



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



**VARIABILIDAD DE LAS TASAS DE CAPTURA DE MARLIN
AZUL *Makaira nigricans* (Lacepède, 1802) EN LA
ENTRADA DEL GOLFO DE CALIFORNIA, Y SU RELACIÓN
CON ALGUNAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

EN

MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA:

EMIGDIO MARÍN ENRÍQUEZ

LA PAZ, B.C.S., A 3 DE JUNIO DE 2012



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 16 del mes de Mayo del 2013 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 DE MARLIN AZUL *Makaira nigricans* (Lacépède, 1802) EN LA ENTRADA DEL GOLFO DE CALIFORNIA, Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS"

Presentada por el alumno:

MARÍN Apellido paterno	ENRÍQUEZ materno	EMIGDIO nombre(s)
		Con registro: B 1 1 0 2 5 8

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

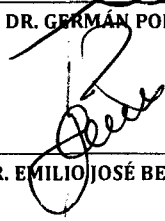
Director(a) de Tesis


DRA. SOLEDAD ORTEGA GARCÍA


DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA


DR. GERMÁN PONCE DÍAZ


DR. HÉCTOR VILLALOBOS ORTIZ

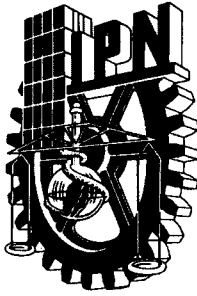

DR. EMILIO JOSÉ BEIER MARTIN

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


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 04 del mes Junio del año 2013
el (la) que suscribe OCEÁN. EMIGDIO MARÍN ENRÍQUEZ alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro B110258 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 cede los derechos del trabajo titulado:

"VARIABILIDAD DE LAS TASAS DE CAPTURA DE MARLIN AZUL *Makaira nigricans* (Lacépède, 1802)

EN LA ENTRADA DEL GOLFO DE CALIFORNIA, Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS"

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: millomarin@hotmail.com - sortega@ipn.mx

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

OCEÁN. EMIGDIO MARÍN ENRÍQUEZ

nombre y firma

DEDICATORIA

A mis padres

Dres. José Luis Marín Flores (†) y Dora Elvia Enríquez Licón. Gracias por su incondicional apoyo, por creer en mí y por darme todo lo que necesité en mi formación profesional. Este logro no hubiera sido posible de ninguna manera sin su ayuda. ¡Gracias por todo!

A mis hermanos

Oscar e Iván, por todos los momentos felices y amargos, y por demostrar, a veces de una manera no tan convencional, que siempre estarán ahí, pase lo que pase. ¡Gracias por todo hermanos!

A mi abuela

Maria Elena, nunca me cansaré de decirlo, eres el pilar principal de la familia Enríquez Licón. Gracias por cuidarnos de pequeños, y por siempre abrirnos las puertas de tu hogar a mí y a mis hermanos. ¡Gracias nana!

A mis tíos Enríquez Licón

Sergio (†), Gladys, Maritza, José Luis (“botete”), Mario (“gansito”), Lalo, Javier. Gracias por esas tardes y noches en familia, navidades, etc. Gracias ser una excelente familia, y por todo lo demás.

A mi segunda familia

Loren, Mark, Penny y Bella. Gracias por todo, vivir con ustedes ha sido una de las mejores cosas que me ha sucedido. Nunca olvidaré la confianza que depositaron en mí para que nos volviéramos compadres. ¡Gracias!

A mi familia de Lagos

Juanita, Roberto, Tatán, Pancho, Memo, Beto, Millo, Clara, Pepa, Jorgín, Emiliano. Aunque no siempre pudiéramos estar tan cerca como quisiéramos, sepan que siempre son recordados. Gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la Dra. Sofía Ortega García por aceptar ser mi directora de tesis, por todo su apoyo y por sus valiosos consejos y aportes que seguramente mejoraron mi formación académica. Por su dedicación a la realización de este trabajo. Gracias.

A los profesores investigadores que formaron parte de mi comité, Dr. Héctor Villalobos Ortiz, Dr. Emilio Beier, Dr. Germán Ponce Díaz, y Dr. Felipe Galván Magaña. Gracias por aceptar ser parte de este trabajo, y por sus valiosos consejos y aportes, los cuales ayudaron de gran manera a mejorarlo.

Al Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón, por sus consejos tanto en la elaboración de este escrito como en la modelación estadística, y por su ayuda con R en general. Gracias.

Al departamento de servicios escolares, “doctores” Humberto Ceseña y Cesar Casas, por siempre estar dispuestos a ayudar de la manera más amable con todos los trámites administrativos. Gracias por atendernos con una sonrisa en el rostro, sin importar los alteros de papeles que pudiesen tener. Gracias por las galletas y el eventual café matutino.

A los compañeros del proyecto de pelágicos mayores, Pablo, Andrés, Beto, Edgardo, Hideki, Fátima, Dra. Marcela Zuñiga, Alfredo (“tigre”). Gracias por el compañerismo, consejos, charlas, y todo lo demás.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por los apoyos económicos, sin los cuales la culminación de este trabajo hubiera sido difícil.

ÍNDICE

Lista de figuras.....	III
Lista de tablas.....	VII
Glosario.....	VIII
Resumen.....	X
Abstract.....	XI
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	2
3. Justificación.....	5
4. Hipótesis.....	6
5. Objetivos.....	7
6. Área de estudio.....	8
7. Material y métodos.....	11
7.1. Base de datos pesqueros.....	11
7.2. Variables ambientales.....	11
7.3 Tratamiento estadístico.....	11
8. Resultados.....	15
8.1. Tasas de Captura.....	15
8.2. Variables ambientales.....	19
8.2.1. Temperatura Superficial del Mar (TSM).....	19
8.2.2. Concentración de Clorofila (CCL).....	21
8.2.3. Altura superficial del mar (ASM).....	23
8.2.4. Rapidez del Viento (RV).....	26
8.3 Relación de las tasas de captura con las variables ambientales.....	28
8.3.1 Correlación Cruzada.....	28
8.3.2. Preferencia de hábitat del marlin azul.....	35
8.4. Modelación de las tasas de captura.....	37
9. Discusión.....	43
9.1. Tasas de captura.....	43

9.2. Preferencia de hábitat del marlin azul y oceanografía del área de estudio.....	49
9.3. Modelación de las tasas de captura de marlin azul.....	53
10. Conclusiones.....	57
11. Recomendaciones.....	59
12. Bibliografía.....	60

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización geográfica del área de estudio y cuadrantes seleccionados para estimar los promedios mensuales de las imágenes de satélite utilizados en este estudio. Cabo San Lucas B.C.S., Buenavista B.C.S. (BV) y Mazatlán, Sin. (MZT)... 8
- Figura 2. Batimetría del Golfo de California.....9
- Figura 3. Diagrama de cajas de las tasas de captura para las tres localidades del área de estudio: Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV) en B.C.S. y Mazatlán Sin (MZT), durante el período 1990-2002.....16
- Figura 4. Variabilidad interanual (año tipo) de las tasas de captura (en Número de organismos/viaje) de marlin azul para el periodo 1990-2002 en las tres localidades de estudio: Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV) en B.C.S., y Mazatlán, Sin. (MZT).....16
- Figura 5. Variabilidad interanual de las tasas de captura de marlin azul capturado por la flota deportiva que operó en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha..... 17
- Figura 6. Variabilidad estacional de las tasas de captura de marlin azul capturado por la flota deportiva que operó en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.....18
- Figura 7. Periodograma obtenido del análisis de Fourier de las series de tiempo de tasas de captura de marlin azul, capturado de 1990 al 2002 en las tres zonas de estudio (CSL = Cabo San Lucas, BV = Buenavista y MZT = Mazatlán).....18
- Figura 8. Variabilidad de la temperatura superficial del mar promedio en Cabo San Lucas y Buenavista, en B.C.S., y en Mazatlán Sin., durante el período comprendido entre 1990-2002.....19
- Figura 9. Variabilidad interanual de la temperatura superficial del mar (°C) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha..... 20
- Figura 10. Variabilidad estacional de la temperatura superficial del mar (°C) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002.20
- Figura 11. Comparación de la concentración de Clorofila (en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) promedio mensual entre las tres áreas de estudio (CSL=Cabo San Lucas, BV=Buenavista, MZT= Mazatlán), de septiembre de 1997 a diciembre de 2002.....21
- Figura 12. Variabilidad interanual de concentración de Clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo

1998-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.....	22
Figura 13. Variabilidad estacional de concentración de Clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo de septiembre de 1997-diciembre de 2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.....	23
Figura 14. Comparación de altura superficial del mar (cm) promedio mensual entre las tres localidades de estudio (CSL y BV en B.C.S. y MZT, Sin.), de octubre de 1992 a diciembre del 2002.....	24
Figura 15. Variabilidad interanual de altura superficial del mar (cm) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1993-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.....	25
Figura 16. Variabilidad estacional de altura superficial del mar (cm) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo de octubre de 1993-diciembre de 2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.....	26
Figura 17. Variabilidad de la rapidez del viento entre las tres localidades de estudio (CSL = Cabo San Lucas, BV = Buenavista, MZT = Mazatlán), en el periodo de 1990-2002.....	27
Figura 18. Variabilidad interanual de rapidez del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.....	28
Figura 19. Variabilidad estacional de rapidez del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.....	28
Figura 20. Series suavizadas de las tasas de captura y de la temperatura superficial del mar promedio para el área de Cabo San Lucas, B.C.S., durante 1990–2002.....	29
Figura 21. Series suavizadas de tasas de captura y temperatura superficial del mar promedio mensual para el área de Buenavista, B.C.S., durante 1990 – 2002.....	30
Figura 22. Series suavizadas de tasas de captura y temperatura superficial del mar promedio mensual para el área de Mazatlán, Sin., durante el periodo de 1990 al 2002. El coeficiente de correlación mostrado es con un mes de desfase.....	30

Figura 23. Series suavizadas de tasas de captura y concentración de clorofila promedio de clorofila en el área de Cabo San Lucas, B.C.S. La serie de tiempo de CCL abarca de septiembre de 1997 a diciembre del 2002. En valor de correlación mostrado en la parte superior es el encontrado con 4 meses de desfase.....	31
Figura 24. Series suavizadas de tasas de captura y concentración promedio de clorofila mensual para el área de Buenavista, B.C.S. La serie de tiempo de CCL abarca de septiembre de 1997 a diciembre del 2002. En la figura se muestra el valor de correlación encontrado con 6 meses de desfase.....	31
Figura 25. Series suavizadas de tasas de captura y concentración de clorofila en el área de Mazatlán, Sin. , mostrando el valor de correlación con un desfase de 6 meses. La serie de tiempo de clorofila abarca de septiembre de 1997 a diciembre del 2002.....	32
Figura 26. Series de tiempo de tasas de captura y altura superficial del mar promedio mensual para el área de Cabo San Lucas, B.C.S. En la parte superior central se muestra el valor de correlación encontrado con un desfase negativo de un mes. La serie de tiempo de altura superficial del mar es de octubre/1992 a diciembre/2002.....	33
Figura 27. Series de tasas de captura y altura superficial del mar promedio mensual para el área de Buenavista, B.C.S. En la parte superior central se muestra el valor de correlación encontrado con un desfase negativo de un mes. La serie de tiempo de altura superficial del mar es de octubre/1992 a diciembre/2002.....	33
Figura 28. Series de tiempo de tasas de captura y altura superficial del mar promedio mensuale en el área de Mazatlán, Sin. El valor de correlación es con un desfase de un mes. La serie de tiempo de altura superficial del mar es de octubre/1992 a diciembre/2002.....	34
Figura 29. Tasas de captura y rapidez del viento promedio mensual en el área de Cabo San Lucas, B.C.S., en el período comprendido entre 1990 y 2002. El coeficiente de correlación que se muestra es con un desfase de 6 meses	34
Figura 30. Tasas de captura y rapidez del viento promedio mensual en Buenavista, B.C.S., en el período de 1990 al 2002. El coeficiente de correlación que se muestra fue con un desfase de 6 meses	35
Figura 31. Serie de tiempo de tasas de captura y rapidez del viento promedio mensual en Mazatlán, Sin., en el período de 1990 al 2002. El coeficiente de correlación mostrado en la parte superior es para la correlación con 10 meses de desfase.....	35
Figura 32. Preferencia de hábitat del marlin azul, en Cabo San Lucas, B.C.S. A, temperatura superficial, B, clorofila, C, rapidez del viento, D, altura superficial del mar	36
Figura 33. Preferencia de hábitat de marlin azul en Buenavista, B.C.S. A, temperatura superficial, B, clorofila, C, rapidez del viento, D, altura superficial del mar	37

Figura 34. Preferencia de hábitat del marlin azul en Mazatlán, Sin. A, temperatura superficial, B, Clorofila, C, rapidez del viento, D, altura superficial del mar Note la diferencia de escalas en el eje X de (B), con respecto a la misma figura en las figuras 32 y 33.....	37
Figura 35. Gráficos del efecto que la temperatura superficial del mar (A) y el mes (B) tienen sobre las tasas de captura de marlin azul en Cabo San Lucas, B.C.S. El área sombreada denota los intervalos de confianza al 95 %, y las marcas en el eje X denotan la densidad de los datos.....	38
Figura 36. Diagrama de dispersión de tasas de captura de marlin azul durante el 2002, de valores observados vs. ajustados por el modelo aditivo generalizado construido para Cabo San Lucas, B.C.S. La línea recta es el resultado de la regresión lineal.....	39
Figura 37. Valores observados, predicción y validación del modelo aditivo generalizado construido para las tasas de captura de marlin azul en Cabo San Lucas	39
Figura 38. Efecto que la temperatura superficial del mar (A), el mes (B), y la rapidez del viento (C) tienen sobre las tasas de captura de marlin azul en Buenavista, B.C.S. Las marcas en el eje X denotan la densidad de los datos, y el área sombreada los intervalos de confianza al 95 %.....	40
Figura 39. Diagrama de dispersión y ajuste de modelo lineal a valores observados vs. ajustados de tasas de captura de marlin azul durante el 2002 por el modelo aditivo generalizado en Buenavista, B.C.S.....	41
Figura 40. Tasas de captura de marlin azul observadas, predicción y validación del modelo construido para Buenavista, B.C.S.....	41
Figura 41. Efecto que la temperatura superficial del mar (A) y el mes (B) tienen en las tasas de captura de marlin azul en Mazatlán, Sin. Las marcas en el eje X denotan la densidad de los datos, y el área sombreada el intervalo de confianza al 95 %.....	42
Figura 42. Diagrama de dispersión de tasas de captura observadas vs. calculadas por el GAM ajustado para MZT para el 2002. La línea recta representa el ajuste del modelo lineal	43
Figura 43. Tasas de captura observadas, predicción y validación del modelo aditivo generalizado construido para Mazatlán, Sin.....	43

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Estadísticas descriptivas de las tasas de captura (en número organismos/viaje en Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período 1990- 2002.....	15
Tabla II. Estadísticas descriptivas de la temperatura superficial del mar (en °C) en Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período 1990-2002.....	19
Tabla III. Estadísticas descriptivas de la concentración de Clorofila (en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período comprendido de septiembre de 1997 a diciembre del 2002.....	20
Tabla IV. Estadísticas descriptivas de la concentración de la altura del nivel del mar (en cm) en Cabo San Lucas (CSL y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período comprendido de octubre de 1992 a diciembre del 2002.....	23
Tabla V. Estadísticas descriptivas de la rapidez del viento (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) en Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período comprendido entre 1990 y 2002.....	26
Tabla VI. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado construido para CSL.....	38
Tabla VII. Análisis de devianza para el modelo aditivo generalizado construido para Buenavista, B.C.S.....	40
Tabla VIII. Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado construido para Mazatlán, Sin.....	42

GLOSARIO

Análisis de Fourier.- Técnica matemática que estudia la manera en que funciones generales pueden ser representadas mediante sumas de funciones trigonométricas más simples. En análisis de series de tiempo, descompone la serie en sus componentes cíclicos, pasando de una función en el dominio del tiempo, a una función en el dominio de frecuencias.

AVHRR.- Radiómetro avanzado de muy alta resolución (por sus siglas en inglés). Sensor remoto que mide la radiación emitida por un cuerpo, p. ej. La superficie del océano. Se utiliza para medir la temperatura superficial del mar.

Correlación cruzada.- Medida de similitud entre dos ondas. Esta medida es considerada una función de un desfase en el tiempo, desfase que es aplicado a una de las ondas.

Esfuerzo pesquero.- Medida de la cantidad de actividad pesquera. Usualmente se manejan distintos parámetros operacionales para definirlo (por ejemplo, número de horas o de días que un barco pesca, número de anzuelos en un palangre, kilómetros de red utilizada, etc.).

Modelos Aditivos Generalizados (GAMs por sus siglas en inglés).- Modelos estadísticos, en los que el predictor lineal (variable respuesta) está dado por la suma de unas funciones suavizadoras de las covariantes (variables predictorias), funciones que son especificadas por el usuario, y están relacionadas con la variable respuesta mediante una función de enlace (p. ej., logaritmo). En los modelos se debe de especificar la distribución supuesta, y puede ser ajustado mediante métodos paramétricos o no paramétricos.

Pesca deportiva.- Modalidad de pesca que se realiza a nivel personal o en equipo, por ocio o competencia, sin fines comerciales.

Resolución espacial.- Número de píxeles en una imagen, por unidad de distancia.

Sea WiFS.- Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor, sensor remoto de tipo pasivo, el cual se utiliza para captar información de las propiedades bio-ópticas del océano. Este sensor es sensible al color de la superficie del océano. Se utiliza para estimar la concentración en una capa superficial de pigmentos fotosintéticos (por ejemplo, de Clorofila).

Sensor remoto.- Sensor que tiene la capacidad de obtener información de algún objeto o fenómeno, sin establecer un contacto físico con el mismo.

Tasa de captura.- Número de peces capturados por unidad de esfuerzo pesquero. En este trabajo se considera un viaje de pesca como dicha unidad de esfuerzo pesquero.

Validación del modelo.- Medida de similitud entre los datos observados (no utilizados en la construcción del modelo) y los datos arrojados por el modelo. Para la validación se pueden emplear tanto técnicas visuales (figuras de dispersión) como estadísticas (regresiones lineales).

RESUMEN

El marlin azul es una especie cosmopolita que se distribuye en aguas tropicales, subtropicales y templadas, desde los 48°S a los 48°N. En México está reservada para la pesca deportiva en una franja de 50 millas náuticas. En este trabajo se analizaron las tasas de captura (TC=No. de organismos/viaje) promedio mensual durante el período de 1990-2002, de algunas de las flotas deportivas de Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), en B.C.S., y en Mazatlán (MZT), Sin., con el objetivo de determinar su variabilidad interanual y estacional así como el efecto que el medio ambiente tiene en esta variabilidad. Las variables analizadas fueron los promedios mensuales de temperatura superficial del mar (TSM), concentración de Clorofila (CCL), altura del superficial del mar (ASM) y rapidez del viento (RV), cuyos valores se infirieron a partir de imágenes de satélite. Se encontraron diferencias significativas en las TC entre las tres localidades, presentando MZT las TC menores. El promedio general de las TC fue de 0.047 organismos/viaje. En CSL y BV las TC menores se registraron durante 1997. La variabilidad interanual de las TC fue significativa sólo en MZT, mientras que la estacional fue significativa en las tres localidades. En CSL y BV las TC mayores se registraron durante los meses de verano, en tanto que en MZT fue en otoño. Las TC muestran un ciclo anual significativo en las dos regiones de BCS. Para el análisis ambiental se determinaron tres estratos, uno para cada región pesquera. La CL presentó una variabilidad interanual significativa en CSL y MZT, mientras que la ASM y la RV sólo la presentaron en CSL. Estacionalmente todas las variables presentaron diferencias significativas. El análisis de correlación cruzada mostró una correlación significativa entre las TC y las variables ambientales. La TSM y ASM presentan un desfase nulo o de un mes con respecto a las tasas de captura, en tanto que con la CL y la RV presentan un desfase de 4 a 6 meses. Mediante el uso de los modelos aditivos generalizados (GAMs) se determinó el modelo predictivo para cada una de las localidades. Los resultados de éstos sugieren que la TSM y la variable temporal (mes) fueron las que explican mejor la variabilidad de las tasas de captura. Las devianzas explicadas por los modelos fueron de 81, 83 y 38 % para CSL, BV y MZT, respectivamente.

ABSTRACT

Blue marlin is a cosmopolite species, distributed in tropical, subtropical, and temperate waters, ranging from 48 ° S to 48° N. In Mexico, this species is reserved exclusively for sport fishing within 50 nautical miles from the coastline. The main objective of the present study is to analyze seasonal and year-to-year variations in monthly averaged catch rates (CR, number of fishes per fishing trip) from 1990 to 2002, reported by some of the sport fishing fleets that operated in that period in Cabo San Lucas (CSL) and Buenavista (BV), in Baja California Sur (B.C.S.), and Mazatlán (MZT), in Sinaloa, Mexico, and to assess the influence of the environment in such variations. Oceanographic variables analyzed are monthly averaged Sea Surface Temperature (SST), Chlorophyll concentration (CHL), Wind Velocity (WV), and Sea Surface Height (SSH), all inferred from satellite remote sensing. There was a significant difference between the CR of the three locations. CR are significantly lower in MZT. Average CR in the study area was 0.047 fish/trip. Both in CSL and BV there's a minimum in CR during 1997, presumably due to an expansion of blue marlin habitat. Year-to-year variation was only statistically significant in MZT. In all three locations seasonal variability of CR was significant. In CSL and BV higher CR occur during summer months. In MZT, blue marlin abundance is higher during fall. Spectral (Fourier) analysis showed that there's an important yearly cycle both in CSL and BV. For the environmental analysis three strata were determined, one for each fishing ground. Year-to-year variability of CHL was significant in both CSL and MZT. WV and SSH presented a significant year-to-year variability in CSL. Seasonal variability was significant in all environmental variables. Cross-correlation analysis suggests that CR are significantly correlated with all environmental variables. SST and SSH are correlated with CR with a maximum lag of one month, and CHL and WV are correlated with CR with a lag of 4 – 6 months. Using Generalized Additive Models (GAMs) we constructed predictive models, one for each location. The modeling results suggest that SST and the variable *month* (used as a cyclic variable) are the variables that explain most of CR variability. Models explained 81, 83 and 39 % of total deviance for CSL, BV and MZT, respectively.

1. INTRODUCCIÓN

El marlin azul (MA), *Makaira nigricans*, es un pez que pertenece al grupo de peces conocidos como “picudos”, los cuáles se caracterizan por presentar la parte superior de su mandíbula muy alargada. Este grupo incluye dos familias: *Xiphiidae* (pez espada) e *Istiophoriidae* (Collete *et al.*, 2006), siendo ésta última a la que pertenece el marlin azul. Es una especie pantropical, que en el Océano Pacífico Oriental (OPO) se distribuye desde los 35°N a los 25°S (Nakamura, 1985). Es entre los picudos la especie más tropical, y se encuentra principalmente en aguas lejanas a la zona costera, con excepción de zonas en donde la plataforma continental es estrecha (Nakamura, 1985; Joseph *et al.*, 1988). La información hasta ahora disponible indica que el marlin azul constituye una sola especie a nivel mundial, y que existe una sola población en el Océano Pacífico (Hinton, 2008; Graves & McDowell, 2001; Sun *et al.*, 2009; Kleiber *et al.*, 2003).

El marlin azul es un pez altamente migratorio (Graves *et al.*, 2003; Hinton, 2001), vive generalmente en regiones con temperaturas superficiales mayores a 25 °C (Sakagawa, 1987). Pasa un 90 % del tiempo en profundidades donde la temperatura es de 1 a 2 °C más baja que la TSM (Nakamura, 1985; Holland *et al.*, 1990; Hinton, 2008). Es una especie que puede alcanzar tallas grandes, las hembras hasta los 450 cm de longitud furcal (LF) y 15 años de vida, en tanto que los machos hasta 300 cm LF (Sakagawa, 1987), y presumiblemente alcanzan una vida media menor a la de las hembras (Skillman & Yong, 1976). Son organismos solitarios, aunque se les puede encontrar agregados en zonas donde el alimento sea abundante; su dieta consiste de una variedad de cefalópodos y peces, principalmente túnidos y especies similares (Sakagawa, 1987; Abitia-Cárdenas *et al.*, 1999).

En las costas de Baja California Sur, el marlin azul se presenta de marzo a diciembre. La tasa de captura promedio máxima se registra en agosto con un promedio de 0.15 organismos/viaje y la mínima en marzo con 0.001 organismos/viaje. Esta variabilidad intra-anual se ha explicado en más de un 70 % por la temperatura (Ortega-García *et al.*, 2006). Se desconocen los mecanismos que inducen la ocurrencia de estos organismos en el Pacífico frente a México, ya que mediante el análisis del índice gonadosomático se ha concluido que no hay actividad reproductiva en el área, por lo que se ha inferido que su presencia está

asociada con fines de alimentación, considerando además que el 97 % de los organismos capturados en esta área son hembras (Klett-Traulsen *et al.*, 1996; Ortega-García *et al.*, 2006).

2. ANTECEDENTES

De la relación que el marlin azul tiene con el medio ambiente destacan diversos trabajos a nivel mundial.

Seki *et al.* (2002) estudiaron la variación espacial de las capturas de marlin azul durante un torneo de pesca deportiva realizado en Hawái en 1995. Los autores reportan que los vientos que se presentaron en la región durante esa temporada, generaron giros de mesoescala de considerables dimensiones, y que la mayor parte de la captura se registró en la zona de influencia de un giro de carácter ciclónico.

Walsh *et al.* (2006) utilizaron Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) para analizar las capturas de marlin azul de la flota palangrera que operó en Hawái de 1994 a 2004. En ese trabajo, los autores ajustaron un modelo “operacional” que incluyó como variables predictivas el número de anzuelos/lance, la hora del lance, el tamaño de la embarcación, etc. así como, un modelo “ambiental” que incluyó variables como la TSM, altura del nivel del mar, entre otras. Aplicaron también un modelo “total” en el que incluyeron los dos tipos de variables. La variable que presentó mayor relación con las capturas de marlin azul fue la fecha del lance de pesca, ya que se presentan capturas altas durante verano, y capturas bajas durante el invierno.

Su *et al.* (2008) utilizaron GAMs para determinar la relación entre las tasas de captura de marlin azul reportadas por la flota palangrera japonesa que opera en el Océano Pacífico Tropical, y algunas variables tanto oceanográficas (TSM, profundidad de la capa de mezcla, Clorofila-*a*), como espacio-temporales (latitud, longitud, año, etc.). Encontraron una estacionalidad marcada en las capturas, con densidades de marlin azul mayores en los trópicos. Las variables que explicaron en mayor medida las capturas de marlin azul fueron la latitud, la longitud y la TSM. Otro de los resultados interesantes presentados en el trabajo es que las áreas de alta abundancia se desplazan hacia el sur durante los meses de invierno y primavera.

