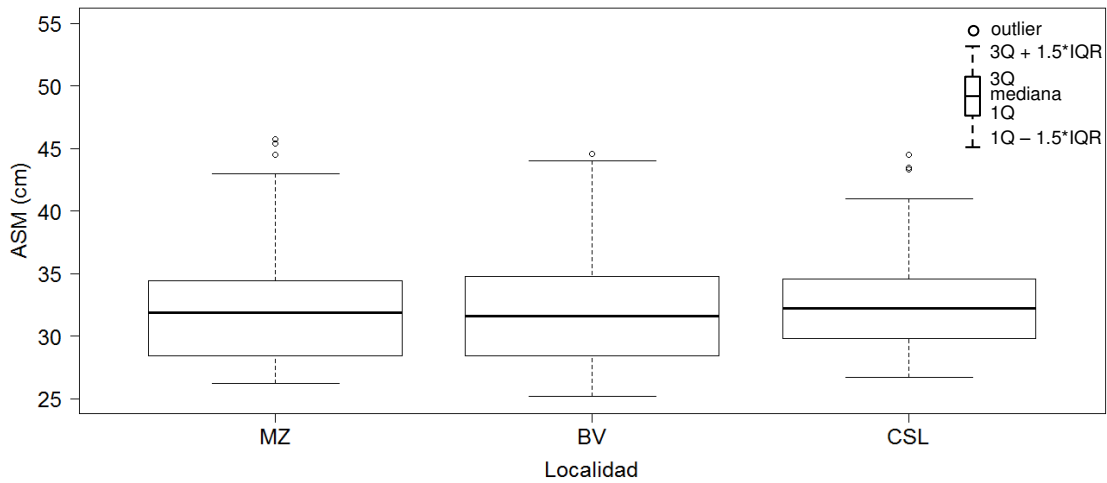


Figura 15. Diagrama de caja de la altura superficial del mar (ASM) registrada en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1993-1999.

### 7.2.2.2 Análisis interanual

El análisis interanual mostró diferencias significativas en CSL ( $H_{(6,82)} = 17.73$ ,  $p < 0.05$ ), pero no fue así en MZ ( $H_{(6,82)} = 12.54$ ,  $p = 0.05$ ) ni en BV ( $H_{(6,83)} = 11.38$ ,  $p = 0.07$ ) (Fig. 16). En los tres sitios el valor de ASM promedio fue mayor durante el año 1997 (36.99, 35.46 y 35.67 cm, respectivamente), y el mínimo en 1999 (29.53, 29.68 y 30.23 cm, respectivamente) (Fig. 16).

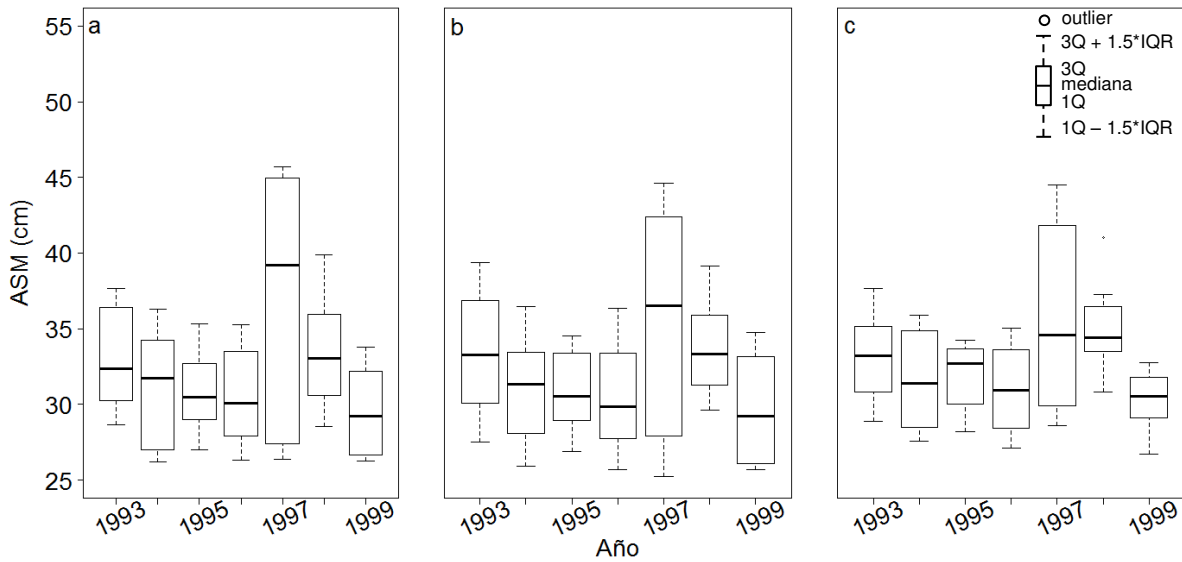


Figura 16. Diagramas de caja de la variabilidad interanual de la altura superficial del mar (ASM) registrada en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S durante el periodo 1993-1999.

### 7.2.2.3 Análisis intra-anual

En el análisis intra-anual se encontraron diferencias significativas en las tres localidades: MZ ( $H_{(11,82)} = 53.46$ ,  $p < 0.05$ ), BV ( $H_{(11,83)} = 59.65$ ,  $p < 0.05$ ) y CSL ( $H_{(11,83)} = 50.18$ ,  $p < 0.05$ ), presentando un patrón similar con valores altos en los meses de julio a noviembre (Fig. 17).



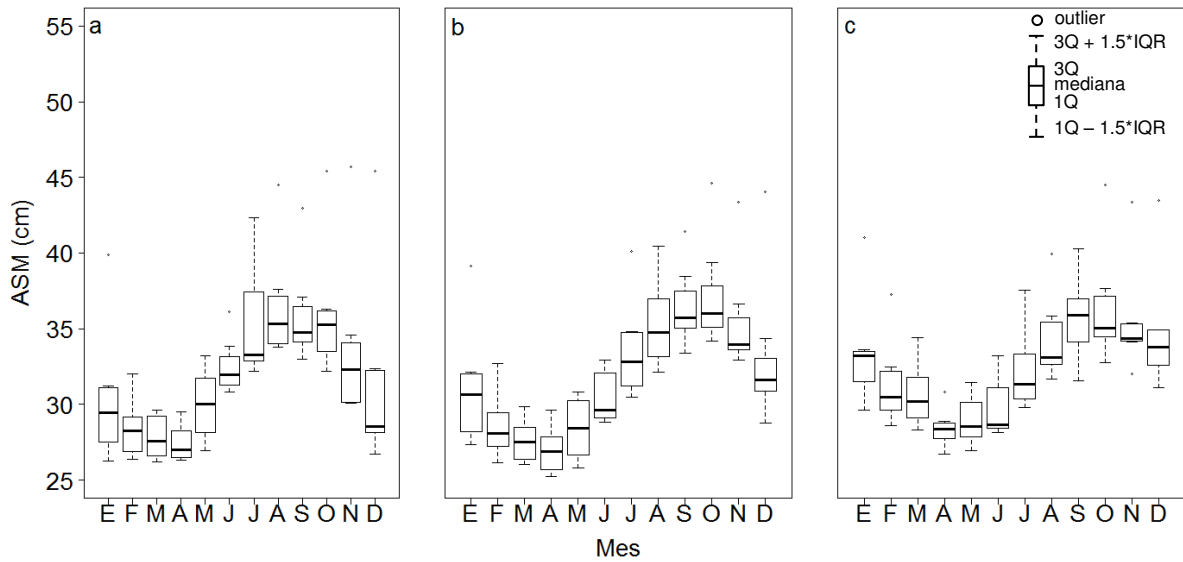


Figura 17. Diagramas de caja de la variabilidad mensual de la altura superficial del mar (ASM) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S.

Estacionalmente, se encontraron diferencias significativas en las tres localidades: MZ ( $H_{(3, 82)} = 40.01$ ,  $p < 0.05$ ), BV ( $H_{(3, 83)} = 48.87$ ,  $p < 0.05$ ) y CSL ( $H_{(3, 83)} = 43.26$ ,  $p < 0.05$ ). Los valores de ASM más altos se registraron durante el verano para MZ y BV y otoño para CSL (Fig. 18).

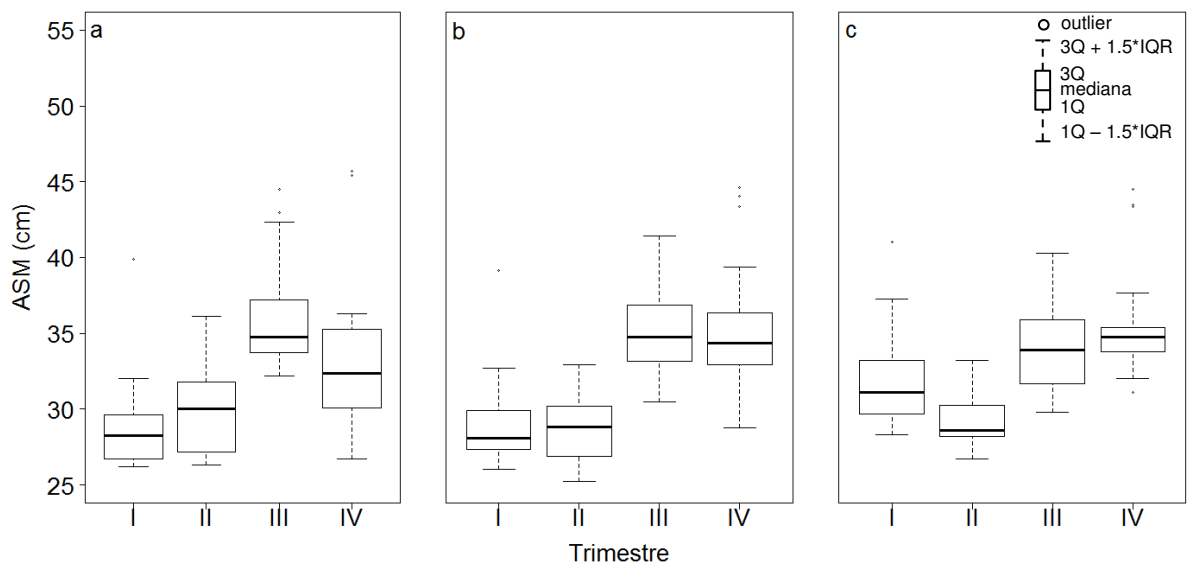


Figura 18. Diagramas de caja de la variabilidad estacional de la altura superficial del mar (ASM) para una año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S.

### 6.2.3 Velocidad del viento (VV)

De acuerdo al resumen descriptivo (Tabla V), CSL fue la localidad con VV promedio mayor en tanto que MZ presentó el promedio más bajo. Durante el periodo de estudio el valor de VV máximo se presentó en BV y el mínimo en MZ.

Tabla V. Resumen descriptivo de la velocidad del viento ( $m \cdot s^{-1}$ ) en las localidades de Mazatlán, Sin. (MZ), Buenavista (BV) y Cabos San Lucas (CSL), B.C.S. durante 1990-1999.

Localidad	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desviación estándar
MZ	2.1	6.3	3.7	3.9	0.9
BV	2.3	7.3	4.0	4.3	1.1
CSL	3.0	7.1	4.7	4.7	0.6

#### 7.2.3.1 Análisis entre localidades

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas entre localidades ( $H_{(2,285)} = 54.65, p < 0.05$ ), CSL es el sitio donde se registró la de velocidad del viento más alta y en MZ la menor (Tabla V, Fig. 19).

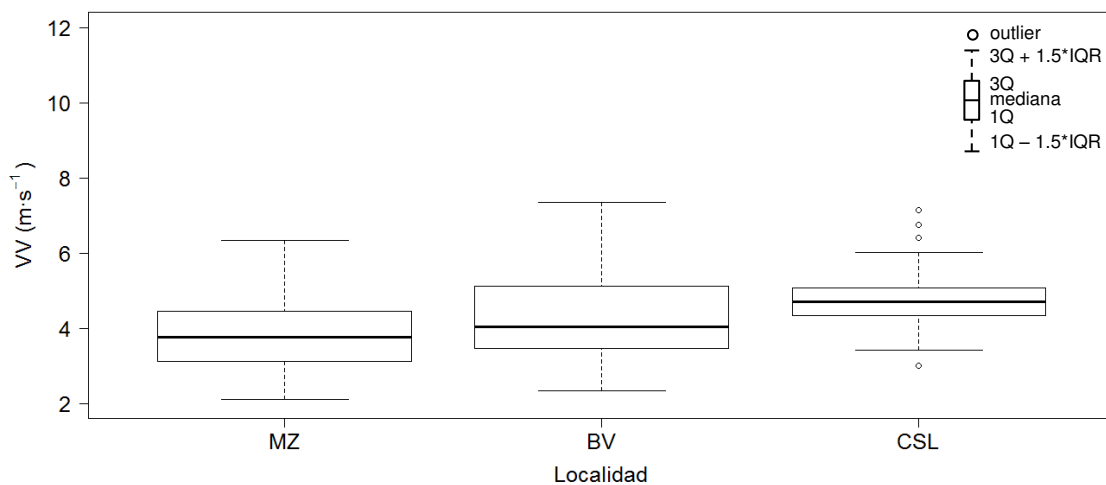


Figura 19. Diagrama de cajas de la velocidad del viento (VV) en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

### 7.2.3.2 Análisis interanual

En el análisis interanual no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las tres localidades: MZ ( $H_{(9, 110)} = 4.97$ ,  $p = 0.83$ ), BV ( $H_{(9, 91)} = 5.13$ ,  $p = 0.82$ ) y CSL ( $H_{(9, 97)} = 16.29$ ,  $p = 0.06$ ). Sin embargo, los tres sitios mostraron intensidad del viento promedio más alto en 1998 (4.40, 4.88 y 5.31  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectivamente) y menor en 1996 (3.56, 4.14 y 4.47  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectivamente) (Fig. 20).

