



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**EFFECTO DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL EN
LA DISTRIBUCIÓN DE LAS CAPTURAS
INCIDENTALES DE PELÁGICOS MAYORES EN
EL OCÉANO PACIFICO ORIENTAL**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

RAUL OCTAVIO MARTINEZ RINCON

LA PAZ, B.C.S., NOVIEMBRE DE 2012



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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 14 del mes Noviembre del año 2012
el (la) que suscribe MC. RAÚL OCTAVIO MARTÍNEZ RINCÓN alumno(a) del
Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
con número de registro A090170 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA y DR. JUAN GUILLERMO VACA RODRÍGUEZ
y cede los derechos del trabajo titulado:

“EFECTO DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL EN LA DISTRIBUCIÓN DE LAS CAPTURAS
INCIDENTALES DE PELÁGICOS MAYORES EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL”

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: sortega@ipn.mx - juangvaca@uabc.edu.mx - rmartinezr0604@ipn.mx

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

MC. RAÚL OCTAVIO MARTÍNEZ RINCÓN

nombre y firma

DEDICATORIA

A mi esposa

Taty

Muchas gracias por estar siempre a mi lado, y por brindarme tu apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida.

A mis padres

José Luis y Eva Elvira

Quienes han guiado mis pasos tanto en mi formación personal como académica.
¡Gracias por estar siempre conmigo!

A mis hermanos

Laura Isis, Eva Lucía y Luis Carlos

Por brindarme todo su cariño, y por motivarme a conseguir todas las metas que me he planteado.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial a mis directores de tesis, Dra. Sofía Ortega García y Dr. Juan Guillermo Vaca Rodríguez, por todo el conocimiento y apoyo brindado durante todo el desarrollo del doctorado. Muchas gracias por sus acertadas y muy valiosas asesorías, la gran solidaridad y compromiso con el desarrollo de este trabajo.

A todos los investigadores que aceptaron ser parte de mi comisión revisora. Dr. Rubén Rodríguez Sánchez, Dr. Daniel Lluch Belda, Dr. Felipe Galván Magaña, y Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas. ¡Gracias por compartirme tan valiosos conocimientos científicos!

Al Dr. Héctor Villalobos, por todas las asesorías otorgadas de manera interesadas, que contribuyeron enormemente en el desarrollo de esta tesis. ¡Muchas gracias por brindarme el conocimiento necesario para utilizar R!

Al departamento de servicios escolares, los “doctores” Humberto Ceseña y Cesar Casas, por su cordialidad y gran disposición para ayudarme a realizar todos los trámites administrativos. ¡Gracias por el café y las buenas charlas matutinas!

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI), por las becas otorgadas y otros apoyos financieros, que fueron de gran utilidad para llevar a cabo mis estudios de doctorado.

Contenido

Lista de tablas	IV
Lista de figuras	V
Glosario	VIII
Resumen	XI
Abstract	XII
I. Introducción	1
II. Antecedentes	4
III. Justificación	10
IV. Hipótesis	12
V. Objetivos	13
VI.1. Objetivo general	13
V.2. Objetivos particulares	13
VI. Área de estudio	14
VII. Materiales y métodos	17
VII.1. Bases de datos	17
VII.1.1. Captura incidental	17
VII.1.2. Análisis de tallas de los peces de pico	18
VII.1.3. Variables ambientales	18
VII.1.4 Agrupación de las bases de datos	19
VII.2. Modelación estadística de las capturas incidentales	19
VII.2.1. Modelos aditivos generalizados	22
VII.2.2. Árboles de regresión impulsados	22
VII.3. Evaluación predictiva de los modelos	23
VII.4. Distribución espacial de los peces pelágicos mayores	24

VII.5. Análisis multivariados	24
VII.6. Análisis de las tallas	25
VIII. Resultados	27
VIII.1. Esfuerzo de pesca	27
VIII.1.1. Esfuerzo de pesca por indicador de pesca.....	28
VIII.2. Captura incidental de pelágicos mayores	30
VIII.3. Modelación estadística de las capturas incidentales	32
VIII.3.1. Marlin azul <i>Makaira nigricans</i>	32
VIII.3.2. Marlin negro <i>Makaira indica</i>	35
VIII.3.3. Marlin rayado <i>Kajikia audax</i>	38
VIII.3.4. Pez Vela <i>Istiophorus platypterus</i>	41
VIII.3.5. Dorado <i>Coryphaena</i> spp.	44
VIII.3.6. Wahoo <i>Acanthocybium solandri</i>	47
VIII.3.7. Tiburón sedoso <i>Carcharhinus falciformis</i>	50
VIII.3.8. Tiburón puntas blancas <i>Carcharhinus longimanus</i>	53
VIII.4. Evaluación de los modelos estadísticos	56
VIII.5. Análisis multivariados	58
VIII.6. Análisis de tallas	63
IX. Discusión de resultados	67
IX.1. Esfuerzo de pesca	67
IX.2. Captura incidental de pelágicos mayores	70
IX.3. Modelación de las capturas incidentales	74
IX.4. Evaluación de los modelos estadísticos	81
IX.5. Análisis multivariados	82
IX.6. Análisis de tallas	83

X. Conclusiones	86
Bibliografía	88
Anexos	99
Anexos 1. Base de datos agrupada (editada)	99
Anexos 2. Análisis de correlación de las variables ambientales	100

Lista de tablas

Tabla 1. Referencias bibliográficas de la talla de primera madurez de picudos....	26
Tabla 2. Esfuerzo de pesca por indicador de pesca realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO.....	28
Tabla 3. Captura incidental de pelágicos mayores por indicador de pesca realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO.....	30
Tabla 4. Evaluación del desempeño predictivo de los modelos aditivos generalizados. PCC = porcentaje correctamente clasificados. ADC = área debajo de la curva.....	56
Tabla 5. Evaluación del desempeño predictivo de los arboles de regresión impulsados. PCC = porcentaje correctamente clasificados. ADC = área debajo de la curva.....	57
Tabla 6. Análisis de varianza de las tallas de picudos por año.	64
Tabla 7. Análisis de varianza de las tallas de picudos por mes.....	65

Lista de figuras

Figura 1. Circulación de las masas de agua en el Océano Pacífico Oriental. Tomado de Kessler (2006).....	16
Figura 2. Distribución espacial del esfuerzo de pesca realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO.....	27
Figura 3. Distribución espacial del esfuerzo de pesca por indicador de pesca realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO. A) Lances sobre no asociados, B) Lances sobre delfines, C) Lances sobre objetos flotantes.....	29
Figura 4. Captura incidental y captura por lance de pelágicos mayores realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO.	31
Figura 5. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin azul, explicado por el MAG.....	32
Figura 6. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin azul, explicado por el ARI.	34
Figura 7. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del marlin azul en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).	34
Figura 8. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin negro, explicado por el MAG.....	35
Figura 9. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin negro, explicado por el ARI.	37
Figura 10. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del marlin negro en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).	37
Figura 11. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin rayado, explicado por el MAG.....	38
Figura 12. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin rayado, explicado por el ARI.	40
Figura 13. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del marlin rayado en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).	40

Figura 14. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del pez vela, explicado por el MAG.....	41
Figura 15. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del pez vela, explicado por el ARI.	43
Figura 16. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del pez vela en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).	43
Figura 17. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del dorado, explicado por el MAG.....	44
Figura 18. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del dorado, explicado por el ARI.	46
Figura 19. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del dorado en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).	46
Figura 20. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del wahoo, explicado por el MAG.....	47
Figura 21. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del wahoo, explicado por el ARI.	49
Figura 22. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del wahoo en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).	49
Figura 23. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del tiburón sedoso, explicado por el MAG.....	50
Figura 24. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del tiburón sedoso, explicado por el ARI.....	52
Figura 25. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del tiburón sedoso en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).	52
Figura 26. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del tiburón puntas blancas, explicado por el MAG.....	53
Figura 27. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del tiburón puntas blancas, explicado por el ARI.....	55

Figura 28. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del tiburón puntas blancas en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).....	55
Figura 29. Análisis exploratorio de las predicciones espaciales generadas con el modelo-MAG.	59
Figura 30. Análisis de componentes principales aplicado a la probabilidad de ocurrencia de los pelágicos mayores, obtenidos con el modelo-MAG. PC1 = componente principal 1, PC2 = componente principal 2. Los números en color gris dispersos dentro de la gráfica corresponden al número de cuadrante.....	60
Figura 31. Predicciones espaciales de la probabilidad de ocurrencia del grupo de los picudos (izquierda) y el grupo dorado-wahoo (derecha) en el OPO.	61
Figura 32. Distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de los pelágicos mayores en el OPO.	62
Figura 33. Distribución de frecuencias de las tallas de picudos registrados por la CIAT durante el periodo 1993 - 2008. A) Marlin azul, B) Marlin negro, C) Marlin rayado, D) Pez vela.....	63
Figura 34. Variación interanual de la talla promedio de los picudos registrados por la CIAT durante el periodo 1993 – 2008. Línea roja = media general, bigotes = \pm error estándar. A) Marlin azul, B) Marlin negro, C) Marlin rayado, D) Pez vela...	64
Figura 35. Variación mensual de la talla promedio de los picudos registrados por la CIAT durante el periodo 1993 – 2008. Línea roja = media general, bigotes = \pm error estándar. A) Marlin azul, B) Marlin negro, C) Marlin rayado, D) Pez vela.	65
Figura 36. Distribución espacial de las tallas de picudos registrados por la CIAT durante el periodo 1993-2008. Marlin azul (arriba-izquierda), marlin negro (arriba-derecha), marlin rayado (abajo-izquierda) y pez vela (abajo-derecha).	66

Glosario

ARI o arboles de regresión impulsados. Es un método utilizado para ajustar un conjunto de modelos estadísticos, difiere fundamentalmente de las técnicas convencionales que tienen como objetivo ajustar un modelo parsimonioso único.