Goodyear *et al.* (2008), mediante el uso de marcas satelitales, estudiaron los movimientos verticales que realiza el marlin azul. Los autores encontraron diferencias en la región de preferencia del pez en la columna de agua, ya que los especímenes pasaron la mayor parte del tiempo nocturno en superficie, mientras que en gran parte de las horas diurnas se encontraban bajo la capa superficial (entre 40 y 100 m), realizando una serie de movimientos verticales. Con base en esto sugieren que algunas de las suposiciones sobre el hábitat preferencial del marlin, utilizadas en análisis de captura por unidad de esfuerzo deberían reconsiderarse.

Referente al estudio del efecto que tienen ciertas variables ambientales en las series de tiempo de tasas de captura de peces altamente migratorios, destaca el trabajo de Rouyer *et al.* (2010), quienes estudiaron el efecto que el “ruido rojo” (variabilidad de baja frecuencia), presente en las series de tiempo de distintas variables ambientales, tuvo en las series de tiempo de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de distintas especies de picudos y atunes en el Océano Atlántico. Esta variabilidad de baja frecuencia parece afectar más a aquellas especies que realizan migraciones importantes, que presentan un lento crecimiento y alcanzan grandes tallas (como el marlin azul), debido quizá a lo que se conoce como “resonancia de la cohorte”, o efecto de amortiguamiento, que estas especies presentan a las variaciones ambientales de alta frecuencia, debido principalmente a su lento crecimiento, y a que usualmente en sus poblaciones se encuentran múltiples clases de edad reproductoras.

Utilizando marcas satelitales, Dutton (2010) estudió los movimientos verticales y el uso del hábitat que realiza el marlin azul capturado por la flota recreativa en el Océano Atlántico Occidental. En este trabajo se reporta que el marlin azul habita el 62 % del tiempo en los primeros 10 m de la columna de agua y que el 30 % de ellos hacen inmersiones hacia aguas profundas especialmente durante el día, éstas fueron caracterizadas por el autor como tipos U y V (debido a la forma de la trayectoria vertical descrita por el pez) y algunos otros patrones más complejos, entre los que se observan inmersiones múltiples, domos, etc.

Su *et al.* (2011), utilizando nuevamente GAMs, evaluaron la influencia de distintas variables oceanográficas en la distribución de capturas de marlin azul

capturado por las flotas palangreras de distintas naciones, la cuales operaron en el Océano Pacífico de 1998 al 2004. Al igual que en Su *et al.* (2008), en dicho trabajo se menciona que la TSM del mar fue la variable oceanográfica que más contribuye a explicar la variabilidad en las capturas, y que la densidad máxima de organismos ocurre en los trópicos. Los autores informan que la variabilidad interanual del indicador de abundancia (CPUE) de marlin azul está influenciada por los eventos El Niño, registrando un aparente movimiento de la población de marlin azul, desde el Pacífico central hacia el este, durante el evento El Niño de 1997-1998.

En México son pocos los estudios que sobre esta especie se han llevado a cabo y la mayoría se han enfocado a parámetros poblacionales y a sus hábitos alimentarios. Sobre la relación ambiente-recurso, Ortega-García *et al.* (2006) estudiaron la variación de las tasas de captura de marlin azul capturado por la flota deportiva de Cabo San Lucas, B.C.S., así como algunos de sus aspectos biológicos (proporción de sexos, frecuencia de tallas, y estado de madurez) y su relación con la TSM. En dicho trabajo se concluye, que las tasas de captura presentan una correlación alta con la TSM ($r = 0.71$), que en la región de estudio no se presentó actividad reproductiva y que el 97 % de organismos capturados, son hembras.

3. JUSTIFICACIÓN

La pesca deportiva provee múltiples beneficios económicos en las regiones en las que se ha desarrollado (Sosa-Nizishaki, 1998). Particularmente para la región de Los Cabos, B.C.S., Ditton *et al.* (1996) mencionan que el 72 % de los pescadores tienen como objetivo la captura de marlin azul. En ese estudio se reporta que durante 1994-1995, dichos pescadores dejaron una derrama económica de cerca de 44.5 millones de USD en actividades relacionadas directa e indirectamente con la pesca deportiva, y que por cada dólar gastado, se generó un impacto económico directo al estado de 2.25 USD., lo que tuvo como resultado una derrama económica total para ese año de alrededor de 100 millones de USD (en actividades turísticas relacionadas tanto directa como indirectamente a la pesca de picudos). Un estudio más reciente realizado por Southwick *et al.* (2008) evaluaron que durante el 2007, más de 354,000 personas acudieron a Los Cabos a practicar la pesca recreativa, generando una derrama económica de 633.3 millones de USD, 245.5 millones en ingresos al país y al estado mediante impuestos, y 1250 millones en impacto

económico total, además de que esta actividad generó cerca de 24,500 empleos. Algo en lo que ambos autores coinciden es en que existe una fuerte competencia entre México y algunos países de Centroamérica por atraer al turismo que practica la pesca deportiva; el lugar de elección del pescador será, por supuesto, aquella localidad donde se presente la mayor abundancia y mayores tallas de captura.

Todo lo anterior, convierte al marlin azul en una especie de importancia económica elevada para este tipo de pesquería en la boca del Golfo de California, por lo que es necesario contar con estudios del recurso que determinen el efecto que las variables ambientales tienen en las tasas de capturas y el pronóstico de las mismas, con el objetivo de aportar conocimientos básicos de la especie, lo cual ayudaría a llevar a cabo un mejor manejo del recurso. Es por ello que en este estudio se pretenden analizar las tasas de captura registradas por las flotas deportivas que operan en Cabo San Lucas y Buenavista en B.C.S y Mazatlán Sin., con la finalidad de determinar su variabilidad interanual y estacional, así como el efecto que variables como la TSM, la altura superficial del mar (ASM), la rapidez del viento (RV) y la concentración de clorofila (CCL) tienen en su presencia en la zona.

4. HIPÓTESIS

Estudios anteriores realizados en diferentes escalas espacio-temporales muestran que la abundancia del marlin azul está regida por algunas fluctuaciones ambientales, las cuales a su vez responden a fenómenos físicos de diferentes escalas.

En este trabajo se propone la hipótesis de que la variación estacional e interanual en las tasas de captura de marlin azul está influenciada significativamente por las variables ambientales, las cuales permitirán su pronóstico en el área.

5. OBJETIVO GENERAL

Determinar la variabilidad estacional e interanual de las tasas de captura del Marlin azul, registradas por algunas de las flotas deportivas que operan en la boca del Golfo de California, así como la influencia que ciertas variables ambientales tienen sobre dicha variabilidad.

Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad interanual y estacional de las tasas de captura promedio para el período 1990-2002.
- Establecer la variabilidad estacional e interanual de la temperatura superficial, concentración de pigmentos fotosintéticos, rapidez del viento y altura superficial del mar en la boca del Golfo de California.
- Determinar la relación entre las tasas de captura y las variables ambientales.
- Pronosticar las tasas de captura utilizando Modelos Aditivos Generalizados.

6. ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California (GC) es el único mar marginal del Pacífico Oriental Subtropical (Castro *et al.*, 2000), y se encuentra localizado entre la península de Baja California (BC) y las costas de Sonora y Sinaloa (figura 1). La plataforma continental es más estrecha en la costa oeste del GC, y está prácticamente ausente en el extremo sur de la península, en la región de Los Cabos (figura 2). La región del sur de la costa occidental de México está caracterizada por un régimen climático tropical lluvioso en verano, con una notoria época de sequía, una temperatura anual promedio de 25 °C y una media anual de 748 mm de lluvia.

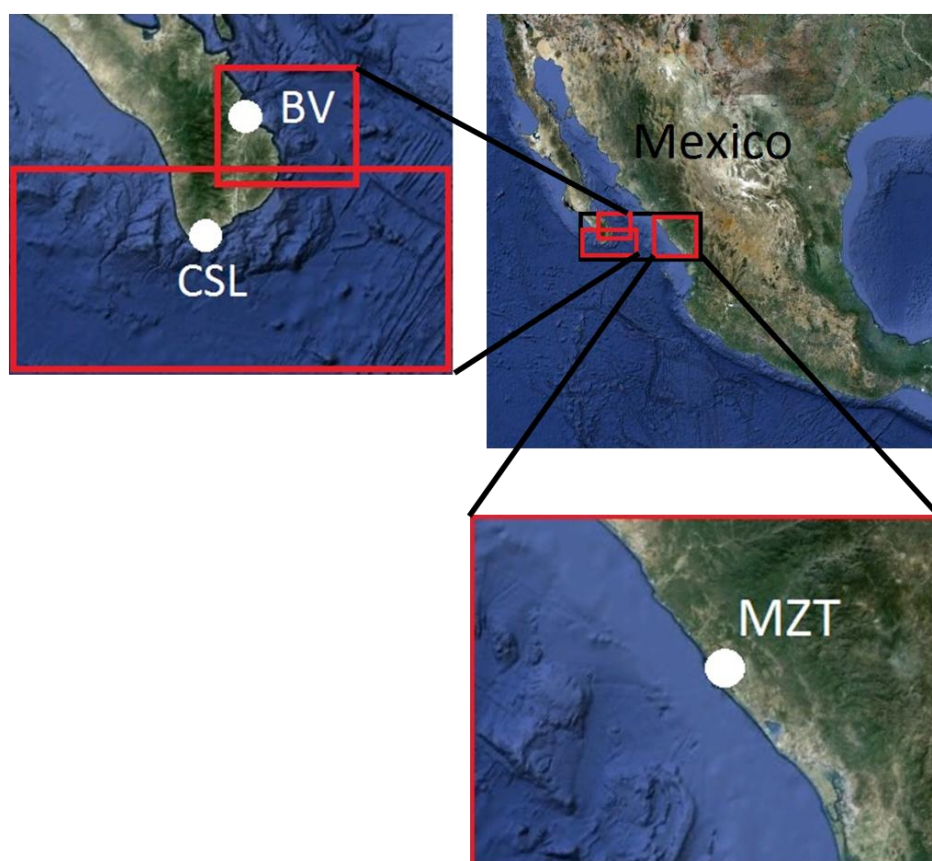


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio y cuadrantes seleccionados para estimar los promedios mensuales de imágenes de satélite utilizados en este estudio. Cabo San Lucas B.C.S. (CSL), Buenavista B.C.S. (BV), y Mazatlán, Sin. (MZT).

El GC mide aproximadamente 1100 km de largo, y 150 km de ancho (Gutiérrez *et al.*, 2004), se comunica en su parte sur con el Océano Pacífico, en la región conocida como Boca del Golfo de California (BGC). Esta región se encuentra

bajo la influencia de dos corrientes de gran escala: el brazo tropical de la Corriente de California (Godínez *et al.*, 2010, Kurczyn *et al.*, 2012), una corriente fría que fluye hacia el ecuador, y la Corriente Costera Mexicana, una corriente superficial que transporta agua cálida hacia el polo (Godínez *et al.*, 2010)

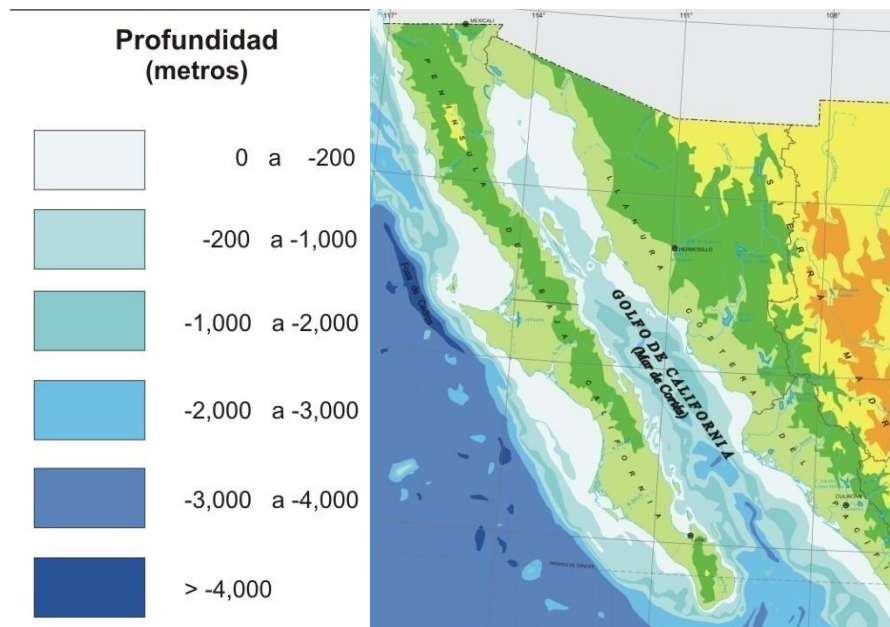


Figura 2.- Batimetría del Golfo de California.

(Modificado de <http://www.igeograf.unam.mx/web/sigg/publicaciones/atlas/atlas.php>)

A escala local, y de manera general, la circulación superficial y sub-superficial en la BGC es de manera ciclónica: el agua entra al GC por la costa de Sinaloa, y sale por la costa de B.C.S. alternándose estacionalmente las masas de agua que entran y salen (Castro *et al.*, 2000). Esto convierte a esta región en una zona de transición oceánica, en la que masas de agua superficiales y sub-superficiales diferentes convergen. Estas masas de agua corresponden a: 1) Agua de la Corriente de California (ACC), la cual se caracteriza por tener temperatura y salinidad baja ($T < 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $S < 34.6$); 2) Agua Superficial Tropical (AST), caracterizada por temperaturas altas y salinidades medias ($T > 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $34.6 < S < 34.9$); 3) Agua Sub-superficial Subtropical (ASsSt), con una salinidad de entre 34.5 y 35 y una temperatura de entre 8 y 18 $^{\circ}\text{C}$; 4) Agua Intermedia del Pacífico (AIP), la cual presenta un rango de salinidad de 34.5 a 34.75 y un rango de temperatura de 5 a 2 $^{\circ}\text{C}$; 5) Agua del Golfo de California (AGC), conocida por su amplio rango de

temperatura (> 12 °C) y salinidad alta ($35 < S < 35.5$) y 6) Agua Central del Golfo de California (ACGC), la cual es altamente salina (>34.9) y templada (22 °C $< T < 25$ °C) (Lavín *et al.*, 2009; León-Chávez *et al.*, 2009; Cepeda *et al.*, 2013).

La distribución espacio-temporal de estas masas de agua está regida por distintas estructuras de mesoescala (Roden, 1972; citado de Torres *et al.*, 2004), las cuales juegan un papel importante en el transporte de agua y energía (Torres-Orozco *et al.*, 2006), y en algunos casos son capaces de concentrar organismos de los cuales se alimentan los picudos (Sosa-Nizishaki, 1998).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 BASE DE DATOS PESQUEROS

La información analizada corresponde a las tasas de captura (número de organismos por viaje) promedio mensual de las principales flotas deportivas que operaron en Cabo San Lucas y Buenavista en Baja California Sur, y en Mazatlán Sinaloa, durante 1990-2002, recopilada a través del Proyecto de Pelágicos Mayores del CICIMAR-IPN, así como de la oficina de la Administración Portuaria Integral de Cabo San Lucas, B.C.S. y de la Capitanía de Puerto de dicha localidad.

7.2 VARIABLES AMBIENTALES

Las variables que se incluyen en el análisis son la TSM, la ASM, la CCL y la RV, mismas que fueron inferidas a través de composiciones mensuales de imágenes de satélite. La TSM y la CCL se obtuvieron de imágenes procesadas por Mati Kahru y disponibles en el sitio web http://spg.ucsd.edu/Satellite_Projects/Satellite_projects.htm, con una resolución espacial 1.1 km. La serie de tiempo de TSM abarca de 1990 a 2002, mientras que la de CCL abarca de septiembre de 1997 al 2002. La altura superficial del mar fue inferida a través de las imágenes de satélite NOAA Coastwatch para el período de octubre de 1992 al 2002, y la rapidez del viento para el período de 1990 al 2002, ambas extraídas del portal electrónico de la NOAA (<http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdTAsshmday.graph>), con una resolución espacial de 25 km. Las imágenes se procesaron con la ayuda del software comercial Windows Image Manager WIM 6.6, 2010 (Kahru, 2010). Para este análisis se seleccionaron tres cuadrantes, simulando el rango activo de operación de las flotas de pesca deportiva de cada una de las localidades (figura 1). Una vez obtenida la información de cada variable, se calcularon los promedios mensuales de cada uno de los cuadrantes, con la finalidad de obtener una serie de tiempo por cada variable y para cada localidad.

7.3 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para determinar si se aplicaría estadística paramétrica o no paramétrica se aplicaron pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de variancias (Bartlett). Para determinar diferencias entre áreas, así como si la

variabilidad intra e interanual tanto de captura como de las variables ambientales era significativa, se aplicaron análisis de variancia de una vía. En el caso de ANOVA no paramétrico (Kruskal-Wallis), si el valor de probabilidad fue cercano al valor de significancia elegido, se aplicó una prueba de ANOVA paramétrica, debido a que la prueba de Kruskal-Wallis pierde sensibilidad cuando las diferencias son mínimas y es más fácil de cometer un error tipo II (aceptar una H_0 cuando ésta es falsa; Bluman, 2011, p. 661).

Para el análisis estacional los meses del año fueron agrupados convencionalmente como: el trimestre I (enero – marzo: invierno), trimestre II (abril – junio: primavera), trimestre III (julio – septiembre: verano), y trimestre IV (octubre – diciembre: otoño).

Cuando en los análisis de varianza se determinaron diferencias significativas, se aplicaron pruebas de comparaciones múltiples (prueba de Tukey en el caso paramétrico, y Conover-Inman en el caso no paramétrico) para evaluar cuál(es) de los grupos eran distintos de los demás. Todos los análisis se realizaron utilizando las funciones incluidas en el paquete *stats*, del lenguaje de programación R (R Core Team, 2012), con la excepción de la prueba de Conover-Inman, de la cual se obtuvo el código de R del portal web de la Universidad de Bretaña de Occidente (<http://geai.univ-brest.fr/~carpentier/2008-2009/Conover-Inman.R>), considerando en todos los casos un nivel de significancia de 0.05.

Para determinar la posible estacionalidad de las tasas de captura y de las variables ambientales se aplicaron transformadas discretas de Fourier, mediante las cuales se descomponen las series de tiempo periódicas en sus componentes cíclicos, pasando de una variable en función del tiempo a una variable en función de la frecuencia (la cual es la inversa del período). Para este análisis se utilizó el algoritmo de FFT (Fast Fourier Transform) en MATLAB ver. 7.8.0 (MathWorks, Inc., 2009).

Con el fin de cuantificar las posibles relaciones entre la serie de tiempo de las tasas de captura y las series de tiempo de las variables ambientales, se aplicaron

análisis de correlación cruzada. El análisis se llevó a cabo utilizando la función *ccf* de la librería *stats* de R.

Para hacer las predicciones de las tasas de captura, se probaron distintos modelos aditivos generalizados (GAMs por su acrónimo en inglés). Este tipo de modelos son considerados como una variación de los modelos lineales generalizados, en donde el predictor lineal está dado por la suma de unas funciones suavizadoras de las covariantes; estas funciones son especificadas por el usuario, y están relacionadas con la variable dependiente mediante una función de enlace (p. ej., logaritmo). La forma general de un GAM está dada por

$$g(\mu_i) = \mu + \sum_{j=1}^p f_j(X_i),$$

donde g es la función monotónica de enlace μ_i es valor ajustado, X_i son las variables predictorias, y f_j es una función de suavizado (Hastie & Tibshiriani, 1984). En este caso, se utilizaron las tasas de captura como variable respuesta y las variables ambientales y el mes del año como variables predictivas. Las variables ambientales se consideraron como variables continuas, mientras que, con el fin de analizar la influencia de la estacionalidad en las tasas de captura, se utilizó la variable mes como variable cíclica (1 a 12).

Debido a que la serie de tiempo de CCL comprende menos de la mitad de las series de tasas de captura, se optó por dejar esta variable fuera de los modelos. Se hicieron pruebas con distintas distribuciones y funciones de enlace, seleccionando los modelos predictivos utilizando distintos criterios de selección (% de la devianza explicada, pruebas del estadístico F y χ^2), así como gráficos exploratorios (gráficos cuartil – cuartil, histogramas de residuales, gráficos de puntos de tasas de captura calculadas vs observadas, etc.). Los modelos se construyeron aumentando en nivel de complejidad, es decir, añadiendo variables predictivas de forma secuencial, utilizando únicamente los años de 1990 a 2001. Para la validación de los modelos, se aplicaron los coeficientes del modelo a las variables ambientales observadas durante el 2002. Luego, se aplicó un análisis de regresión lineal a un gráfico de dispersión de valores ajustados por el modelo contra los valores observados de

tasas de captura durante el 2002. Para la variable respuesta se supuso una distribución quasi-poisson, y una distribución normal para los residuales. Todo la modelación estadística se hizo utilizando las funciones del paquete mgvc ver. 1.7-13, en lenguaje R (Wood, 2012).

8. RESULTADOS

8.1 Tasas de Captura

Debido a que los valores a analizar no presentaron una distribución normal ($p < 0.05$ en todos los casos), y a que la variancia entre ellas no fue homogénea ($B_{(2,468)} = 98.58, p < 0.05$), se decidió aplicar estadística no paramétrica (Kruskal-Wallis) con excepción de cuando los valores de probabilidad estuvieron cercanos al valor de significancia por la sensibilidad de la prueba como ya se mencionó anteriormente.

Los valores de tasas de captura mínima, máxima, media, mediana y desviación estándar de las tasas de captura de cada localidad se presentan en la tabla I.

Tabla I.- Estadísticas descriptivas de las tasas de captura (en número organismos/viaje en Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período 1990-2002.

Localidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.
CSL	0.000	0.339	0.052	0.014	0.073
BV	0.000	0.366	0.060	0.039	0.072
MZT	0.000	0.190	0.027	0.015	0.033

Se encontraron diferencias significativas en las tasas de captura promedio entre las localidades analizadas ($F_{(2,468)} = 12.50, p < 0.05$). En la prueba a posteriori se encontró que la localidad de MTZ fue la que presentó diferencias significativas (figura 3).

La variabilidad interanual de las tasas de captura promedio anual para las tres localidades se presenta en la figura 4. El valor mayor se presentó en BV durante 1992, mientras que el más bajo se presentó en MZT en 1991 (figura 4).

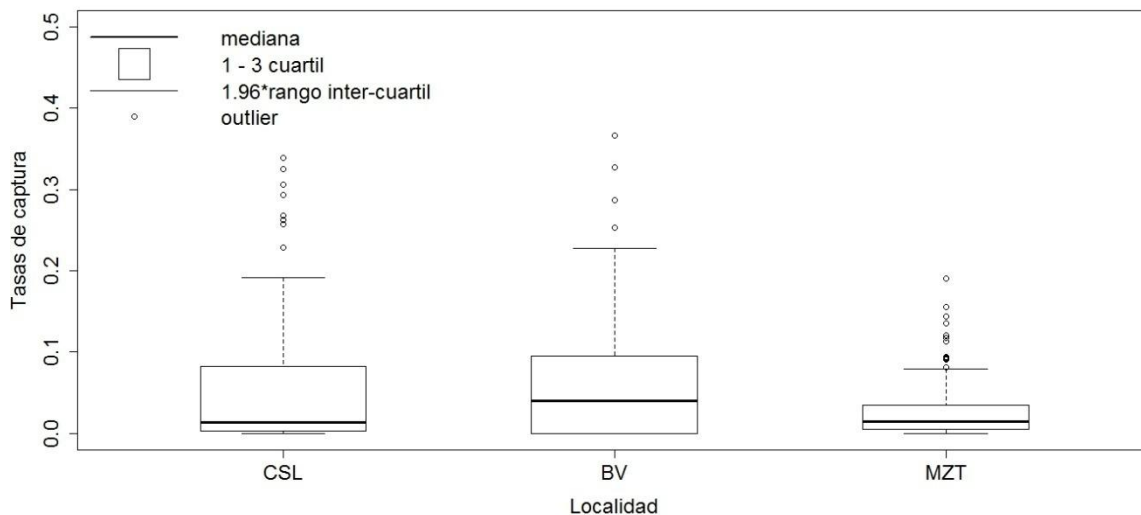


Figura 3.- Diagrama de cajas de las tasas de captura (número de organismos/viaje) de marlin azul capturado en las tres localidades del área de estudio: Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV) en B.C.S. y Mazatlán Sin. (MZT) durante el periodo 1990-2002.

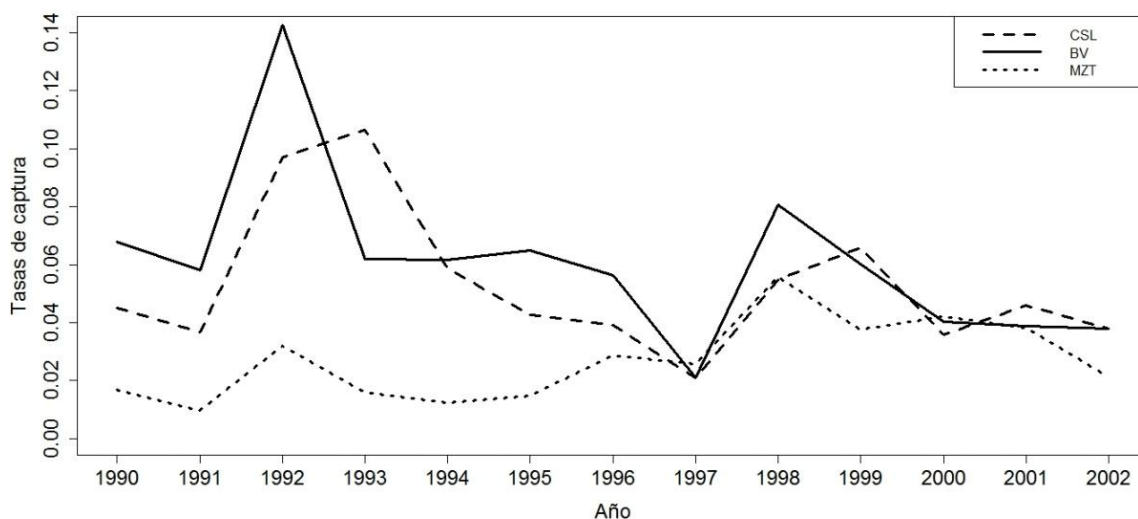


Figura 4.- Variabilidad interanual (año tipo) de las tasas de captura (número de organismos/viaje) de marlin azul para el periodo 1990-2002 en las tres localidades de estudio: Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV) en B.C.S. y Mazatlán, Sin. (MZT).

En CSL, los valores máximos de las tasas de capturas promedio se presentaron en 1992 y 1993, y el mínimo en 1997 (figura 5A). En BV el comportamiento fue similar a CSL, con excepción de 1993 (figura 5B). En Mazatlán, las tasas de captura más altas se presentaron en 1998, mientras que 1991 se registraron los valores más bajos (figura 5C). A pesar de la variabilidad interanual alta, las diferencias no fueron significativas ni en CSL ($H_{(12,156)} = 9.80, p = 0.63$) ni en BV ($H_{(12,156)} = 11.94, p = 0.45$), en tanto que sí lo fueron en MZT

($H_{(12,156)} = 24.75, p < 0.05$). En esta última localidad, la prueba post hoc sugiere que en los años de 1998 – 2001 las tasas de captura fueron mayores que en los años de 1990 – 1995 ($p < 0.05$).