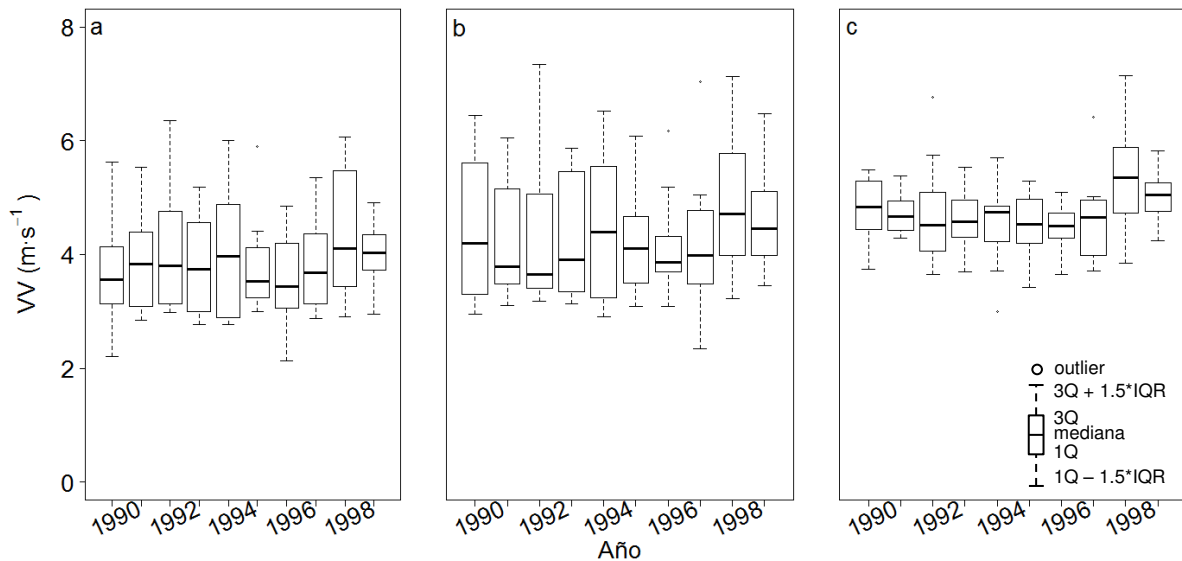


Figura 20. Diagramas de caja de la variabilidad interanual de la velocidad de viento (VV) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

### 7.2.3.3 Análisis intra-anual

El análisis intra-anual mostró diferencias significativas en las tres localidades: MZ ( $H_{(11,110)} = 67.65$ ,  $p < 0.05$ ), BV ( $H_{(11,91)} = 82.03$ ,  $p < 0.05$ ) y CSL ( $H_{(11,97)} = 41.56$ ,  $p < 0.05$ ). El comportamiento de esta variable fue similar en MZ y BV, presentando una VV menor en los meses de abril a septiembre para éstos dos sitios y en julio para CSL (Fig. 21).

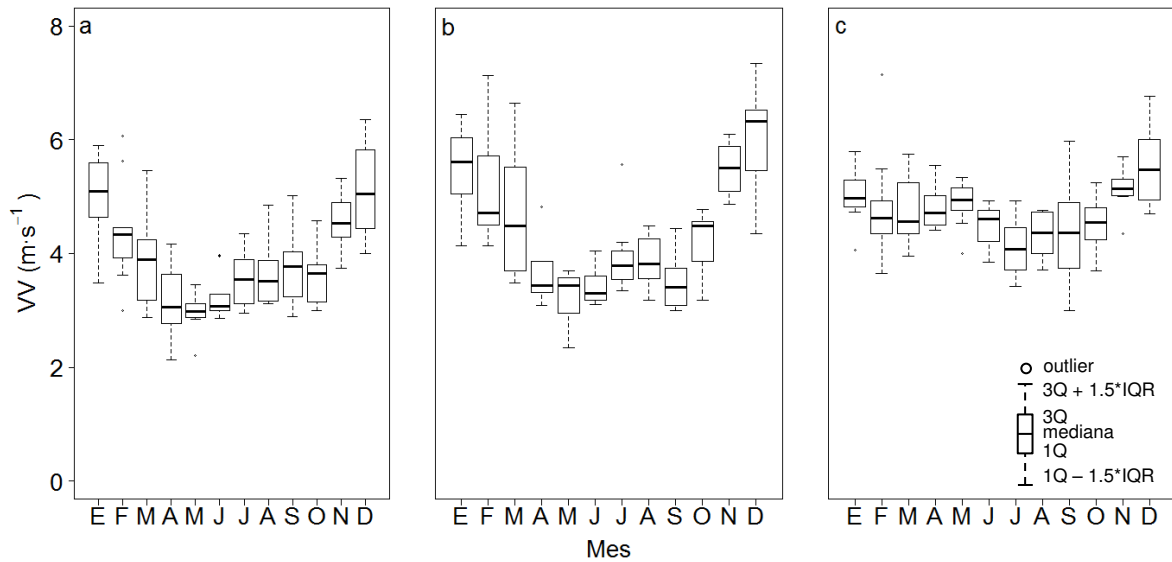


Figura 21. Diagrama de caja de la variabilidad mensual de la velocidad del viento (VV) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán (MZ), Sin., Buenavista (BV) y Cabo San Lucas (CSL), B.C.S.

El análisis estacional de la VV para el año tipo presentó diferencias significativas en las tres localidades: MZ ( $H_{(3,110)} = 48.14$ ,  $p < 0.05$ ), BV ( $H_{(3,91)} = 67.15$ ,  $p < 0.05$ ) y CSL ( $H_{(3,97)} = 21.60$ ,  $p < 0.05$ ), mostrando intensidad mayor en otoño-invierno (Fig. 22).

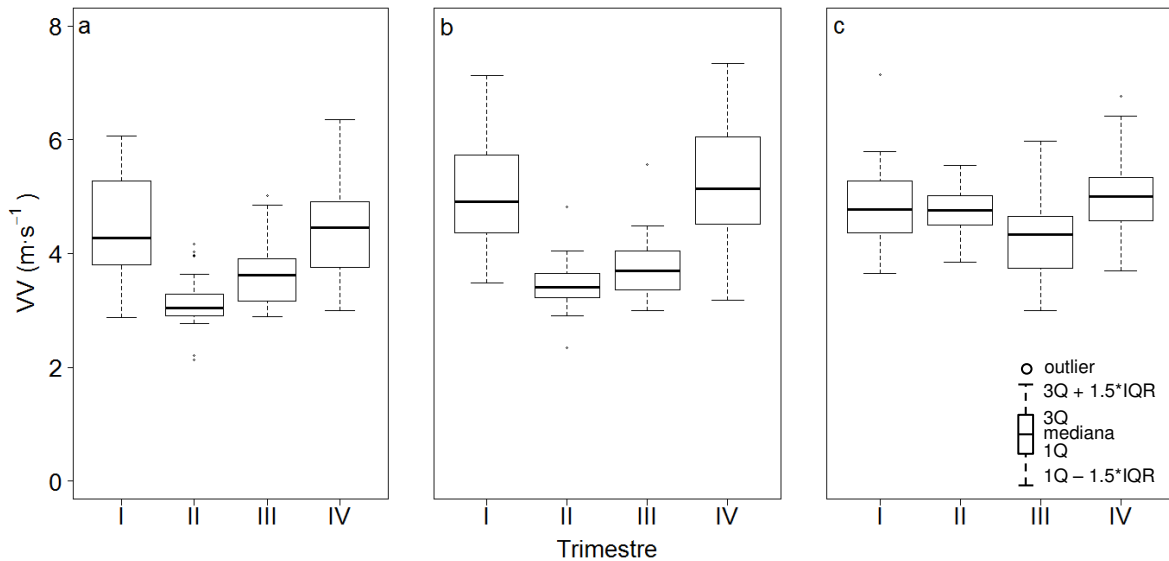


Figura 22. Diagramas de cajas de la variabilidad estacional de la velocidad del viento (VV) para un año tipo (1990-1999) en las localidades de Mazatlán, Sin. (a), Buenavista (b) y Cabo San Lucas (c), B.C.S.

### 6.3 Relación entre variables ambientales

En la Tabla VI se muestran los valores de las correlaciones entre las diferentes variables ambientales. Se observa que el viento mostró relación negativa con la TSM en los tres sitios siendo más fuerte en BV. Las correlaciones entre la TSM-ASM, TSM-mes, así como ASM-mes presentan valores positivos mayores a 0.6 lo que implica que estas variables están estrechamente correlacionadas. La TSM muestra correlación más estrecha con la ASM en BV, así como con el mes en CSL. Solo se calculó un valor de correlación para los índices ONI y PDO debido a que se usa la misma información para las tres localidades.

Tabla VI. Correlaciones entre variables ambientales temperatura superficial del mar (TSM), altura superficial del mar (ASM), velocidad del viento (VV), el índice oceánico de El Niño (ONI), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y el mes, evaluadas en las localidades de Mazatlán, Sin., Buenavista y Cabo San Lucas, B.C.S. durante el periodo 1990-1999. Los valores en negritas corresponden a las correlaciones que fueron significativas ( $p < 0.05$ ).

	TSM	ASM	VV	ONI	PDO
Mazatlán					
mes	<b>0.62</b>	<b>0.47</b>	0.09	-0.09	-0.15
TSM		<b>0.74</b>	<b>-0.25</b>	0.04	0.10
ASM			0.04	<b>0.53</b>	<b>0.21</b>
VV				0.07	<b>-0.29</b>
Buenavista					
mes	<b>0.66</b>	<b>0.61</b>	0.08	-0.09	-0.15
TSM		<b>0.76</b>	<b>-0.31</b>	0.02	0.09
ASM			0.11	<b>0.40</b>	0.09
VV				0.02	<b>-0.31</b>
Cabo San Lucas					
mes	<b>0.70</b>	<b>0.49</b>	0.05	-0.09	-0.15
TSM		<b>0.65</b>	<b>-0.26</b>	0.03	0.04
ASM			0.12	<b>0.46</b>	0.08
VV				0.05	<b>-0.22</b>
ONI					<b>0.33</b>

## 6.4 Relación de las variables ambientales con las tasas de captura.

### 6.4.1 Temperatura superficial del mar (TSM)

Se encontraron correlaciones significativas sin desfase entre las TC y la TSM en cada una de las tres localidades. En MZ se obtuvo un valor de  $r = 0.56$  ( $p < 0.05$ ) (Fig. 23). En BV se presentó la correlación más alta con un valor de  $r = 0.82$ , siguiendo CSL con un coeficiente de correlación de  $r = 0.71$  ( $p < 0.05$ ) (Figs. 24 y 25).

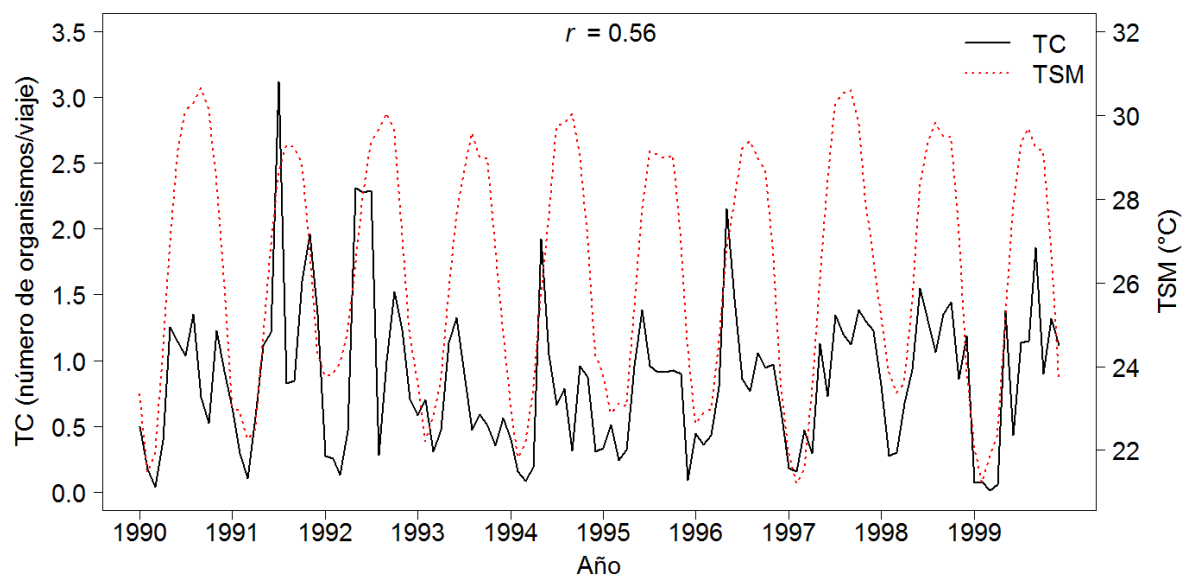


Figura 23. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la temperatura superficial del mar (TSM) en la localidad de Mazatlán, Sin., durante el periodo 1990-1999.