ASM. Altura superficial del mar. Es la diferencia entre la altura del mar observada y la altura promedio esperada de una zona en particular.

Concentración de clorofila-a. Es la cantidad de clorofila-a (en miligramos) por metro cúbico de agua.

Captura incidental. Es la captura total de las especies no objetivo.

Cardumen. Banco o grupo numeroso de peces.

CIAT o IATTC. Comisión Interamericana del Atún Tropical. Inter-American Tropical Tuna Commission

Dorado. Grupo de organismos que incluye a las dos especies de dorado (*Coryphaena hippurus* y *Coryphaena equiselis*).

Epipelágico. Organismos que viven dentro de la zona fótica, desde la superficie hasta la termoclina, usualmente entre los 0 y los 200 m.

Esfuerzo Pesquero. Es una medida de la intensidad de pesca, de forma que esté relacionada con la mortalidad que esa pesca ejerce sobre la población objeto de explotación. Se obtiene combinando adecuadamente el número de barcos, el tiempo pasado pescando, el tamaño y el tipo de arte utilizado.

Especie objetivo. Son las especies que están concesionadas a una pesquería para su explotación comercial.

FADs o DAPs. Dispositivos de Agregadores de Peces (DAPs) o FADs por sus siglas en inglés (Fish Aggregating Device).

Indicador de pesca. Elemento que permite detectar a un cardumen de atún. Cada tipo de cardumen está asociado a un indicador: delfines, objetos flotantes o no asociados (cardúmenes libres).

ION. Índice oceánico El Niño.

Isoterma. Línea que une puntos en un mapa de igual o constante temperatura.

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

MAG o modelo aditivo generalizado. Son descritos como una generalización de los modelos lineales generalizados, en el cual parte del predictor lineal es especificado como una suma de funciones.

OPO. Océano Pacífico Oriental. Porción del Océano Pacífico, comprendida en este estudio desde los 35° N a los 15° S, y de los 145° O hasta las costas americanas.

PNAAPD. Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y Protección de Delfines.

Surgencia. Movimiento vertical de agua más profunda rica en nutrientes hacia la superficie.

Termoclina. Estrato o capa de la columna de agua cuya temperatura decrece rápidamente con la profundidad, por lo que el gradiente de temperatura en esta zona es muy fuerte (cambios de 1 °C o más por metro). Separa masas de aguas superficiales menos densas, y masas de aguas más profundas de mayor densidad.

TSM. Temperatura Superficial del Mar.

Resumen

En el presente estudio se analizó la información de las capturas incidentales de los pelágicos mayores registradas por la flota atunera mexicana que operó en el Océano Pacífico Oriental durante el periodo de 1998 – 2007. La información analizada fue recopilada por los observadores del Programa Nacional del Aprovechamiento del Atún y Protección de los Delfines (PNAAPD), que corresponde al 50% de los viajes de pesca que realizó la flota atunera mexicana. Los datos analizados muestran que las capturas incidentales de los pelágicos mayores es mayor cuando se realizan lances sobre objetos flotantes (hasta 163 veces más [caso específico de los dorados]), que cuando se realizan en otros indicadores de pesca (delfines y no asociados). Mediante el uso de los modelos aditivos generalizados (MAG) y los arboles de regresión impulsados (ARI) se evaluaron las relaciones de las capturas incidentales de los pelágicos mayores y las variables ambientales. Las variables ambientales que tienen un mayor efecto en las capturas incidentales de los pelágicos mayores fueron la temperatura superficial del mar, la concentración de *clorofila-a* y el índice oceánico El Niño. La predicción espacial de la probabilidad de la captura incidental de los pelágicos mayores muestra que las especies de pico (pez vela, marlin azul, negro, y rayado) se capturan principalmente en aguas costeras, mientras que el dorado, el wahoo, el tiburón sedoso y el tiburón puntas blancas en aguas oceánicas. Mediante el uso de análisis de agrupación se determinó que existen dos grupos de especies que comparten ambientes muy similares (los picudos y el dorado-wahoo). Se observó que existe una segregación espacial en las tallas de los picudos, observándose una mayor presencia de peces juveniles al norte de los 5° N, mientras que los adultos fueron más frecuentes al sur de los 5° S.

Abstract

In the current study the data of incidental catch of large pelagic species recorded by the Mexican tuna purse-seine fleet that operated in the Eastern Pacific Ocean during the period 1998 – 2007 was analyzed. Analyzed data was recorded by observers of Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y Protección del Delfín (PNAAPD), which corresponds the 50% of total fishing trips conducted by Mexican fleet. Analyzed data shows that incidental catch of large pelagic species is larger when sets were mane on floating objects (up to 163 times [specifically for dolphinfish]), compared with other set types (dolphin and unassociated). Using generalized additive models (GAM) and boosted regression trees (BRT), relationship between environment and incidental catch was evaluated. Sea surface temperature, chlorophyll-a concentration, and oceanic El Niño index were the most influential variables on the incidental catch of large pelagic species. Spatial prediction of the probability of incidental catch shows that billfishes (sailfish, blue, black, and striped marlin) are captured mainly in coastal waters; while dolphinfish, wahoo, silky shark, and white tip shark are captured mainly in oceanic waters. Clustering analysis determined that there are two groups of species that share similar environments (billfishes and dolphinfish-wahoo). It was noted that there is a spatial segregation on the sizes of the bilfishes, whit a greater presence of juvenile north of 5° N, while adults were more frequent south of 5° S.

I. Introducción

En el Océano Pacífico Oriental (OPO) se desarrolla la pesca comercial de atún con red de cerco que es sostenida principalmente por especies de distribución tropical, como el atún aleta amarilla *Thunnus albacares*, el barrilete *Katsuwonus pelamis*, y el patudo *Thunnus obesus* (Gerrodette *et al.*, 2012). La flota cerquera localiza y pesca a los cardúmenes de atún mediante el uso de indicadores de pesca que fueron definidos por los pescadores mediante el conocimiento empírico de la asociación que pueden tener los atunes con otras especies de peces, mamíferos marinos, u objetos inertes. Los tres indicadores de pesca que utiliza la flota cerquera son: A) Cardúmenes **no asociados** o libres, comúnmente llamados “brisa”, que son los cardúmenes de atún que generalmente son detectados mediante los disturbios que ocasionan en la superficie del mar al alimentarse o desplazarse. B) Cardúmenes asociados a **delfines**, que son los cardúmenes de atún que se detectan por el avistamiento de manadas de delfines, principalmente con las siguientes especies: delfín manchado *Stenella attenuata*, delfín tornillo *S. longirostris* o delfín común *Delphinus delphis*. C) Cardúmenes asociados a **objetos flotantes**: en este tipo de lances los cardúmenes se encuentran asociados principalmente a palos o troncos, ballenas muertas, etc., e inclusive a dispositivos diseñados específicamente para agregarlos, conocidos como Dispositivos Agregadores de Peces (DAP).

En la pesca del atún con red de cerco, el término “captura” hace referencia a todos los organismos que son capturados y removidos del océano, e incluyen tanto a las especies que son el objetivo de la pesquería como a las que no lo son (Gerrodette *et al.*, 2012). La captura total que se obtiene en un lance de pesca puede ser o no retenida por la embarcación (dependiendo de su valor comercial), aquella que es devuelta al mar se conoce como captura descartada, mientras que la que es

llevada a puerto se le conoce como captura retenida. El término captura incidental¹ se refiere a la parte de la captura que no es el objetivo de la pesquería, no importando si ésta es retenida o descartada por la embarcación de pesca (Kelleher, 2005). La mayor parte de la captura incidental es descartada, aunque parte de ésta puede ser llevada a puerto. Generalmente, la mayor parte de la captura de las especies objetivo es descargada en puerto, sin embargo parte de esta puede ser descartada, debido a que son animales pequeños o porque no tienen buena calidad.

Actualmente, la reducción de las capturas incidentales que se generan en las principales pesquerías comerciales alrededor del mundo, es un tema de interés que va mas más allá de las necesidades de los pescadores y científicos, involucrando tanto las iniciativas de agencias oficiales nacionales², internacionales³, como de organizaciones civiles⁴, que proponen, entre otros aspectos, medidas de manejo que pudieran ser utilizadas para proporcionar una mayor seguridad alimentaria mundial, y con esto reducir los efectos negativos en los ecosistemas marinos, como lo son la disminución de la biodiversidad, cambios en la estructura de la red trófica, reducción del tamaño poblacional, entre otros efectos (Huang y Liu, 2010). Debido a esto, en los últimos años ha aumentado la implementación de medidas de manejo que permitan la mitigación de las capturas incidentales en las principales pesquerías comerciales. Dentro de los principales métodos de mitigación de las capturas incidentales que se han llevan a cabo, se incluyen la tecnificación de las artes de pesca, cambios en los horarios de pesca y vedas espacio-temporales (Project Global, 2012).

¹ En inglés se utiliza el término bycatch para referirse a la captura no objetivo de la pesquería.

² Por ejemplo, National Marine Fisheries Service. 2011. U.S. National Bycatch Report [W. A. Karp, L. L. Desfosse, S. G. Brooke,Editors]. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-117E, 508 p.