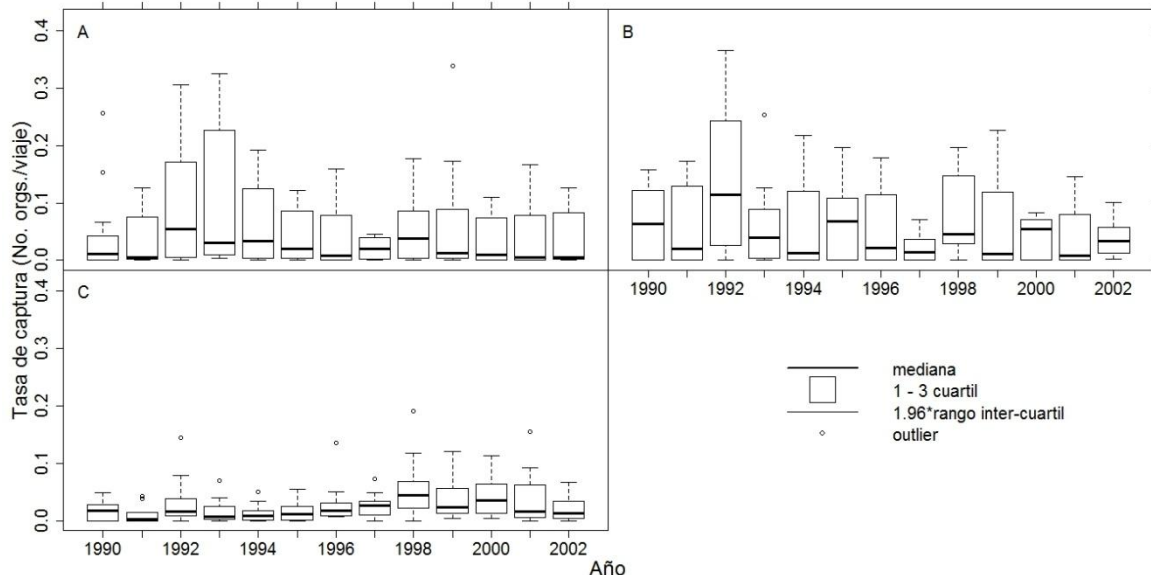


Figura 5.- Variabilidad interanual de las tasas de captura (número de organismos/viaje) de marlin azul capturado por la flota deportiva que operó en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.

La variabilidad estacional de las tasas de captura en las tres regiones de estudio se presenta en la figura 6. Las tasas de captura en CSL y BV presentan una estacionalidad marcada (figuras 6A y 6B), registrándose los valores más altos durante verano (julio-septiembre), mientras que en MZT las capturas mayores se presentaron de octubre a diciembre (figura 6C). En las tres localidades las diferencias fueron significativas ($H_{3,156} = 107.19, p < 0.05$ para CSL, $H_{3,156} = 89.14, p < 0.05$ para BV, y $H_{3,156} = 49.18, p < 0.05$ para MZT). Tanto en CSL como en BV, todas las estaciones presentaron diferencias significativas entre sí ($p < 0.05$), mientras que en MZT sólo las dos primeras estaciones del año no presentaron diferencias significativas entre sí ($p > 0.05$).

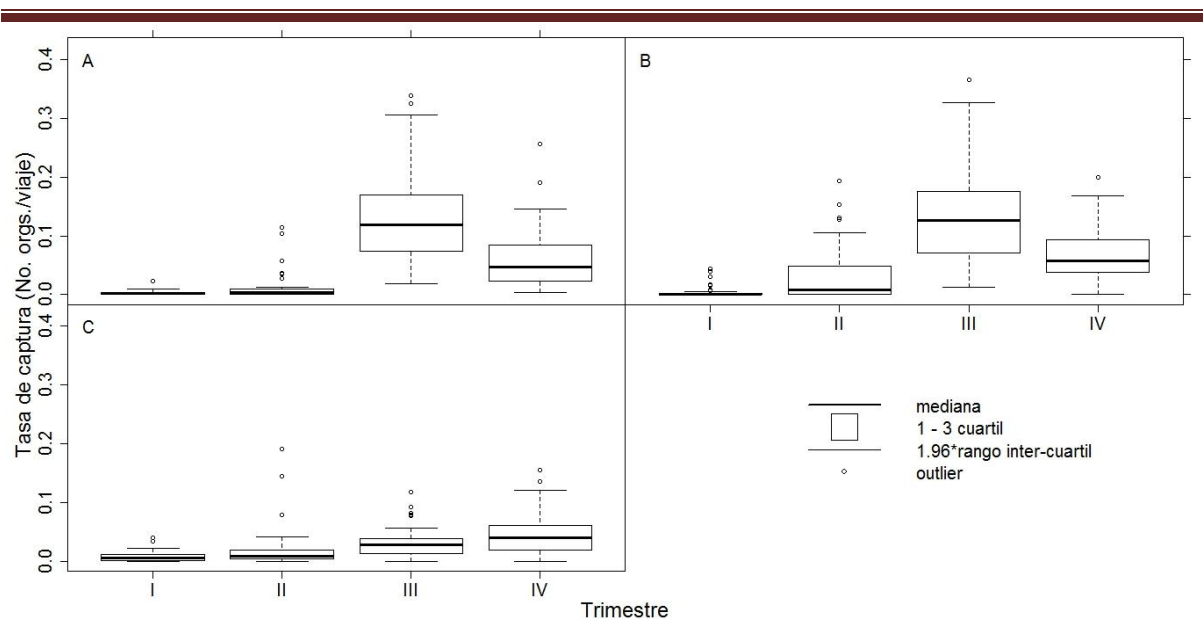


Figura 6.- Variabilidad estacional de las tasas de captura (número de organismos/viaje) de marlin azul capturado por la flota deportiva que operó en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.

El análisis de Fourier mostró que en las tasas de captura tanto de CSL como de BV existe una anualidad (figura 7), ya que se encontró un pico máximo, el cual explica la mayor parte de la varianza, situado en el período de 12 meses. Otro pico menor se presenta a los 6 meses, por lo que una semianualidad menos marcada se presenta en las tasas de captura de ambas regiones de B.C.S. Para el caso de Mazatlán, se presentaron dos picos de la misma frecuencia; sin embargo, la estacionalidad de las capturas fue menos marcada en esta localidad, ya que estos picos explicaron un porcentaje mínimo de la varianza en el periodograma (figura 7).

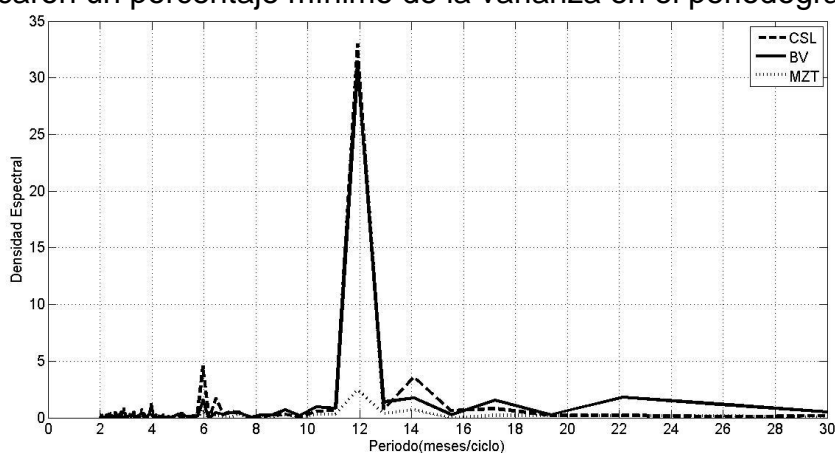


Figura 7.- Periodograma obtenido del análisis de Fourier de las series de tiempo de tasas de captura de marlin azul, capturado de 1990 al 2002 en las tres zonas de estudio (CSL = Cabo San Lucas, BV = Buenavista y MZT = Mazatlán).

8.2 Variables Ambientales

8.2.1 Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Los valores mínimos, máximo, media, mediana y desviación estándar de la TSM por localidad se presentan en la tabla II.

Tabla II.- Estadísticas descriptivas de la temperatura superficial del mar (en °C) en Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período 1990-2002.

Localidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.
CSL	20.91	30.26	25.3	24.71	2.64
BV	20.51	30.72	25.50	25.41	3.02
MZT	21.37	30.58	26.42	26.94	2.79

Se detectaron diferencias significativas entre las tres áreas ($H_{(2,468)} = 18.95, p < 0.05$), siendo la TSM significativamente mayor en MZT ($p < 0.05$; figura 8).

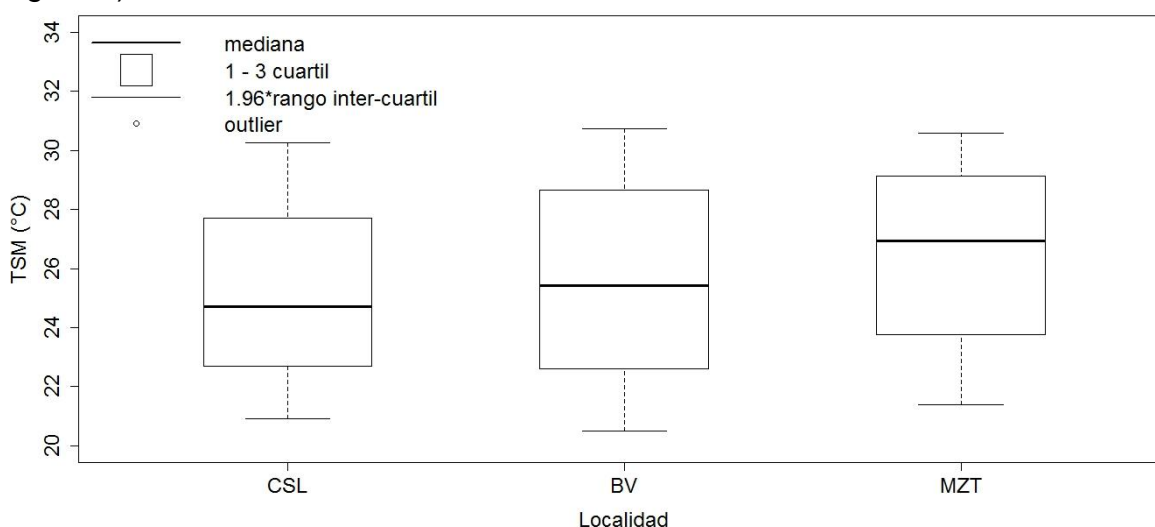


Figura 8.- Variabilidad de la temperatura superficial del mar promedio en Cabo San Lucas y Buenavista, en B.C.S., y en Mazatlán Sin., durante el período comprendido entre 1990-2002.

La variabilidad interanual de la TSM en CSL mostró que las TSM máximas se presentaron durante 1997 (>30 °C), mientras que los mínimos fueron en 1990 y 2001 (~ 21 °C; figura 9A), encontrándose un comportamiento similar en la localidad de BV (figura 9B). Por otro lado, en MZT las TSM máximas se presentaron en 1997 y 2002, y las mínimas en 1997 y 2001 (figura 9C). Sin embargo en ninguna de las tres

localidades se encontraron diferencias significativas ($H_{(12,312)} = 4.40, p = 0.97$ para CSL, $H_{(12,312)} = 2.99, p = 0.99$ para BV y $H_{(12,312)} = 3.10, p = 0.99$ para MZT).

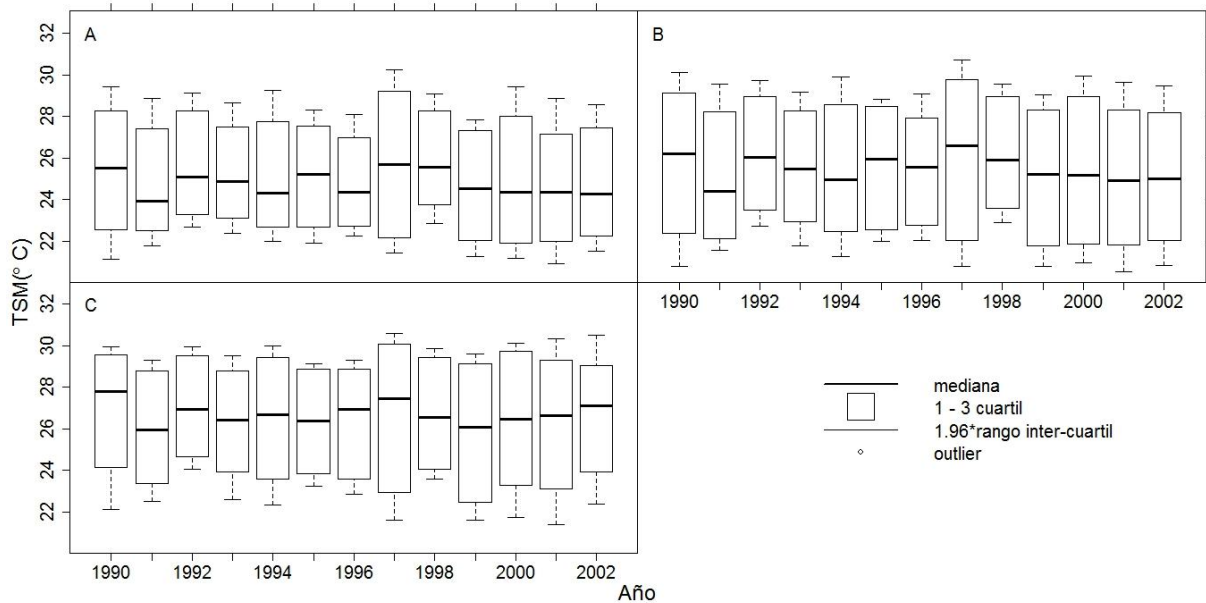


Figura 9.- Variabilidad interanual de la temperatura superficial del mar (°C) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.

La TSM presentó una estacionalidad significativa en las tres localidades ($H_{(12,312)} = 117, p < 0.05$) siendo más bajas al inicio del año (enero – marzo), y máximas en el verano (julio – septiembre, figura 10). Las pruebas de comparaciones múltiples indican que la TSM es significativamente diferente ($p < 0.05$) estacionalmente en las tres localidades.

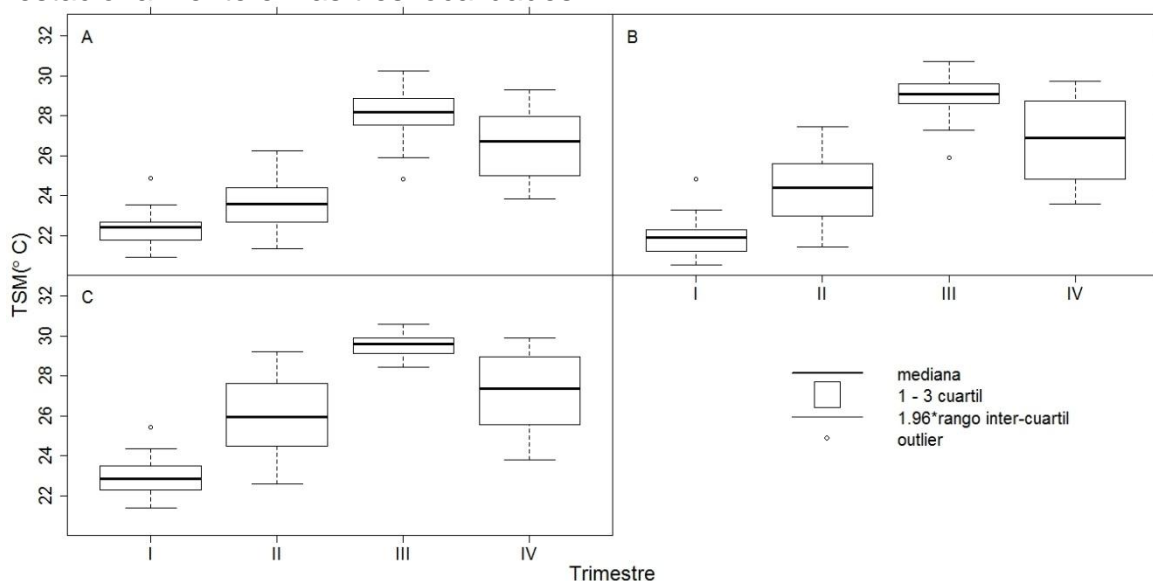


Figura 10.- Variabilidad estacional de la temperatura superficial del mar (°C) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002.

8.2.2 Concentración de Clorofila (CCL)

Los valores mínimos, máximos, media, mediana y desviación estándar de la CCL en el período septiembre de 1997 - diciembre del 2002 para las tres localidades se presentan en la tabla III.

Tabla III.- Estadísticas descriptivas de la concentración de Clorofila (en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período comprendido de septiembre de 1997 a diciembre del 2002.

Localidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.
CSL	0.12	1.19	0.36	0.31	0.23
BV	0.12	0.97	0.41	0.35	0.24
MZT	0.31	5.35	1.13	0.76	0.99

Respecto a la CCL, se encontraron diferencias significativas entre áreas ($H_{(2,192)} = 67.788, p < 0.05$). La prueba a posteriori sugiere que la CCL promedio en la localidad de MZT es significativamente diferente de las otras dos localidades ($p < 0.05$, figura 11).

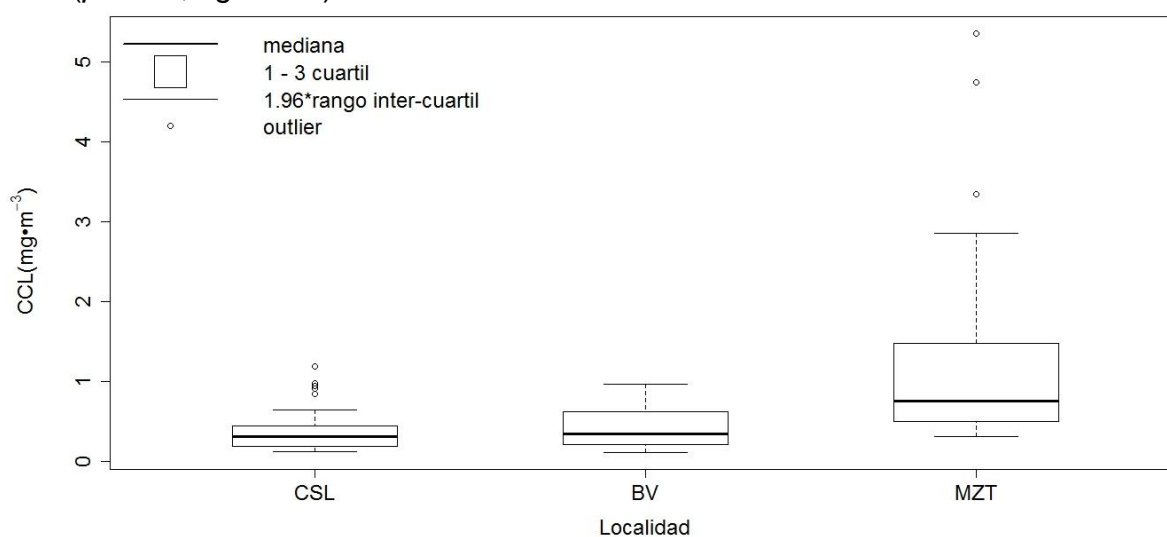


Figura 11.- Comparación de la concentración de Clorofila (en $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) promedio mensual entre las tres áreas de estudio (CSL=Cabo San Lucas, BV=Buenavista, MZT= Mazatlán), de septiembre de 1997 a diciembre de 2002.

El sensor Sea-WiFS empezó a producir imágenes mensuales de CCL a partir del mes de septiembre de 1997, por lo que para el análisis de la variabilidad interanual los meses correspondientes a 1997 no se consideraron. De manera general, aunque en diferentes órdenes de magnitud, el panorama es similar en los tres casos, ya que la CCL es menor en 1998, y mayor durante el 2000. Durante 2002 se registraron valores similares a los de 1998 (figura 12). Estas diferencias

fueron significativas en CSL y MZT ($H_{(4,60)} = 11.28, p < 0.05$, y $H_{(2,192)} = 19.22, p < 0.05$, respectivamente), pero no en BV ($F_{(4,60)} = 1.59, p = 0.21$). La prueba de comparaciones múltiples de Conover-Inman demostró que tanto en CSL como en MZT, la CCL durante 1998 fue distinta al resto de los años, mientras que en MZT también se encontraron diferencias durante 2000 con respecto al 2002 ($p < 0.05$).

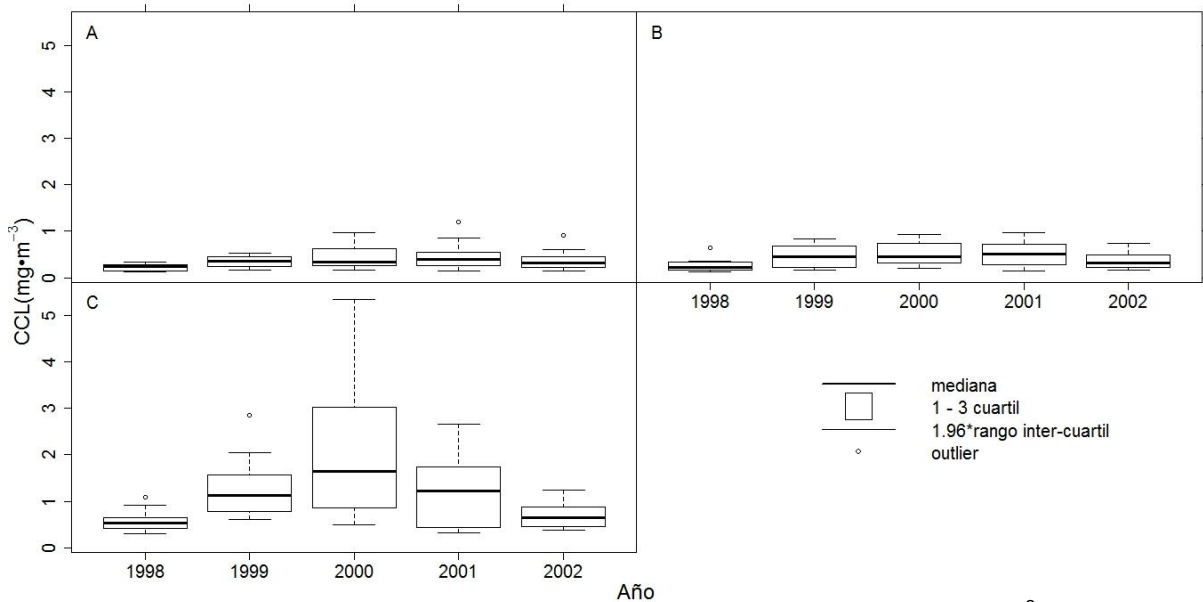


Figura 12.- Variabilidad interanual de concentración de Clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1998-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.

En CSL la CCL fue mayor durante los meses de primavera, mientras en el resto del año se mantiene relativamente constante (figura 13A); en BV los valores máximos se presentan en los meses de invierno, y los valores menores se reportan la segunda mitad del año (verano y otoño, figura 13B), mientras que en MZT las concentraciones mayores se presentan durante invierno y primavera (figura 13C). Se detectaron diferencias estacionales significativas en las tres localidades ($H_{(3,64)} = 29.55, p < 0.05$ en CSL, $F_{(3,64)} = 10.99, p < 0.05$ en BV y $H_{(3,64)} = 11.49, p < 0.05$ en MZT). En CSL sólo los las estaciones de invierno-primavera y verano-otoño no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0.05$), en tanto que en BV la estación de otoño resultó ser distinta al resto de las temporadas del año ($p < 0.05$). En MZT sólo las diferencias entre invierno y otoño resultaron ser significativas ($p < 0.05$).

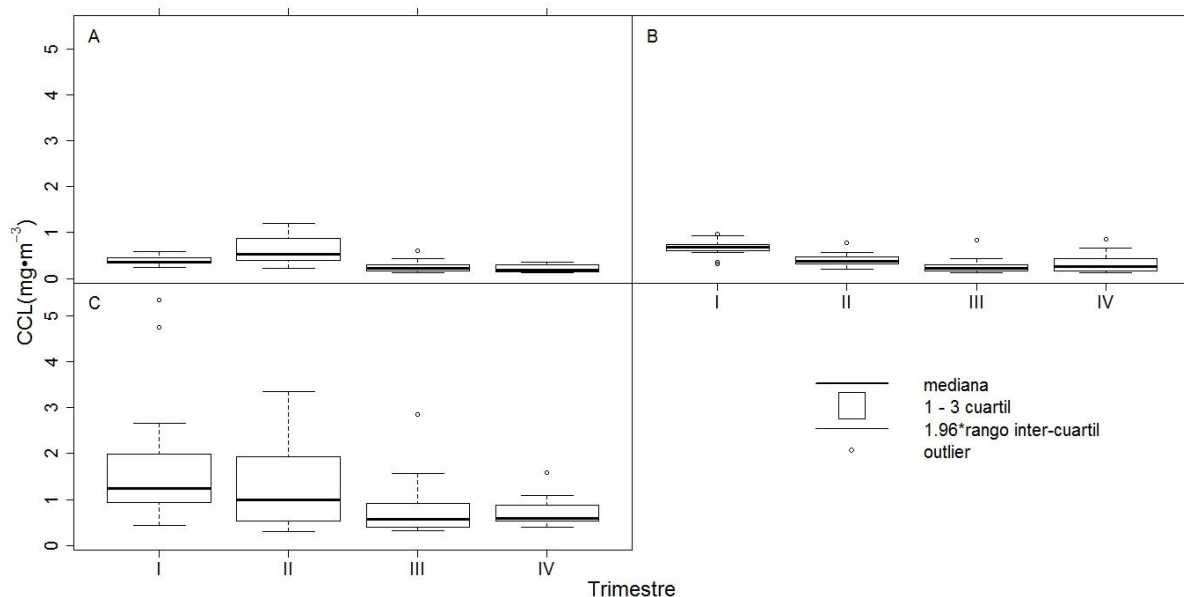


Figura 13.- Variabilidad estacional de concentración de Clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo septiembre de 1997-diciembre de 2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.

8.2.3 Altura superficial del mar (ASM)

Los valores mínimos, máximo, media, mediana y desviación estándar de la ASM en las tres localidades se presentan en la tabla IV.

Tabla IV.- Estadísticas descriptivas de la altura superficial del mar (en cm) en Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período comprendido de octubre de 1992 a diciembre del 2002.

Localidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.
CSL	13.98	48.46	25.77	24.98	7.28
BV	4.17	46.29	20.32	19.00	9.25
MZT	14.87	54.59	27.08	26.04	9.09

Se detectaron diferencias significativas entre las tres zonas ($H_{(2,369)} = 35.62, p < 0.05$). La ASM es mayor en MZT, seguido de CSL, y de BV (figura 14), siendo BV la región estadísticamente distinta a las otras dos zonas ($p < 0.05$).