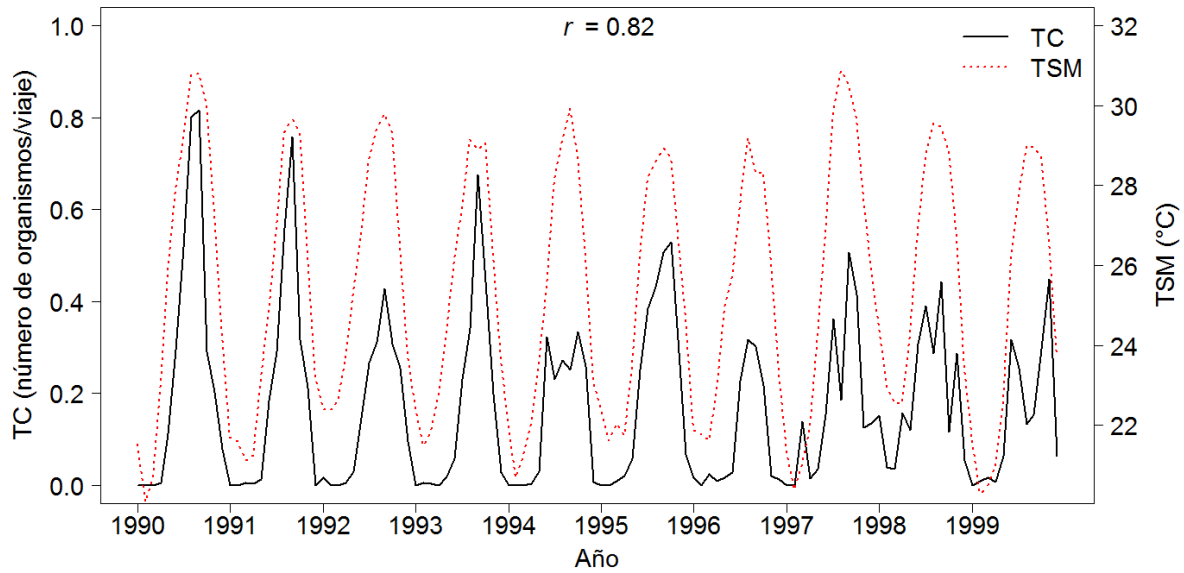


Figura 24. Series de tiempo de las tasas de captura promedio (TC) de pez vela y la temperatura superficial del mar (TSM) en la localidad de Buenavista, B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

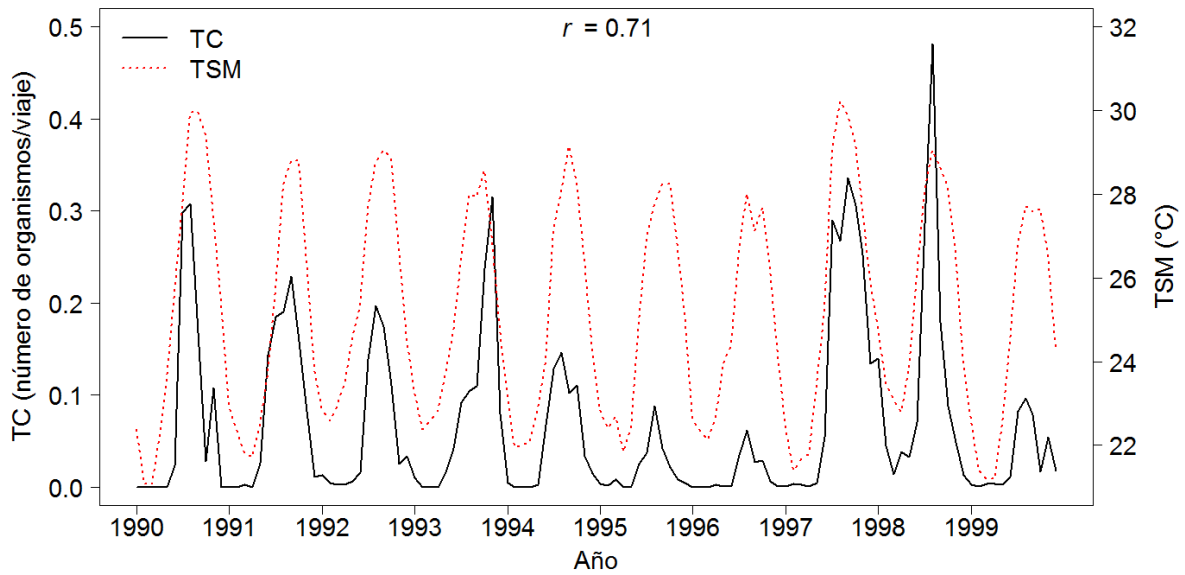


Figura 25. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la temperatura superficial del mar (TSM) en la localidad de Cabo San Lucas, B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

#### 6.4.2 Altura superficial del mar (ASM)

El análisis de correlaciones cruzadas mostró que existen correlaciones significativas entre las TC y ASM en las tres localidades con un desfase de un mes en los tres casos. En MZ, presentó un valor de 0.49 ( $p < 0.05$ ) (Fig. 26), en BV de 0.65 ( $p < 0.05$ ) (Fig. 27), en tanto que para CSL fue de 0.72 ( $p < 0.05$ ) (Fig. 28).

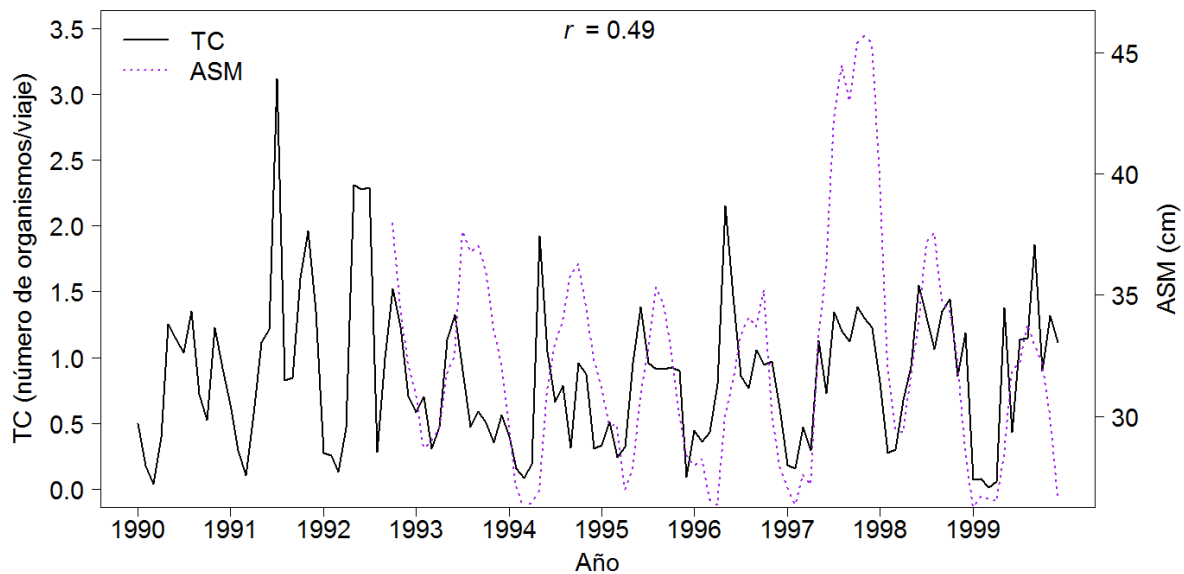


Figura 26. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la altura superficial del mar (ASM) en la localidad de Mazatlán, Sin., durante el periodo 1990-1999.

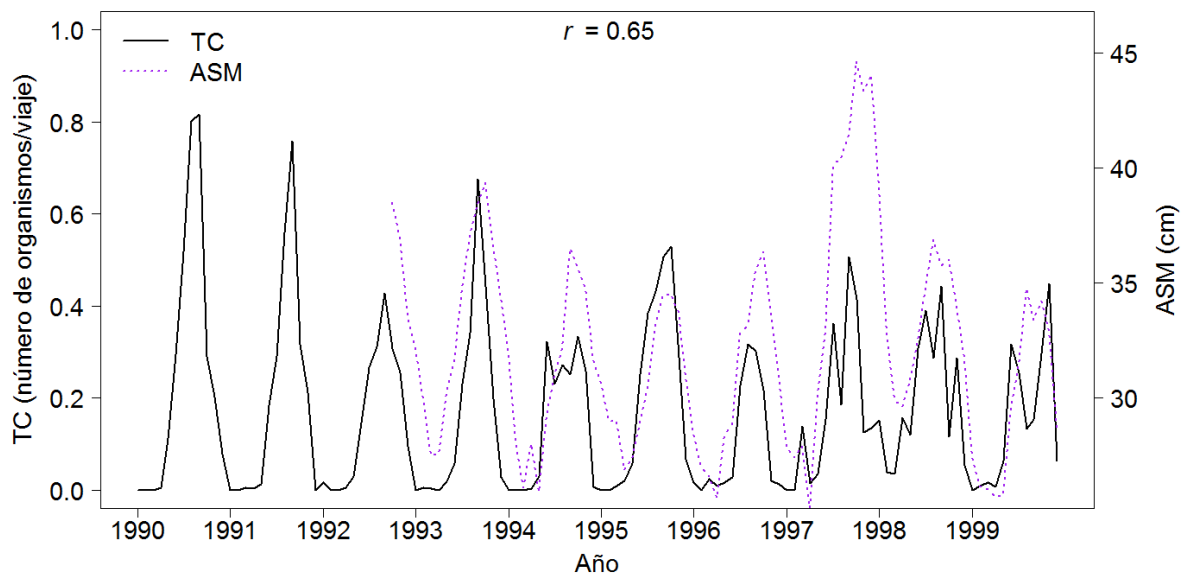


Figura 27. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la altura superficial del mar (ASM) en la localidad de Buenavista, B.C.S. durante el periodo 1990-1999.



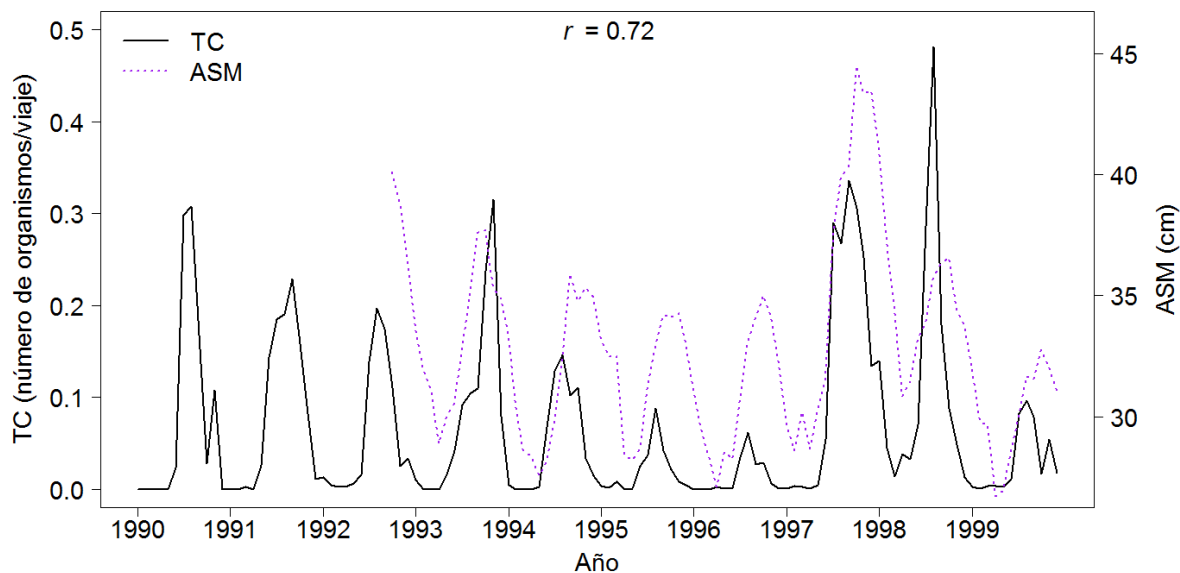


Figura 28. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) de pez vela y la altura superficial del mar (ASM) en la localidad de Cabo San Lucas, B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

#### 6.4.3 Velocidad del viento (VV)

En MZ, las TC y la velocidad del viento mostraron una correlación significativa ( $p < 0.05$ ) con un desfase de 2 meses y una  $r = -0.46$  (Fig. 29). En BV y CSL, la relación fue positiva con  $r = 0.59$  y  $0.53$  ( $p < 0.05$ ), respectivamente y con desfase de 4 meses para los dos sitios (Figs. 30 y 31).

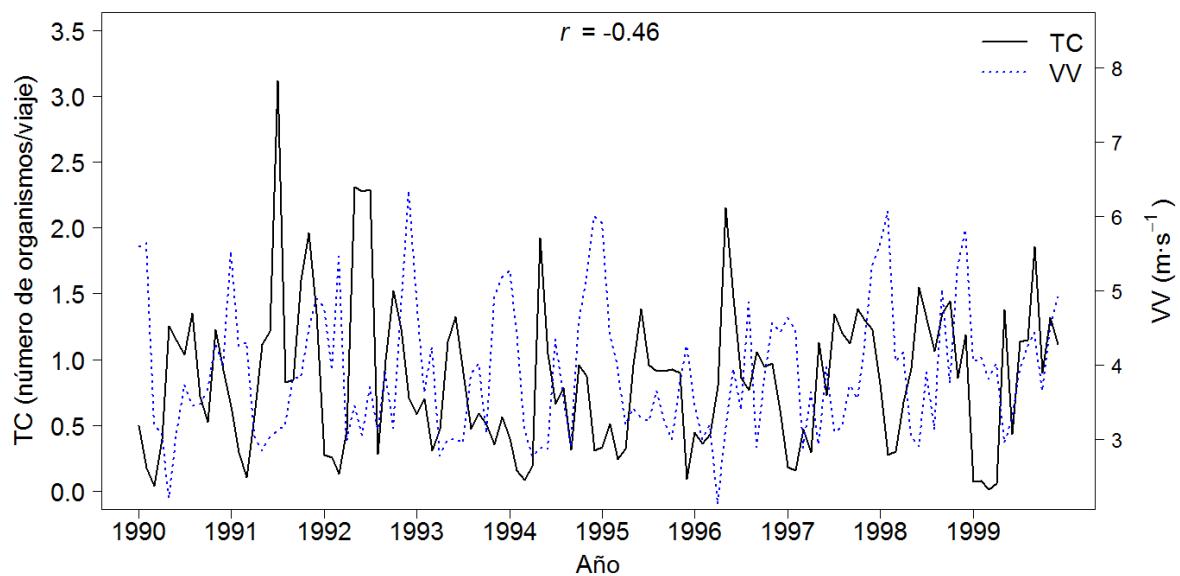


Figura 29. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) y la velocidad del viento (VV) en la localidad de Mazatlán, Sin. (MZ), durante el periodo 1990-1999.