³ Por ejemplo FAO.2005-2012. World inventory of fisheries. Reduction of bycatch and discards. Issues Fact Sheets. Text by John W. Valdemarsen. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 27 May 2005. [Cited 15 November 2012]. <http://www.fao.org/fishery/topic/14832/en>

⁴Por ejemplo, http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/smart_fishing/

Por otro lado, se tiene que dada la importancia del conocimiento de la distribución de las especies para su conservación y manejo, es necesario determinar y comprender las condiciones ambientales que afectan directa o indirectamente en la distribución de las especies. Históricamente, la comunidad científica se ha valido del uso de técnicas estadísticas para entender las relaciones que existen entre las especies y su medio ambiente. Dentro de las técnicas más utilizadas se encuentran los modelos de regresión lineal, mismos que fueron ampliamente utilizados para describir dichas relaciones; sin embargo técnicas estadísticas más recientes y más complejas han demostrado que en la naturaleza las relaciones del tipo lineal raramente se presentan en la naturaleza (Guisan *et al.*, 2002). Es por esto que actualmente las técnicas estadísticas más utilizadas son métodos que exploran relaciones del tipo no lineal, y que además no están limitadas por algún supuesto estadístico, como por ejemplo que los datos tengan distribución “normal” (Gausiana). Un ejemplo de estas nuevas técnicas son los modelos aditivos generalizados (MAG) y los árboles de regresión impulsados (ARI).

En el presente estudio se utilizaron los registros de las capturas incidentales de la flota mexicana que operó en el OPO durante el periodo de 1998 – 2007, para analizar y describir las condiciones ambientales, espaciales y temporales que favorecieron su captura. Mediante el uso de técnicas estadísticas (MAG y ARI) se realizaron las predicciones espaciales de la probabilidad de ocurrencia, para determinar las zonas del OPO en donde pudiera existir la mayor probabilidad de capturar a esas especies. Con la finalidad de que este conocimiento, pueda ser utilizado para mejorar las decisiones de manejo que ayuden a mitigar las capturas incidentales de los peces pelágicos mayores en la pesca del atún con red de cerco que se realiza en el OPO.

II. Antecedentes

En las pesquerías marinas el esfuerzo de pesca generalmente va dirigido hacia una especie en particular o a un conjunto de éstas, a las cuáles se les denomina comúnmente “especie objetivo”. Sin embargo, durante la maniobra de pesca son capturadas de manera fortuita otras especies que no son el objetivo de la pesquería (Caddy y Griffiths, 1996).

El término “captura incidental” ha sido utilizado para identificar las especies no objetivo que son capturadas de manera fortuita por una pesquería ya sea comercial o artesanal. Desafortunadamente, el término de captura incidental ha tomado diferentes connotaciones en los últimos años.

A continuación se enlista las definiciones de captura incidental que se utilizan con mayor frecuencia en las principales pesquerías comerciales:

- La Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) define a la captura incidental como las especies capturadas que son descartadas muertas o que lo más probable es que mueran, y están incluidas tanto las especies objetivo (que son descartadas por ser de tallas no comerciables) como las que no lo son (CIAT, 2010).
- Hall *et al.* (2000), al igual que la CIAT, definen a la captura incidental como la parte de la captura que es descartada al mar, muerta (o con heridas mortales). Sin embargo, mencionan que la captura puede dividirse en tres componentes: a) la porción que se retiene por su valor comercial (captura), b) la porción que se descarta muerta al mar (captura incidental), c) la porción que se libera viva (captura liberada).
- Kelleher (2005) define a la captura incidental como la captura total de especies no objetivo.
- Hall y Mainprize (2005) definen la captura incidental como la mortalidad por pesca que resulta de la captura que no es descargada en puerto.

- Restrepo y Dagorn (2011) indican que la captura incidental en pesquerías tiene tres definiciones principales: a) cualquier especie que es capturado y es devuelta al mar (incluyendo especies objetivo), b) cualquier especie no objetivo que es capturada y llevada al puerto, c) una combinación de las anteriores.

En este trabajo la definición de captura incidental utilizada es la que sugiere Kelleher (2005), debido a que los pelágicos mayores que son capturados por la flota mexicana no son el objetivo de la pesquería de atún con cerco en el OPO.

Actualmente existen varios trabajos que describen la captura incidental de los pelágicos mayores registradas por la flota atunera de cerco en el OPO. Para el caso específico de la captura incidental de especies de picudos, Leyva-García (2007), en un estudio de las capturas incidentales de los picudos registrados por la flota mexicana durante el periodo 1998 – 2004, menciona que las principales especies que son capturados por esta flota son el marlin azul, el marlin negro, el pez vela y el marlin rayado.

Con respecto a las capturas incidentales de los picudos por tipo de indicador de pesca, varios autores han reportado que las mayores capturas de estas especies se presentan en lances realizados sobre objetos flotantes (Bailey *et al.*, 1996; Anónimo, 1999; Leyva-García, 2007; CIAT, 2010). Sin embargo, Gaertner *et al.* (2002), analizando la captura incidental de picudos registrado por la flota internacional que opera en el Océano Atlántico, sugiere que el pez vela se captura con mayor frecuencia en lances realizados a cardúmenes no asociados, en tanto que las otras especies son más frecuentes en lances realizados sobre objetos flotantes, sin embargo es importante señalar que la flota que opera en el Océano Atlántico no realiza lances asociados a delfines, debido a que la interacción atún-delfín no es tan fuerte en este océano como lo es en el OPO.

Ortega-García *et al.* (2006), en un análisis de la captura incidental de picudos registrada por la flota mexicana, menciona que las mayores capturas de picudos se presentaron en la boca del Golfo de California, durante un periodo caracterizado por anomalías negativas en la temperatura superficial del mar (Julio de 1998 a Abril de 2000). Por su parte, Boyce *et al.* (2008), analizando el efecto de la temperatura en los atunes y los picudos, determinan que los picudos tienen una preferencia térmica bien definida; para el caso específico del pez vela, marlin azul, negro y rayado, las temperaturas preferidas se encuentran en el rango de 15 – 25 °C, además mencionan que estas especies habitan principalmente en aguas superficiales por encima de la capa de mezcla, y que las incursiones que realizan en aguas por debajo de la termoclina son raras.

Con respecto a las capturas incidentales de dorado, Solana-Sansores (2001a), en un análisis de las capturas registradas por la flota internacional que operó durante el periodo 1993 – 1997, encontró que más del 70% de los lances de pesca realizados sobre objetos flotantes presentaron captura incidental de esta especie. De manera similar Martínez-Rincón *et al.* (2009), analizando los datos de la flota mexicana que operó durante el periodo 1998 – 2005, encontraron que el 80% de la captura incidental del dorado se registró en los lances realizados en objetos flotantes, además mencionan que en lances realizados sobre cardúmenes no asociados y asociados a delfines, la captura incidental de estos peces es muy baja.

Algunos análisis de la distribución espacial de las capturas incidentales de dorado en el OPO, sugieren que existen dos zonas donde la especie ocurre con mayor frecuencia, la primera ubicada al sur del ecuador (a lo largo de la latitud 10° S) y la segunda al norte del ecuador (a lo largo de la latitud 5° N) (Solana-Sansores, 2001a; Martínez-Rincón *et al.*, 2009). Sin embargo, de acuerdo a Santana-Hernández (2001), en un análisis de las capturas incidentales registradas por la flota palangrera que operó durante el periodo de 1983 – 1996 en el Pacífico mexicano, observó que existen dos zonas donde se registran los valores más altos

de esta especie: la primera ubicada en la boca del Golfo de California, entre el litoral del estado de Sinaloa y el archipiélago de las Islas Marías, y la segunda frente a los estados de Oaxaca y Chiapas, particularmente en el Golfo de Tehuantepec.

Zúñiga-Flores *et al.* (2008), en un análisis realizado para determinar la variación interanual y estacional de dorado que son capturados por la flota deportiva en Cabo San Lucas, B.C.S., determinaron que la especie tiene una variación estacional muy marcada en esta zona, siendo durante el verano y el otoño cuando registran las mayores tasas de capturas. Estos autores atribuyen las máximas tasas de captura a las altas temperaturas que se presentan durante estas estaciones del año. Resultados similares fueron reportados por Santana-Hernández (2001), quien menciona que las altas capturas de dorado están relacionadas con las masas de agua cálidas de la corriente Norecuatorial, la contracorriente Norecuatorial y la corriente de Costa Rica, mismas que se caracterizan por tener temperaturas superficiales por arriba de los 26 °C.

Martínez-Rincón *et al.* (2012), mediante la modelación estadística de las capturas incidentales del wahoo registradas por la flota mexicana durante el periodo 1998 – 2007, encontraron que la captura incidental de esta especie es hasta cuatro veces mayor en lances realizados sobre objetos flotantes, que con los otros indicadores de pesca. Este patrón de asociación, también fue observado por otros autores en estudios previos (Bailey *et al.*, 1996; Romanov, 2002; Oxenford *et al.*, 2003; Maunder y Harley, 2006; CIAT, 2010). En lo que respecta a la distribución espacial del wahoo en el OPO, Martínez-Rincón *et al.* (2012), concluyen que la probabilidad de presencia de esta especie es mayor al sur del ecuador y frente a la costa occidental de la península de Baja California. Los resultados descritos por Sepulveda *et al.* (2011), en un análisis de los movimientos verticales y horizontales del wahoo que se realizó mediante el uso de marcas satelitales, indican que la costa occidental de la península de Baja California es una zona donde se presentan capturas altas de esta especie.