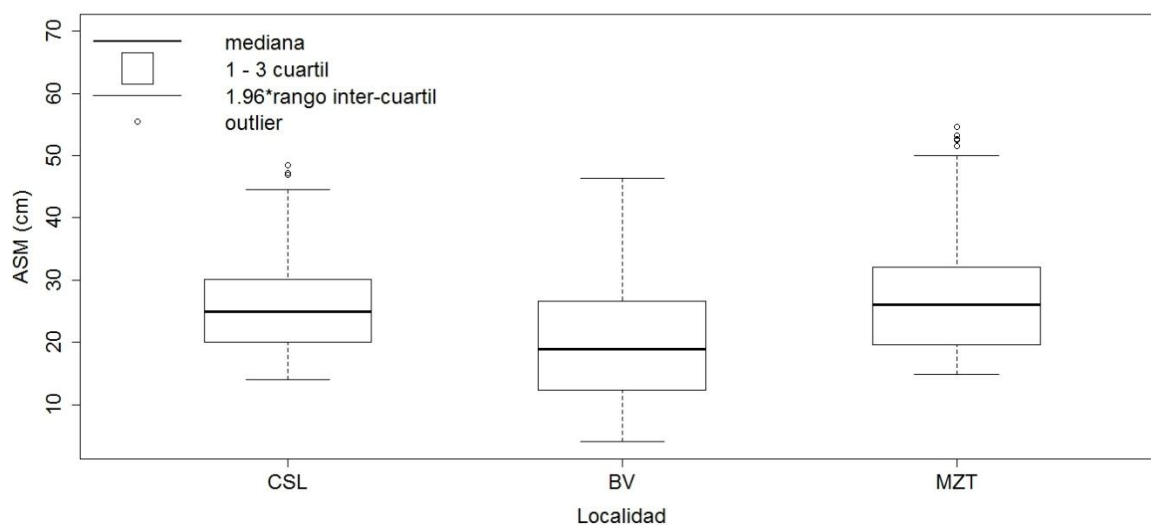


Figura 14.- Comparación de altura superficial del mar (cm) promedio mensual entre las tres localidades de estudio (CSL y BV en B.C.S. y MZT, Sin.), de octubre de 1992 a diciembre del 2002.

Para evaluar las posibles diferencias interanuales en la ASM se tomaron en cuenta sólo los años en los que se tenía las 12 imágenes promedio mensual (1993 – 2002). En las tres localidades, los valores máximos de ASM se presentaron durante 1997 y 1998, mientras que en CSL y BV los valores mínimos se registraron durante 2000 y 2001 (figura 15A y 15B), y en MZT durante 1994 y de 1999 a 2001 (figura 15C). Se encontraron diferencias interanuales significativas en CSL ($H_{9,120} = 21.75, p < 0.05$) y en MZT ($F_{(9,120)} = 3.59, p < 0.05$), en tanto que en BV no fueron significativas ($F_{(9,120)} = 2.32, p = 0.13$). En CSL la prueba *post hoc* sugiere que los años de 1997 y 1998 fueron significativamente anómalos ($p < 0.05$). En tanto que en MZT sólo 1997 fue diferente de los demás.

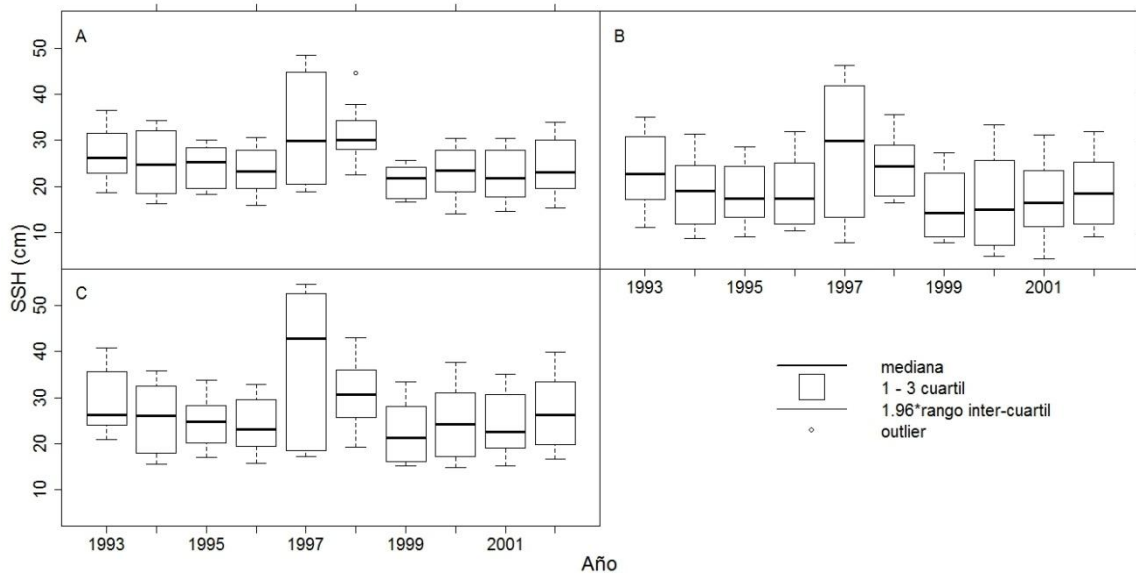


Figura 15.- Variabilidad interanual de altura superficial del mar (cm) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1993-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.

La variabilidad estacional de los valores de ASM por localidad se presenta en la figura 16. En las tres localidades se encontraron diferencias estacionales significativas ($H_{(3,123)} = 70.073, p < 0.05$ en CSL, $F_{(3,123)} = 45.78, p < 0.05$ en BV y $H_{(3,123)} = 65.37, p < 0.05$ en MZT). Mientras que en CSL (figura 16A) existen diferencias en la ASM entre todas las estaciones del año ($p < 0.05$), en BV se presentan dos estaciones marcadas (figura 16B), ya que de acuerdo al análisis de comparaciones múltiples los valores de invierno y primavera y los de verano y otoño son similares entre sí ($p \geq 0.05$). En MZT, los valores de ASM promedio para invierno y primavera no presentaron diferencias significativas ($p \geq 0.05$, figura 16C).

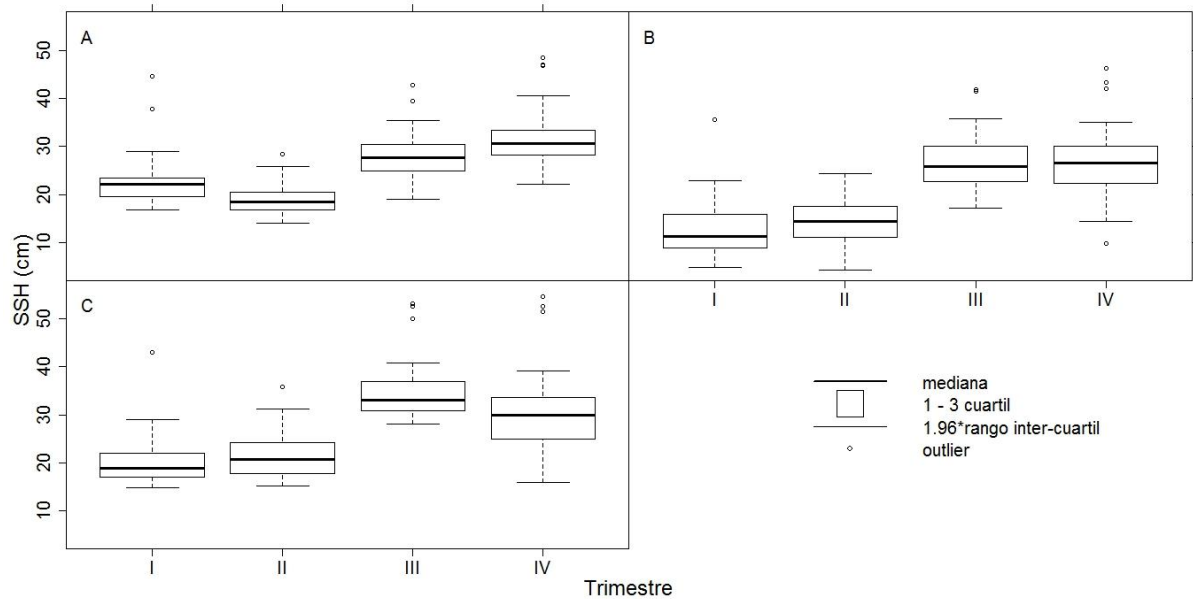


Figura 16.- Variabilidad estacional de altura superficial del mar (cm) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo de octubre de 1993-diciembre de 2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.

8.2.4 Rapidez del Viento (RV)

Los valores mínimo, máximo, media, mediana y desviación estándar de la RV para las tres localidades se presentan en la tabla V.

Tabla V.- Estadísticas descriptivas de la rapidez del viento (en $m \cdot s^{-1}$) en Cabo San Lucas (CSL) y Buenavista (BV), B.C.S., y Mazatlán (MZT), Sin., para el período comprendido entre 1990 y 2002.

Localidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.
CSL	2.80	7.06	4.55	4.55	0.75
BV	2.31	7.38	4.03	3.84	1.13
MZT	2.17	5.63	3.51	3.30	0.79

De manera general, la rapidez del viento promedio es mayor en CSL, seguida de BV y menor en MZT ($H_{(2,468)} = 94.93, p < 0.05$; figura 32), encontrándose que la rapidez del viento es distinta entre las localidades ($p < 0.05$).

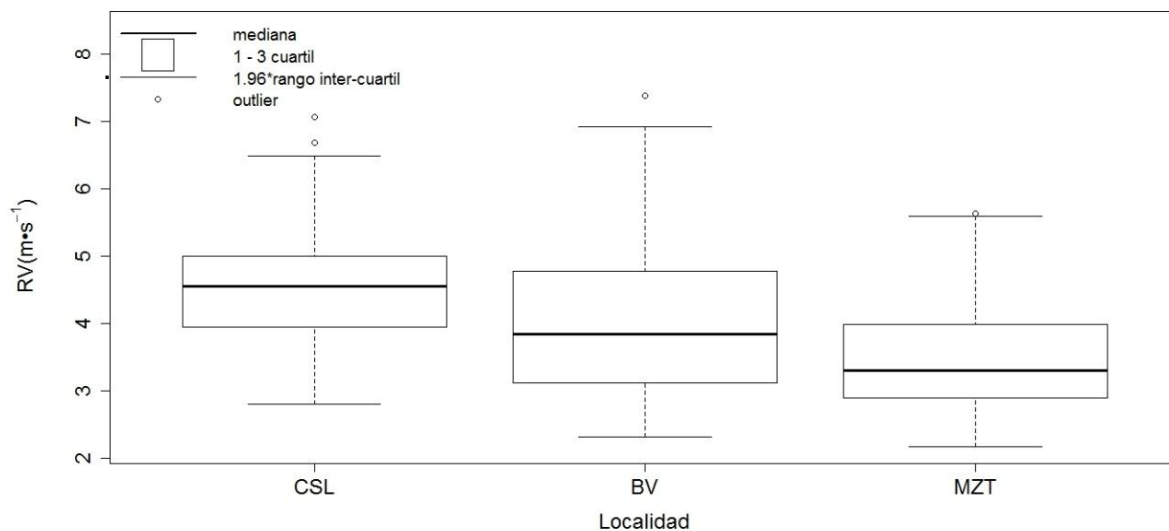


Figura 17.- Variabilidad de la rapidez del viento entre las tres localidades de estudio (CSL = Cabo San Lucas, BV = Buenavista, MZT = Mazatlán), en el período de 1990-2002.

De las tres localidades, sólo en CSL las diferencias interanuales fueron significativas ($F_{(12,156)} = 1.84, p < 0.05$; $F_{(12,156)} = 1.32, p = 0.21$ para BV y $F_{(12,156)} = 1.60, p = 0.09$ para MZT). De manera general, en CSL existe poca variación en la RV de 1990 a 1997 (con excepción de 1994; figura 18A), mientras que parece observarse una tendencia en aumento durante 1998-2002. En BV los valores máximos se presentaron durante el 2001, mientras que los mínimos se presentaron durante 1991 (figura 18B). Por su parte, en MZT los valores mínimos se presentan durante 1990 y los máximos durante 1998 (figura 18C). Al igual que en CSL, Tanto en BV como en MZT parece observarse una ligera tendencia a incrementarse del valor de la RV en los últimos años de la serie de tiempo.

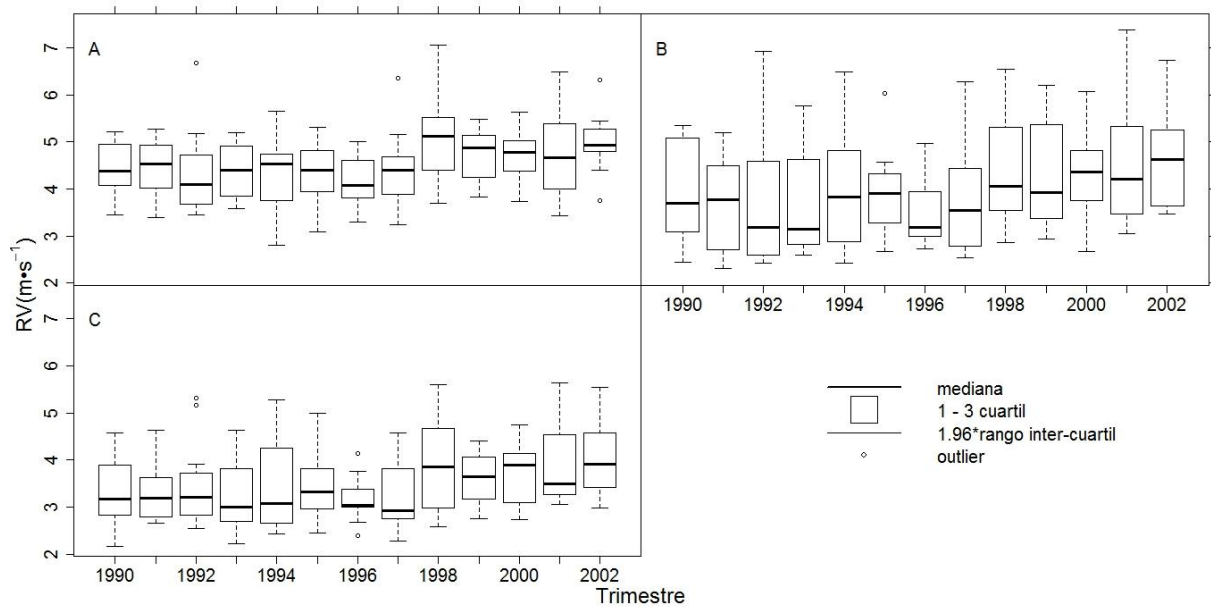


Figura 18.- Variabilidad interanual de rapidez del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.

En las figura 19 se presenta la variabilidad estacional de la RV en las tres localidades de estudio. Al igual que en el resto de las variables, se encontró una estacionalidad marcada ($H_{3,156} = 52.68, p < 0.05$ en CSL, $H_{3,156} = 76.61, p < 0.05$ en BV y $H_{3,156} = 64.13, p < 0.05$ en MZT). En los tres casos, los valores máximos se encuentran durante los meses de invierno y otoño, mientras que los valores mínimos se presentan durante verano (figuras 37 – 39).

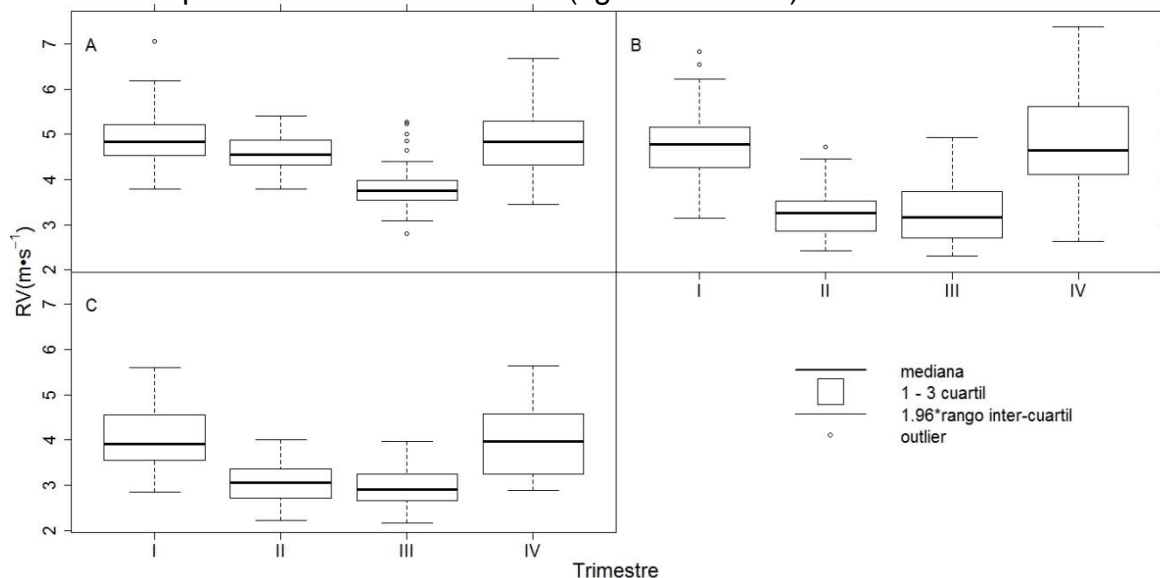


Figura 19.- Variabilidad estacional de rapidez del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) en Cabo San Lucas (A) y Buenavista (B) B.C.S., y en Mazatlán, Sin. (C), durante el periodo 1990-2002. La leyenda del diagrama de cajas se muestra en la parte inferior derecha.

8.3 RELACION DE LAS TASAS DE CAPTURA CON LAS VARIABLES AMBIENTALES

8.3.1 Correlación Cruzada

Se encontró una correlación significativa de $r=0.69$ ($p < 0.05$, 154 g.l.) sin desfase para las series de tiempo de las tasas de captura y la TSM para el caso de CSL. En la figura 20 se observa la correlación entre ambas variables; sin embargo, en 1997, año en el que la TSM presentó los valores mayores en todo el período de estudio (TSM ~ 30 °C), se presentan también las tasas de captura promedio anual más bajas.

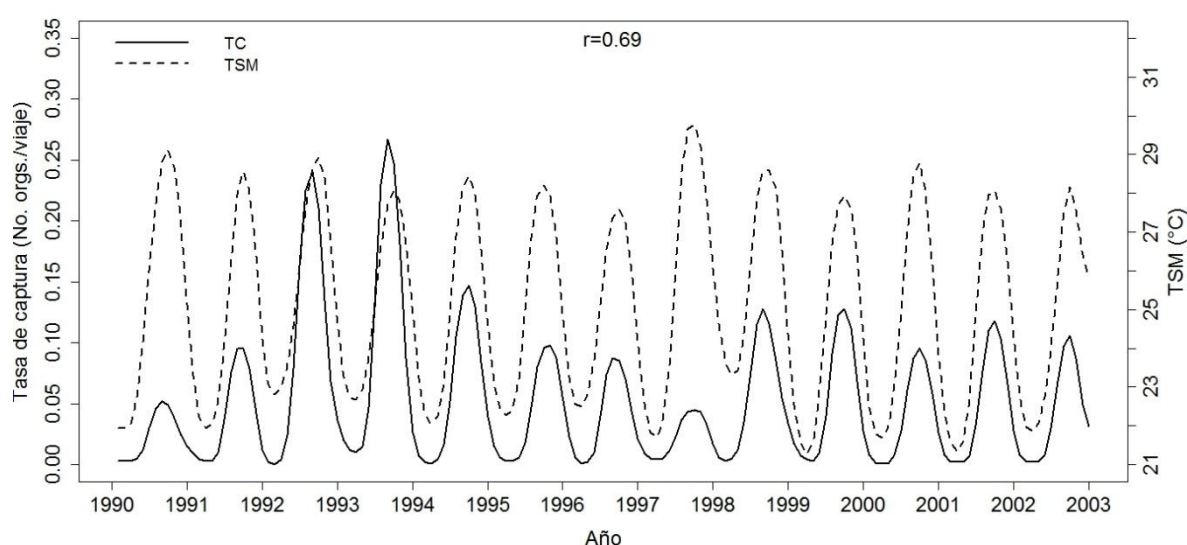


Figura 20.- Series suavizadas de las tasas de captura y de la temperatura superficial del mar promedio mensual del mar para el área de Cabo San Lucas, B.C.S., durante 1990 – 2002.

En BV, Al igual que en CSL se observa una relación directa entre ambas series de tiempo, con excepción de 1997, donde coinciden un máximo de temperatura y un mínimo en las tasas de captura (figura 21). Para este caso la correlación entre las series de tiempo fue de $r=0.69$ ($p < 0.05$, 154 g.l.), estadísticamente significativa y sin desfase.

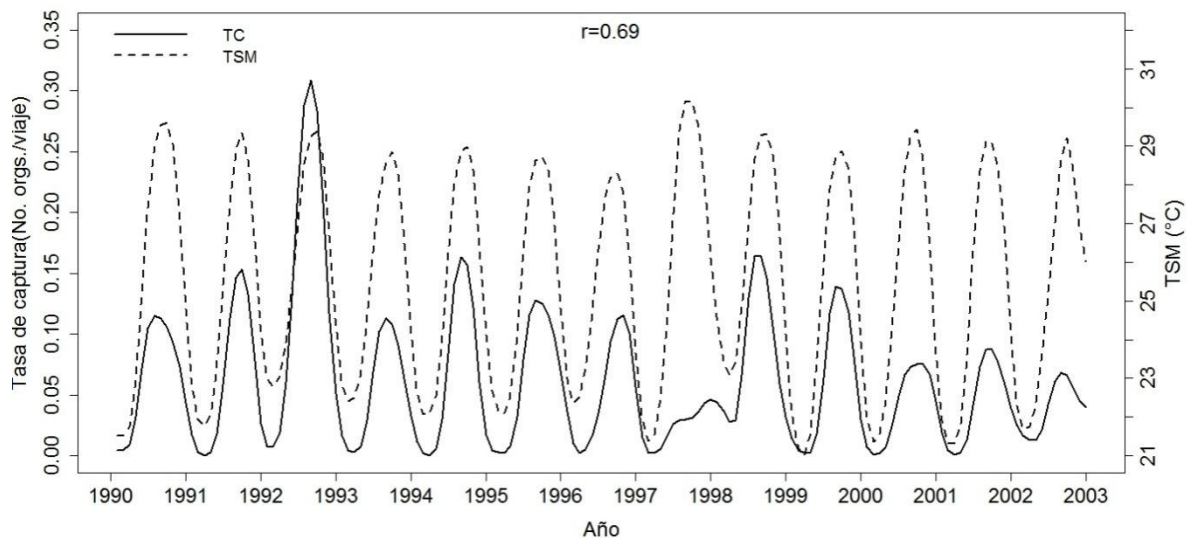


Figura 21.- Series suavizadas de tasas de captura y temperatura superficial del mar promedio mensual, para el área de Buenavista, B.C.S., durante 1990 – 2002.

Para el análisis de las series en la localidad de MZT se encontró un $r = 0.44$ ($p < 0.05$, 153 g.l.) significativo con un mes de desfase (figura 22). En 1997, año en el que las tasas de captura en las dos regiones de B.C.S. disminuyeron de manera substancial, las tasas de captura si bien no fueron las más altas encontradas, fueron mayores al promedio general de esta zona (~0.04 organismos/viaje).

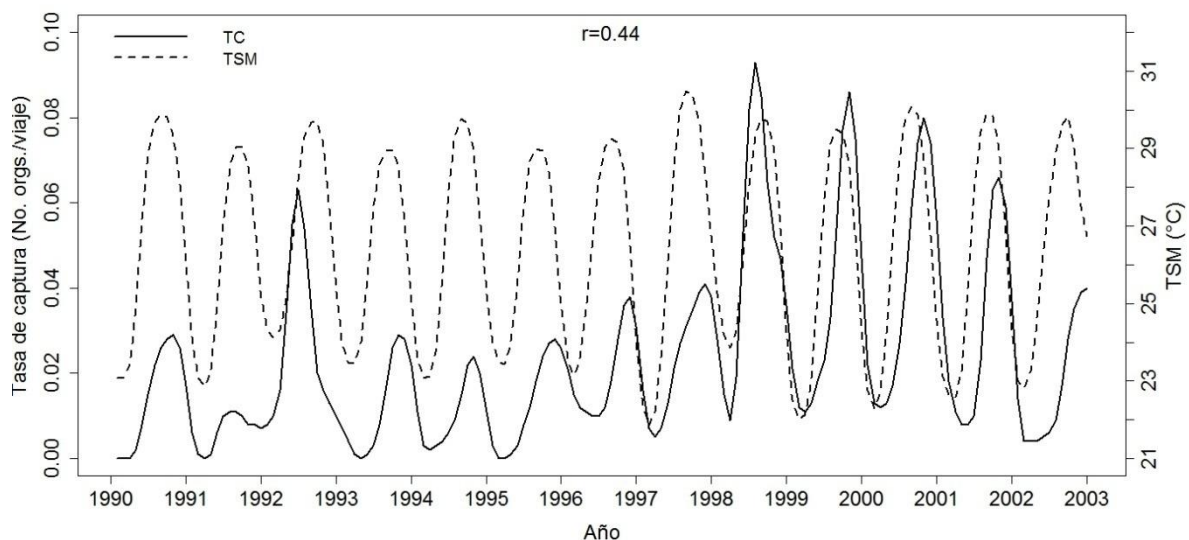


Figura 22.- Series suavizadas de tasas de captura y temperatura superficial del mar promedio mensual para el área de Mazatlán, Sin., durante el período de 1990 al 2002. El coeficiente de correlación mostrado es con un mes de desfase.

Los valores máximos de concentración de Clorofila presentan una correlación de 0.46 ($p < 0.05$, 58 g.l.) y 0.38 ($p < 0.05$, 56 g.l.) con cuatro y seis meses de desfase en CSL y BV, respectivamente (figuras 43 y 44). Desafortunadamente, no se cuenta con imágenes de satélite de clorofila en 1997, año en que la temperatura y las tasas de captura presentaron una marcada anomalía en ambas regiones.