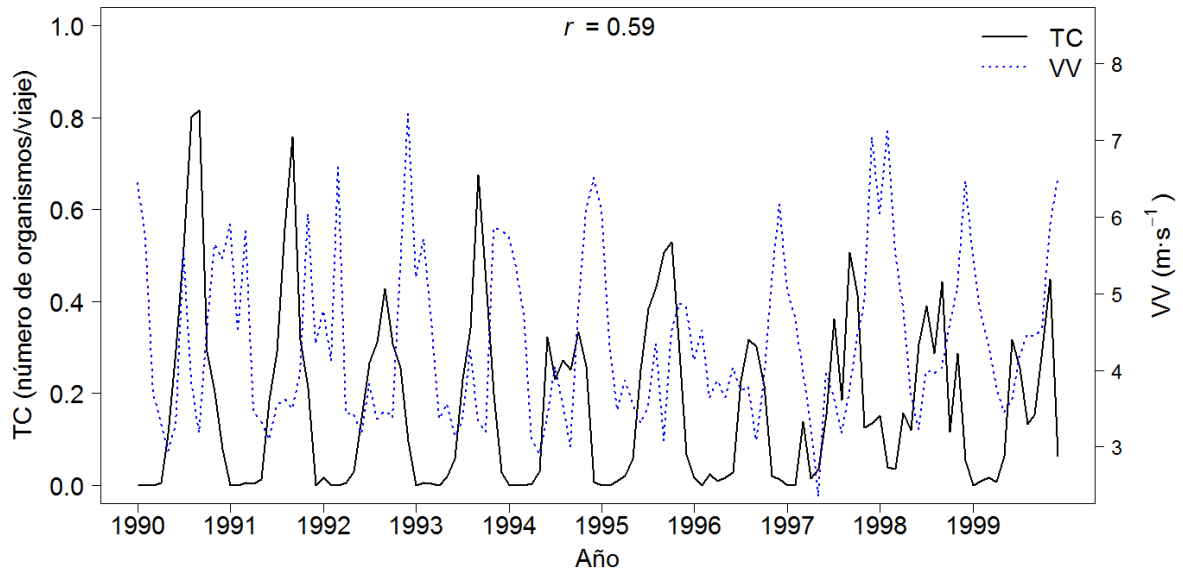


Figura 30. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) y la velocidad del viento (VV) en la localidad de Buenavista (BV), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

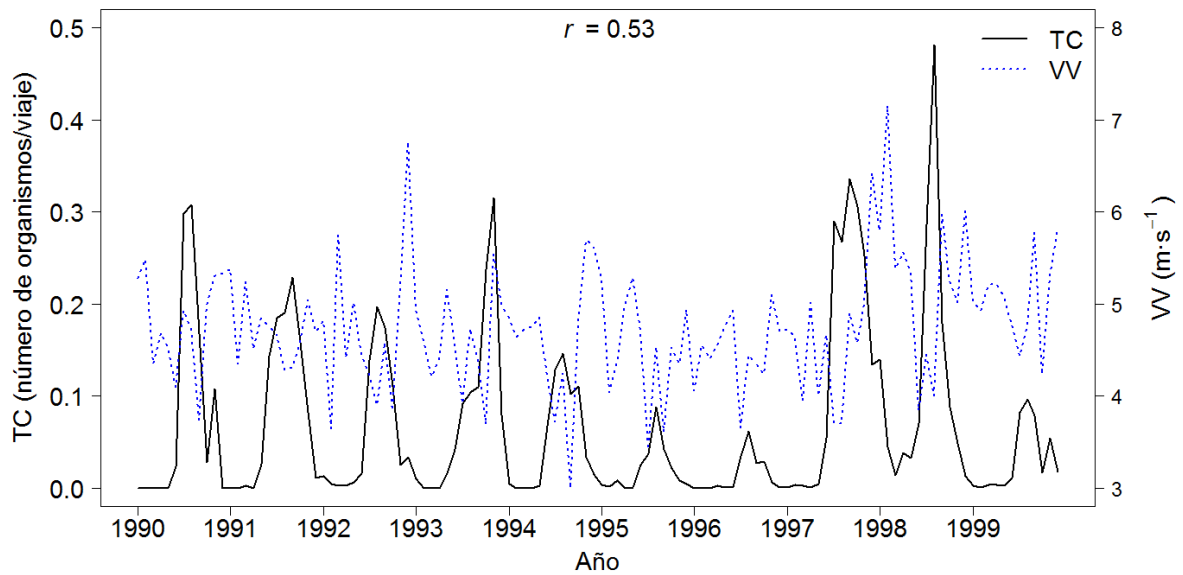


Figura 31. Series de tiempo de las tasas de captura (TC) y la velocidad del viento (VV) en la localidad de Cabo San Lucas (CSL), B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

#### 6.4.4. Anomalías estandarizadas

Las anomalías estandarizadas de las TC en MZ presentaron valores positivos altos durante los años 1991-1992, a diferencia del resto del periodo analizado (Fig.32a). Las anomalías de la TSM mostraron un patrón constante a lo largo del tiempo sin cambios evidentes (Fig. 32b) y aunque es similar a las anomalías de ASM, ésta mostró valores positivos elevados durante 1997 (Fig. 32c). La VV no mostró cambios grandes entre años y aunque se presentan fluctuaciones abruptas en las anomalías es posible observar su ciclicidad (Fig. 32d).

Las anomalías de las TC en BV presentaron valores positivos elevados en los años 1990 y 1991, además se observó una tendencia decreciente a lo largo del periodo de estudio (Fig. 32e). Las anomalías de la TSM mostraron constancia en el patrón que las define (Fig. 32f), siendo similar a la ASM aunque ésta si presentó anomalías altas en el año de 1997 (Fig. 32g). La VV no mostró grandes diferencias a lo largo del periodo de estudio, pero se observa un suavizamiento en la serie de tiempo en los últimos años (Fig. 32h).

En las anomalías estandarizadas de las TC en CSL se pudieron observar valores negativos en los años 1995 y 1996, y valores altos en los años 1997 y 1998 (Fig. 32i), la TSM no mostró diferencias grandes entre años aunque se observa un ligero aumento durante los años 1997-1998 (Fig.32j), la ASM presentó anomalías positivas muy elevadas en 1997 (Fig.32k), y por último, las anomalías de la VV mostraron valores muy altos a finales de 1992 y en 1997-1998 (Fig. 32l).

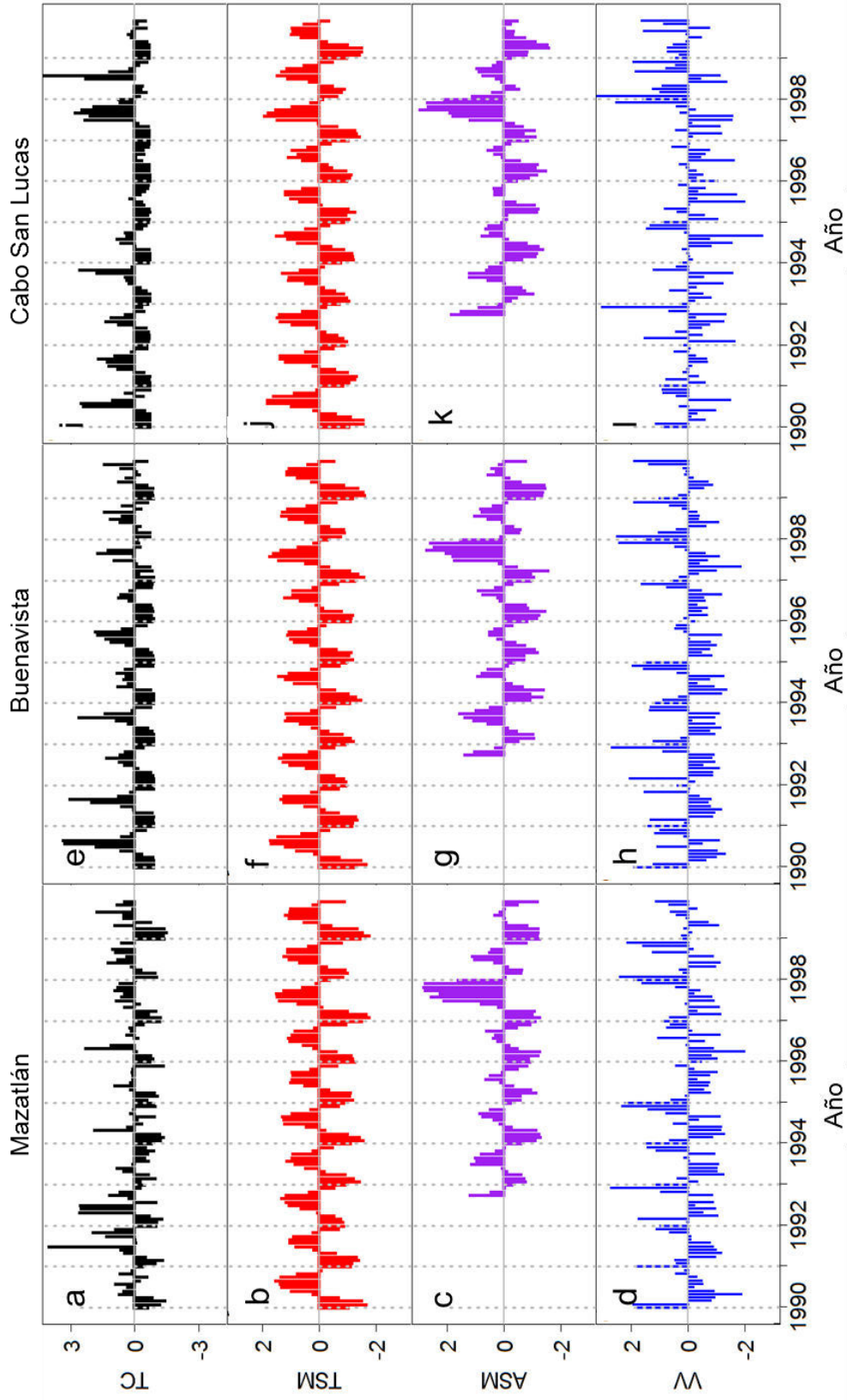


Figura 32. Anomalías estandarizadas de tasas de captura (TC), temperatura superficial del mar (TSM), altura superficial del mar (ASM) y velocidad del viento (VV) en Mazatlán, Sin., Buenavista y Cabo San Lucas, B.C.S. durante el periodo 1990-1999.

## 6.5 Modelación estadística de las tasas de captura

### 6.5.1 Mazatlán, Sinaloa.

En la Tabla VII se muestra el análisis de devianza del proceso de construcción del modelo de las TC en MZ. Como se aprecia en esta tabla, la TSM es la única variable que tiene un efecto importante en las TC del pez vela. Después de agregar la TSM en el modelo ninguna de las otras variables contribuye significativamente en el modelo, por lo tanto el modelo mínimo adecuado para la especie en esta localidad solo incluye a la temperatura como variable predictiva con un 49% de la devianza explicada. En el proceso de construcción de los modelos estadísticos, tanto las pruebas de correlación como los análisis de devianza muestran que existe concurvidad entre la temperatura y la altura del mar así como con el mes, debido a que la contribución de la temperatura en los modelos fue mayor que la del mes y la altura superficial del mar, ambas variables fueron excluidas de los modelos estadísticos.

Tabla VII. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado para las tasas de captura del pez vela en Mazatlán, Sin.

Modelo	Grados de libertad residuales	Devianza residual	Valor- $p$	Devianza explicada (%)	AIC
Nulo	119	72.64		0	185.75
+ TSM	106.29	37.04	$< 2 \times 10^{-16}$	49	104.53
+ VV	115.30	36.73	0.29	49.4	105.47
+ PDO	114.30	36.72	0.81	49.5	107.40
+ ION	113.32	36.72	0.96	49.5	109.36

El modelo mínimo adecuado quedó expresado de la siguiente forma:

$$TC_i = \alpha + f_1(TSM_i)$$

El efecto de la TSM sobre las TC del pez vela en Mazatlán se puede visualizar en la Figura 33, en donde se aprecia que las TC mayores se presentan cuando la temperatura tiene valores de 25 – 28°C.

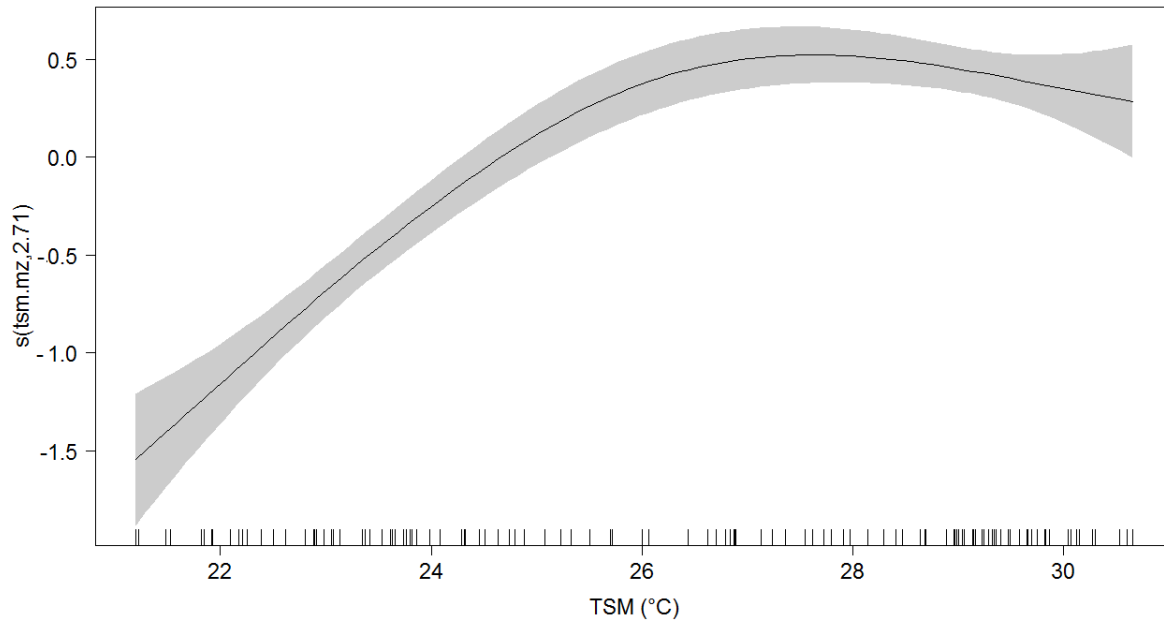


Figura 33. Efecto de la temperatura superficial del mar (TSM) sobre las tasas de captura de pez vela en Mazatlán, Sin. Las líneas sobre el eje x muestran la densidad de observaciones, el eje y está en la escala del predictor lineal y se especifican los grados de libertad, el área sombreada representa al error estándar.