Por otro lado, se ha reportado que el wahoo tiene una preferencia muy marcada por habitar aguas superficiales (por encima de la termoclina), con temperaturas cálidas (entre 20 y 25 °C), baja productividad, y en zonas con presencia de montañas submarinas (Oxenford *et al.*, 2003; McBride *et al.*, 2008; Sepulveda *et al.*, 2011; Martínez-Rincón *et al.*, 2012; Zischke, 2012).

Para el caso específico de la captura incidental de especies de tiburones, Chong-Robles (2006), analizó la información de la flota mexicana que operó en el periodo de 1998 – 2004 y encontró que las principales especies que se capturan de manera incidental son: el tiburón puntas negras *Carcharhinus limbatus*, tiburón puntas blancas *C. longimanus*, tiburón sedoso *C. falciformis*, y el tiburón martillo *Sphyrna* spp. Además, menciona que la captura incidental de tiburones es mayor cuando se realizan lances sobre objetos flotantes, que cuando se realizan lances en otros indicadores de pesca.

Análisis de la distribución espacial del tiburón sedoso, sugieren que las mayores capturas de esta especie se presentan en aguas oceánicas al norte del ecuador, principalmente a lo largo de la latitud 10° N (Solana Sansores, 2001a; Minami *et al.*, 2007; Watson *et al.*, 2009; CIAT, 2010). Con respecto a las preferencias ambientales de la especie, Compagno (1984), en una revisión bibliográfica de la biología de los tiburones, menciona que esta especie tiene una preferencia de habitar en aguas oceánicas con temperaturas cálidas (23 – 24 °C).

En lo que respecta la información de las tallas de los peces pelágicos mayores que son capturados en la pesca del atún con red de cerco, Solana-Sansores (2001a), menciona que la mayoría de los marlines y los wahoos presentes, son de tamaño grande (>150 cm), y que los tiburones y dorados frecuentemente se encuentran en la categoría de tamaño mediano (90-150 cm). Al respecto, Martínez-Rincón (2008), encontró que existen diferencias significativas en las tallas de los dorados que son capturados por la flota mexicana cuando se

comparan por tipo de indicador de pesca, siendo los organismos capturados en lances asociados a delfines los de mayor tamaño, seguidos por los no asociados y los más pequeños se encontraron en lances asociados a objetos flotantes. Especialmente este autor menciona que no existe una segregación espacial por tallas, y que tanto los organismos pequeños como los grandes se encuentran en aguas costeras y oceánicas.

III. Justificación

Las capturas incidentales que se generan durante una maniobra de pesca, representan una valiosa fuente de información que puede ser utilizada para el conocimiento de la distribución espacio-temporal de un recurso. Si bien, podría considerarse existe un sesgo en la información analizada de la captura incidental, debido a que no es el objetivo de la pesca como tal, ésta tiene la ventaja de no verse alterada por estrategias de los pescadores para lograr un mayor éxito de pesca, tales como la colaboración entre flotas, o el uso de equipo de pesca tecnificado (ej. sonares y otros dispositivos de búsqueda de las especies objetivo). Aunado a esto, se considera que las capturas incidentales de los peces pelágicos mayores son generadas de manera aleatoria, debido a que estos organismos son capturados de manera fortuita.

En la actualidad, mediante el uso de la percepción remota (imágenes de satélite) es posible realizar el muestreo de variables ambientales (temperatura, clorofila, altura del mar, salinidad, etc.) en una escala espacial global a un bajo costo. Esto ha permitido que la comunidad científica tome ventaja de la tecnología para evaluar y describir las condiciones ambientales que se presentan en el océano y que pueden influir directamente en la distribución de las especies. Aunado a esto, con la aplicación de técnicas estadísticas modernas (modelos aditivos generalizados, árboles de regresión, análisis multivariados, etc.), es ahora posible tener un mejor entendimiento de la relación que existe entre los organismos marinos y su ambiente.

En años recientes la comunidad científica y organizaciones no gubernamentales han generado conocimiento científico que ha permitido mitigar las capturas incidentales que se generan en las principales pesquerías comerciales alrededor del mundo. Sin embargo, las principales especies que se han estudiado son aquellas que han sido consideradas “carismáticas” para la sociedad o que se

encuentran amenazadas, como mamíferos, tortugas y aves marinas (Gerrodette y Forcada, 2005; Bull, 2007; CIAT, 2010).

Es por esto, que en este estudio se pretende generar conocimiento que permita entender cómo afectan las condiciones ambientales en la distribución espacial de las principales especies de peces pelágicos mayores. Para lograrlo, se utilizaron técnicas de modelación estadística (MAG y ARI) que permitan evaluar el efecto de las variables ambientales sobre las capturas incidentales de los pelágicos mayores. Finalmente utilizando las predicciones espaciales de los modelos estadísticos, se pretende identificar las zonas del OPO donde exista la mayor probabilidad de capturar incidentalmente a los peces pelágicos mayores, con la finalidad de generar conocimiento científico que pueda ser de utilidad para mejorar las decisiones de manejo que ayuden a mitigar las capturas incidentales de estas especies que se generan en la pesca del atún con red de cerco en el OPO.

IV. Hipótesis

De acuerdo con el conocimiento previo que se tiene de los pelágicos mayores que se capturan de manera incidental en la pesquería del atún con red de cerco, se plantea la hipótesis de que las especies de picudos (marlin azul, marlin negro, marlin rayado y pez vela) tienen preferencias espaciales y ambientales similares, influenciadas principalmente por ambientes costeros. También se espera que los tiburones (sedoso y puntas blancas) tengan preferencias ambientales y espaciales similares, pero influenciados principalmente por ambientes oceánicos. Finalmente se espera que los dorados y los wahoos compartan las mismas preferencias espaciales y ambientales, influenciados principalmente por ambientes oceánicos con temperaturas cálidas.

V. Objetivos

VI.1. Objetivo general

Determinar las condiciones ambientales que favorecen las capturas incidentales de pelágicos mayores en la pesca del atún con red de cerco y predecir la distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia en el Océano Pacífico Oriental.

V.2. Objetivos particulares

- Analizar el esfuerzo de pesca por tipo de indicador de pesca, para identificar posibles patrones de segregación en los indicadores de pesca.
- Evaluar y describir la captura incidental de los pelágicos mayores que son capturados por la flota mexicana que opera en el Océano Pacífico Oriental.
- Evaluar la relación entre la presencia de las diferentes especies de pelágicos mayores y las variables ambientales mediante el uso de modelos estadísticos.
- Evaluar y comparar el desempeño de los modelos estadísticos utilizados en la predicción de las capturas incidentales de pelágicos mayores.
- Analizar y describir la distribución espacial de las capturas incidentales de los pelágicos mayores predicho por los modelos estadísticos.
- Analizar la distribución de las tallas de los picudos, para inferir posibles patrones de segregación por tallas.

VI. Área de estudio

La zona de operación de la flota mexicana comprende el área del OPO ubicada entre 20° S – 30° N y 70° – 160° O, donde la distribución de la temperatura superficial permite observar una regionalización de la zona, con temperaturas superficiales mayores a 23 °C entre los 3° S y 30° N, y menores a 23 °C al norte y sur de esta franja (Fiedler y Lavin, 2006).

Debido a la actividad tropical, los vientos alisios del norte y del sureste son los principales mecanismos del sistema de circulación superficial en el OPO. Los vientos del sur y del norte convergen entre los 5° y 10° N, formando lo que se conoce como Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), cuya ubicación es más norteña (10° N) de junio a noviembre (Transviña y Barton, 1997). En el OPO, las corrientes limitantes del Este fluyen hacia el ecuador y hacia el Oeste, formando la circulación zonal característica del Pacífico central. Esta circulación está dominada por los componentes Este y ecuatorial de los giros anticiclónicos determinados por el viento subtropical.

En el hemisferio norte se encuentran la corriente de California y la corriente Norecuatorial, y en el hemisferio sur la corriente de Humboldt y la corriente Surecuatorial. El flujo hacia el Oeste de estas corrientes está limitada por dos corrientes que fluyen al Este: La contracorriente Norecuatorial y la corriente Subsuperficial Ecuatorial (corriente de Cromwell), que fluye en el ecuador por debajo de la corriente Surecuatorial. En aguas oceánicas, frente a Costa Rica, la contracorriente Norecuatorial se separa y un brazo (usualmente fuerte), torna al norte alrededor del Domo de Costa Rica, formando la corriente de Costa Rica, la cual alimenta a la corriente Norecuatorial (Kessler, 2006). La porción superficial de la corriente de Costa Rica se alimenta de la contracorriente Norecuatorial, y consiste en Agua Tropical Superficial. Esta corriente se inicia en la cuenca de Panamá y termina en la Zona de Transición del Pacífico norte, frente al extremo de la península de Baja California (Badan, 1997). De acuerdo a Wyrtsky (1965), el

patrón de circulación en el OPO, donde se encuentra la corriente de Costa Rica, posee una variación temporal que puede dividirse en cuatro periodos dentro del año.