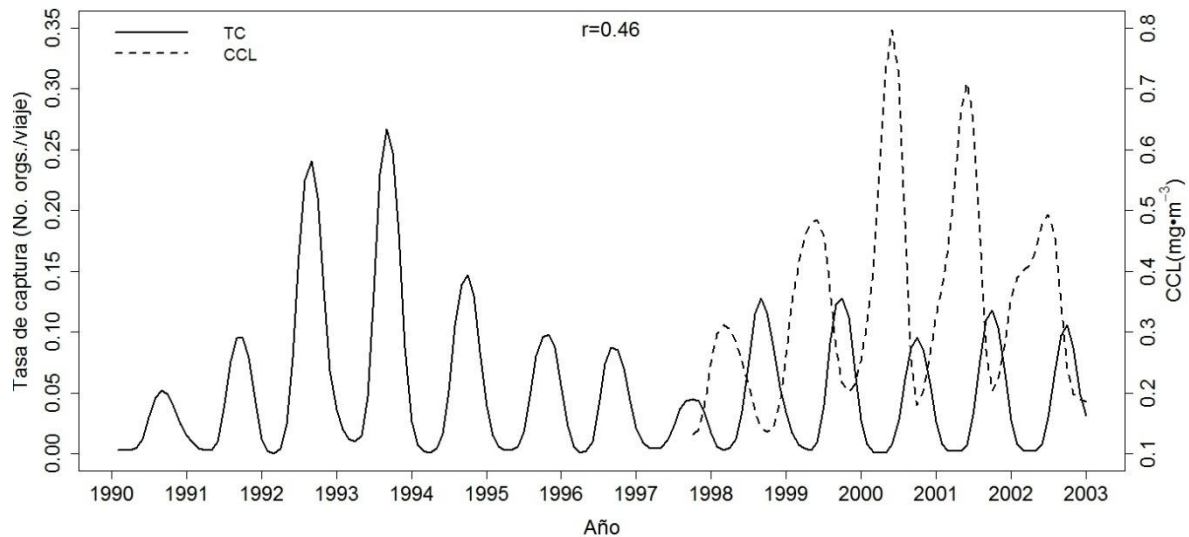


Figura 23.- Series suavizadas de tasas de captura y concentración de clorofila promedio mensual en el área de Cabo San Lucas, B.C.S. La serie de tiempo de CCL abarca de septiembre de 1997 a diciembre del 2002. En valor de correlación mostrado en la parte superior es el encontrado con 4 meses de desfase.

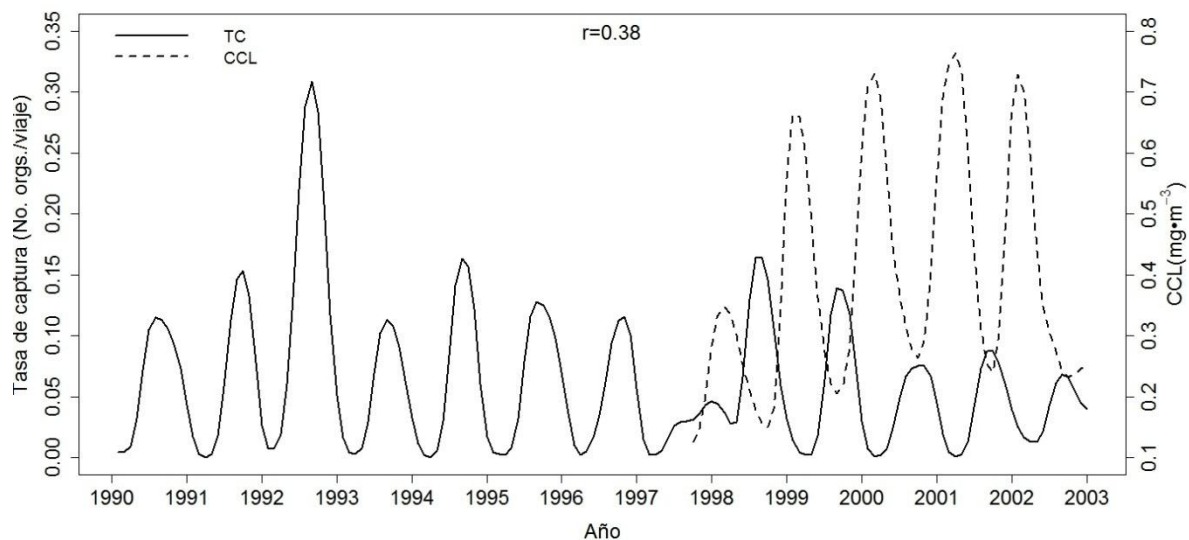


Figura 24.- Series suavizadas de tasas de captura y concentración de clorofila promedio mensual para el área de Buenavista, B.C.S. La serie de tiempo de CCL abarca de septiembre de 1997 a diciembre del 2002. En la figura se muestra el valor de correlación encontrado con 6 meses de desfase.

En las series suavizadas de la TC y CL para Mazatlán se observa, al igual que en BV, una correlación máxima de $r=0.32$ ($p < 0.05$, 56 g.l.) con un desfase de 6 meses (figura 25).

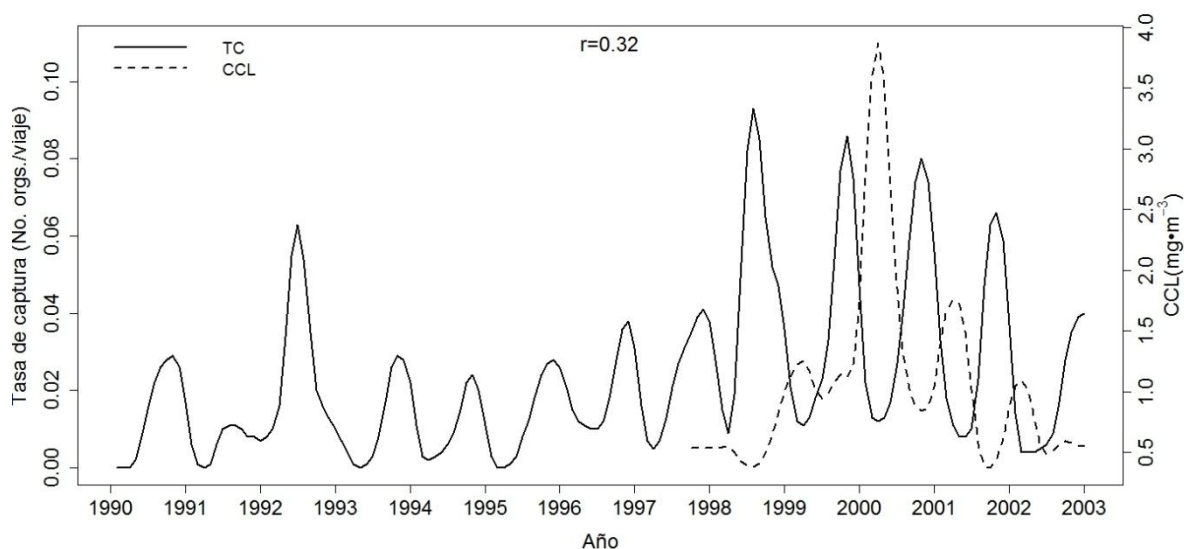


Figura 25.- Series suavizadas de tasas de captura y concentración de clorofila promedio mensual en el área de Mazatlán, Sin. , mostrando el valor de correlación con un desfase de 6 meses. La serie de tiempo de clorofila abarca de septiembre de 1997 a diciembre del 2002.

La ASM y las tasas de captura mostraron una correlación directa y significativa en CSL ($r = 0.44$; $p < 0.05$, 120 g.l.) con un desfase negativo de un mes. La ASM en esta región mostró un patrón similar al de la TSM: una relación directa entre ambas series, con excepción de 1997 (figura 26).

En BV se encontró una relación mayor a la encontrada en CSL ($r = 0.51$; $p < 0.05$, 121 g.l.), estadísticamente significativa, y sin retraso. Nuevamente, el máximo de ASM coincide con las capturas anuales menores reportadas en el período de estudio, durante 1997 (figura 27).

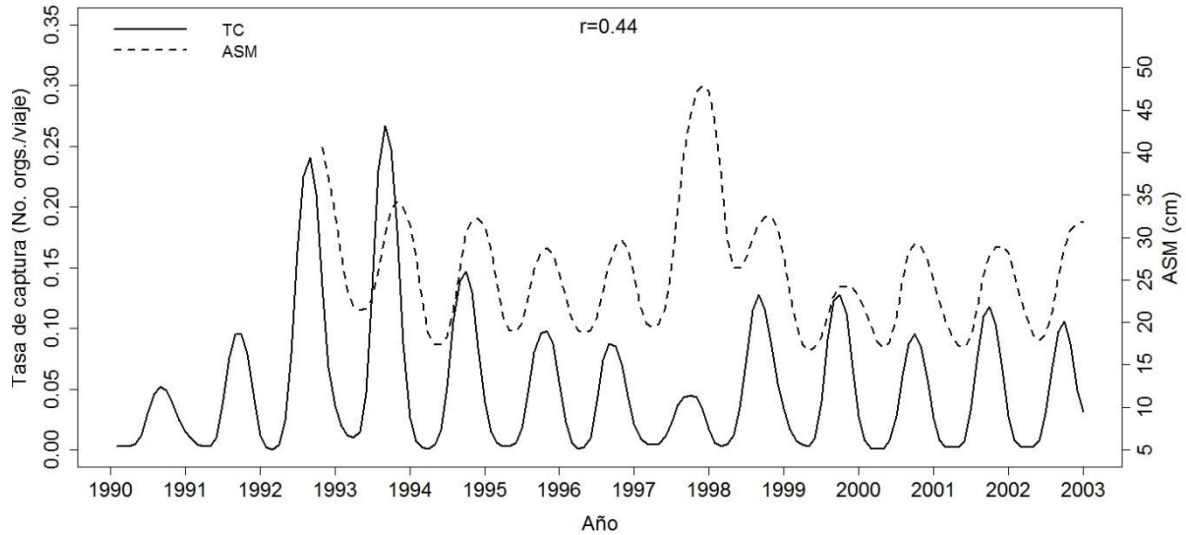


Figura 26.- Series de tiempo de tasas de captura y altura superficial del mar promedio mensual para el área de Cabo San Lucas, B.C.S. En la parte superior central se muestra el valor de correlación encontrado con un desfase negativo de un mes. La serie de tiempo de altura superficial del mar es de octubre/1992 a diciembre/2002.

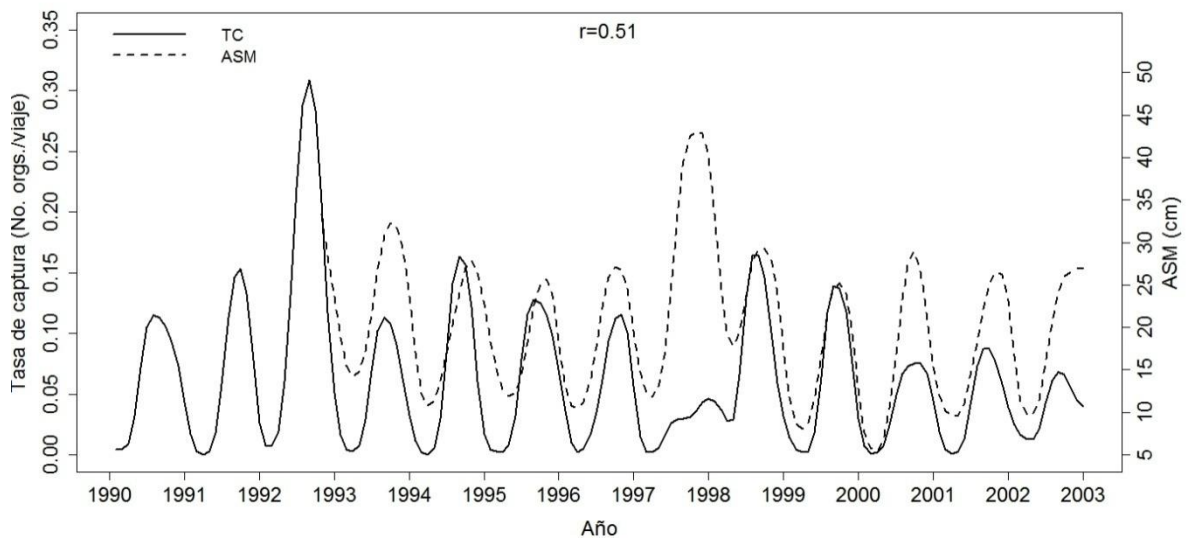


Figura 27.- Series de tiempo de tasas de captura y altura superficial del mar promedio mensual para el área de Buenavista, B.C.S. En la parte superior central se muestra el valor de correlación encontrado con un desfase negativo de un mes. La serie de tiempo de altura superficial del mar es de octubre/1992 a diciembre/2002.

En MZT, si bien la correlación entre ambas series de tiempo fue ligeramente menor ($r = 0.37$; $p < 0.05$, 120 g.l.) a la encontrada en las dos regiones de B.C.S., aún resultó ser significativa; esta correlación se encontró con un desfase de un mes (es decir, las capturas máximas se dan un mes antes de las máximas ASM), caso contrario a lo que ocurrió en CSL (figura 28).

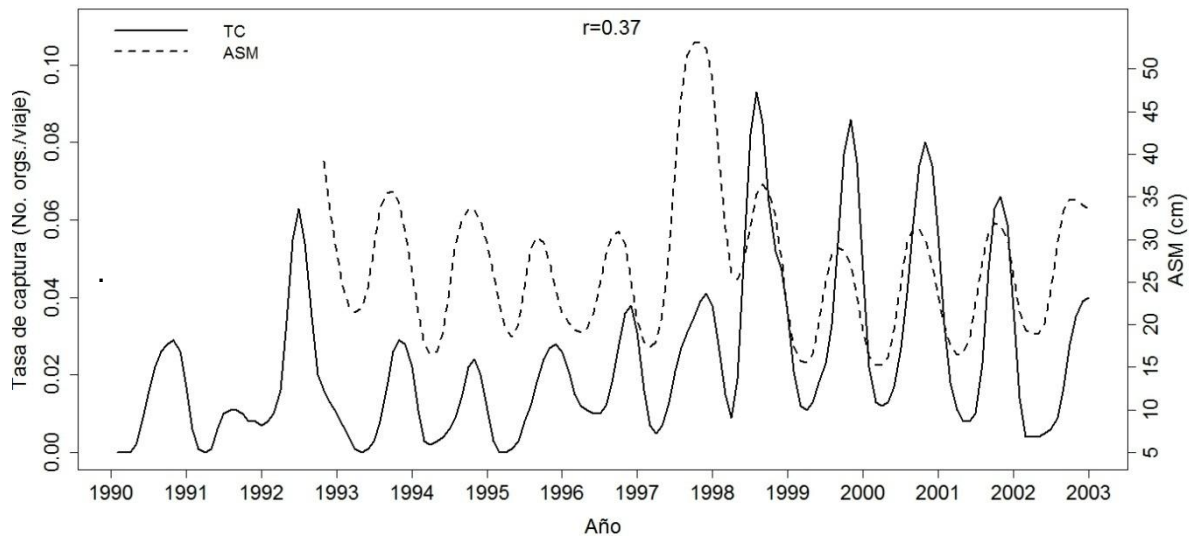


Figura 28.- Series de tiempo de tasas de captura y altura superficial del mar promedio mensual en el área de Mazatlán, Sin. El valor de correlación es con un desfase de un mes. La serie de tiempo de altura superficial del mar es de octubre/1992 a diciembre/2002.

Para el caso de la rapidez del viento (RV) y las tasas de captura en CSL, la máxima correlación ($r = 0.27$; $p < 0.05$, 148 g.l.) entre ambas series de tiempo se presentó con un desfase de 6 meses. En Buenavista la correlación entre estas dos variables fue mayor ($r = 0.33$; $p < 0.05$, 148 g.l.) con el mismo desfase que en CSL, resultando ser estadísticamente significativa en ambos casos (figuras 29 y 30).

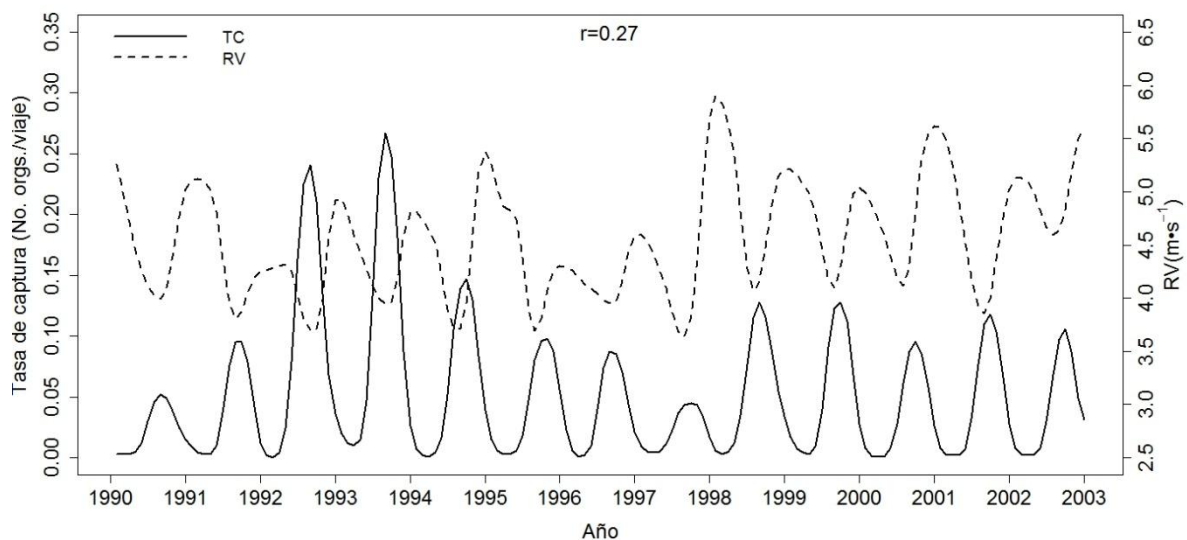


Figura 29.- Tasas de captura y rapidez del viento promedio mensual en el área de Cabo San Lucas, B.C.S., en el período comprendido entre 1990 y 2002. El coeficiente de correlación que se muestra es con un desfase de 6 meses.

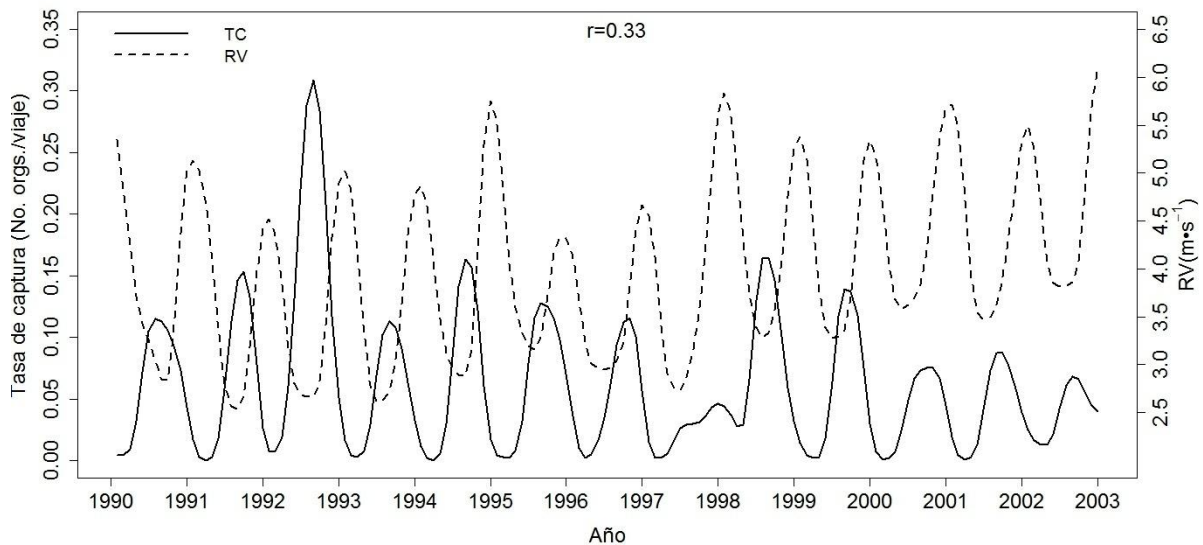


Figura 30.- Tasas de captura y rapidez del viento promedio mensual en Buenavista, B.C.S., en el período de 1990 al 2002. El coeficiente de correlación que se muestra fue con un desfase de 6 meses.

En MZT, al igual que para otras variables ambientales, la relación entre las tasas de captura y la RV parece no ser tan clara, ya que la correlación es negativa con 3 meses de desfase ($r = -0.21$; $p < 0.05$, 151 g.l.) y positiva con un desfase de 10 meses ($r=0.32$; $p < 0.05$, 144 g.l.).

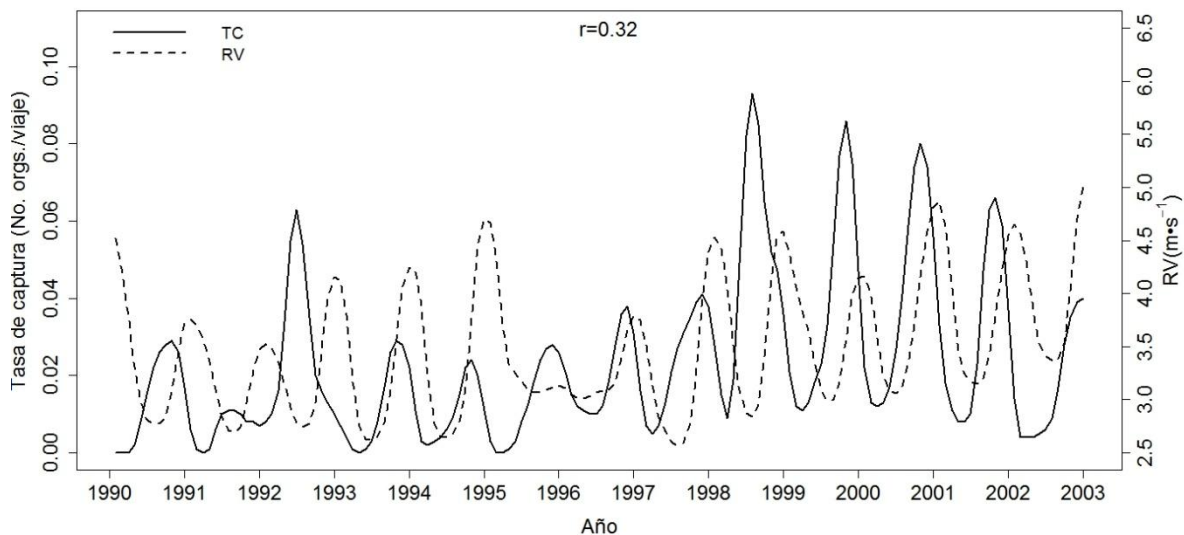


Figura 31.- Serie de tiempo de tasas de captura y rapidez del viento promedio mensual en Mazatlán, Sin., en el período de 1990 al 2002. El coeficiente de correlación mostrado en la parte superior es para la correlación con 10 meses de desfase.

8.3.2 Preferencia de hábitat del marlin azul

Para ilustrar la preferencia de hábitat del marlin azul, se escogieron arbitrariamente aquellas condiciones oceanográficas en las que las tasas de captura fueron mayores al promedio general de cada región. En CSL esta especie muestra preferencia por temperaturas relativamente altas (24 – 29 °C), CCL bajas (0.1 – 0.4 mg·m⁻³), rapidez de viento moderada (3 – 5.5 m·s⁻¹), y alturas superficiales del mar relativamente altas (20 – 40 cm), mientras que en BV parece mostrar preferencias por temperaturas más altas (26 – 30 °C), valores de CCL similares, rapidez del viento (2 – 4 m·s⁻¹) y alturas superficiales (15 – 25 cm) menores a CSL (figuras 32 y 33).

Por otro lado, en MZT el marlin azul parece tener preferencias muy similares a las encontradas en BV: temperaturas entre 26 y 30 °C, valores de CCL entre 0.1 y 1.0 mg·m⁻³, rapidez del viento entre 2.5 y 4.5 m·s⁻¹, y alturas superficiales del mar de entre 20 y 45 cm (figura 34).

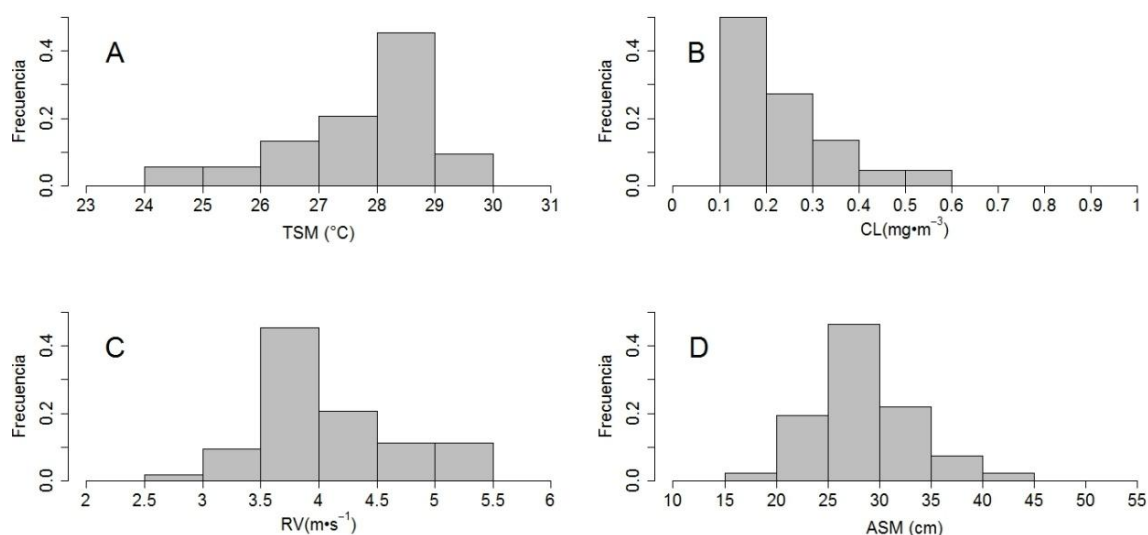


Figura 32.- Preferencia de hábitat del marlin azul, en Cabo San Lucas, B.C.S. A) temperatura superficial, B) clorofila, C) rapidez del viento y D) altura superficial del mar.

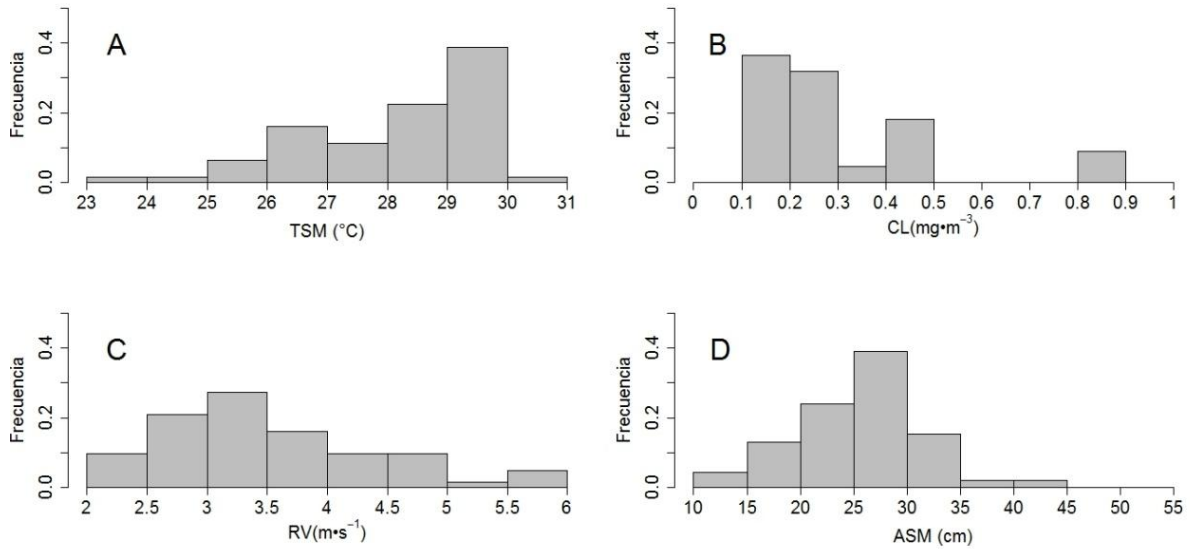


Figura 33.- Preferencia de hábitat de marlin azul en Buenavista, B.C.S. A) temperatura superficial, B) clorofila, C) rapidez del viento y D) altura superficial del mar.