Se realizó la validación del modelo mediante la construcción del modelo mínimo adecuado con los datos de 1990 – 1997, después se realizó la predicción de las TC para los años 1998 y 1999. En la Figura 34 se puede apreciar que las predicciones de las TC del modelo son muy parecidas a las observadas, por lo tanto puede considerarse que esta herramienta estadística tiene buena capacidad predictiva en corto plazo.

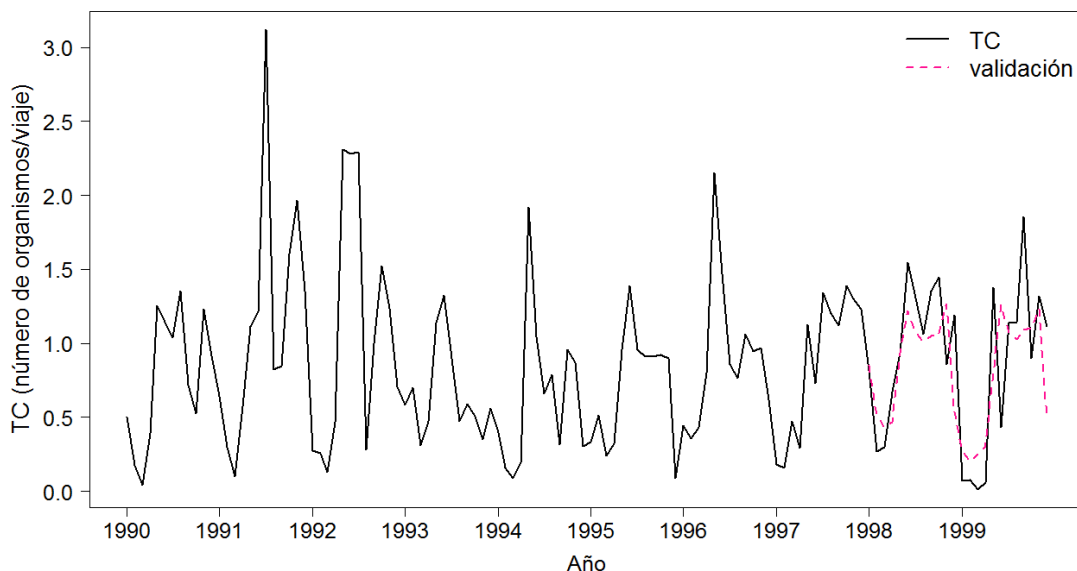


Figura 34. Tasas de captura (TC) registradas por la flota deportiva durante el periodo 1990 a 1999 en Mazatlán, Sin. y la validación del modelo de predicción utilizando la información de los años 1998-1999.

### 6.5.2 Buenavista, B.C.S.

En la Tabla VIII se describe el proceso de construcción del modelo mínimo adecuado que se utilizó en para describir el efecto de las variables ambientales en las TC en BV. Se muestra que la TSM es la única variable que contribuyó de forma significativa al modelo además de presentar el valor de AIC más pequeño. El resto de las variables no mostraron contribuciones significativas al modelo, por lo que éste de BV solo incluye a la TSM explicando el 22.9% de la devianza.

Tabla VIII. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado para las tasas de captura del pez vela en Buenavista, B.C.S.

Modelo	Grados de libertad residuales	Devianza residual	Valor- <i>p</i>	Devianza explicada (%)	AIC
Nulo	119	745.83		0	-510.18
+ TSM	117.85	575.38	$<2 \times 10^{-16}$	22.9	-554.34
+ VV	116.84	575.22	0.77	22.9	-552.36
+ ONI	115.80	573.90	0.40	23.1	-550.69
+ PDO	114.75	573.15	0.53	23.2	-548.82

El modelo mínimo adecuado quedó de la siguiente manera:

$$TC_i = \alpha + f_1(TSM_i)$$

De acuerdo al modelo mínimo adecuado de BV, las TC de pez vela tienden a aumentar conforme lo hace la TSM de forma casi lineal, presentando capturas mayores cuando la TSM supera los 25 °C (Fig. 35).

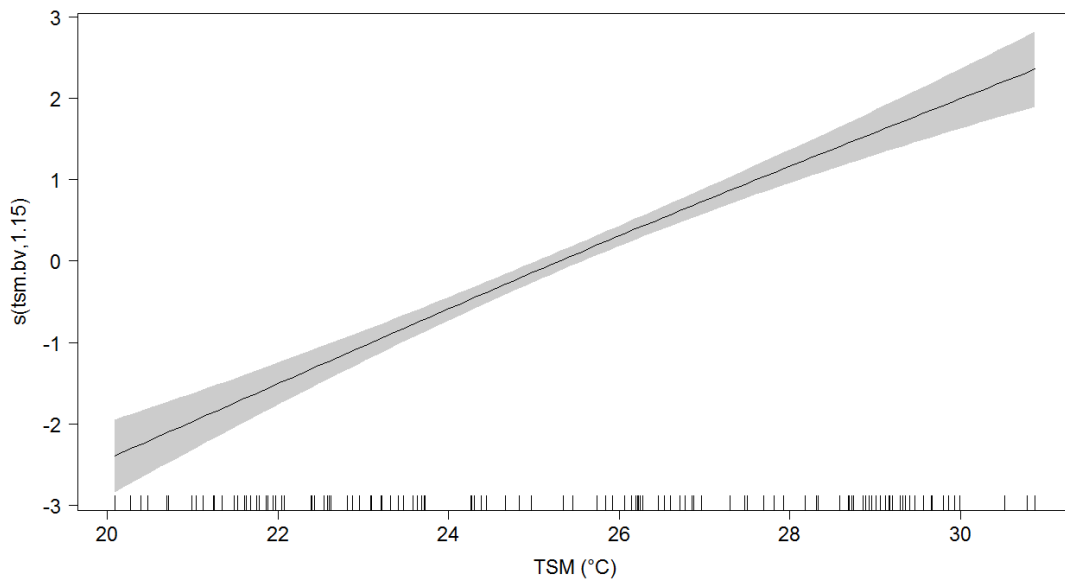


Figura 35. Efecto de las variables predictivas Mes como factor (a) y la temperatura superficial del mar (TSM) (b) sobre las tasas de captura de pez vela en Buenavista, B.C.S. Las líneas sobre el eje x muestran la densidad de observaciones, el eje y está en la escala del predictor lineal y se especifican los grados de libertad, el área sombreada representa al error estándar.

Al igual que en la localidad anterior, se realizó la predicción de las TC para los años 1998 y 1999. Se observó que los valores de TC predichos fueron cercanos a los observados por lo que se considera que esta herramienta estadística es adecuada predecir TC en BV a corto plazo (Fig. 36).



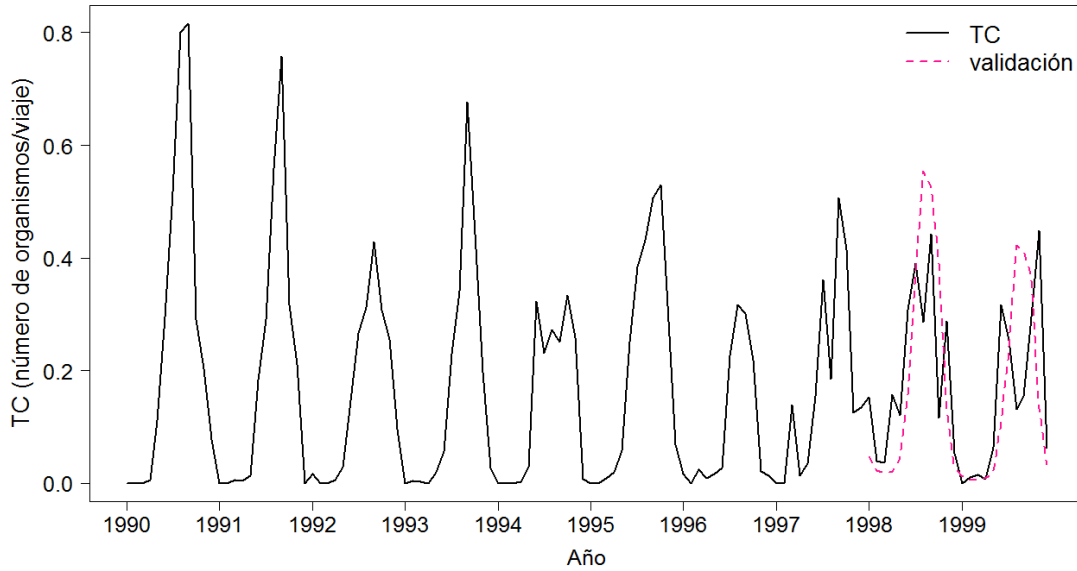


Figura 36. Tasas de captura (TC) registradas por la flota deportiva durante el periodo 1990 a 1999 en Buenavista, B.C.S. y la validación del modelo de predicción utilizando la información de los años 1998-1999.

### 6.5.3 Cabo San Lucas, B.C.S.

En la Tabla IX se detalla la construcción del modelo mínimo adecuado para CSL, el cuál quedó constituido por la TSM y el índice oceánico de El Niño (ONI), ya que fueron las únicas variables que realizaron un aporte significativo al modelo de predicción de TC en CSL explicando un 29.6% de la devianza y presentando el valor de AIC menor. Al igual que en Mazatlán se excluyeron la altura superficial del mar y el Mes de la construcción del modelo.

Tabla IX. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado para las tasas de captura del pez vela en Cabo San Lucas, B.C.S.

Modelo	Grados de libertad residuales	Devianza residual	Valor- $p$	Devianza explicada (%)	AIC
Nulo	119	774.22		0	-758.26
+TSM	117.06	544.96	$<2.2 \times 10^{-16}$	28.3	-814.01
+ ONI	116.35	544.85	0.006	29.6	-815.78
+ PDO	115.38	543.52	0.34	29.8	-814.27
+ VV	114.57	539.92	0.10	30.3	-813.79

El modelo mínimo adecuado quedó de la siguiente manera:

$$TC_i = \alpha + f_1(TSM_i) + f_2(MEI_i)$$

Éste modelo muestra que las TC del pez vela tienden a aumentar conforme lo hace la temperatura, mostrando valores más altos cuando la TSM es mayor a 25 °C, así como cuando se presentan condiciones El Niño (ONI > 0.05) (Fig. 37).

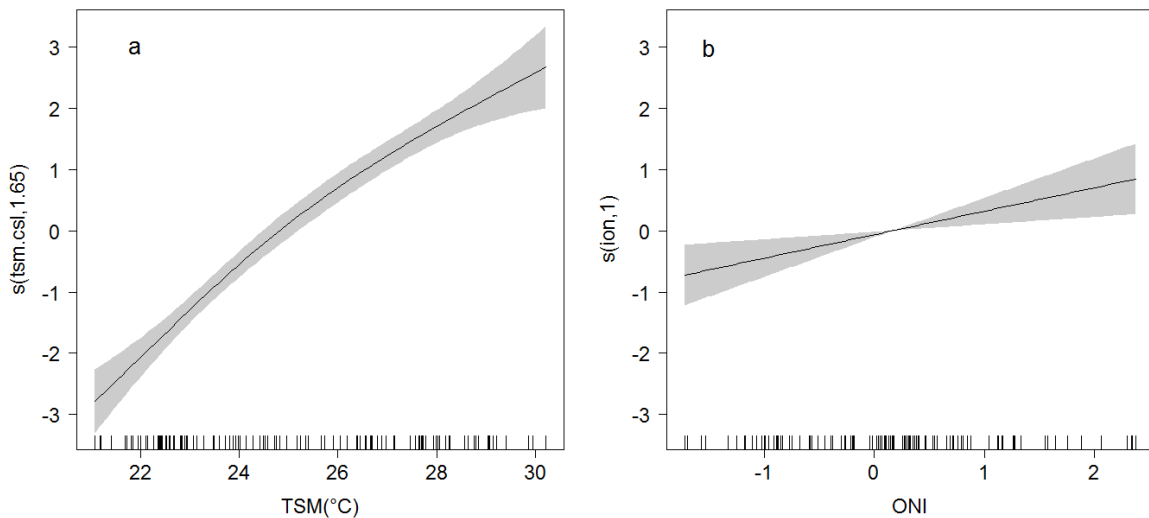


Figura 37. Efecto parcial de las variables predictivas: a. temperatura superficial del mar (TSM) y b. el índice oceánico El Niño (ONI) sobre las tasas de captura de pez vela en Cabo San Lucas, B.C.S. Las líneas sobre el eje x muestran la densidad de observaciones, el eje y está en la escala del predictor lineal y se especifican los grados de libertad, el área sombreada representa al error estándar.

Mediante la validación estadística se compararon los valores observados durante el periodo 1990 a 1997 y se realizó la predicción de las TC para los años 1998 y 1999, se observaron algunas diferencias ya que subestima las TC para el año de 1998, aún así, se representó adecuadamente la estacionalidad del recurso por lo que éste modelo se puede usar de forma confiable (Fig. 38).