De agosto a diciembre, cuando la contracorriente Norecuatorial está completamente desarrollada al norte del ecuador, la corriente de Costa Rica se encuentra intensificada, extendiéndose hasta la boca del Golfo de California. Su contraparte, la corriente de California, se mantiene alejada de la costa a partir de los 25° N, donde gira hacia el oeste para alimentar a la corriente Norecuatorial. En enero, cuando la ZCIT inicia su desplazamiento hacia el sur, la contracorriente Norecuatorial se debilita y se divide en varios segmentos, al tiempo que la corriente de California se intensifica y extiende más al sur. De febrero a abril, cuando la ZCIT se encuentra en la posición más al sur, la contracorriente Norecuatorial desaparece. De mayo a julio, cuando la contracorriente Norecuatorial se ha formado nuevamente, la corriente de Costa Rica fluye a lo largo de la costa hasta Cabo Corrientes (Kessler, 2006).

La contracorriente Norecuatorial determina la naturaleza cálida del OPO. La corriente de Humboldt, la corriente Surecuatorial y la corriente de California son frías. En el OPO se definen tres tipos básicos de masas de agua: la masa de agua superficial tropical, con alta temperatura y baja salinidad; la masa de agua superficial subtropical, que es generalmente cálida pero con temperatura variable y baja salinidad; la masa de agua Superficial Ecuatorial, que parece ser una lengüeta de agua fría, moderadamente salina; y las aguas superficiales de la corriente de California y Humboldt, las cuales son frías y de baja salinidad (Wyrski, 1966).

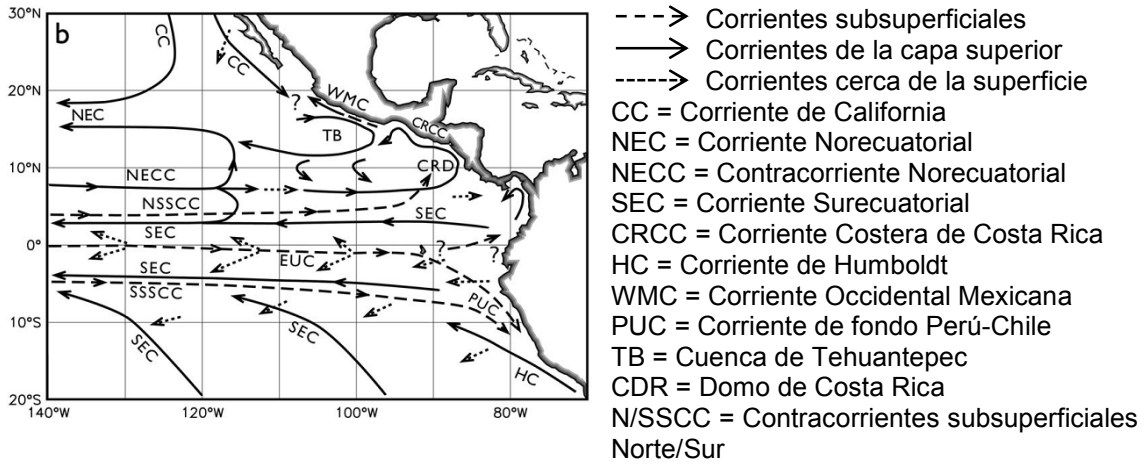


Figura 1. Circulación de las masas de agua en el Océano Pacífico Oriental.

Tomado de Kessler (2006)

VII. Materiales y métodos

VII.1. Bases de datos

VII.1.1. Captura incidental

Para la realización de este trabajo se utilizó la información generada por los observadores del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y Protección de los Delfines (PNAAPD), correspondiente a aproximadamente el 50%⁵ de los viajes de pesca realizados por la flota mexicana que operó en el OPO durante el periodo 1998 – 2007. La base de datos de la captura incidental contiene la siguiente información: capacidad de acarreo de la embarcación, fecha del lance, hora de inicio y fin del lance, temperatura superficial del mar, posición geográfica (latitud y longitud), la estimación del número de peces capturados por especie, la estimación de la talla de los peces que fueron capturados, tipo de suceso (lance, avistamiento o captura fuera de la maniobra de pesca), el indicador de pesca⁶: no asociados, delfín, u objeto flotante, y en el caso de este último, el tipo de objeto (palo, alga, sogá, boya, ballena muerta, carrete, DAP, etc.). Las especies seleccionadas para el análisis fueron las siguientes: marlin azul, marlin rayado, marlin negro, pez vela, tiburón puntas blancas, tiburón sedoso, wahoo o peto y dorado; mismas que fueron elegidas debido a que son las que se capturan con mayor frecuencia y por ser especies que son fácilmente identificadas por los observadores hasta nivel de especie. En los registros no se especifica la especie de dorado, y si bien algunos estudios mencionan que *C. hippurus* es la dominante en este tipo de lances, se consideró conveniente mantener *Coryphaena* spp., por la posible presencia de *C. equiselis*.

⁵ La Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) maneja la otra parte de la información de los viajes de pesca que realiza la flota mexicana.

⁶ Generalmente el PNAAPD utiliza un código diferente para los indicadores de pesca: lances sobre brisa (no asociados), lances sobre mamíferos marinos (delfines) y lances sobre palo (objetos flotantes)

VII.1.2. Análisis de tallas de los peces de pico

Para el caso particular de los picudos (pez vela, marlin azul, negro y rayado) se tuvo acceso a la información de las tallas de los picudos muestreados por los observadores a bordo de buques atuneros de cerco en el OPO de bandera internacional. Esta información fue generada por la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) durante el periodo 1993 – 2008 y contiene un total de 28,624 registros. Para la elaboración de esta base se realizaron muestreos mensuales en cuadrantes de 5° x 5° en toda la zona de operación de la flota internacional, misma que abarca desde los 35° N hasta los 20° S y desde la costa de América hasta los 177° O. Todas las medidas de longitud correspondieron a la longitud ojo-furca (LOF).

VII.1.3. Variables ambientales

La información de las variables ambientales utilizadas en este trabajo consistió en los valores promedios mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM), derivados de imágenes satelitales del sensor AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer) con una resolución espacial de 9 x 9 km, promedios mensuales de la altura superficial del mar (ASM), que se obtuvieron de varios altímetros con una resolución espacial de 0.25°, los valores promedios de la concentración de *clorofila-a*, derivados del sensor remoto SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) con una resolución espacial de 0.1°. Todas las variables ambientales anteriormente mencionadas fueron obtenidas de la página web: <http://coastwatch.pfel.noaa.gov/erddap>. Además se utilizó el índice de Oceánico del Niño (ION), que se obtiene del promedio móvil de 3 meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar que se presentan en la región Niño 3.4 (es decir, 5° N – 5° S, 120° – 170° O). Los valores del ION se obtuvieron desde el servidor: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>.

VII.1.4 Agrupación de las bases de datos

Debido a que tanto las bases de datos de captura incidental como las de las variables ambientales tienen diferentes resoluciones espacio-temporales, todos los datos fueron transformados a una resolución espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ y temporal de un mes. Para hacer dicha transformación, se calculó la captura total (por especie) de cada uno de los meses del periodo de estudio y se agruparon en cuadrantes de $1^\circ \times 1^\circ$ (longitud y latitud). Para el caso de las variables ambientales se calculó el valor promedio mensual en cuadrantes de $1^\circ \times 1^\circ$. Una vez realizada la transformación de la escala espacial, todos los datos de captura fueron agrupados con las variables ambientales (ver anexos 1).

VII.2. Modelación estadística de las capturas incidentales

Para entender el efecto que tienen las variables ambientales sobre los pelágicos mayores capturados incidentalmente en el OPO, se aplicaron métodos estadísticos que permitieron modelar la captura incidental de las especies seleccionadas, a partir de las variables ambientales seleccionadas. En los modelos estadísticos también se incluyeron variables espaciales (longitud y latitud) y temporales (mes), con la finalidad de detectar preferencias espaciales y tendencias estacionales de los pelágicos mayores.

Para lograr esto, los datos de captura incidental (en número de peces) fueron transformados a datos de presencia/ausencia (1/0), para poder hacer predicciones en términos de probabilidad de ocurrencia y no del número de individuos que son capturados. Posteriormente se analizaron mediante técnicas estadísticas (modelos) que pueden trabajar con datos que tienen una distribución diferente a la

normal (gaussiana)⁷, y que además no tienen una relación lineal con las variables predictivas. Los dos métodos que se eligieron fueron los siguientes: Modelos Aditivos Generalizados (MAG⁸) y Árboles de Regresión Impulsados (ARI⁹).

De esta manera en la modelación estadística de las capturas incidentales de los pelágicos mayores, la variable respuesta fue la presencia/ausencia de la especie (1/0) y las variables predictivas utilizadas para su modelación fueron: longitud, latitud, TSM, ASM, ION, concentración de *clorofila-a* y el mes. En la Ecuación 1 se ejemplifica el modelo estadístico utilizado para los MAG en este trabajo de cada una de las especies seleccionadas. La representación matemática de los ARI es mucho más compleja y por eso se decidió ejemplificarla en la Ecuación 2.

Ecuación 1. Representación matemática de los MAG aplicados a la captura incidental de pelágicos mayores.

$$\log(E[Espece_i]) = f_1(Longitud_i, Latitud_i) + f_2(TSM_i) + f_3(ION_i) + f_4(ASM_i) + f_5(Clorofila\ a_i) + f_6(Mes_i)$$

Donde $Espece_i$ tiene una distribución binomial (0 – 1) y f_i son las funciones suavizadoras¹⁰ (“Thin plate regression splines”¹¹ y “cyclic cubic regression splines”¹² para el caso especial de $f(Mes_i)$).

⁷ Al aplicar la transformación de la variable respuesta los datos ahora tienen una distribución binomial (presencia/ausencia).