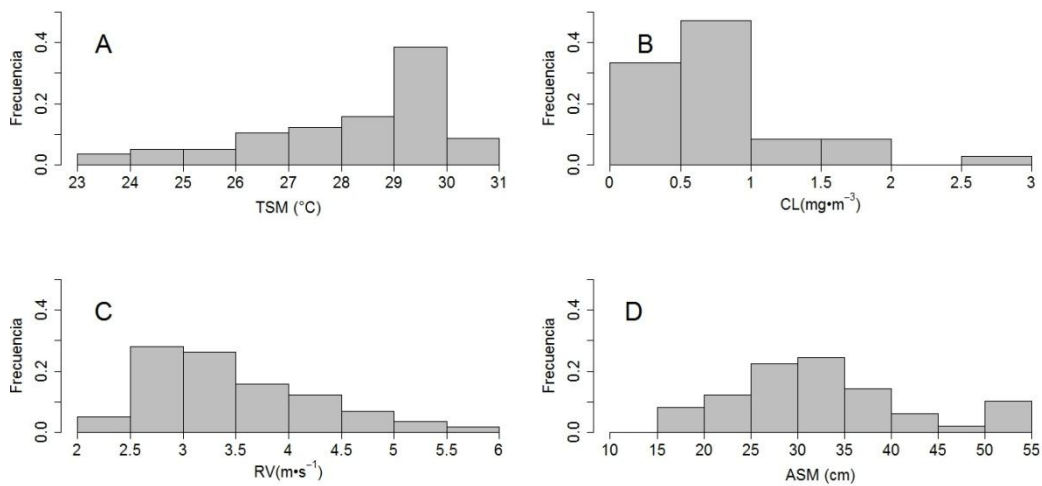


Figura 34.- Preferencia de hábitat del marlin azul en Mazatlán, Sin. A) temperatura superficial, B) Clorofila, C)rapidez del viento y D) altura superficial del mar. Note la diferencia de escalas en el eje X de (B), con respecto a la misma figura en las figuras 32 y 33.

8.4 Modelación de las tasas de captura

Los resultados de los modelos estadísticos aplicados a las tasas de captura (TC) de marlin azul en Cabo San Lucas, muestran que únicamente la TSM y el mes

tienen un efecto significativo sobre la TC del marlin azul. El modelo final explicó el 80.8 % de la devianza total (Tabla VI).

Tabla VI.- Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado construido para CSL.

Modelo	Grados de libertad residuales	Devianza residual	$p(\chi^2)$	Devianza explicada (%)
NULO	110.0	8.8262		
+(TSM)	105.58	2.2633	$< 2.21 \times 10^{-16}$	74.4
+(MES)	101.27	1.6933	4.060×10^{-7}	80.8
+(RV)	99.90	1.6370	0.09349	81.5
+(ASM)	97.35	1.5372	0.06939	82.6

Entonces, el modelo final para las tasas de captura en Cabo San Lucas quedaría como

$$TC_i \approx f_1(TSM_i) + f_2(mes_i)$$

La figura 35 muestra el efecto de las variables predictivas sobre la variable respuesta (TC marlin azul). Los resultados indican que existen mayores TC de marlin azul a temperaturas de entre 25 y 28 °C (A), y que las tasas de captura máxima en esta localidad se dan durante los meses de verano (B).

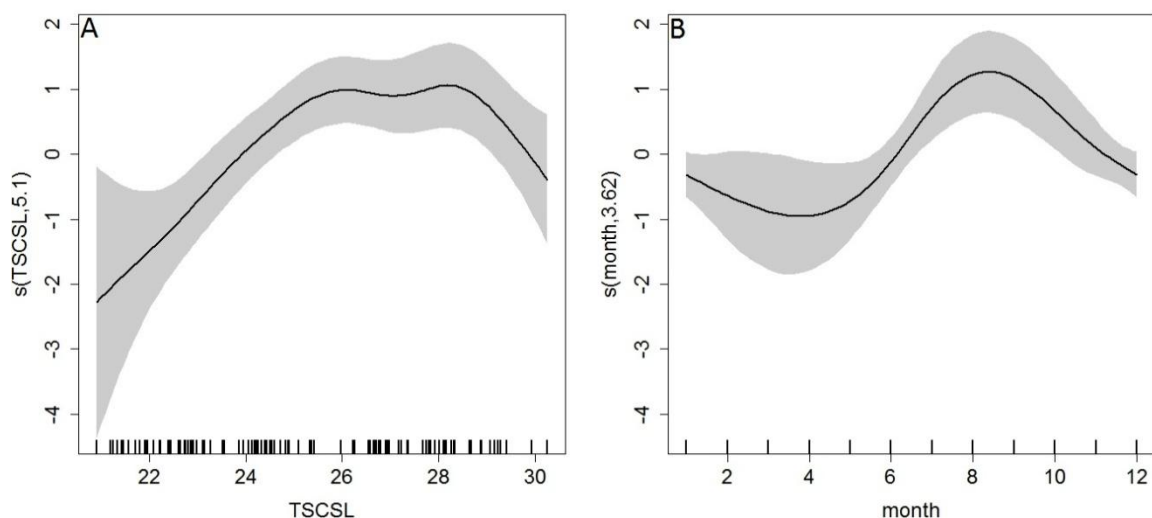


Figura 35. Gráficos del efecto que la temperatura superficial del mar (A) y el mes (B) tienen sobre las tasas de captura de marlin azul en Cabo San Lucas, B.C.S. El área sombreada denota los intervalos de confianza al 95 %, y las marcas en el eje X denotan la densidad de los datos.

Una vez seleccionado el modelo, se procedió a la validación, utilizando las variables ambientales del 2002. Al aplicar un análisis de regresión lineal entre los valores observados y los ajustados por el modelo (figura 36), se encontró una relación significativa, y un valor de $R^2 = 0.90$.

De manera general, el modelo construido predice bien la variable respuesta (TC), con excepción de aquellos años en donde las capturas de marlin azul mostraron valores extremos (1993 y 1999; figura 37).

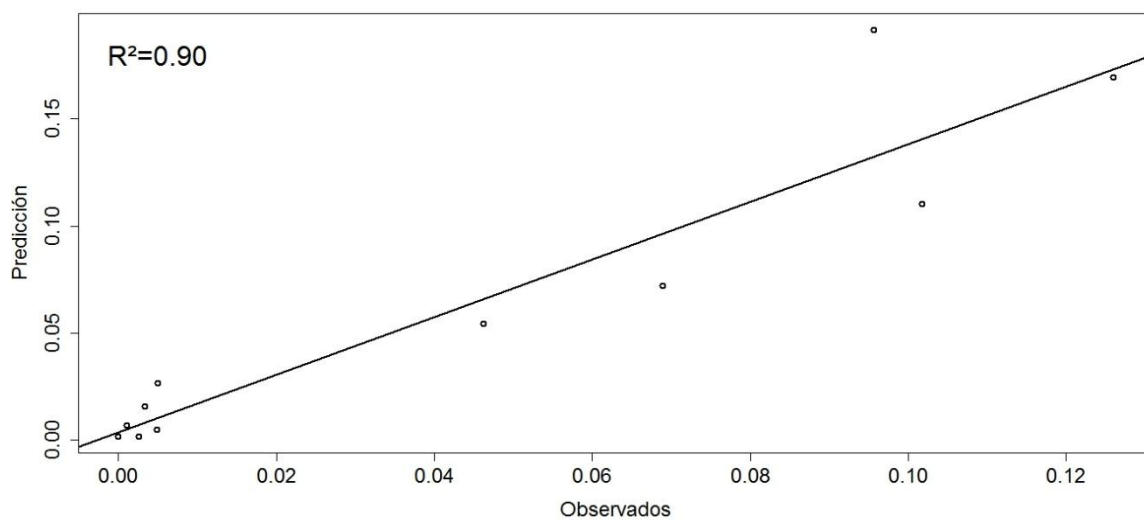


Figura 36.- Diagrama de dispersión de tasas de captura de marlin azul durante el 2002, de valores observados vs. ajustados por el modelo aditivo generalizado construido para Cabo San Lucas, B.C.S. La línea recta es el resultado de la regresión lineal.

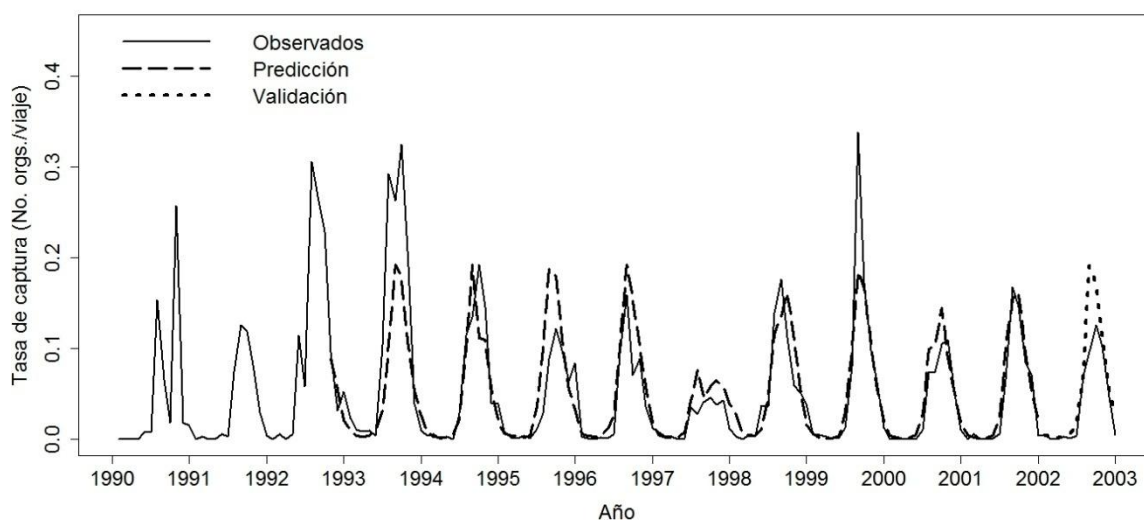


Figura 37.- Valores observados, predicción y validación del modelo aditivo generalizado construido para las tasas de captura de marlin azul en Cabo San Lucas.

El GAM construido para Buenavista sugiere que la TSM, el mes y la RV tienen un efecto significativo en las TC. La devianza explicada final fue de 84 % (Tabla VII).

Tabla VII.- Análisis de devianza para el modelo aditivo generalizado construido para Buenavista, B.C.S.

Modelo	Grados de libertad residuales	Devianza residual	$p(\chi^2)$	Devianza explicada (%)
NULO	110.0	8.3919		
+(TSM)	104.56	2.3751	$< 2.21 \times 10^{-16}$	71.7
+(MES)	96.66	1.6446	3.10×10^{-8}	80.4
+(RV)	95.10	1.4527	0.0002	83
+(ASM)	93.56	1.3567	0.05890	83.8

El modelo final para la localidad de Buenavista sería:

$$TC_i \approx f_1(TSM_i) + f_2(mes_i) + f_3(RV_i)$$

En la figura 38 se muestra el efecto que la TSM (A), el mes (B), y la RV(C) tienen en las TC en la localidad de Buenavista, B.C.S. Nuevamente se muestra la preferencia clara de la especie por aguas cálidas (24 – 29 °C), la estacionalidad del recurso en la región (B), y la relación inversa que las tasas de captura guardan con la RV (C).

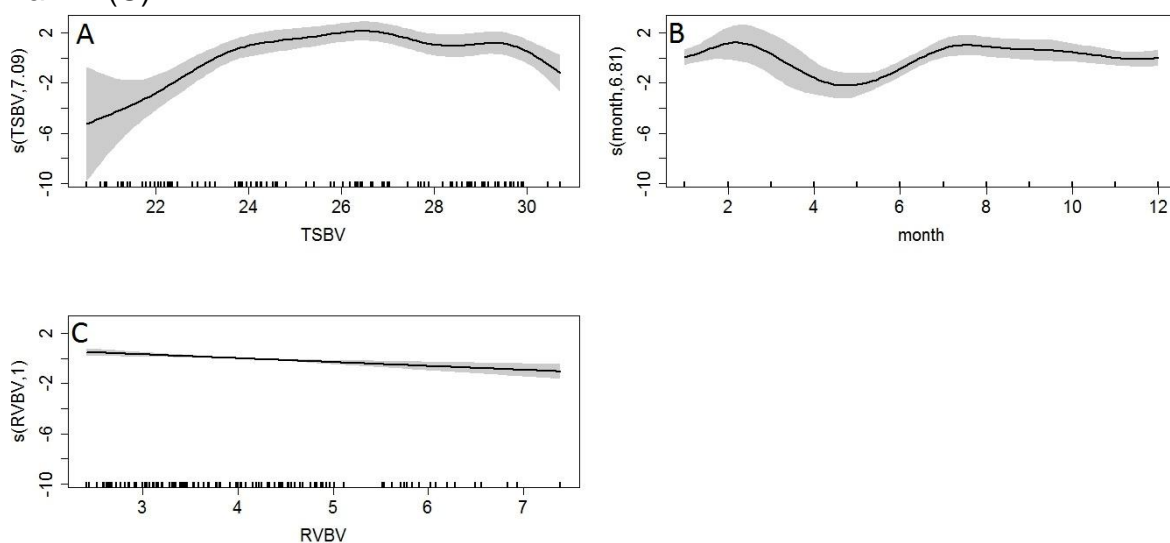


Figura 38.- Efecto que la TSM (A), el mes (B), y la rapidez del viento (C) tienen sobre las tasas de captura de marlin azul en Buenavista, B.C.S. Las marcas en el eje X denotan la densidad de los datos, y el área sombreada los intervalos de confianza al 95 %.

En la validación se encontró que el modelo sobreestimó los valores observados en las tasas de captura en el 2002. Aun así, el ajuste fue relativamente bueno, encontrándose un valor de $R^2 = 0.53$ (figura 39).

En Buenavista la devianza explicada fue la máxima de los modelos de las tres localidades. El modelo, de manera general, se comporta de acuerdo a los valores observados; sin embargo, tiende a sobreestimar a la hora de la validación (figura 40).

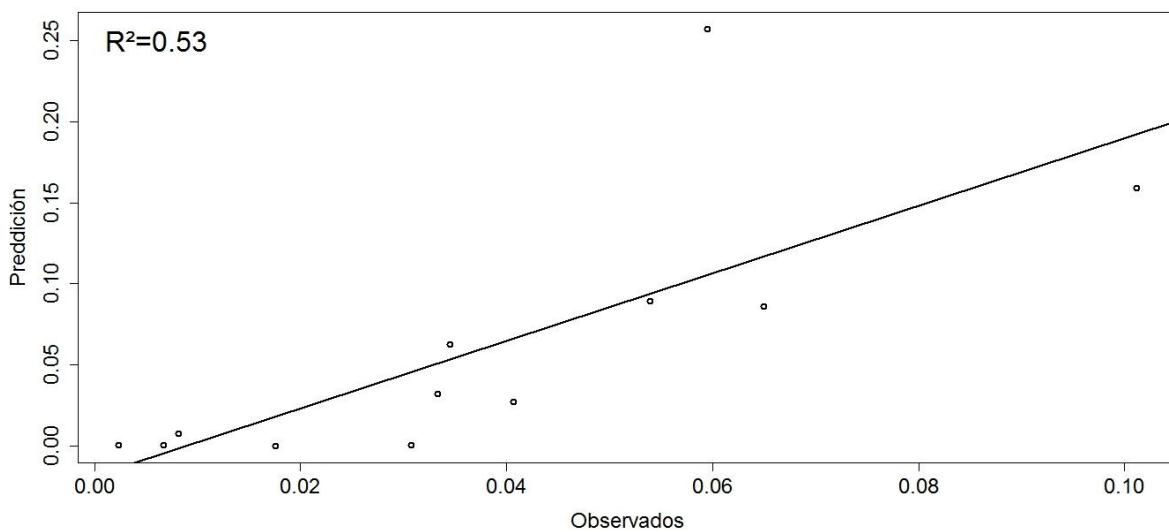


Figura 39.- Diagrama de dispersión y ajuste de modelo lineal a valores observados vs. ajustados de tasas de captura de marlin azul durante el 2002 por el modelo aditivo generalizado en Buenavista, B.C.S.

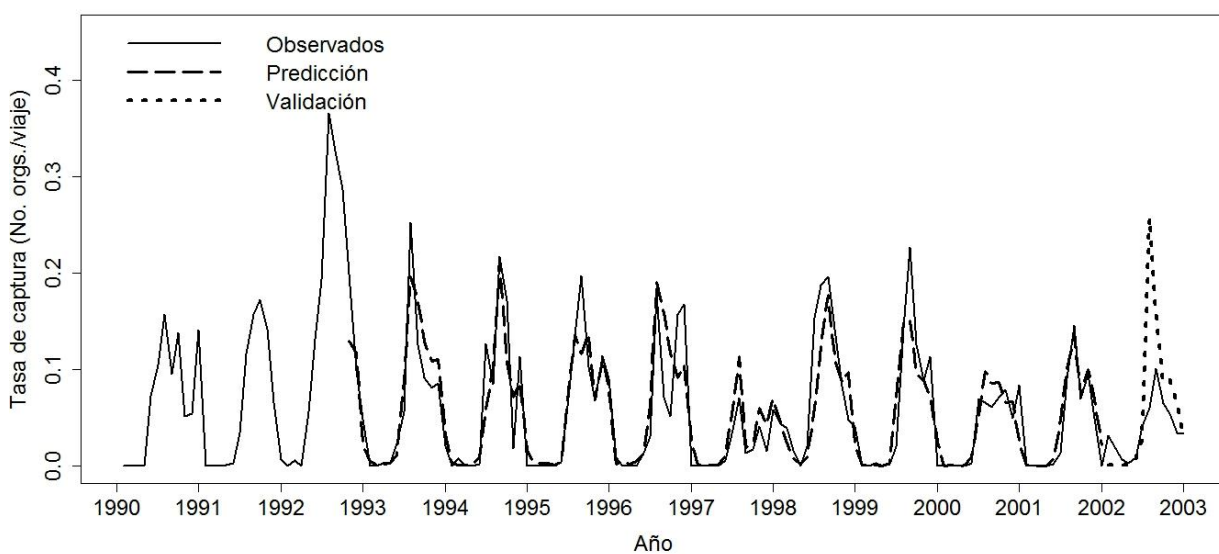


Figura 40.- Tasas de captura de marlin azul observadas, predicción y validación del modelo construido para Buenavista, B.C.S.

De los tres modelos construidos, el de Mazatlán fue en el que se consiguió la menor devianza explicada (38 %). Al igual que en CSL, en MZT sólo la TSM y el mes tuvieron un efecto significativo en las TC; la RV incluso provocó una pérdida en la devianza explicada (tabla VIII).

Tabla VIII.- Análisis de devianza del modelo aditivo generalizado construido para Mazatlán, Sin.

Modelo	Grados de libertad residuales	Devianza residual	p(χ^2)	Devianza explicada (%)
NULO	110.0	3.854		
+(TSM)	108.08	2.8694	$< 3.18 \times 10^{-10}$	25.5
+(MES)	106.11	2.3913	2.45×10^{-5}	38
+(RV)	105.31	2.3935		37.9
+(ASM)	104.43	2.3863	0.2522	38.5

El modelo final para MZT quedaría entonces

$$TC_i \approx f_1(TSM_i) + f_2(mes_i)$$

En Mazatlán, al contrario de lo ocurrido en CSL y BV, la temperatura presenta una relación directa prácticamente lineal con las tasas de captura, mientras el efecto de la variable mes sobre las TC en esta localidad indica que las capturas máximas se presentan durante los meses de otoño (figura 41).

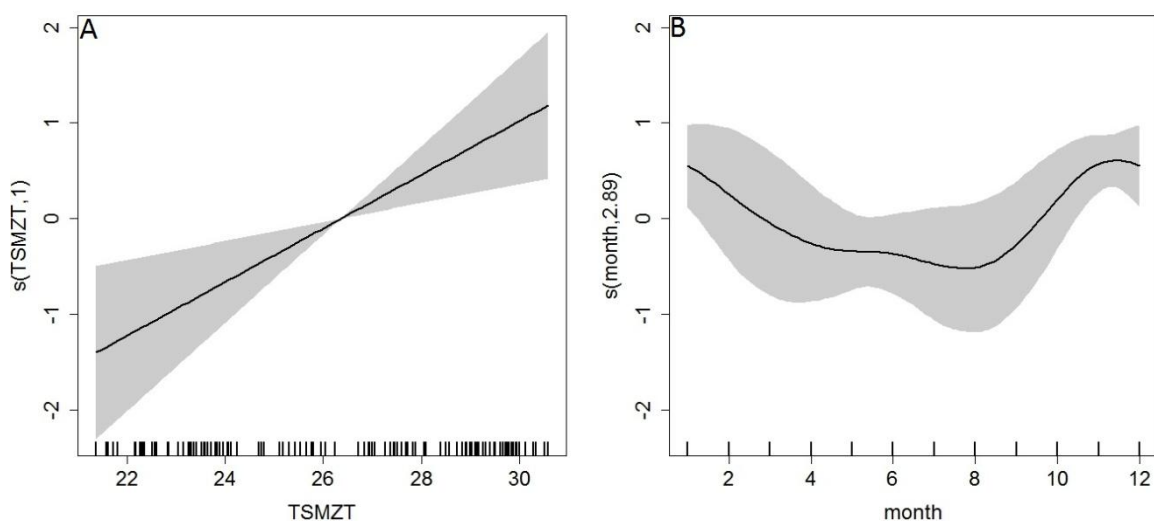


Figura 41.- Efecto que la temperatura superficial del mar (A) y el mes (B) tienen en las tasas de captura de marlin azul en Mazatlán, Sin. Las marcas en el eje X denotan la densidad de los datos, y el área sombreada el intervalo de confianza al 95 %.

A pesar de ser el que menor devianza explicó, el modelo construido para Mazatlán se comportó mejor incluso que aquél donde la devianza fue máxima (BV) a la hora de la validación, ya que el intercepto fue más cercano a 0 (~ 0.013) y el coeficiente de determinación fue mayor que en dicha localidad ($R^2 = 0.67$; figura 42).

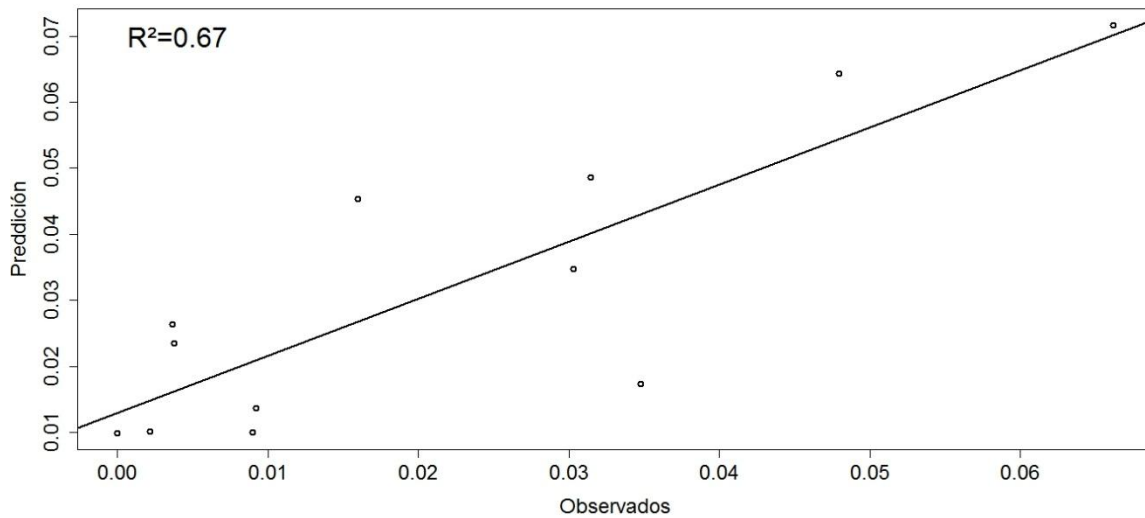


Figura 42.- Diagrama de dispersión de tasas de captura observadas vs. calculadas por el GAM ajustado para MZT para el 2002. La línea recta representa el ajuste del modelo lineal.

En este caso, el modelo no parece comportarse tan bien como en los casos de CSL y BV, ya que sobreestima en algunos casos, y subestima en otros. Aun así, se comportó de una manera satisfactoria a la hora de hacer la validación, lo que sugiere que este modelo puede usarse de una manera relativamente confiable para hacer predicciones (figura 43).

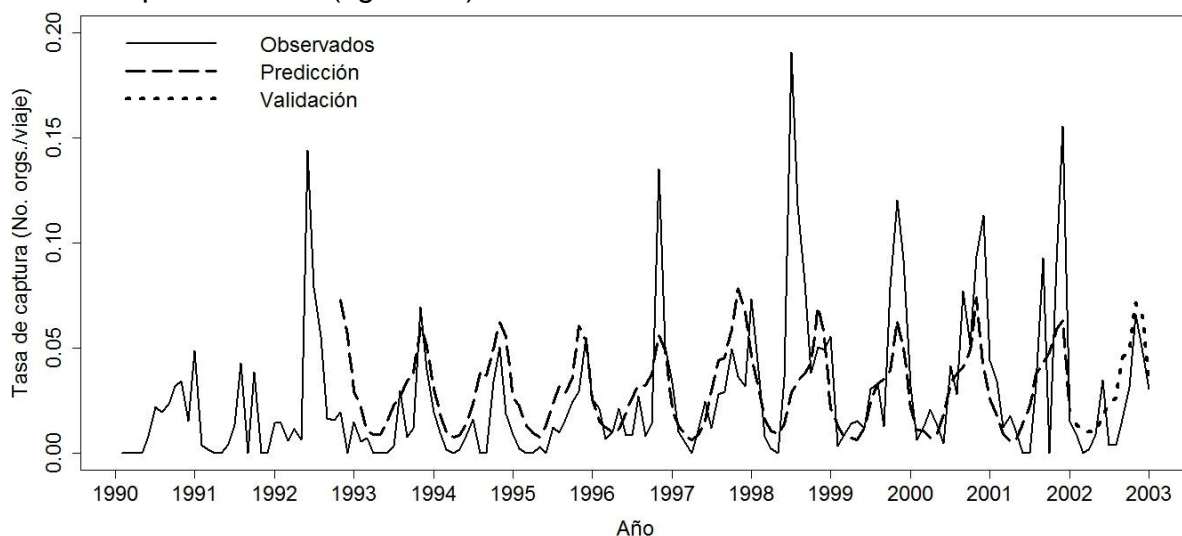


Figura 43.- Tasas de captura observadas, predicción y validación del modelo aditivo generalizado construido para Mazatlán, Sin.