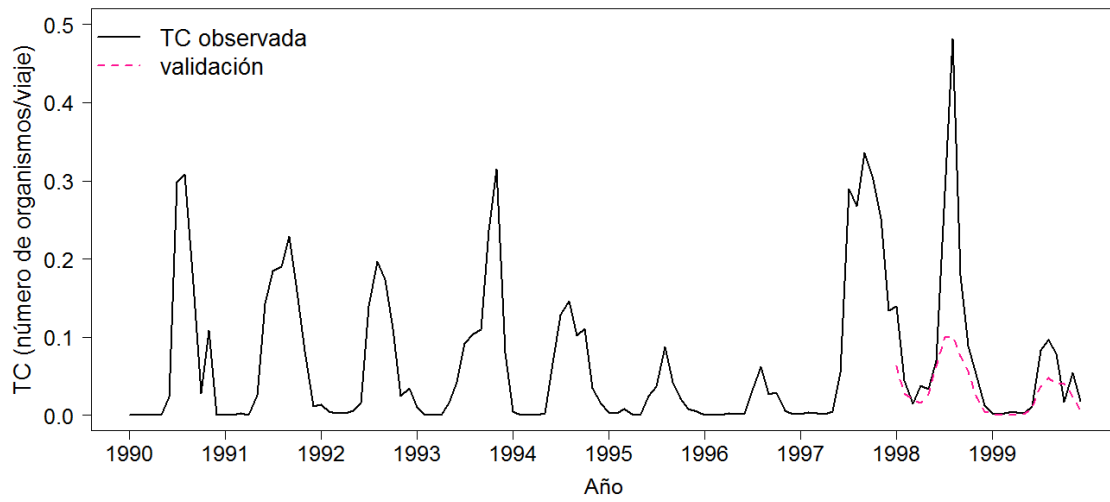


Figura 38. Tasas de captura (TC) registradas por la flota deportiva durante el periodo 1990 a 1999 en Cabo San Lucas, B.C.S. y la validación del modelo de predicción utilizando la información de los años 1998-1999.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 Tasas de captura

De las tres localidades, las TC más altas se presentaron en Mazatlán, Sin. seguidas de Buenavista y Cabo San Lucas en B.C.S., coincidiendo con lo publicado en el Billfish Newsletter (2000), en la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2012) y Macías-Zamora *et al.* (2011). Mazatlán es el sitio más sureño del área de estudio, y presenta menor influencia del océano abierto, con TSM más cálidas a lo largo del año en comparación con Buenavista y Cabo San Lucas, además de una plataforma continental más ancha y somera, propiciando condiciones más adecuadas para el hábitat del pez vela.

La estacionalidad del recurso fue muy marcada en las tres localidades analizadas, lo cual se manifestó en el análisis intra-anual en el que se observaron tasas de captura de hasta cero orgs. /viaje durante los meses de invierno en Buenavista y Cabo San Lucas y capturas máximas en verano para los tres sitios. El análisis de Fourier aplicado a las series de tiempo de los tres sitios de pesca, también señala la alta estacionalidad del recurso en estas zonas, lo que coincide con lo publicado por Eldridge y Wares (1974) y Macías-Zamora *et al.* (2011) quienes registraron la estacionalidad de la especie, encontrando TC bajas en invierno para Mazatlán, así como cercanas a cero orgs. /viaje para Buenavista.

El desfase en el incremento de las tasas de captura entre localidades puede explicarse porque el pez vela realiza una migración anual paralela a la costa (Macías-Zamora *et al.*, 2011), iniciando en las costas de Chiapas en el segundo trimestre del año, alcanzando la BGC en el tercer trimestre y comenzando su retorno en el cuarto trimestre. Esto explicaría que el incremento en las tasas de captura se presente primero en Mazatlán y posteriormente en las áreas norteñas en B.C.S., así como el repunte que se presenta en Mazatlán durante octubre–diciembre cuando el recurso regresa hacia el sur. Este comportamiento fue documentado anteriormente por Eldridge y Wares (1974), quienes también observaron un desfase en el incremento de las TC de pez vela, primero observaron un incremento de abundancia en Mazatlán con capturas máximas en el mes de mayo, siguiendo Buenavista en el mes de

octubre, y por último un segundo pico en Mazatlán durante noviembre. Además, se confirmó el patrón migratorio registrado por Macías-Zamora *et al.* (2011), quienes sugirieron que el segundo incremento que se presentó en Mazatlán (y que se manifestó en el análisis de Fourier para esta localidad en este trabajo) fue de menor magnitud debido a que una fracción de los organismos se capturó durante el trayecto de un sitio a otro.

Se ha documentado que eventos como El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), influyen en la abundancia de algunas especies de pelágicos mayores como es el caso del atún aleta amarilla (López-Sánchez, 2004), marlín azul (Marín-Enríquez, 2012) y dorado (Zúñiga-Flores *et al.*, 2008), entre otros. La fase cálida del ENSO, se caracteriza por presentar anomalías de temperatura positivas, incremento en la altura superficial del mar, vientos del este (alisios) débiles, una termoclina más profunda, así como la presencia de abundantes precipitaciones en el Pacífico tropical central y oriental (Bakun, 1996; Strub y James, 2002; Cane, 2005). En cambio, la faceta fría denominada La Niña, presenta anomalías de temperatura negativas con vientos del este fortalecidos, así como una termoclina más somera (Bakun, 1996; Kang y Kug, 2002). Durante el periodo de estudio (1990-1999) se presentaron dos eventos intensos del ENSO, el primero de 1991-1992 y el segundo de 1997-1998, además de una Niña moderada en 1995-1996 y una fuerte en 1998-1999. Sin embargo dichos eventos no parecieron tener un efecto importante en la captura de pez vela ya que el análisis interanual no mostró diferencias significativas en ninguna de las tres localidades.

Si bien esta especie presenta una alta relación con la temperatura (Nakamura, 1985, Arias-Olaiz, 2005; Arias-Olaiz, 2007), esta variable tampoco presentó una variabilidad interanual significativa. No obstante, en las gráficas de las anomalías, fue posible observar valores positivos elevados en la abundancia del pez vela durante los años 1991-1992 en Mazatlán cuando se presentó un evento El Niño, en tanto que en Cabo San Lucas se registraron durante El Niño 1997-1998. Estos resultados coinciden con lo publicado en la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2012), así como por Macías-Zamora (1993) y Santana-Hernández (2001), quienes reportaron una relación positiva entre la captura de pez vela y condiciones características del ENSO. A este

respecto Ortega-García *et al.* (2015), con información de captura incidental del recurso en la flota atunera mexicana mencionaron que las capturas del pez vela fueron más altas durante El Niño, debido a que el recurso se concentra a lo largo de la costa aumentando su vulnerabilidad.

En la gráfica de anomalías de TC, también fue posible observar una tendencia decreciente, mostrando valores bajos hacia el final de las series de tiempo analizadas; lo cual se observó de forma más clara en Mazatlán y Buenavista, mientras que en Cabo San Lucas se pudo presentar un enmascaramiento por el incremento en las TC debido a El Niño 1997-1998. De acuerdo a Hinton y Mauder (2013) y a la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2012), dicho declive se presentó a partir de 1994 en el OPO y en la BGC, respectivamente. La Carta Nacional Pesquera (DOF, 2012) menciona que el aprovechamiento pesquero por parte de la flota deportiva se encuentra por encima del máximo sustentable, pero sugieren que el descenso se puede deber a la influencia de algún factor ambiental; sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio no se observó que alguna de las variables ambientales analizadas presente una tendencia que pudiera estar ocasionando un declive en la abundancia del pez vela en la BGC.

Cabe destacar que después de El Niño 1997-1998, las condiciones ambientales cambiaron drásticamente para pasar a la fase fría La Niña, la cual inició a mediados de 1998 y durante 1999. En el presente estudio se registró un decremento en las TC en 1999 para los tres sitios, lo que contrasta con autores como Jiménez-Quiróz *et al.* (2006) y Arias-Olaiz (2007) quienes mencionaron que a pesar de que *I. platypterus* es una especie con afinidad por aguas cálidas, eventos como La Niña pueden favorecer el aumento aparente en la abundancia de la especie debido a la contracción del hábitat disponible hacia la superficie. De acuerdo al índice ONI, éste evento La Niña tuvo una gran extensión, abarcando desde 1998 hasta principios de 2001 por lo que sería interesante realizar un análisis con una serie de tiempo de TC más larga para evaluar de forma adecuada la influencia de éste fenómeno en la abundancia de pez vela en la BGC.

## 7.2 Caracterización ambiental y su relación con las tasas de captura

Diferentes trabajos alrededor del mundo han documentado que el pez vela es un organismo que realiza migraciones estacionales, como lo reportado por Mourato *et al.* (2009) en costas de Brasil, Orbesen *et al.* (2008) en el noroeste del Atlántico, Hoolihan y Luo (2007) en el Golfo Árabe, así como Kume y Joseph (1969), Nakamura (1985) y Arias-Olaiz (2005) en el OPO, éstos últimos dos estudios observaron que la migración del pez vela se encuentra asociada al desplazamiento de la isoterma de 28 y 21 °C. En éste trabajo se observó que la temperatura superficial del mar fue la variable que mostró una relación más estrecha con las tasas de captura en los tres sitios; siguiéndole de cerca la altura superficial del mar aunque con retraso de un mes. Mediante el uso de correlaciones cruzadas y del análisis de anomalías estandarizadas se pudo observar la sincronía entre las tasas de captura con la temperatura y altura superficial del mar, las cuales presentaron un patrón estacional similar para los tres sitios, presentando valores mayores durante verano-otoño. Estas dos variables ambientales pueden explicar su estrecha relación debido a que la altura superficial del mar es una variable que depende de la temperatura, salinidad y presión, Jones *et al.* (1998), sugirieron que estas dos variables ambientales muestran altas correlaciones principalmente en sitios donde se presentan estructuras oceanográficas de mesoescala (magnitud de cientos de kilómetros), como es el caso de los giros provocados por la interacción de los diferentes tipos de corrientes en la BGC.

En el presente trabajo, se encontró que la correlación entre las TC y velocidad del viento fue negativa en Mazatlán con un desfase de 2 meses, donde las TC mínimas se presentaron en invierno y la velocidad del viento menor se presentó en primavera cuando se tuvieron las TC máximas; en el caso de Buenavista y Cabo San Lucas, hubo una correlación positiva con desfase de 4 meses, las capturas altas se presentaron solo en verano y la intensidad de viento más alta en otoño, mostrando una sincronía aunque con desfase. El hecho de que Mazatlán presentara un desfase diferente a las otras dos localidades se pudo deber al comportamiento particular que tienen las tasas de captura en el sitio. La importancia de analizar la relación entre

estas dos variables radica en el vínculo que existe entre la velocidad del viento y la capa de mezcla del océano. Estudios previos (Hoolihan, 2005; Prince y Goodyear, 2006; Chiang *et al.*, 2011) reportaron que el pez vela habita principalmente en ésta región ya que tiene preferencias por aguas poco profundas donde la temperatura del agua es cálida y en donde se satisface su alta necesidad de oxígeno. De acuerdo a Chen *et al.* (1994), Castro *et al.* (2000) y de Boyer-Montegut *et al.* (2004) durante el verano (TC mayores) es cuando la columna de agua se encuentra más estratificada debido a la alta radiación solar; la capa de mezcla presenta condiciones estables en cuanto a temperatura, densidad, oxígeno y salinidad así como una profundidad somera (menor a 25 m). En contraste durante otoño-invierno (TC menores) es cuando la profundidad de la capa de mezcla aumenta (aproximadamente 35 m) debido a la intensificación de los vientos y el debilitamiento de la radiación solar.

Durante el periodo de estudio, la temperatura, la altura superficial del mar y la velocidad del viento mostraron un incremento en sus valores durante el fenómeno El Niño (1997-1998). Es conocido que las dos primeras variables tienen una alta relación cuando se presenta la fase cálida del ENSO debido al desplazamiento de aguas cálidas hacia el norte, además del debilitamiento de los vientos alisios, sin embargo, también se ha observado que los vientos con dirección al polo tienden a aumentar cuando se presenta El Niño (Strub y James, 2002). La información utilizada en este trabajo solo incluyó la magnitud del viento, sin tomar en cuenta la dirección del mismo, lo que impidió que se pudiera afirmar que el aumento observado se deba a los vientos con rumbo norte, no obstante, Strub y James (2002) reportaron que los vientos con dirección al polo aumentaron en latitudes medias del OPO durante El Niño 1997-1998 en los meses de noviembre a febrero, coincidiendo con el periodo de intensificación del viento en la BGC en este estudio.

Autores como Mourato *et al.* (2014) y Martínez-Rincón *et al.* (2015) han reportado que el pez vela se asocia a zonas oligotróficas donde las concentraciones de clorofila-*a* son menores a  $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . La clorofila se usa como una medida indirecta de la productividad primaria la cual es la base de la cadena trófica compuesta por los diferentes grupos de fitoplancton marino (microalgas), favoreciendo el reciclado de nutrientes hacia los niveles tróficos más altos (Power, 1992), llegando a los



depredadores topos como el pez vela. Espinosa-Carreón y Valdez Holguín (2007) mencionaron que la BGC se caracteriza por ser oligotrófica debido a los bajos valores de concentración de clorofila-*a* ( $<0.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), sin embargo, los vientos de otoño-invierno propician la mezcla de la columna de agua ocasionando surgencias estacionales durante invierno-primavera en la costa este del GC inyectando nutrientes a la zona fótica y favoreciendo un aumento en la biomasa de fitoplancton y beneficiando la presencia de pelágicos menores como la sardina y macarela, así como de sus depredadores entre los que se encuentra el calamar gigante *Do-sidicus gigas* (Ehrhardt, 1991) en las costas de Mazatlán; éste organismo a su vez es de las presas preferidas del pez vela (Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2006). Sin embargo, *I. platypterus* tiene un amplio espectro trófico, por lo que no se ve restringido a la distribución del calamar gigante, alimentándose también de pelágicos menores que puede encontrar en las costas de B.C.S. (Rosas-Alayola *et al.*, 2002; Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2006), en su migración hacia el noroeste. Aun así, podría ayudar a explicar que Mazatlán presente abundancia mayor de pez vela en comparación a Buenavista y Cabo San Lucas.

### 7.3 Modelación de las tasas de captura

En los últimos años se ha observado una tendencia por usar Modelos Aditivos Generalizados para evaluar la relación del pez vela con variables ambientales, por ejemplo: en el océano Atlántico (Ortiz y Brown, 2002; Hazin *et al.*, 2008; Roocker *et al.*, 2012; Mourato *et al.*, 2010b; 2014), así como en el Pacífico (Martínez-Rincón *et al.*, 2015; Ortega-García *et al.*, 2015), debido a que es un método estadístico flexible que permite analizar relaciones no lineales entre variables predictivas y de respuesta como lo son las relaciones entre una especie pelágica altamente migratoria como el pez vela y su medio ambiente.

El pez vela tiene una estacionalidad muy marcada en la BGC definida por su preferencia por aguas cálidas presentes durante la temporada de verano principalmente, lo que se pudo corroborar mediante el análisis de correlaciones cruzadas y la aplicación de los GAMs, en los cuales se observó que la temperatura superficial del mar fue determinante en el hábitat preferencial del pez vela en la BGC,

ésta variable presentó un aporte significativo a la construcción de los modelos de los tres sitios, indicando la preferencia de la especie por temperaturas superiores a 25 °C. Estos resultados son coincidentes con lo encontrado para este recurso por Martínez-Rincón *et al.* (2015) y Ortega-García *et al.* (2015) en la distribución de esta especie a nivel de todo el OPO quienes asocian tasas de captura mayores en temperaturas superiores a 26 °C.