⁸ Traducción del inglés “Generalized additive models”

⁹ Traducción del inglés “Boosted Regression Trees”

¹⁰ Del inglés “Smooth function”.

¹¹ Sin traducción al español.

¹² Sin traducción al español.

Ecuación 2. Representación matemática de los algoritmos que utilizan los ARI
(tomado de Friedman (2002))

Algorithm 1: Gradient_TreeBoost

```

1  $F_0(\mathbf{x}) = \arg \min_{\gamma} \sum_{i=1}^N \Psi(y_i, \gamma)$ .
2 For  $m = 1$  to  $M$  do:
3    $\tilde{y}_{im} = - \left[ \frac{\partial \Psi(y_i, F_{m-1}(\mathbf{x}_i))}{\partial F(\mathbf{x}_i)} \right]_{F(\mathbf{x})=F_{m-1}(\mathbf{x})}$ ,  $i = 1, N$ 
4    $\{R_{lm}\}_1^L = L - \text{terminal node } tree(\{\tilde{y}_{im}, \mathbf{x}_i\}_1^N)$ 
5    $\gamma_{lm} = \arg \min_{\gamma} \sum_{\mathbf{x}_i \in R_{lm}} \Psi(y_i, F_{m-1}(\mathbf{x}_i) + \gamma)$ 
6    $F_m(\mathbf{x}) = F_{m-1}(\mathbf{x}) + v \cdot \gamma_{lm} \mathbf{1}(\mathbf{x} \in R_{lm})$ 
7 endFor.
```

Algorithm 2: Stochastic Gradient_TreeBoost

```

1  $F_0(\mathbf{x}) = \arg \min_{\gamma} \sum_{i=1}^N \Psi(y_i, \gamma)$ .
2 For  $m = 1$  to  $M$  do:
3    $\{\pi(i)\}_1^N = \text{rand\_perm } \{i\}_1^N$ 
4    $\tilde{y}_{\pi(i)m} = - \left[ \frac{\partial \Psi(y_{\pi(i)}, F_{m-1}(\mathbf{x}_{\pi(i)}))}{\partial F(\mathbf{x}_{\pi(i)})} \right]_{F(\mathbf{x})=F_{m-1}(\mathbf{x})}$ ,  $i = 1, \tilde{N}$ 
5    $\{R_{lm}\}_1^L = L - \text{terminal node } tree(\{\tilde{y}_{\pi(i)m}, \mathbf{x}_{\pi(i)}\}_1^{\tilde{N}})$ 
6    $\gamma_{lm} = \arg \min_{\gamma} \sum_{\mathbf{x}_{\pi(i)} \in R_{lm}} \Psi(y_{\pi(i)}, F_{m-1}(\mathbf{x}_{\pi(i)}) + \gamma)$ 
7    $F_m(\mathbf{x}) = F_{m-1}(\mathbf{x}) + v \cdot \gamma_{lm} \mathbf{1}(\mathbf{x} \in R_{lm})$ 
8 endFor.
```

Todos los modelos fueron ajustados utilizando el lenguaje de programación R (R Core Team, 2012) versión 2.15.0. Los modelos-MAG fueron desarrollados con la librería “mgcv”, versión 1.7-17 (Wood, 2011). Los modelos-ARI fueron desarrollados con las librerías “gbm”, versión 1.6-3.2 (Ridgeway, 2012) y “dismo”, versión 0.7-17 (Hijmans *et al.*, 2012).

En la modelación estadística, el proceso de selección del mejor modelo puede involucrar el uso de uno de los siguientes criterios: que la contribución de todas las variables predictivas sean estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para el modelo, que éste tenga el valor más bajo del criterio de información de Akaike (AIC¹³), o que este tenga el valor más alto de correlación (R^2) entre los valores observados y los predichos por el modelo. Como paso inicial en la construcción del modelo se usan todas las variables predictivas, y de manera secuencial se eliminan las variables que no aportan significativamente en el modelo, hasta obtener el modelo más sencillo que explique el fenómeno observado. Sin embargo, en este trabajo se utilizaron dos técnicas estadísticas para describir las relaciones entre las variables predictivas (ambientales, espaciales y temporales) y la variable respuesta (captura incidental), de tal manera que, con la comparación de los resultados obtenidos con las dos técnicas se reafirme o no su capacidad para

¹³ Acrónimo del inglés “Akaike’s information criterion”

describir las capturas incidentales de los pelágicos mayores. Para poder realizar dicha comparación de las técnicas, los modelos tienen que estar definidos en el mismo nivel de complejidad. Es por esto, que todos los modelos estadísticos fueron construidos mediante el uso de las 7 variables predictivas disponibles en este trabajo (ver ecuación 1).

VII.2.1. Modelos aditivos generalizados

Los modelos aditivos generalizados son descritos como una generalización de los modelos lineales generalizados, en el cual parte del predictor lineal es especificado como una suma de “funciones suavizadoras¹⁴” de las variables predictivas (Wood, 2006). Los MAG pueden ajustar datos que tengan una de las siguientes familias de distribución del error: normal (para números continuos), poisson (para números enteros positivos), binomial (para proporciones o datos de presencia/ausencia), principalmente (Crawley, 2007). En este trabajo, después de hacer la transformación de los datos de captura incidental, la distribución de frecuencias de los datos correspondió a la del tipo binomial, y por lo tanto los modelos MAG fueron ajustados para trabajar con datos de la familia binomial, en donde se utiliza la función de enlace logit para describir la variable respuesta.

VII.2.2. Árboles de regresión impulsados

Los árboles de regresión impulsados difieren fundamentalmente de los métodos tradicionales de regresión porque producen un modelo único (“el mejor”), que es generado mediante la combinación un gran número de modelos de árboles de regresión, y con esto se logra optimizar el desempeño predictivo de los modelos (Elith *et al.*, 2008). Los ARI utilizan dos algoritmos: arboles de regresión que son un grupo de modelos de arboles que clasifican y aplican regresión (arboles de

¹⁴ Traducción del inglés “smooth function”

decisión), y el “impulso” que construye y combina una colección de modelos (Friedman, 2002). Para información más detallada de cómo usar esta técnica estadística, se recomienda consultar Elith *et al.* (2008).

Generalmente, el ajuste del modelo requiere la especificación de tres parámetros: A) La tasa de aprendizaje, que controla la complejidad del modelo. B) El número de árboles que deben ser aplicados (aunque los ARI son muy resistentes al sobre ajuste, es necesario determinar el número óptimo de árboles). C) El grado de interacción de las variables, el cual controla el número de árboles que deben ser utilizados. Un valor de 1 corresponde a un modelo aditivo sin interacciones entre variables. Un valor de 2 indica que dos nodos son usados en cada árbol, lo que corresponde a un modelo con interacción de dos vías, y así consecutivamente. Los modelos que se ajustaron a la captura incidental de pelágicos mayores no exploraron el uso de interacciones entre las variables predictivas para mejorar el ajuste de los modelos. La tasa de aprendizaje que en general permitió un mejor ajuste de estos modelos fue de 0.05. El número máximo de arboles utilizados fue de 5,000.

VII.3. Evaluación predictiva de los modelos

Para evaluar el desempeño predictivo de los modelos estadísticos (MAG y ARI), se utilizaron algunos valores estadísticos que describen la certidumbre de las predicciones de dichos modelos.

1. La proporción de observaciones correctamente clasificadas (PCC). Este estadístico evalúa la certeza con la que se clasificó una presencia o ausencia pronosticada. Los valores de este índice van de 0 a 1, obteniéndose 0 cuando el modelo falla en todas las predicciones y por el contrario 1 cuando el modelo acierta al 100%.

2. El área debajo de la curva (ADC). Este estadístico evalúa en términos de probabilidad, la certidumbre de clasificación de presencia o ausencia pronosticada por los modelos. Un valor de 1 representa la perfecta clasificación realizada por el modelo, mientras que valores por debajo de 0.5 se interpretan como una mala clasificación calculada por los modelos.

3. Porcentaje de devianza explicada. La devianza es considerada como una medida de la bondad de ajuste de un modelo. La devianza en estadística, es definida como -2 veces la diferencia en el log-verosimilitud entre el modelo actual y el modelo saturado (es decir, el modelo que ajusta perfectamente). Debido a que el último no depende de los parámetros del modelo, minimizar la devianza es lo mismo que maximizar la verosimilitud (Crawley, 2007).

VII.4. Distribución espacial de los peces pelágicos mayores

Mediante el uso de los modelos estadísticos (MAG y ARI) construidos para cada una de las especies de pelágicos mayores, se pronosticó la probabilidad de ocurrencia de cada una de las especies el área de operación de la flota mexicana. De esta manera fue posible pronosticar la probabilidad de ocurrencia de cada una de las especies, inclusive en los cuadrantes donde no se realizaron lances de pesca.

VII.5. Análisis multivariados

Con la finalidad de identificar a las especies que presentan los mismos patrones de distribución espacial, se determinó la correlación espacial que en las áreas (cuadrantes de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$) ocupadas por las diferentes especies de pelágicos mayores analizadas en este trabajo. El análisis de correlación espacial fue

realizado mediante el uso de análisis exploratorios y mediante la aplicación de análisis de componentes principales.

Los valores que se utilizaron para dichos análisis fueron los valores de probabilidad de ocurrencia de los pelágicos mayores generadas con el modelo-MAG, debido a que en estos modelos se utilizó la interacción entre la longitud y la latitud (componente espacial) como variable predictiva, lo que permitió tener una mejor predicción espacial de la probabilidad de captura de cada una de las especies analizadas en este trabajo.