9. DISCUSION

9.1. *Tasas de captura*

Las tasas de captura de marlin azul resultaron ser en promedio mayores en las dos regiones de B.C.S. que en Mazatlán, lo que podría explicarse por el hecho de que esta especie prefiere habitar en el océano abierto (Block *et al.*, 1992), de tal forma que la vulnerabilidad a la captura sería mayor en el extremo sur de la península de Baja California, debido a que en esta zona la plataforma continental es más estrecha que del lado del continente, lo que ubica al marlin azul más al alcance de las flotas deportivas que ahí operan.

En la caracterización ambiental no se encontraron diferencias interanuales significativas en ninguna de las tres localidades, sin embargo en las tasas de captura de la serie de Mazatlán Sin., si las hubo, por lo que se podría suponer que esta variación está relacionada o bien con otros factores que no dependen del medio ambiente (por ejemplo debido a que la afluencia turística en esta localidad sea menos constante a lo largo del año, ya que su importancia respecto a la pesca deportiva es menor que la de las localidades de B.C.S.), o quizá con otras variables ambientales no utilizadas en este estudio.

El análisis de Fourier, los análisis de varianza y los resultados obtenidos con los modelos estadísticos (GAM) sugieren una marcada estacionalidad del marlin azul en el área de estudio. Los valores de captura de la especie registrados por las flotas deportivas de Cabo San Lucas y Buenavista se incrementan notablemente durante los meses del verano, mientras que en Mazatlán lo hacen durante los meses de otoño. Después de la llegada de las aguas cálidas y oligotróficas de origen tropical (ver siguiente sección), las capturas de la especie aumentan en las localidades de B.C.S. con un mes de desfase, en tanto que las tasas de captura de Mazatlán lo hacen 4 meses después. Esta evidencia sugiere que el marlin azul migra desde el Océano Pacífico hacia la BGC, permaneciendo durante los meses de verano en B.C.S., para luego desplazarse hacia el este a las costas de Sinaloa. Las abundancias de marlin azul disminuyen durante los meses de invierno y primavera, probablemente debido a que la especie deja el área de estudio, regresando a aguas más oceánicas del Océano Pacífico. Esta hipótesis se ve reforzada por los movimientos presentados por varios organismos de esta especie

marcados (marcas convencionales) en la BGC, los cuales migraron hacia el Océano Pacífico, lamentablemente no se puede sugerir más al respecto porque no se reportan las fechas de estos movimientos (Billfish newsletter, 2006).

Los mecanismos que regulan la estacionalidad del marlin azul en la BGC, aún no son completamente comprendidos. En un estudio realizado por Ortega-García *et al.* (2006) de la pesca deportiva del marlin azul en CSL se observó que la gran mayoría (~97 %) de los organismos capturados en esta zona son hembras inmaduras. Debido a esto, y a un análisis del índice gonadosomático los autores concluyen que no existe evidencia de reproducción de la especie en el área. Los autores reconocen que la práctica de “captura y suelta” que se realiza en la pesca recreativa de CSL pudiera estar sesgando esta proporción de sexos, ya que se esperaría que la mayoría de organismos liberados fueran machos, debido a que en esta especie las hembras alcanzan mayores tallas (Hill *et al.*, 1989, Sun *et al.*, 2009); sin embargo, también mencionan que con base en su experiencia, y a que esta segregación por sexos ha sido reportada en otras áreas para la especie (Hooper, 1990), creen que la mayoría de organismos que habitan el área de influencia de la flota deportiva son hembras. Por otro lado, González-Armas *et al.* (2006) analizaron muestras de larvas de 12 cruceros oceanográficos (1995-1996) y el índice gonadosomático de varias especies de picudos muestreados en la pesquería recreativa de la zona. En dicho trabajo no se reporta ninguna larva de marlin azul en la BGC, por lo que al igual que Ortega-García *et al.* (2006), concluyen que no existe evidencia de actividad reproductiva de esta especie en el área.

De acuerdo a lo reportado por Sun *et al.* (2009) y por Shimose *et al.* (2009), la talla de primera madurez de las hembras de la especie es de ~ 180 cm, o alrededor de 2 años. Los resultados reportados en el trabajo de Ortega-García *et al.* (2006) y de Jakes-Cota (2008) muestran que la pesquería deportiva que se lleva a cabo en CSL incide principalmente en hembras de entre 2 y 3 años, lo que sugiere que las hembras que llegan a esta zona han pasado por lo menos un evento reproductivo, lo que sugiere que la especie se reproduce en otras zonas del Océano Pacífico antes de migrar hacia la boca del Golfo de California.

Existen diferentes zonas del Océano Pacífico que son reconocidas como puntos de reproducción de esta especie. Shimose *et al.* (2009) reportan que esta especie se reproduce de mayo a julio en las inmediaciones de la isla Yonaguni, al

suroeste de Japón, mientras que Sun *et al.* (2009) aseguran que el período de reproducción de especímenes capturados en el Pacífico Occidental es de mayo a septiembre. Por su parte, Matsumoto & Kasama (1974) reportan que un alto porcentaje (~60 %) de larvas de picudos en aguas cercanas a Hawái fueron larvas de marlin azul, y que dichas larvas se obtuvieron en arrastres realizados donde la temperatura del mar fue entre 26 y 29 °C.

Aunque se sabe que el marlin azul es una especie capaz de realizar migraciones considerables, el patrón de las mismas todavía no es del todo comprendido. Uno de los programas que más información aporta es el programa de marcado de peces de pico, impulsado por el Centro de Ciencias Pesqueras del Suroeste, de la NOAA. En este programa se reporta que existen migraciones entre Hawái y Baja California Sur y entre Hawái y el Pacífico Occidental, por lo que cabe la posibilidad de que el marlin azul desove en una de estas áreas, y migre hacia el área de estudio. Sin embargo, el porcentaje de marcas recuperadas es extremadamente bajo (en algunos casos alrededor del 1 %, (Billfish Newsletter, 2005), por lo que lo es complicado llegar a una aseveración contundente respecto a esto. Otra posibilidad sería que el marlin desove en latitudes cercanas al ecuador en el Pacífico Oriental, y tenga una migración paralela a la costa hasta llegar al área de estudio. Sin embargo, las capturas de esta especie por las flotas que operan en el Pacífico Central Mexicano son mínimas; por ejemplo, Santana-Hernández (2007) reporta que esta especie constituyó alrededor de 0.3 % de la captura incidental registrada por la flota palangrera de mediana altura que operó de 2003 a 2007 en Manzanillo, Col., por lo que este escenario parece menos probable.

Otra hipótesis sugiere que la reproducción de la especie ocurre en el Pacífico Central Ecuatorial, y después de que esta se lleva a cabo comienza la migración hacia el Pacífico Norte. Los trabajos de Kume & Joseph (1969) y de Su *et al.* (2008) apoyan esta hipótesis. Mientras que los primeros autores reportan que la especie se reproduce entre diciembre y enero en el Pacífico Sur en aguas cercanas al ecuador, los segundos aseguran que los “hotspots” (áreas con altas densidades de organismos) se desplazan a zonas ecuatoriales durante la primera mitad del año, debido probablemente al evento reproductivo que mencionan Kume & Joseph (1969). De ser así, esta especie desova en aguas cercanas al ecuador, y luego migra a latitudes cercanas a los trópicos, lo cual coincide con la presencia del

recurso en el área de estudio durante el verano-otoño. Partiendo de la evidencia de que existe una sola población en el Océano Pacífico (Hinton, 2008; Graves & McDowell, 2001), se puede hipotetizar que dicha población tiene una migración desde aguas ecuatorianas durante el invierno-primavera a los trópicos durante verano-otoño.

Abitia-Cárdenas *et al.* (1999, 2010) estudiaron los hábitos alimenticios de la especie en Cabo San Lucas y Mazatlán, respectivamente. Estos autores proponen que en ambas localidades las dos principales presas del marlin azul son el pez melva (*Auxis* spp) y el calamar gigante (*Dosidicus gigas*), y que un alto porcentaje de los estómagos analizados (~86 % en CSL y ~77 % en MZT) contenían alimento. Tanto la macarela como el calamar son considerados como un recurso abundante en el Pacífico Oriental y en el Golfo de California (Markaida & Sosa-Nishisaki, 2001; Olson & Boggs, 1986), y son organismos que muestran preferencias por aguas tropicales (Squire Jr., 1983; Erhardt *et al.*, 1986), mientras que la presencia de algunas de estas presas en la BGC ha sido asociada a la presencia de masas de agua tropicales en la región (Markaida & Sosa-Nishisaki, 2003).

El marlin azul parece sincronizar su llegada a la zona de estudio con las abundancias altas de estos dos recursos importantes, a los cuales depreda de manera selectiva (Abitia-Cárdenas *et al.*, 1999, 2010). Markaida *et al.* (2004) mencionan que la distribución espacial de *D. gigas* en el Golfo de California coincide con el régimen de surgencias por viento, ya que las mayores abundancias de este calamar se presentan cerca de Santa Rosalía, Baja California Sur, durante los meses de junio – octubre, y en la costa de Guaymas, Sonora, durante los meses de noviembre a mayo. Esta estacionalidad coincide con los meses de altas tasas de captura de marlin azul reportadas en el presente trabajo, tanto para zona occidental (Cabo San Lucas y Buenavista) como para la zona oriental (Mazatlán), por lo que el marlin azul podría realizar movimientos dentro del golfo, siguiendo los patrones de migración de *D. gigas*. Esta hipótesis es apoyada por los resultados presentados por Gilly *et al.* (2006), quienes proponen que parte de la población de *D. gigas* migra durante estos meses, de la región donde se le explota comercialmente (centro del Golfo de California), hacia el área de estudio. Sun *et al.* (2009), mencionan que la actividad alimentaria de éste y otros pelágicos migratorios disminuye durante la etapa de reproducción, y el hecho que durante su estadía en el

área de estudio, la mayoría de los estómagos se presentaron con alimento indica que el marlin azul está utilizando la BGC como un área de alimentación antes de reproducirse o tener una actividad post-reproductiva. Al respecto Ortega-García (comunicación personal) durante los muestreos que realiza el proyecto de Pelágicos Mayores en Cabo San Lucas B.C.S. se han observado gónadas de marlin azul en estadios iniciales de madurez, y una fracción minoritaria de ejemplares en estado de reabsorción gonadal.

Los resultados observados en este trabajo muestran una estrecha relación de las tasas de captura de la especie con la temperatura superficial del mar. Al respecto, las tasas de captura máximas en CSL y BV se presentaron durante 1992 y 1993, mismos años en los que ocurrieron condiciones El Niño (Lavín *et al.*, 2003), lo que ocasionó un aumento en las temperaturas superficiales del mar presentes en el área de estudio, lo cual promueve el hábitat preferencial de la especie en el área, ya que debido a la comunicación libre del golfo con el Océano Pacífico, la BGC es afectada considerablemente por eventos de este tipo (Lavín *et al.*, 2003). Sin embargo, las tasas de captura mínimas se presentan durante 1997, época en que se presentó El Niño de 1997-1998, uno de los eventos de este tipo más intensos del siglo XX (Lynn *et al.*, 1998). Norton (1999) reporta que para este período, las capturas de dorado (*Coryphaena hippurus*) en el sur de California fueron anómalamente altas, lo que se debe, asegura, a un cambio del hábitat de esta especie, el cual se desplaza hacia el norte durante eventos intensos de calentamiento. Zuñiga-Flores (2004) reporta algo similar para el área de Cabo San Lucas, en donde en los mismos años la tasa de captura de dorado fue baja. Torres-Orozco *et al.* (2006) y López-Sánchez (2004) mencionan que el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) es otra especie que varía su rango de distribución latitudinal durante eventos interanuales de este tipo.

Por otro lado, Pearcy (2002) reporta que durante el evento El Niño de 1997 – 1998, ciertas especies de necton tropical “invadieron” las costas de Oregon, E.U.A. Entre estas especies se destacó el calamar gigante (una de las principales presas del marlin azul en el área de estudio), el cual fue reportado por primera vez a estas latitudes, y se capturó en grandes cantidades. Considerando que el dorado y el atún aleta amarilla, al igual que el marlin azul, son especies que presentan preferencias por hábitats tropicales, y que el marlin azul parece seguir las

migraciones de *D. gigas* (ver página anterior), se podría inferir que durante eventos El Niño intensos (como el de 1997-1998) el marlin azul se desplace hacia el norte, buscando su hábitat preferencial y siguiendo la migración de una de sus presas, con lo que disminuiría su vulnerabilidad a ser capturado por las flotas deportivas que operan en el área de estudio, al salir del rango efectivo de las mismas.

Además de la aparente extensión en la distribución horizontal del marlin azul durante eventos intensos de El Niño se propone que el hundimiento de la termoclina durante estos eventos (Norton & McLain, 1994; McPhaden, 1999; McPhaden, 2004) disminuye la vulnerabilidad del recurso en las pesquerías de superficie. Partiendo de la evidencia de que esta especie pasa gran parte de su tiempo por encima de la termoclina (Goodyear *et al.*, 2006), se tiene que una termoclina más profunda significaría una extensión del hábitat de la especie en el sentido vertical, lo que implicaría una disminución de la vulnerabilidad del recurso al arte de pesca utilizado en la pesquería recreativa. Esto ha sido observado también en la pesca del atún aleta amarilla con red de cerco, en la cual se ha mencionado la disminución de su vulnerabilidad a la pesca durante eventos El Niño (CIAT, 1985; Ortega-García & Sánchez-Rodríguez, 2008)

9.2. Preferencia de hábitat del marlin azul y oceanografía del área de estudio

Al igual que lo reportado por otros autores (p. ej. Su *et al.*, 2008), en este estudio se encontró que el marlin azul presenta una clara preferencia de habitar en aguas oceánicas, con temperaturas superficiales entre 26 y 30 °C, relativamente oligotróficas ($0.1-0.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), con rapidez de viento moderadas ($2.5 - 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y alturas superficiales del mar de moderadas a altas (20 – 40 cm). En Mazatlán se encontraron altas tasas de captura en condiciones de concentraciones relativamente altas de Clorofila ($0.5-1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$); sin embargo, estas concentraciones fueron bajas comparadas con las que se presentan durante los meses de alta productividad en esta zona ($> 3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Con respecto a esto, los resultados observados en este trabajo muestran que las dos localidades de B.C.S. y Mazatlán presentan valores contrastantes de concentración de clorofila, siendo en la última donde se presentan los valores más altos. Esto podría estar relacionado con las diferencias en las precipitaciones de los dos estados: mientras que en B.C.S. se presenta una

precipitación media anual de 176.2 mm, en Sinaloa la precipitación media anual es más de cuatro veces mayor (770 mm; Anónimo, Instituto Nacional de Ecología), y con el hecho de que Sinaloa es el estado que presenta la mayor cobertura de suelo sembrado en el país (SIAP, 2011). Esto implicaría un mayor transporte de algunos de los elementos necesarios (p. ej. Fósforo), tanto de origen natural como aquellos fertilizantes no aprovechados en las actividades de siembra, los cuales son vitales para el crecimiento de las microalgas (Tyrell, 1999), en la zona de Mazatlán con respecto a B.C.S.

Todas las variables ambientales presentaron una correlación estadísticamente significativa con las tasas de captura; mientras que la TSM y la ASM presentan un desfase mínimo (1 mes) o nulo, la CCL y la RV presentan un desfase estacional marcado (4 -10 meses), lo cual podría interpretarse como una relación directa entre la TSM y ASM con las tasas de captura, e inversa entre la CCL y la RV con la misma variable pesquera. Estos resultados coinciden en parte con lo reportado por Su *et al.* (2008), quienes, analizando datos de capturas de marlin azul obtenidos de la flota palangrera japonesa que opera en todo el Océano Pacífico, reportan una máximas densidades de marlin bajo condiciones de temperaturas altas (> 25 °C), anomalías del nivel tanto bajas (<-50 mm) como altas (>50 mm), valores bajos de CCL (0.01 – 0.2 mg·m⁻³), y valores moderados de profundidad de capa de mezcla (50 – 70 m). Esta última variable se comporta en función del stress del viento (Pollard *et al.*, 1972), por lo que valores moderados de rapidez del viento podrían resultar en una capa de mezcla de grosor moderado, por lo que los resultados presentados para esta variable son comparables a (y coinciden con) los resultados de rapidez del viento presentados en el presente estudio.

La TSM y las tasas de captura no presentaron un desfase en ninguna de las dos localidades de B.C.S., pero sí en Mazatlán, donde las capturas máximas se presentan un mes después de las temperaturas máximas. Esto podría deberse a que en esta localidad el marlin azul presentó sus tasas de captura máximas durante el otoño (octubre – diciembre), mientras que la temperatura presenta la estacionalidad típica de la región, en donde las TSM máximas ocurren uno o dos

meses antes (agosto – septiembre). Esta estación del año coincide con la estación en la que se presentan los vientos más débiles; este debilitamiento se debe a la disminución del gradiente de presión atmosférica que existe entre latitudes altas y latitudes ecuatoriales, la cual a su vez se debe a la inclinación del eje terrestre (Martínez-Álvarez, 2006). Una vez que se debilita este gradiente de presión, la magnitud de los vientos que soplan del norte también lo hace, lo que permite que las masas de agua de origen ecuatorial, caracterizadas por alta temperatura y baja salinidad (Torres-Orozco, 1993) viajen al norte y penetren en el Golfo de California. Castro *et al.* (2000) y Torres *et al.* (2004) sugieren que la circulación en la entrada del golfo es de manera ciclónica: el agua entra por las costas de Sinaloa, y sale por las costas de B.C.S. Esto podría ser la causa de que las capturas máximas se presenten al final del año en la localidad de Mazatlán, ya que el agua cálida que entra al golfo por esta región presentaría las condiciones ambientales preferidas por la especie, ya que a final y principios del año en la costa de B.C.S. la temperatura del agua disminuye debido a que en esta época se presenta el mayor intercambio de calor entre el golfo y el Pacífico (Castro *et al.*, 2000).

La CCL presentó una correlación significativa con las tasas de captura con un desfase cuatro, seis y seis meses en Cabo San Lucas, Buenavista y Mazatlán, respectivamente. Esto podría interpretarse de la siguiente manera: las máximas capturas de marlin azul se presentan de 4 a 6 meses después de los valores máximos de CCL, lo que a su vez se podría interpretar como una relación inversa entre ambas variables, lo cual ha sido reportado por otros autores (Su *et al.*, 2006). Lo anterior coincide con la variación estacional de la CCL encontrada en cada una de las localidades de estudio. Mientras que tanto en CSL como en BV las tasas de captura máximas se dan en verano, la CCL en CSL es máxima durante los meses de primavera (~ 4 meses antes de verano), mientras que la concentración máxima de este pigmento se presenta durante los meses de invierno en la localidad de BV (~ 6 meses antes de verano). Por otra parte, en MZT se presentaron las concentraciones máximas de CCL durante primavera, cerca de 6 meses antes de otoño, estación en la que se presentaron las mayores tasas de captura en la localidad. Esta estacionalidad marcada encontrada en la zona de estudio se puede explicar mediante el régimen de surgencias inducidas por el viento, ya que el viento

tiene la capacidad de mezclar la columna de agua (Sabatés, 2007). Estos eventos de surgencia ocurren durante invierno y primavera, y es especialmente notoria en las costas de Sonora y Sinaloa (Álvarez-Borrego *et al.*, 1978, Badán-Dagón *et al.*, 1985), eventos oceanográficos cuya intensidad se ve afectada por la magnitud de los vientos estacionales en distintas épocas del año (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). Una vez que los vientos mezclan la capa de agua, se “activa” la red alimentaria del océano, los productores primarios (fitoplancton) utilizan los nutrientes producto de dicha mezcla para fotosintetizar; estos a su vez son consumidos por el zooplancton, los cuales sirven de alimento a juveniles y larvas de peces. Blackburn (1963) reporta un desfase de 3 meses entre el viento y la cosecha del micronecton en el Golfo de Tehuantepec. Algo similar podría estar ocurriendo en el área de estudio, ya que los desfases encontrados en el presente son mayores a los presentados por Blackburn (1963), por lo que se podría suponer que los 1-3 meses de diferencia se deben al tiempo que le toma a la trama trófica en “madurar”, hasta el nivel trófico de las presas que son consumidas por el marlin azul.

Al respecto, Espinoza-Carreón & Valdez-Holguín (2007) mencionan que en el Golfo de California existen anomalías positivas en la CCL durante la primera mitad del año y negativas durante la segunda, lo cual coincide con los resultados presentados en este trabajo. Esto se puede explicar mediante lo propuesto por Álvarez-Borrego & Lara-Lara (1991), ya que los valores máximos de clorofila no se presentan durante los valores de rapidez del viento máximas, sino una temporada después; por ejemplo, los valores máximos de pigmentos superficiales que se presentan durante invierno podrían no deberse directamente a las altas rapidez del viento que se presentan durante esa época del año, sino a los vientos que soplaron durante el otoño anterior, mientras que los altos valores de pigmentos que se presentan durante primavera podrían ser resultado de la mezcla inducida por los vientos dominantes que se presentan durante invierno.

La rapidez del viento mostró una correlación significativa con las tasas de captura similar a la encontrada para la CCL, en CSL y BV ya que ambas variables ambientales presentaron un desfase con respecto a las capturas de 6 meses. Como se comentó anteriormente, la rapidez del viento y la CCL guardan cierta

correlación entre sí, ya que se esperarían altos valores de CCL después de un evento de vientos intensos, debido a la capacidad que éste tiene para romper la estratificación de la columna de agua (ver página anterior).

Sin embargo, lo anterior no podría aplicarse en Mazatlán, ya que el desfase encontrado entre el viento y las tasas de captura (10 meses) parece tener poco sentido biológico, lo que pone en duda el efecto que la rapidez del viento pudiera tener en las tasas de captura en la localidad de Mazatlán. De hecho, este comportamiento extraño de la relación entre ambas variables fue evidente también en los resultados obtenidos de los modelos estadísticos, ya que la rapidez del viento ocasionó una pérdida de devianza explicada en Mazatlán (ver sección siguiente). Quizá la correlación encontrada se deba a una relación indirecta entre el viento y las capturas, o quizá existan otros factores ajenos al presente análisis que nublen la verdadera correlación entre ambas variables.

Tanto la CCL como la rapidez del viento presentaron variaciones interanuales significativas en las tres localidades de estudio. Esta variabilidad puede deberse a los años anómalos de 1997 a 1999, ya que durante esos años se presentó uno de los eventos El Niño más intensos de la década (1997 – 1998) seguido de un evento La Niña (1998 – 1999). Al parecer el efecto de La Niña estuvo presente en las localidades de B.C.S. hasta el 2001 ya que se observó una tendencia creciente, en MZT se tuvo un máximo en el 2000 y aunque disminuyó en 2001 se mantuvo un valor promedio alto respecto a las otras dos localidades. De acuerdo con Espinoza-Carreón & Valdez-Holguín (2007) durante la fase fría de este período (1998-1999) la tasa fotosintética en el Golfo de California fue relativamente baja, debido posiblemente a la alta dinámica física del sistema, sin embargo durante los años de 2000 y 2001 las condiciones frías prevalecieron, hecho que causó un aumento en la biomasa fitoplanctónica. Lo anterior sugiere que el ecosistema planctónico del golfo tarda en proliferar durante un cambio abrupto entre condiciones El Niño-La Niña, lo que podría ayudar a explicar las diferencias interanuales significativas, ya que en el período de estudio se presentaron algunos de estos fenómenos interanuales.

9.3. Modelación de las tasas de captura de marlin azul

Existen varios estudios en los que se ha aplicado de manera factible la modelación utilizada en este trabajo, en donde se maneja algún índice de abundancia relativa (usualmente la CPUE) como variable respuesta, y un grupo de variables ambientales derivadas de sensores remotos como variables predictivas para modelar y predecir capturas utilizando GAMs, tanto para marlin azul como para otras especies similares (p. ej. Zainuddin *et al.*, 2008, Su *et al.*, 2008). Se eligió utilizar este tipo de modelos sobre los lineales generalizados (GLMs), ya que son más eficientes para detectar relaciones no lineales entre la variable respuesta y las covariables (Hastie & Tibshiriani, 1986), siendo este el caso de la mayoría de dichas variables (ver figuras 55, 59 y 63), por lo que la selección del tipo de modelos parece adecuada para el presente análisis.

Uno de los criterios más utilizados para seleccionar entre distintos modelos es el criterio de información de Akaike (AIC), el cual se estima utilizando la verosimilitud calculada durante la construcción del modelo (Wood, 2006, p. 113); sin embargo, en este caso en particular dicho criterio no pudo ser calculado, debido a que se supuso una distribución quasi-Poisson para la variable respuesta, distribución que se basa en una quasi-verosimilitud, dando como resultado una imposibilidad de calcular el AIC de los modelos (Wood, 2012, Com. Pers.). La ecuación para estimar el AIC también incluye un parámetro que “penaliza” el criterio en base al número de parámetros utilizados en el modelo (Wood, 2006, p. 113), tomándose como un indicador útil para no caer en la sobreparametrización, situación que ha sido reportado para otros análisis similares (p.ej. Walsh *et al.*, 2006). Debido a esto, el AIC parece ser más útil cuando se trata de seleccionar entre modelos ajustados a un mismo set de datos (por ejemplo, utilizando una distribución distinta, o un diferente número de nudos en las funciones suavizantes) que para seleccionar modelos ajustados a distintos sets (por ejemplo, para distintas localidades, como en el caso del presente estudio). Un criterio alternativo para comparar el ajuste de uno o de distintos modelos es el criterio de devianza explicada, el cual puede ser interpretado de manera similar a la suma de cuadrados de los residuales (Wood, 2006). En este trabajo se utilizó este criterio, por lo que la validación de los modelos en este estudio se puede considerar exitosa, incluso sin la estimación del AIC.

El hecho de que el marlin azul presente preferencias por ambientes tropicales se manifestó claramente en los resultados de los modelos estadísticos, ya que la TSM fue la variable que más contribuyó a explicar la variabilidad de las tasas de captura en las tres localidades.

Por otro lado, la estacionalidad marcada de la presencia del recurso en el área de estudio también fue confirmada por el hecho de que la variable temporal mes también aportara significativamente a la explicación de la variabilidad de las tasas de captura. Estos resultados coinciden con lo reportado por otros autores (Ortega-García *et al.*, 2006, Worm *et al.*, 2003, Su *et al.*, 2011), quienes han mencionado que la TSM puede considerarse como la variable principal para predecir la abundancia de la especie, y que el marlin azul presenta una estacionalidad marcada en distintas escalas espacio-temporales.