Llama la atención que Cabo San Lucas fue la única localidad donde más de una variable contribuyó de forma significativa al modelo mínimo adecuado en el que se incluyeron la temperatura superficial del mar explicando la mayor cantidad de devianza (28.3%) seguida por el ONI para explicar el 29.6% de la devianza total. Como ya se ha mencionado, éste fenómeno es de gran escala caracterizándose por interacciones océano-atmósfera y propagándose mediante teleconexiones. Las teleconexiones transmiten señales a lo largo de grandes distancias influyendo en las condiciones ambientales de sitios remotos, éstas señales pueden ser modificadas por procesos oceánicos locales y tienen la capacidad alterar la forma en que están conformados los ecosistemas (Schwing *et al.*, 2010). El hecho de que solo ésta localidad incluyó al índice del Niño se pudo deber a la conformación regional del área de estudio, ya que Cabo San Lucas se encuentra más expuesto al océano abierto, así como al flujo de corrientes frías (Corriente de California) y cálidas (Agua del Golfo de California, Corriente Costera Mexicana), y por lo tanto a eventos de gran escala como El Niño. Aunque no se observaron diferencias interanuales significativas en la temperatura superficial del mar, la gráfica de anomalías de temperatura mostró valores mayores en este sitio en comparación a las otras dos localidades durante 1997. A este respecto Lavín *et al.* (2003), señalan que El Niño 1997-1998 ocasionó un incremento cercano a 2 °C por encima del promedio en el sur del Golfo de California. Así mismo, las anomalías de velocidad del viento presentaron incrementos mayores que en Mazatlán y Buenavista. Además, éste sitio fue el único que mostró variabilidad interanual significativa en la altura superficial del mar debido a que el cambio abrupto de El Niño 1997-1998 a La Niña 1998-1999 fue más claro en éste sitio.

En cuanto a las tasas de captura, pudiera parecer que fueron más vulnerables al ENSO en éste sitio, ya que durante La Niña moderada 1995-1996 el gráfico de

anomalías de TC mostró valores negativos en su mayoría, para luego incrementar durante El Niño 1997-1998. Los factores expuestos anteriormente podrían ayudar a explicar porque el ONI contribuyó de forma significativa al modelo en Cabo San Lucas.

En términos de devianza los modelos explicaron entre el 22 y el 49% de la devianza total de los datos, lo que sugiere que gran parte de la variación de las tasas de captura pudieran ser explicadas por otras variables predictivas que no fueron incluidas en los modelos estadísticos como la profundidad de la capa de mezcla, profundidad de la capa de mínimo oxígeno, surgencias, alimento, etc. Al respecto, diversos autores han encontrado valores bajos de devianza explicada en sus modelos, sin embargo concluyen que los modelos estadísticos pueden ser considerados como buenas herramientas matemáticas que tratan de describir procesos biológicos tan complejos como la variación espacio-temporal de las abundancias de especies marinas, y que gran parte de la variación de los datos puede estar forzada por eventos de micro o macro escala que no pueden ser incluidos en los modelos por falta de evidencias.

Se decidió que tanto el mes así como la altura superficial del mar no se incluirían en la construcción de los modelos debido a la alta correlación que muestran con la temperatura superficial del mar y así evitar problemas de concurvidad (Wood, 2006).

El hecho de que la velocidad del viento, así como el PDO no figuraran en los modelos de este estudio deja la puerta abierta para que se realicen futuros análisis. Autores como Mourato *et al.* (2014) encontraron que la velocidad del viento realizó contribuciones significativas a su modelo en las costas de Brasil, sin embargo, ellos realizaron un análisis con información georreferenciada. Así mismo, Martínez-Rincón *et al.* (2015) y Ortega-García *et al.* (2015) encontraron como variables de relevancia significativa a la altura superficial del mar y a la concentración de clorofila-*a*. Es posible que el PDO no contribuyera de forma significativa en ninguno de los modelos debido a que presenta un patrón que dura de 20 a 30 años en una fase fría y otros tantos en fase cálida, haciendo necesario que la serie de tiempo de tasas de captura fuera más extensa, sería interesante analizar el efecto de éste factor en una serie de

tiempo más larga y determinar si el cambio de régimen cálido a frío que se presentó en 1998-1999 puede ayudarnos a entender la reducción en las tasas de captura reportadas en éste estudio así como por la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2012).

Al realizar la predicción de las tasas de captura de pez vela para la BGC se observaron similitudes entre los valores observados y los calculados en Mazatlán y Buenavista, sin embargo parecería que en Cabo San Lucas no hubo muy buen ajuste por la subestimación de la predicción de tasas de captura en 1998; esto se debe a que el modelo construido para ésta localidad considera a la temperatura superficial del mar y al índice de El Niño; tomando en cuenta que las condiciones ambientales fueron características de éste fenómeno hasta marzo de 1998 y cambiaron drásticamente a La Niña en agosto del mismo año, el modelo realizó una predicción de baja calidad de ajuste de las tasas de capturas para éste año. El hecho de que la anomalía más elevada de tasas de captura en agosto de 1998 se presentara en condiciones La Niña podría explicarse con ayuda de lo encontrado por Jiménez-Quiróz *et al.* (2006) y Arias-Olaiz (2007) quienes justificaron el incremento de tasas de captura durante una Niña debido a la compresión de su hábitat hacia la superficie debido a la poca profundidad de la termoclina que caracteriza a la fase fría del ENSO reduciendo el hábitat disponible para el pez vela, aun así fue posible observar que el modelo refleja con claridad la estacionalidad del recurso en Cabo San Lucas.

Por lo tanto, se considera que los modelos construidos son adecuados para realizar predicciones a corto plazo de las tasas de captura principalmente en Mazatlán, Sin. y Buenavista B.C.S. y de menor calidad en Cabo San Lucas, B.C.S. Aunque los modelos de las tres localidades presentan valores bajos de devianza explicada tuvieron la capacidad de identificar los patrones estacionales de la especie.

## 9. CONCLUSIONES

- Las tasas de captura mostraron diferencias significativas entre localidades, siendo Mazatlán, Sin. la que mostró las tasas de captura promedio más altas (0.85 orgs. /viaje) siguiendo Buenavista y Cabo San Lucas, B.C.S. (0.17 y 0.06 orgs. /viaje, respectivamente). No se encontraron diferencias interanuales significativas, aunque se observaron valores mayores durante El Niño 1991-1992 en Mazatlán, así como en 1997-1998 en la localidad de Cabo San Lucas. Se encontró variabilidad estacional significativa en las tres localidades presentando valores mayores durante los meses de primavera-otoño en Mazatlán, Sin. y en los meses de verano para Buenavista y Cabo San Lucas, B.C.S.
- La temperatura superficial del mar presentó diferencias entre localidades, Mazatlán presentó los valores promedio más elevados (26.31 °C) y Cabo San Lucas los menores (25.18 °C). No se encontró variabilidad interanual, pero si se encontraron diferencias en el análisis estacional, presentando temperaturas más elevadas en verano.
- La altura superficial del mar no presentó diferencias significativas entre localidades y solo Cabo San Lucas, B.C.S. mostró diferencias en el análisis interanual. Los tres sitios presentan estacionalidad en cuanto a la altura del mar con valores máximos en verano-otoño.
- La velocidad del viento fue significativamente mayor en Cabo San Lucas, B.C.S. ( $4.73 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), pero no se encontraron diferencias significativas entre años en ningún sitio. Ésta variable presentó una estacionalidad marcada con intensidad mayor durante otoño-invierno.
- La temperatura y altura superficial del mar, así como la velocidad del viento mostraron una correlación significativa con las tasas de captura, sin embargo la temperatura fue la variable con la que no mostró desfase a diferencia de la altura que presentó un mes de desfase y el viento con desfase de dos a cuatro meses.
- Mediante los modelos aditivos generalizados se confirmó la preferencia del pez vela por ambientes cálidos con temperaturas superficiales del agua de mar superiores a 25 °C, así como la influencia del evento El Niño en el caso de Cabo

San Lucas, B.C.S. El modelo de pronóstico de tasas de captura realizó un buen ajuste para las localidades de Mazatlán, Sin. y Buenavista, B.C.S.; en Cabo San Lucas, B.C.S. aunque éste representó adecuadamente la estacionalidad de la especie se observaron diferencias entre los valores observados y los predichos.

- Mediante el análisis de series de tiempo, la aplicación de correlaciones cruzadas y GAM's se determinó que de las variables analizadas, la temperatura superficial del mar es la variable que mejor describió la variabilidad de las tasas de captura del pez vela en la boca del Golfo de California durante el periodo de 1990-1999.

## 10. RECOMENDACIONES

Durante esta investigación se pudo constatar la falta de estudios en el Pacífico mexicano que analicen la influencia de la salinidad y oxígeno tanto en el plano horizontal como en el vertical, así como la profundidad de la capa de mezcla y la profundidad de la zona de la capa de mínimo oxígeno, las cuales no se incluyeron en el presente estudio debido a la falta de información para el periodo de tiempo (1990-1999), así como para el área de estudio. Estas variables podrían ser de alta relevancia debido a la susceptibilidad del pez vela a las fluctuaciones que las variables ambientales tienen en su entorno.

Además, sería de gran utilidad series de tiempo más largas y con información georeferenciada en las que se pueda apreciar el efecto de oscilaciones de gran escala como el PDO.

También sería interesante realizar investigaciones en las que se pudieran integrar la abundancia de especies reconocidas como presas del pez vela para la construcción de modelos de predicción de tasas de captura.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Arias-Olaiz, F. 2005. Distribución espacio-temporal de la CPUE del pez vela (*Istiophorus platypterus*) registrada por los barcos palangreros que operaron en el noroeste de México durante el periodo 1985-1987. Tesis de Licenciatura. UABCS. La paz, B.C.S., México. 46 pp.
- Arias-Olaiz, F. 2007. Distribución espacio-temporal de la CPUE del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico Mexicano. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 69 pp.
- Arizmendi-Rodríguez, D.I., L.A. Abitia-Cárdenas, F. Galván-Magaña y I. Trejo-Escamilla. 2006. Food habits of saifish *Istiophorus platypterus* off Mazatlán, Sinaloa, México. Bull. Mar. Sci. 79(3):777-791.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. California Sea Grant College System. University of California. 323 pp.
- Belsley, D.A., E. Kuh y R.E. Welsch. 2005. Regression diagnostics. Identify influential data and sources of collinearity (Vol. 571). John Wiley & Sons. 292 pp.
- Billfish Newsletter. 2000. The Southwest Fisheries Science Center's. NOAA. 14 pp.
- Bloomfield, P. 2004. Fourier analysis of time series: an introduction. John Wiley & Sons. 288 pp.
- Boyce, D., D.P. Tittensor y B. Worm. 2008. Effects of water temperature on global patterns of tuna and billfish richness. Mar. Ecol. Prog. Ser. 355:267-276.
- Cane, M.A. 2005. The evolution of El Niño, past and future. Earth Planet. Sci. Lett. 230:227-240.
- Castro, R., A.S. Mascarenhas, R. Durazo y C.A. Collins. 2000. Variación estacional de



- la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Cienc. Mar.* 26(4): 561–583.
- Castro, R., R. Durazo, A. Mascarenhas, C.A. Collins y A. Trasviña. 2006. Thermohaline variability and geostrophic circulation in the southern portion of the Gulf of California. *Deep-Sea. Res. Part I.* 53(1):88-200.
- Cerdenares-Ladrón de Guevara, G., 2011. Biología del pez vela *Istiophorus platypterus* (Shaw y Nodder, 1972) en el Golfo de Tehuantepec. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México, 135 pp.
- Chen, D., A.J. Busalacchi y L.M. Rothstein. 1994. The roles of vertical mixing, solar radiation, and wind stress in a model simulation of the sea surface temperatura seasonal cycle in the tropical Pacific Ocean. *J. Geophys. Res. C.* 19:20345-20359.
- Chiang, W.C., M.K. Musyl, C.L. Sun, S.Y. Chen, W.Y. Chen, D.C. Liu, W.C. Su, S.Z. Yeh, S.C. Fu, T.L. Huang. 2011. Vertical and horizontal movements of sailfish (*Istiophorus platypterus*) near Taiwan determined using pop-up satellite tags. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 397:129–135.
- Cracknell, A.P. 1997. *The Advanced Very High Resolution Radiometer*. CRC Press. 534 pp.
- de Boyer-Montégut, C., G. Madec, A.S. Fischer, A. Lazar y D. Iudicone. 2004. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology. *J. Geophys. Res. C.* 109(C12):1-20.
- DOF. 1987. Diario Oficial de la Federación. Acuerdo que regula el aprovechamiento de las especies marlín, pez vela y pez espada conocidas comúnmente como picudos, en la Zona Económica Exclusiva del Litoral del Océano Pacífico. México. 28 de Agosto de 1987.
- DOF. 2012. Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. México. 24 de Agosto de 2012.