El análisis exploratorio de los datos se realizó de manera gráfica y numérica. Los componentes gráficos de este análisis exploratorio son: A) Histogramas de frecuencia, donde se muestra la probabilidad de presencia de cada una de las especies, B) Gráficos de dispersión (x, y), donde se comparan los valores de probabilidad de dos especies, y C) Línea de tendencia¹⁵, que muestra de manera visual la relación que existe entre dos especies. El componente numérico de este análisis exploratorio son los valores de correlación que existen entre dos especies. Este valor de correlación fue calculado con el método de Pearson.

El análisis de componentes principales se realizó con la función *princomp* del lenguaje de programación R. Esta prueba fue realizada para determinar, si existen especies que comparten los mismos hábitats (cuadrantes).

VII.6. Análisis de las tallas

Utilizando la base de datos de las tallas, se realizaron análisis descriptivos de estas medidas. Se aplicaron análisis de varianza de una vía para determinar posibles diferencias en la media de las tallas por año y por mes. No se aplicaron

¹⁵ Se aplicó un modelo lineal simple donde la especie 1 está en función de la especie 2.

pruebas de normalidad ni de homogeneidad de varianzas debido a que el tamaño de muestra por especie supera las 3,000 observaciones.

Se realizó un análisis espacial de las tallas. El cual permitió comparar a nivel espacial las proporciones de los juveniles contra los adultos. El criterio utilizado para definir adulto o juveniles fue la talla en la cual el 50% de los individuos de una población a desovado al menos una vez ($L_{50\%}$), este dato fue obtenido de referencias bibliográficas (Tabla 1). Para el caso específico del marlin negro, no se cuenta con una referencia de la $L_{50\%}$, y por lo tanto se utilizó las categorías de tallas sugeridas por la CIAT (CIAT, 2010).

Tabla 1. Referencias bibliográficas de la talla de primera madurez de picudos.

Especie	Talla de primera madurez	Referencia bibliográfica
Marlin azul <i>Makaira nigricans</i>	179 cm para hembras 130 cm para machos 154 cm promedio	Sun <i>et al.</i> (2009)
Marlin negro <i>Makaira indica</i>	Pequeños < 90cm Medianos 90-150 cm Grandes > 150 cm	CIAT (2010)
Marlin rayado <i>Kajikia audax</i>	210 cm para hembras 166 cm para machos 188 cm promedio	Kopf <i>et al.</i> (2012)
Pez Vela <i>Istiophorus platypterus</i>	166 cm para hembras	Chiang <i>et al.</i> (2006)

VIII. Resultados

VIII.1. Esfuerzo de pesca

Durante el periodo de 1998 – 2007 la flota mexicana realizó un total de 36,008 lances de pesca, distribuidos en 1,065 sitios de pesca diferentes (cuadrantes de $1^\circ \times 1^\circ$). En la Figura 2 se muestra la distribución total del esfuerzo de pesca en el OPO. Las áreas donde se realizaron más lances de pesca se encuentran ubicadas en la costa del Pacífico mexicano, principalmente en la costa occidental de la península de Baja California, en la boca del Golfo de California, frente al estado de Oaxaca y en una zona oceánica ubicada entre los $10^\circ - 20^\circ$ N.

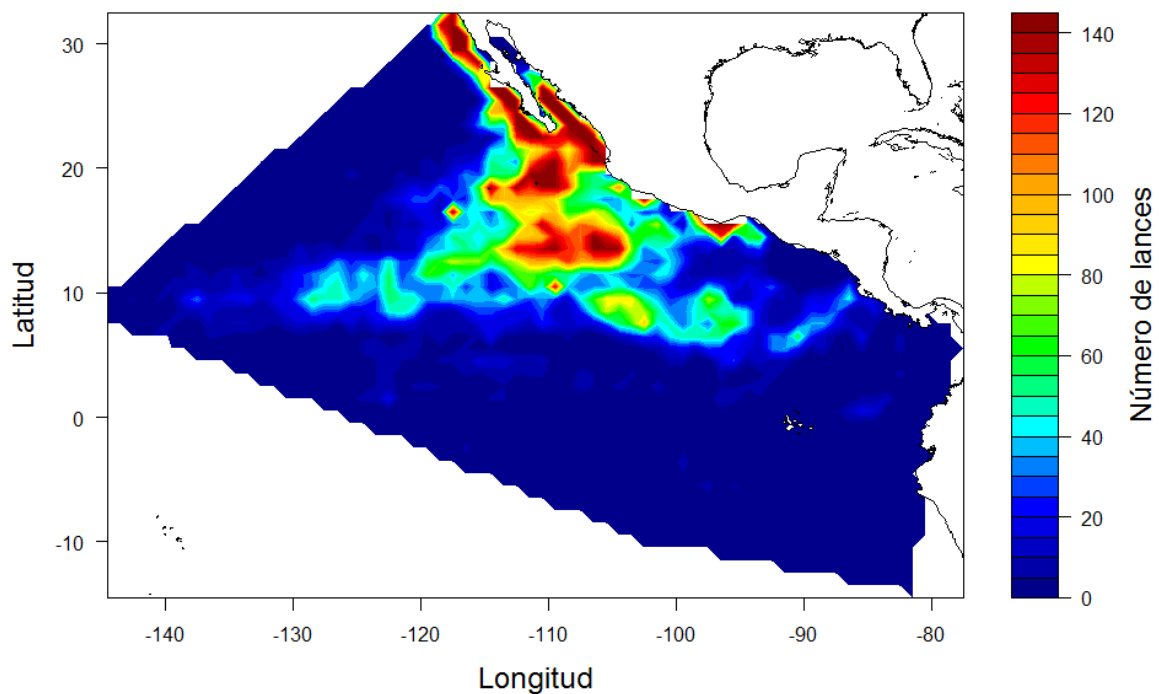


Figura 2. Distribución espacial del esfuerzo de pesca realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO.

VIII.1.1. Esfuerzo de pesca por indicador de pesca

El análisis exploratorio aplicado al esfuerzo de pesca realizado por tipo de indicador de pesca muestra que existen características específicas tanto en el número de lances realizados como en la distribución espacial de los mismos. En la Tabla 2 se observa que la flota mexicana tiene una preferencia por realizar lances sobre delfines (67%) comparados con los otros indicadores de pesca, además de que los lances realizados sobre objetos flotantes son muy escasos (< 3%).

La distribución espacial del esfuerzo por tipo de indicador de pesca presenta una segregación espacial característica de cada indicador (Figura 3). Los lances no asociados ocurren en su mayoría a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California, en el interior del Golfo de California y frente a las costas de Oaxaca; mientras que los lances realizados sobre delfines ocurren en su mayoría alrededor de la punta de la península de Baja California y en aguas oceánicas entre los 10° – 20° N; por último la distribución espacial de los lances realizados sobre objetos flotantes tiende a presentarse en aguas oceánicas alrededor de los 9° N, frente a la parte sur de la costa occidental de la península de Baja California y al suroeste de ésta última.

Tabla 2. Esfuerzo de pesca por indicador de pesca realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO.

Indicador de pesca	No. de lances	%
No asociados	10,767	29.90
Delfines	24,429	67.84
Objetos flotantes	812	2.26
Total	36,008	100

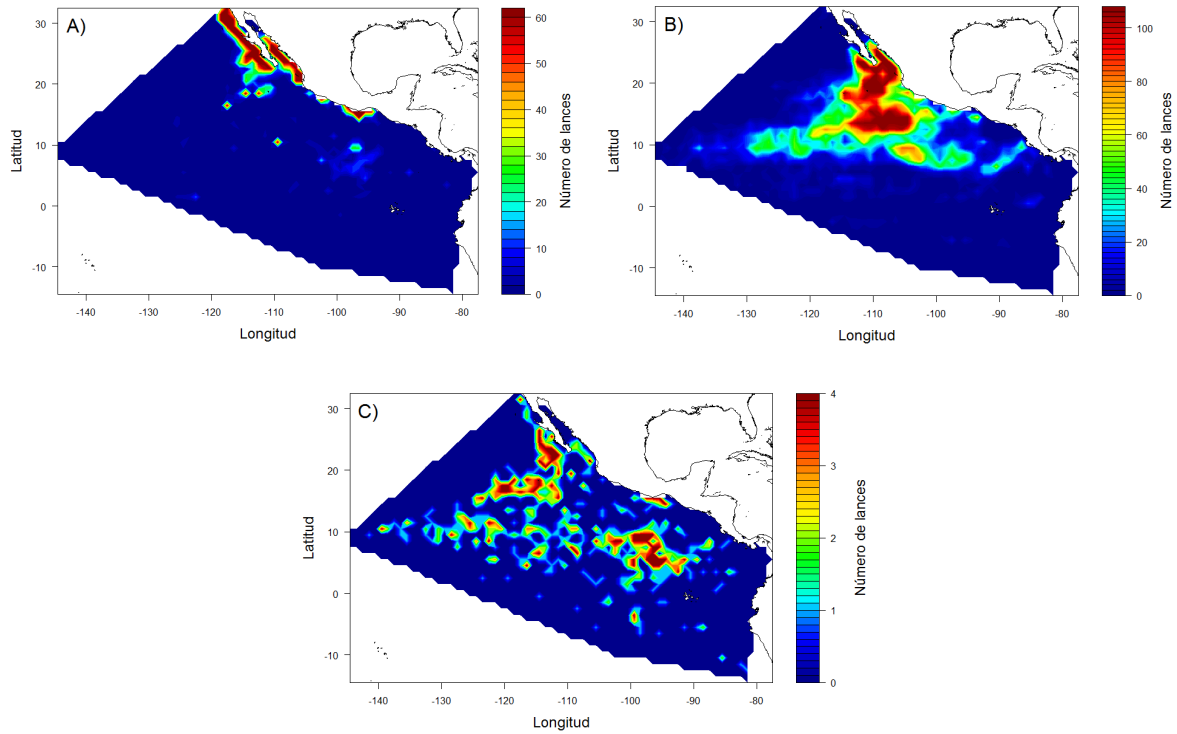


Figura 3. Distribución espacial del esfuerzo de pesca por indicador de pesca realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO. A) Lances sobre no asociados, B) Lances sobre delfines, C) Lances sobre objetos flotantes.