Particularmente para BV el viento presentó una contribución mínima, pero sin embargo, estadísticamente significativa. Quizá se podría llegar a una explicación de esto, si se incluyera la dirección del viento, la cual no fue utilizada en este trabajo. Estudios del monzón del Golfo de California demuestran que el viento sopla a lo largo del golfo hacia el SE durante invierno y primavera, y que se invierte durante los meses de verano (sopla a lo largo del Golfo hacia el NW), para después volver a las condiciones de vientos del norte en otoño (Badán-Dangon *et al.*, 1985, Marinone *et al.*, 2004). Esto causaría que, debido al transporte de Ekman, se creara una zona de surgencias en la región de Los Cabos-Buenavista durante verano, y que el resto del año las surgencias se presentaran en la costa oriental del golfo (costas de Sonora y Sinaloa). Se esperaría entonces que durante los meses de invierno, primavera y otoño el agua cálida desplazada de las costas de Sinaloa se acumulara en la costa occidental del golfo, lo cual se vería reflejado en un aumento en la temperatura superficial y en la altura superficial del mar en la región de Buenavista (localidad donde la variable viento contribuyó significativamente a la variabilidad de las tasas de captura); Sin embargo, sólo los eventos de surgencia han sido propiamente identificados mediante sensores remotos (Lavín *et al.*, 1997).

Sin embargo, en lo que a la altura superficial del mar se refiere, en la región de Buenavista es donde se presentan los valores mínimos promedio, mientras que la TSM es significativamente menor aquí que en Mazatlán. Al respecto, Badán-

Dangon *et al.* (1985) mencionan que el agua producida por surgencia costera en cualquiera de las costas del Golfo de California puede ser transportada hacia la costa opuesta mediante transporte de Ekman. Esto podría ser la causa de que los valores de altura superficial del mar sean menores en Buenavista que en Mazatlán, ya que las surgencias costeras en la frontera oriental del golfo son más intensas (Badán-Dangon *et al.*, 1985). Debido a esto, en esta frontera oriental del golfo existiría un mayor transporte vertical de agua fría (y por lo tanto, con un volumen menor) bombeada de capas subsuperficiales, la cual sería transportada hacia la región de Buenavista. Sin embargo, estas condiciones de aguas relativamente frías y alturas superficiales del mar bajas (condiciones no ideales para la presencia del marlin azul) serían producto de los vientos superficiales del área de Mazatlán, por lo que el hecho de que sólo en Buenavista el viento haya aportado significativamente a explicar la variabilidad de las tasas de captura permanece incierto.

En contraste con otros trabajos en los que se utilizó una aproximación de modelación similar para la misma especie y para otras especies de picudos, la devianza explicada de los modelos aplicados en el presente estudio fue similar o mayor (25 – 50 % Su *et al.*, 2008 y ~ 40 % Su *et al.*, 2011 para marlin azul; ~77 % Abecassis *et al.*, 2012 para el pez espada (*Xiphias gladius*)), lo que sugiere que el ajuste de los GAMs aplicados en este estudio es bueno, especialmente en CSL y BV.. Este porcentaje fue notablemente menor en Mazatlán, pero aún dentro del rango del porcentaje de devianza explicada de los trabajos recién citados. Esto quizá se deba a que en dicha localidad se encontraron las menores correlaciones de las TC con las variables ambientales. Aún con esta situación, la validación de los tres modelos sugiere que el ajuste es bueno, ya que en los tres casos se encontró una relación satisfactoria entre los valores observados y aquellos estimados por el modelo, encontrándose que la pendiente de la recta producto del análisis de regresión lineal es distinta a cero (Daniel, 2005. p. 424), por lo que se puede inferir que los modelos construidos son confiables y pueden ser utilizados para hacer predicciones de las tasas de captura de marlin azul.

10. CONCLUSIONES

- Se detectaron diferencias significativas en las tasas de captura promedio de marlin azul entre las tres localidades analizadas. Las tasas de captura promedio son mayores en Cabo San Lucas y Buenavista, B.C.S. y menores en Mazatlán, Sin
- La variabilidad interanual fue significativa solo en Mazatlán Sin., debido a un incremento significativo de las tasas de captura que se registró en esta localidad durante el periodo 1998-2001.
- El marlin azul presentó una estacionalidad muy marcada, en los meses de verano se le encuentra con más frecuencia en la región de B.C.S., y en los meses de otoño en Mazatlán, Sin. lo que nos lleva a sugerir un movimiento migratorio de Cabo San Lucas y Buenavista B.C.S. a las costas de Sinaloa.
- Se encontraron diferencias interanuales significativas en la concentración de clorofila en Cabo San Lucas, y Buenavista B.C.S. con respecto a Mazatlán, Sin., registrándose en el 2002 los valores promedio mayores (0.47 y $0.51 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente) en las dos primeras localidades y en 2001 en MZT ($2.13 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), aunque en promedio esta localidad presentó valores superiores en todo el periodo de estudio ($1.14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). La altura superficial del mar presentó diferencias interanuales significativas sólo en Cabo San Lucas, en donde los años de 1997 y 1998 fueron anómalamente mayores al resto de los años del período de estudio, lo que sugiere que esta región es más susceptible a fenómenos interanuales como El Niño o La Niña, quizá porque se encuentra en una zona de transición entre el Golfo de California y el Océano Pacífico.
- En las tres localidades, la rapidez del viento máxima se presenta durante otoño e invierno (en ese orden), y la rapidez mínima se presentan durante verano. La estacionalidad es más marcada en Buenavista y Mazatlán que en Cabo San Lucas, ya que en las dos localidades anteriores las estaciones de verano – primavera y otoño –

invierno fueron similares entre sí, mientras que en la última región sólo invierno y otoño fueron similares.

- Todas las variables oceanográficas presentaron una correlación estadísticamente significativa con las tasas de captura. La temperatura superficial del mar y la altura superficial del mar presentan un desfase mínimo o nulo (máx. 1 mes), mientras que la concentración de Clorofila y la rapidez del viento presentan un desfase estacional (4 – 8 meses) con respecto a las tasas de captura.
- La mayoría de las variables oceanográficas presentaron una relación no lineal con las tasas de captura, por lo que la modelación utilizando los modelos aditivos generalizados parece correcta.
- Tanto los criterios de selección (% de devianza explicada, pruebas chi-cuadrada, gráficos exploratorios, etc.) como el proceso de validación de los modelos construidos para las tres localidades de estudio sugieren que dichos modelos se pueden usar con confianza para predecir las tasas de captura de marlin azul, dado un set de variables oceanográficas.

11. RECOMENDACIONES

Existen pocos trabajos sobre la relación que guarda la variabilidad en las capturas de la especie con las variaciones en el medio ambiente, especialmente hablando del caso del Océano Pacífico. Lo que resalta de la búsqueda bibliográfica es la escasez de trabajos en el Pacífico Oriental Tropical. No se encontraron trabajos sobre la especie en localidades de centro y Sudamérica, aún en aquellas regiones que son consideradas importantes en lo que a pesca deportiva se refiere (por ejemplo, Costa Rica). Trabajos de los distintos aspectos de dinámica poblacional y relación recurso-ambiente, tanto en esta región como en el Pacífico Central Mexicano, ayudarían a entender mejor los movimientos de esta especie en el Océano Pacífico. La escasez de conocimiento no se limita a la especie de estudio en sí, sino también a las presas de las que la especie se alimenta. Al no existir una pesquería dirigida hacia las dos principales presas del marlin azul (*D. gigas* y *Auxis* spp.) en el área de estudio, los estudios sobre dichas presas son contados. Estudios de marcado y recaptura del calamar gigante en la entrada del Golfo de California, por ejemplo, ayudarían a comprender mejor la variación de este recurso incluso en la zona donde sí se pesca comercialmente (zona central del Golfo de California), ya que las capturas de esta especie varían considerablemente en el tiempo, y se presume que esta especie migra hacia afuera del golfo.

Como recomendación final, se exhorta a aquellos científicos pesqueros cuyas investigaciones se realizan en el Pacífico Oriental Tropical a unir esfuerzos, y recopilar la mayor información posible sobre el marlin azul, para mejorar nuestro conocimiento y entender mejor a la especie, y poder proveer a los tomadores de decisiones de la mejor información científica posible.

12. BIBLIOGRAFIA

- Abecassis, M., H. Dewar, D. Hawm, & J. Polovina (2012). Modelling swordfish daytime vertical habitat in the North Pacific Ocean from pop up archival tags. *Mar. Ecol-Prog. Ser.* Vol. 452, 219 – 236 p.
- Abitia-Cárdenas, L.A., F. Galvan-Magaña, F.J. Gutiérrez-Sánchez, J. Rodríguez-Romero, B. Aguilar-Palomino & A. Moehl-Hiltz (1999). Diet of blue marlin *Makaira mazara* off the coast of Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. *Fish. Res.*, Vol. 44, Issue, Pages 95-100.
- Abitia-Cárdenas, L., Arizmendi-Rodríguez, D., Gudiño-González, N., & Galván-Magaña, F., (2010). Feeding of blue marlin *Makaira nigricans* off Mazatlán, Sinaloa, México. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 38(2): 281-285 p.
- Alvarez-Borrego S., J.A. Rivera, G. Gaxiola-Castro, M.J. Acosta-Ruiz & R.A. Schwartzlose (1978). Nutrientes en el Golfo de California. *Cienc. Mar.* 6: 13-22.
- Alvarez-Borrego S. & J.R. Lara-Lara (1991). The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: Dauphin JP & Simoneit B (eds) *The Gulf and Peninsula Province of the Californias*. Am. Assoc. Petr. Geol. B. 47, Tulsa: 555–567.
- Badan-Dangon A., D.J. Koblinsky & T. Baumgartner (1985). Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanol. Acta.* 8: 13–22.
- Blackburn, M., (1963). Distribution and abundance of tuna related to wind and ocean conditions in the Gulf of Tehuantepec, México. *FAO. Fisheries Technical Report.* 6(3):1,557-1,583 p.
- Block ,B.A., D.T. Booth, & F.G. Carey (1992). Depth and temperature of blue marlin *Makaira nigricans*, observed by acoustic telemetry. *Mar. Biol.* 114, 175 – 183 p.
- Bluman, A., (2011). *Elementary Statistics. A step by step approach.* McGraw-Hill. 896 pp.
- Castro, R., A.S. Mascarenhas, R. Durazo & C.A. Collins (2000). Variación Estacional de la Temperatura y Salinidad en la Entrada del Golfo de California, México. *Cienc. Mar.* 26(4): 561-583 pp.
- Cepeda-Morales, J., G. Gaxiola-Castro, E. Beier, & V.M. Godínez (2013). The mechanisms involved in defining the northern boundary of the oxygen minimum zone in the eastern tropical Pacific Ocean off Mexico. *Deep-Sea Res. Pt I* 76. 1-12 p.
- CIAT, (1985). Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1984. *Inter- Amer. Trop. Tuna Comm.*, La Jolla, CA., 270 p. (En inglés y español).

-
- Collete, B.B., J.R. Macdowell, & J.E. Graves (2006). *Phylogeny of Recent Billfishes (Xiphoidei)*. B. Mar. Sci., 79(3): 455–468.
- Daniel, W.W. (2005). *Biostatistics. A foundation for Analysis in the Health Sciences*. John Wiley & Sons. 781 p.
- Ditton, R.B., S.R. Grimes, & L.D. Finkelstein (1996). A social and economic study of the recreational billfish fishery in the southern Baja area of Mexico. Report prepared for the International Billfish Research and Conservation Foundation, Ft. Lauderdale, FL (with Spanish translation), 50 p.
- Dutton, D.J. (2010). *Habitat utilization and Dive Characterization of Blue Marlin (Makaira nigricans) and White Marlin (Kajikia albida) in the Western Atlantic Ocean*. M. Sc. Thesis. Faculty of The School of Marine Sciences, College of William and Mary in Virginia. 100 pp.
- Erhardt, N., A. Solis, J. Pierre, J. Ortiz, P. Ulloa, G. Gonzalez, & F. Garcia (1986). *Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante Dosidicus gigas en el Golfo de California, durante 1980*. Ciencia Pesquera. INP México, vol. 5, pp. 63±76.
- Espinoza-Carreón T.L., & J.E. Valdez-Holguín (2007). *Variabilidad interanual de Clorofila en el Golfo de California*. Ecología Aplicada, 6(1,2). 83 – 92 p.
- Fox, W., (2006). En *Billfish Newsletter*. The Southwest Fisheries Science Center, NOAA. 14 pp.
- Gilly, W.F., U. Markaida, C.H. Baxter, B.A. Block, A. Boustany, L. Zeidberg, K. Reisenbichler, B. Robinson, G. Bazzino & C. Salinas (2006). *Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid Dosidicus gigas revealed by electronic tagging*. Mar. Ecol-Prog. Ser., Vol. 324: 1-17 p.
- Godínez, V.M., E. Beier, M.F. Lavín, & J.A. Kurczyn (2010). *Circulation at the entrance of the Gulf of California from satellite altimeter and hydrographic data*. J. Geophys. Res. Vol. 115, C04007.
- González-Armas, R., A. Klett-Trauslen & A. Hernández-Herrera (2006). *Evidence of billfish reproduction in the southern Gulf of California, Mexico*. B. Mar. Sci., 79(3): 705 – 117.
- Goodyear, C.P., J. Luo, E.D. Prince, & J.E. Serafy (2006). *Temperature-depth habitat utilization of Blue Marlin monitored with PSAT tags in the context of simulation modeling of pelagic longline CPUE*. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 59(1): 224-237
- Goodyear, C.P., J. Luo, E.D. Prince, J.P. Hoolihan, D. Snodgrass, E.S. Orbensen, & J.E. Serafy (2008). *Vertical habitat use of Atlantic blue marlin Makaira nigricans: interaction with pelagic longline gear*. Mar. Ecol- Prog. Ser., 365: 233 - 245.

-
- Graves, J.E. & J.R. McDowell (2001). A Genetic perspective on the Stock structures of Blue Marlin and White Marlin in the Atlantic Ocean. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 53: 180-187.
- Gutiérrez, O.Q., S.G. Marinone & A. Parés-Sierra (2004). Lagrangian Surface Circulation in the Gulf of California from a 3D Numerical Model. Deep-Sea Res. Pt. II 51:659-672.
- Hastie, T., & R. Tibshiriani (1986). Generalized Additive Models. Stat. Sci., Vol. 1, No. 3, 297 – 318 p.
- Hill, K.T., G.M. Cailliet, & R.L. Radtke (1989). A Comparative Analysis in Growth Zones in Four Calcified Structures of Pacific Blue Marlin, *Makaira nigricans*. Fish. B. - NOAA. 87: 829 – 843.
- Hinton, M.G. (2008). Status of Blue Marlin in the Pacific Ocean. IATTC Stock Assess. Rep. 5. 284-319 pp.
- Holland., K., R. Brill., & K.C. Chang (1990). Horizontal and Vertical Movements of Pacific Blue Marlin Captured and Released Using Sport fishing Gear. Fish. B. - NOAA. 88. 397-402.
- Hooper, C. N. (1990). Patterns of blue marlin reproduction in Hawaiian waters. Pages 29–39 in R. H. Stroud, ed. Planning the Future of Billfishes: Research and Management in the 90s and Beyond. Proc. 2nd Int. Billfish Symp. Kailua-Kona, Hawaii, August 1–5, 1988. Part 2: Research and Management in the 90s and Beyond, National Coalition for Marine Conservation Inc. Savannah.
- Hsu, C.C. (2001). Catch, fishing effort, and catch per unit effort on Taiwanese longline fishery for blue marlin and white marlin in the Atlantic. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 53: 307 – 317 pp.
- Instituto Nacional de Ecología. Cambio Climático en México, información por estados y sector. En línea, de http://www2.ine.gob.mx/climatico/edo_sector/estados/estados.html.
- Jakes-Cota, U. (2008). Edad y Crecimiento del Marlin Azul *Makaira nigricans*, Desembarcado en Cabo San Lucas, B.C.S., México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Tesis de Maestría. 90 pp.
- Joseph, J., W. Klawe, & P. Murphy (1988). Tuna and Billfish. Fish Without a Country. Inter-American Tropical Tuna Commission. La Jolla, California. 69 pp.
- Kahru, M. 2010. Windows Image Manager (WIM): Image Display and Analysis Program. <http://www.wimsoft.com>.
- Kleiber, P., M.G. Hinton & Y. Uozumi (2003) Stock assessment of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the Pacific using MUNTIFAN-CL. Mar. Freshwater Res. 54:349–360.

-
- Klett-Trauslen, A., D. G. Ponce & S. G. Ortega. 1996. Pesquería deportivo-recreativa. En: Casas V. M. y Ponce D (Eds.). 1996. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur, México. 389-418.
- Kume, S., & J. Joseph. 1969. Size composition of billfish caught by the Japanese longline fishery in the Pacific Ocean east of 130°W. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab. 2:115–161.
- Kurczyn, J.A., E. Beier, M.F. Lavín & A. Chaigneau (2012). Meso-scale eddies in the northeastern Pacific tropical-subtropical transition zone: Statistical characterization from satellite altimetry. J. Geophys. Res. Vol. 117, c10021.
- Lavín, M. F., E. Beier, and A. Badan, (1997). Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual. *In* Contribuciones a la oceanografía física de México, M. F. Lavín, ed. México: Monografía No. 3 Unión Geofísica Mexicana, pp. 139-169.
- Lavín, M.F., E. Palacios-Hernández & C. Cabrera (2003). Sea surface temperature anomalies in the Gulf of California. Geofísica internacional, Vol. 42, Num. 3, 363 – 375 pp.
- Lavín, M.F., R. Castro, E. Beier, V.M. Godínez, A. Amador & P. Guest (2009). SSH, Thermohaline Structure, and Circulation in the Southern Gulf of California in June 2004 during the North American Monsoon Experiment. J. Geophys. Res. Vol. 114, C02025.
- León-Chávez, C.A., L. Sánchez-Velásco, E. Beier, M.F. Lavín & V.M. Godínez (2009). Larval fish assemblages and circulation in the Eastern Tropical Pacific in autumn and Winter. J. Plankton Res. Vol. 32, No. 4. 397 – 410 p.
- 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*, Bonaterre, 1788) en el Océano Pacífico Oriental. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Tesis de Maestría. 91 p.
- Lynn R.J., T. Baumgartner, J. García, C.A. Collins, T.L. Hayward, K.D. Hyrenbach, A.W. Mantyla, T. Murphree, A. Shankle, F.B. Schwing, K.M. Sakuma & M.J. Tegner., (1998). The state of the California Current, 1997-1998: transition to El Niño conditions. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports 39: 25-49.
- Marinone, S.G., A. Parés-Sierra, R. Castro & A. Mascarenhas, A., (2004). Correction to “Temporal and Spatial variation of the surface winds in the Gulf of California”. Geophys. Res. Lett., Vol. 31, L10305
- Markaida, U. & O. Sosa-Nishizaki (2001). Reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the gulf of California, 1995-1997. Fish. Res., 54: 63-82.

-
- Markaida, U. & O. Sosa-Nishizaki (2003). Food and feeding habits of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico J. Mar. Biol. Ass. U.K., 83: 507- 522.
- Markaida, U., C. Quiñónez-Velázquez, & O. Sosa-Nishizaki (2004). Age, growth and maturation of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. Fish. Res. 66, 31 – 47 p.
- Martinez-Álvarez, G.E. (2006). Caracterización de las zonas de interés forestal. Características físicas: clima y suelo. La Salada, Centro Nacional Agropecuario. 62 pp.
- MathWorks, Inc. (2009). MATLAB, The Language of Technical Computing.
- Matsumoto, M.W., & T. K. Kazama (1974). Occurrence of Young billfishes in the central Pacific ocean. FROM Shomura. R. S. and F. Williams (editors). Proceedings of the International Billfish Symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972 Part 2. Review and contributed papers. NOAA Technical Report NMFS SSRF-675, 1974.
- McPhaden, M.J., (1999). Genesis and Evolution of the 1997 – 1998 El Niño. Science 283, 950.
- McPhaden, M.J., (2004). Evolution of the 2002 – 2003 El Niño. B. Am. Meteorol. Soc., 85. 677 – 695 p.
- 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.
- Norton, J. G., & D. R. McLain. (1994). Diagnostic patterns of seasonal and interannual temperature variation off the west coast of the United States: local and remote large-scale atmospheric forcing. J. Geophys. Res. 99:16,019-16,029.
- Norton, J.G. (1999). Apparent habitat extension of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in response to climate transients in the California Current. Sci. Mar. , 63 (3-4): 239 - 260.
- Olson, R.J.,& C.H. Boggs (1986). Apex predation by yellowfin tuna (*Thunnus albacares*); independent estimates from gastric evaluation and stomach contents, bionergetics, and cesium concentrations. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43, 1760±1775.
- Ortega-García, S. & R. Rodríguez-Sánchez., (2008). El efecto del ENOS 1997-1998 en la distribución del atún aleta amarilla (*Bonarrere*, 1788) p. 67-110. In: Lopez-Martinez J,(ed). La variabilidad ambiental y las pesquerías de México.

Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. México. 200p. ISBN:978-607-7791-01-0

- Ortega-García, S., A. Klett-Trauslen., & R. Rodríguez-Sánchez. (2006). Some Biological Aspects of Blue Marlin (*Makaira nigricans*) in the Recreational Fishery at Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. *B. Mar. Sci.*, 79(3). 739-746.
- Percy, W.G., (2002). Marine nekton off Oregon and the 1997 – 1998 El Niño. *Prog. Oceanogr.* 54, 399 - 403 p.
- Pierce, W., (2000). So what is el niño, anyway? A non-technical description. Experimental Climate Prediction Center. Scripps Institute of Oceanography. En línea, de <http://meteora.ucsd.edu/~pierce/elniño/whatis.html>.
- Pollard, R.T., P.B. Rhines & R.O. Thompson (1972). The deepening of the wind mixed layer. *Geoph. F. Dyn.*, Vol. 4, Issue 1. 381 – 404 p.
- R Core Team (2012). R: a lenguaje and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. ISBN 3-9000-51-07-0, URL <http://R-project.org/>.
- Rouyer, T., J. Fromentin & N.C. Stenseth (2010). Environmental noise affects the fluctuations of Atlantic large pelagics. *Prog. Oceanogr.* Vol. 86(1-2), 267 – 275 p.
- Sabatés, A., (2004). Diel vertical distribution of fish larvae during the winter-mixing period in the Northwestern Mediterranean. *ICES J. Mar. Sci.* 61, 1243 – 1252 p.
- Sakagawa, G.T. (1987). Effects of Tropical Tuna Fisheries on Non-target Species. NOAA-TM-NMFS-SWFC-69. 30 pp.
- Santana-Hernández, H. (2007). Estimación de las tasas de captura incidental de las flotas tiburonera del Pacífico mexicano. Dictamen técnico. Instituto Nacional de Pesca. 18 pp.
- Seki, M.P., R. Lumpkin, & P. Flament (2002). Hawaii Cyclonic Eddies and Blue Marlin Catches: The Case Study of the 1995 Hawaiian International Billfish Tournament. *J. Oceanogr.*, Vol. 58: 739 - 745 pp.
- SIAP (2011). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola por estado. (en línea, de http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351)
- Shimose, T., M. Fujita, K. Yokawa, H. Saito & K. Tachihara (2009). Reproductive biology of blue marlin *Makaira nigricans* around Yonaguni Island, southwestern Japan. *Fisheries Sci.* 75: 109 – 119.

-
- Skillman, R.H., & M.Y.Y. Yong (1974). Length-Weight Relationship for Six Species of Billfishes in the central Pacific Ocean, p. 126-137. In: Proceedings of the International Billfish symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August, 1972. Part 2, Review and Contributed papers. (R.S. Shomura, and Williams F., eds.). NOAA Tech. Rept., NMFS-SSRF-675. 335 pp.
- Sosa-Nizhisaki, O. (1998). Revisión Histórica del Manejo de los Picudos en el Pacífico Mexicano. Cienc. Mar. Vol. 24, Núm. 001. 95-111 pp.
- Southwick, R., R. Nelson, & J.A. Arean-Martínez (2008). The Economic Contribution of Angles to the Los Cabos Economy. Report prepared for the International Billfish Research and Conservation Foundation, Ft. Lauderdale, FL. 121 p.
- Squire Jr., J.L., (1983). Warm Water and Southern California Recreational Fishing: A Brief Review and Prospects for 1983. Mar. Fish. Rev. 45(4 – 6), 27 – 34 p.
- Su, N.J., C.L. Su, A.E. Punt, & S.Z. Yeh (2008). Environmental and spatial effects on the distribution of blue marlin (*Makaira nigricans*) as inferred from data for longline fisheries in the Pacific Ocean. Fish Oceanogr. 17: 6, 432 - 445.
- Su, N.J., C.L. Su, A.E. Punt, S.Z. Yeh & DiNardo, G., (2011). Modeling the impacts of environmental variation on the distribution of blue marlin, (*Makaira nigricans*), in the Pacific Ocean. ICES J. Mar. Sci. 68(6), 1072 – 1080.
- Sun, C., Y. Chang, C. Tszeng, S. Yeh & N. Su (2009). Reproductive biology of Blue Marlin (*Makaira nigricans*) in the Western Pacific Ocean. Fish. B. - NOAA 107: 420-432
- Torres, C.R., A.S. Mascarenhas Jr. & J.E. Castillo (2004). Three-dimensional Stratified Flow over Alarcón Seamount, Gulf of California entrance. Deep -Sea Res. Pt. II 51: 647:657.
- Torres-Orozco E. (1993). Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. División de Oceanología. Departamento de Oceanografía Física. 92 pp.
- Torres-Orozco, E., A. Muhlia-Melo, A. Trasviña, & S. Ortega-García (2006) Variation in yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) catches related to El Niño-Southern Oscillation events at the entrance of the Gulf of California. Fish. B.- NOAA 104: 197 – 203.
- Tyrell, T., (1999). The relative influences of nitrogen and phosphorus on oceanic primary production. Nature, Vol. 400, 525 – 531 pp.
- Walsh, W.A., E.A. Howell, K.A. Bigelow & M.L. McCracken (2006). Analyses of Observed Longline Catches of Blue Marlin *Makaira nigricans*, Using Generalized Additive Models With Operational and Environmental Predictors. B. Mar. Sci., 79(3): 607–622 p.

-
- Wood, S., (2006). Generalized Additive Models. An Intoduction with R. Chapman & Hall/CRC. 392 pp.
- Wood, S. (2012). mgcv: GAMs with GCV/AIC/REML smoothness estimations and GAMMs by PQL.
- Worm, B., H.K Lotze & R.A. Myers (2003). Predator diversity hotspots in the blue ocean. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 100, No. 17. 9884 – 9888 p.
- Zainuddin, M., K. Saitoh & S. Saitoh (2008). Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data. Fish. Oceanogr. 17:2, 61–73 p.
- Zuñiga-Flores, M.S., (2004). Variación estacional e interanual de las tasas de captura de dorado (*Coryphaena hippurus*) en Cabo San Lucas, B.C.S., México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Tesis de Maestría. 58 p.