- Ducet, N., P.Y. Le-Traon y G. Reverdin. 2000. Global high-resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERS-1 and-2. *J. Geophys. Res. C.* (1978-2012). 105(C8):19477-19498.
- Espinoza-Carreón, T.L. y J.E. Valdez-Holguín. 2007. Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California. *Ecol. Apl.* 6(1-2):83-92.
- Eldridge, M.B. y P.G. Wares. 1974. Some biological observations of billfishes taken in the eastern Pacific Ocean. In: Shomura R.S. y F. Williams (eds.). *Proceedings of International Billfish Symposium. U.S. Part 2. Review and Contributed Papers*, Kaliua-Kona, Hawaii, August 9-12, 1972. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech. Rep. NMFS-SSRF-675, Washington DC, pp. 89-101.
- Ehrhardt, N.M. 1991. Potential impact of a seasonal migratory jumbo squid (*Dosidicus gigas*) stock on a Gulf of California sardine (*Sardinops sagax caerulea*) population. *Bull. Mar. Sci.* 49(1-2):325-332.
- Graves, J.E. y J.R. McDowell. 2003. Stock structure of the world's istiophorid billfishes : a genetic perspective. *Mar. Freshw. Res.* 54:287–298.
- Gómez, S., V. Torres, Y. García y J.A. Navarro. 2012. Procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de medidas repetidas en el tiempo en el sector agropecuario. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 46(1):1-7.
- Guisan, A., T.C. Edwards, Jr. y T. Hastie. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecol. Mod.* 157:89-100.
- Guzmán-Arroyo, M. y J.O. López-Ramos. 1986. Descripción y registros de juveniles de pez vela (*Istiophorus platypterus*, Shaw y Nodder, 1791), (Pisces, Istiophoridae), en las costas del estado de Michoacán, Pacífico sur de México. *Cienc. Mar.* 12(2):53–67.
- Hazing, H.G., C. Wor, B.L. Mourato, F.H.V. Hazin, P. Travassos, C.A. Arfelli, A.F. Amorim. 2008. Catch probabilities of sailfish (*Istiophorus platypterus*) based on

- environmental factors in southwestern Atlantic Ocean. Col. Vol. Sci. Pap. SCRS/2008/049. 11 pp.
- Hendrickx, M.E. y D. Serrano. 2010. Impacto de la zona de mínimo de oxígeno sobre los corredores pesqueros en el Pacífico mexicano. *Interciencia*. 35(1):12-18.
- Hernández-Aguilar, S.B. 2012. Ecofisiología de la reproducción del pez vela *Istiophorus platypterus* en el Océano Pacífico mexicano. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México, 181 pp.
- Hernández-Aguilar, S.B., L.A. Abitia-Cárdenas, X.G. Moreno-Sánchez, M. Arellano-Martínez y E. González-Rodríguez. 2013. Thropic spectrum of the sailfish *Istiophorus platypterus* off Acapulco in the southern Mexican Pacific. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 93(04):1097-1104.
- Hernández-Herrera, A. 2001. Biología del Pez Vela (*Istiophorus platypterus*, Shaw y Nodder, 1791) al Sur del Golfo de California, México. Tesis de Doctorado. CIBNOR, S.C. La Paz, B.C.S., México. 67 pp.
- Hinton, M.G. y M.N. Maunder. 2013. Status of sailfish in the eastern Pacific Ocean in 2011 and outlook for the future. I-ATTC 4<sup>th</sup> meeting, La Jolla.CA.
- Hoolihan, H.P. 2005. Horizontal and vertical movements of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in the Arabian gulf, determined by ultrasonic and pop-up satellite tagging. *Mar. Biol.* 146:1015-1029.
- Hoolihan, J.P. y J. Luo. 2007. Determining summer residence status and vertical habitat use of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in the Arabian Gulf. *ICES J. Mar. Sci.* 64:1791-1799.
- Jiménez-Quiroz M., R. Macías-Zamora y Vidaurri-Sotelo A. 2006. Relación entre la TSM y la pesca de pez vela en barcos palangreros en la ZEEM (1985-1989). XIV Congreso Nacional de Oceanografía
- Jones, M.S., M. Allen, T. Guymer y M. Saunders. 1998. Correlations between

- altimetric sea surface height and radiometric sea surface temperature in the south Atlantic. *J. Geophys. Res.* 103(C4):8073-8087.
- Kahru, M. 2010. Windows Image Manager (WIM): Image Display and Analysis Program. <http://www.wimsoft.com/>
- Kang, I.S. y J.S. Kug. 2002. El Niño and La Niña sea surface temperature anomalies: asymmetry characteristics associated with their wind stress anomalies. *J. Geophys. Res. D.* 107(D19):4372-4381.
- Kume S. y J. Joseph. 1969. The Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean east of 130 °W, 1964-1966. *Bull. I-ATTC.* 13(2):275-418.
- Lavín, M.F., E. Palácios-Hernández, y C. Cabrera. 2003. Sea Surface temperatura anomalies in the Gulf of California. *Geofis. Int.* 42(3):363-376.
- Lavín, M.F. y S.G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. In *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*, Velasco, O. J. Sheiman, J.J. Ochoa (Eds). Dordrecht, The Netherlands, 173-204 pp.
- López-Sánchez, J.L. 2004. Efectos de los eventos de El Niño y La Niña (1997-1999) sobre la distribución y abundancia del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*, Bonnaterre, 1788) en el Océano Pacífico Oriental. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México, 91 pp.
- Macías-Zamora, R. 1993. Relaciones entre la pesca deportiva y comercial del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico Mexicano. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México, 71 pp.
- Macías-Zamora, R., A. Olivos-Ortiz, A.L. Vidaurri-Sotelo, M.A. Carrasco-Águila y E. Torres-Orozco. 2011. Modelo espacialmente explícito de la migración estacional del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico mexicano. *Hidrobiol.* 21(2):126–134.

- Magaña-Rueda, V.O. 1999. Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM y Dirección General de Protección Civil, Secretaría de Gobernación. México, 229 pp.
- Mantua, N.J. y S.R. Hare. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. *J. Oceanogr.* 58(1):35-44.
- Marín-Enríquez, E. 2012. Variabilidad de las tasas de captura de marlín azul *Makaira nigricans* (Lacepède, 1802) en la entrada del Golfo de California, y su relación con algunas variables oceanográficas. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 67 pp.
- Martínez-Rincón, R.O. 2005. Distribución espacio-temporal de la captura por unidad de esfuerzo del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Golfo de Tehuantepec y su relación con la temperatura superficial del mar y la concentración de pigmentos fotosintéticos. Tesis de Licenciatura. UNICACH. México. 70 pp.
- Martínez-Rincón, R.O., S. Ortega-García, J.G. Vaca-Rodríguez y S.P. Griffiths. 2015. Development of habitat prediction models to reduce by-catch of sailfish (*Istiophorus platypterus*) within the purse-seine fishery in the eastern Pacific. *Ocean. Mar. Freshw. Res.*
- Mitchell, P.L. 1997. Misuse of regression for empirical validation of models. *Agr. Sys.* 54(3):313-326.
- Mourato, B.L., F. Hazin, K. Biguelow, M. Musyl, F. Carvalho y H. Hazin. 2014. Spatio-temporal trends of sailfish, *Istiophorus platypterus* catch rates in relation to spawning ground and environmental factors in the equatorial and southwestern Atlantic Ocean. *Fish. Oceanogr.* 23(1):32-44.
- Mourato, B.L., F.C. Carvallho F.H.V. Hazin, J.C. Pacheco, H.G. Hazin, P. Travassos y A.F. Amorim. 2010a. First observations of migratory movements and habitat preference of Atlantic sailfish, *Istiophorus platypterus*, in the southwestern Atlantic Ocean. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 65(5):1740-1747.

- Mourato, B.L., H.G. Hazin., C. Wor, P. Travassos, C.A. Arfelli, A.F. Amorim y F.H.V. Hazin. 2010b. Environmental and spatial effects on the size distribution of sailfish in the Atlantic Ocean. *Cienc Mar.* 36(3):225-236.
- Mourato, B.L., P. Pinheiro, F.H.V. Hazin, V. Basante, A.F. Amorim, E. Pimenta y C. Guimarães. 2009. Preliminary analysis of gonadal development, spawning period, sex ratio and length at first sexual maturity of sailfish, *Istiophorus platypterus* in Brazilian coast. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT.* 64(6):1927-1940.
- Nakamura, I., 1985. FAO, Species catalogue. Vol. 5. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. FAO, Fish. Synop. 125(5), 65 pp.
- Orbesen, E.S., J.P. Hoolihan, J.E. Serafy, D. Snodgrass, E.M. Peel y D.E. Prince. 2008. Transboundary movement of Atlantic istiophorid billfishes among international and U.S. domestic management areas inferred from mark-recapture studies. *Mar. Fish. Rev.* 70(1):14-23.
- Ortega-García S., Martínez-Rincón R.O., Rodríguez-Sánchez R., y U. Jakes-Cota. 2015. Modelación espacio-temporal de tres especies de pelágicos mayores de afinidad tropical en el Océano Pacífico Oriental Tropical. Informe Técnico INAPESCA. 61 pp.
- Ortiz, M. y C.A., Brown. 2002. Standardized catch rates for sailfish (*Istiophorus platypterus*) from the pelagic longline fishery in the northwest Atlantic and the Gulf of Mexico. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT.* 54(3):791-804.
- Pantoja, D.A, S.G. Marinone, A. Parés-Sierra y F. Gómez-Valdivia. 2012. Modelación numérica de la hidrografía y circulación estacional y de mesoescala en el Pacífico central mexicano. *Cienc. Mar.* 38(2):363-379.
- Pimenta, E.G., G. Lima, C.J. Cordeiro, M. Tardelli y A.F. de Amorim. 2005. Reproduction and stomach content analysis of sailfish *Istiophorus platypterus*, off Rio de Janeiro state, RJ Brazil. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT,* 58(5):1589–

1596.

Prince, E.D. y C.P. Goodyear. 2006. Hypoxia-based habitat compression of tropical pelagic fishes. *Fish. Oceanogr.* 15(6):451–464.

Prince, E.D., D.W. Lee, C.A. Wilson y J.M. Dean. 1986. Longevity and age validation of a tag-recaptured Atlantic sailfish, *Istiophorus platypterus*, using dorsal spines and otoliths. *Fish. Bull. U.S.* 84(3):493-502.

Power, M.E. 1992. Top-down and bottom-up forces in food webs: do plants have primacy?. *Ecology.* 73(3):733-746.

R Core Team. 2013. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-9000-51-07-0, URL <http://R-project.org/>.

Ramsay T.O., R.T. Burnett y D. Krewski. 2002. The effect of concavity in generalized additive models linking mortality to ambient particulate matter. *Epidemiology.* 14(1):18-23.

Roocker, J.R., J.R. Simms, R.D. Wells, S.A. Holt, G.J. Holt, J.E. Graves y N.B. Furey. 2012. Distribution and habitat associations of billfish and swordfish larvae across mesoscale features in the Gulf of Mexico. *Plos One.* 7(4):e34180, 14 pp.

Rosas-Alayola, J., A. Hernández-Herrera, F. Galván-Magaña, L.A. Abitia-Cárdenas y A.F. Muhlia-Melo. 2002. Diet composition of sailfish (*Istiophorus platypterus*) from the southern Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.* 57(2):185-195.

Santana-Hernández, H. 2001. Estructura de la comunidad de pelágicos mayores capturados con palangre en el pacífico mexicano (1983-1996) y su relación con la temperatura superficial del mar. Tesis de doctorado. Universidad de Colima. Tecomán, Col., México. 122 pp.

Santana-Hernández, H., J.J. Valdez-Flores y I.M. Gómez-Humarán. 2009. Distribución

espacial y temporal de las especies que conforman la captura objetivo e incidental, obtenida por baros palangreros de altura en el Pacífico Mexicano: 1983-2002. *Cienc. Pesq.* 17(2):87-96.

Santana-Hernández, H., R. Macías-Zamora y A.L. Vidaurri-Sotelo. 1996. Relación entre abundancia de peces de pico y la temperatura del agua en el Pacífico mexicano. *Cienc. Pesq.* 13:62-65.

Schott, J.R. 2007. *Remote sensing*. Oxford University Press. 666 pp.

Schwing, F.B., R. Mendelsohn, S.J. Bograd, J.E. Overland, M. Wang y S.I. Ito. 2010. Climate change, teleconnection patterns, and regional processes forcing marine populations in the Pacific. *J. Mar. Sys.* 79(3):245-257.

Smith, S.W. 1999. *The scientist and engineer's guide to digital signal processing*, Second Edition. California Technical Publishing. San Diego, Ca. 640 pp.

Sosa-Nishizaki, O. 1998. Revisión histórica del manejo de los picudos en el Pacífico Mexicano. *Cienc. Mar.* 24(1):95-110.

Squire, J.L. 1974. Migration Patterns of Istiophoridae in the Pacific Ocean as determined by cooperative tagging programs. In: R.S. Shomura y F. Williams (Eds.). *Proceedings of the International Billfish Symposium*. Kaliua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972. Part 2. Review and Contributed Papers. 226-237 p. U.S. Department of Com. NOAA Technical Report NMF SSRF.675.

Strub, P.T. y C. James. 2002. Altimeter-derived surface circulation in the large-scale NE Pacific Gyres. Part 2: 1997-1998 El Niño anomalies. *Prog. Oceanogr.* 53:185-214.

Tang, W., T. Liu y B.W. Stiles. 2004. Evaluation of High-Resolution ocean surface vector winds measured by QuikSCAT Scatterometer in coastal regions. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 42(8): 1762-1769.

Uosaki, K. y W.H. Bayliff. 1999. A review of the Japanese longline fishery for tunas and



billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1988-1992. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull. 21(6):276–486.

Wei-Chuang, C., M.K. Musyl, S. Chi-Lu, C. Shu-Ying, C., Wen-Yie, L. Don-Chung, S. Wei-Cheng, Y. Su-Zan, F. Shin-Chin y H. Tzu-Lun. 2011. Vertical and horizontal movements of sailfish (*Istiophorus platypterus*) near Taiwan determined using pop-up satellite tags. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 397(2):129-135.

Wilkinson T., E. Wiken, J. Bezaury-Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan, M. Padilla. 2009. Marine Ecoregions of North America. Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canada. 200 pp.

Wood, S. 2006. Generalized Additive Models. An Introduction with R. Chapman y Hall/CRC. 392 pp.

Yokawa, K. y H. Saito. 2004. Results of comparison of catch ratio between shallow and deep setting obtained from 2002 Shoyo-Marun survey in the tropical Atlantic. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT. 56(1):195-200.

Zar, J.H. 2010. Biostatistical analysis. 5<sup>a</sup> Ed. Prentice Hall. New Jersey. 663 pp.

Zúñiga-Flores, M.S., S. Ortega-García y A. Klett-Traulsen. 2008. Interannual and seasonal variation of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) catch rates in the southern Gulf of California, México. Fish. Res. 94(1):13-17.

Zuur, A.F., E.N. Ieno, N.J. Walker, A.A. Savelier, G.M. Smith. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Springer Science & Business Media. 574 pp.