VIII.2. Captura incidental de pelágicos mayores

Durante el periodo de 1998 – 2007 la flota mexicana capturó un total de 131,087 peces de las 8 especies seleccionadas en este trabajo. En la Tabla 3 y Figura 4 se muestran las capturas incidentales de las 8 especies por tipo de indicador de pesca, tanto en número de peces como en número de peces por lance.

Es evidente que las capturas incidentales de los pelágicos mayores es mayor tanto en número como en proporción en lances sobre objetos flotantes comparado con los otros indicadores de pesca. Los marlines (azul, negro y rayado) son las especies que se capturan en menor número y proporción, mientras las otras especies (pez vela, dorado, wahoo, tiburón sedoso y tiburón puntas blancas) se presentan en mayor número y proporción, siendo el dorado, el tiburón sedoso y wahoo las especies con mayores capturas incidentales durante el periodo analizado en este estudio.

Tabla 3. Captura incidental de pelágicos mayores por indicador de pesca realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO.

Especie	Número de peces			Número de peces por lance		
	No. asoci.	Delfines	Obj. flot.	No. asoci.	Delfines	Obj. flot.
Marlin azul	101	186	76	0.01	0.01	0.09
Marlin negro	246	342	136	0.02	0.01	0.17
Marlin rayado	158	242	57	0.01	0.01	0.07
Pez vela	793	1,041	23	0.07	0.04	0.03
Dorado	5,880	2,215	73,125	0.55	0.09	90.06
Wahoo	11,472	135	10,654	1.07	0.01	13.12
T. sedoso	3,792	4,121	14,443	0.35	0.17	17.79
T.p. blancas	81	763	1,005	0.01	0.03	1.24
Total	22,523	9,045	99,519	0.63	0.25	2.76

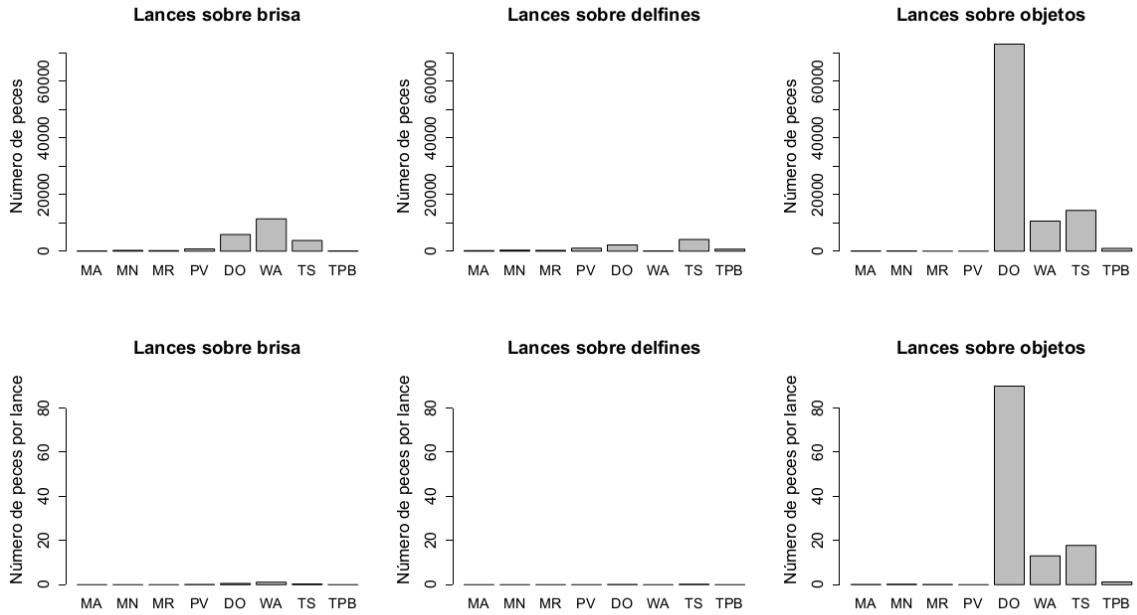


Figura 4. Captura incidental y captura por lance de pelágicos mayores realizado por la flota mexicana durante el periodo de 1998 – 2007 en el OPO.

VIII.3. Modelación estadística de las capturas incidentales

VIII.3.1. Marlin azul *Makaira nigricans*

En la Figura 5 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el marlin azul de acuerdo al modelo-MAG. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en ambientes costeros (principalmente en las costas de Centroamérica), con temperaturas mayores de 26 °C, durante eventos La Niña (ION < -0.5), en zonas de convergencia (ASM < 10 cm), cuando la concentración de *clorofila-a* es alta (> 2 mg m⁻³), principalmente durante los meses de marzo a junio. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en zonas oceánicas (principalmente al sur del ecuador), con temperaturas menores de 26 °C, durante eventos El Niño (ION > 1), en zonas de divergencia (ASM > 10 cm), cuando la concentración de *clorofila-a* es baja (< 2 mg m⁻³) y durante los meses de agosto a diciembre.

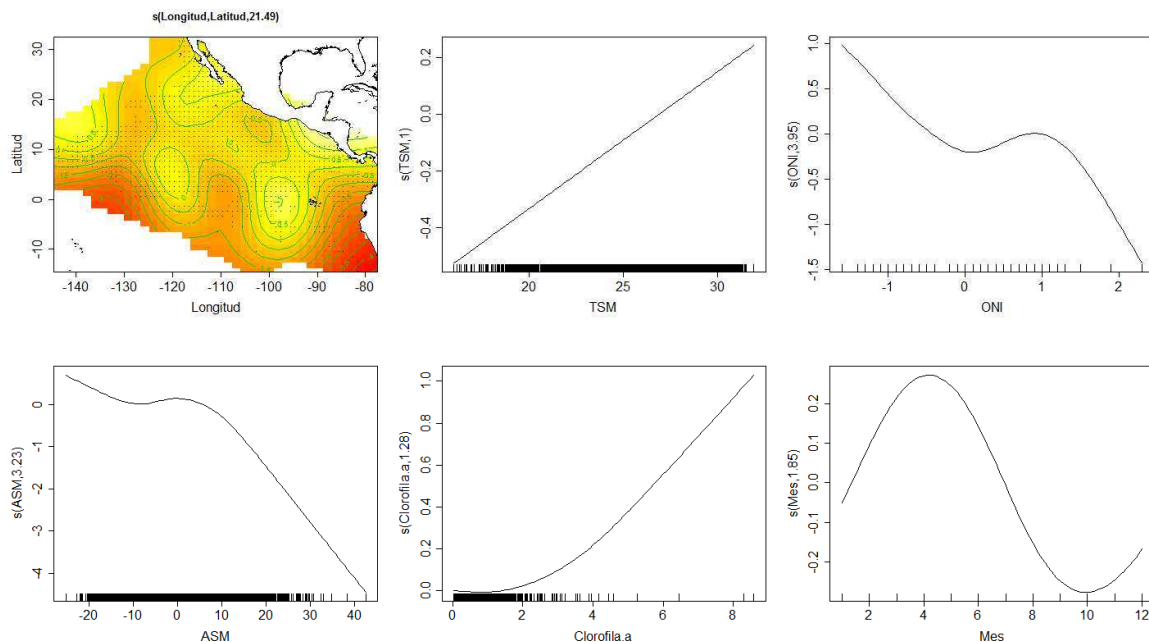


Figura 5. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin azul, explicado por el MAG.

En la Figura 6 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas en la distribución espacial del marlin azul de acuerdo al modelo-ARI. Este modelo explica que la mayor probabilidad de ocurrencia de la especie se presenta en aguas con temperaturas mayores de 23 °C, con altas concentraciones de *clorofila-a* ($> 3 \text{ mg m}^{-3}$), en zonas de convergencia (ASM negativa), durante eventos La Niña (ION < -1), en zonas costeras, en latitudes al norte de los 10° N y durante los meses de febrero a junio. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en aguas con temperaturas menores de 23 °C, con bajas concentraciones de *clorofila-a* ($< 3 \text{ mg m}^{-3}$), en zonas de divergencia (ASM positiva), en zonas oceánicas, en latitudes al sur de los 10° N y durante los meses de agosto a diciembre.

En la Figura 7 se muestran las predicciones de la probabilidad de ocurrencia del marlin azul en el OPO predicho por el modelo-MAG. Como se aprecia la captura es muy baja, siendo los valores de 0.2 los más altos, mismos que se encuentran localizados en la costa de Centroamérica. Así mismo, se muestran las predicciones espaciales del modelo-ARI indican valores máximos de 0.4, que se encuentran ubicados en zonas costeras (Golfo de Tehuantepec y frente a las costas de Panamá y Colombia) y oceánicas (en el extremo oeste de la zona de pesca de la flota atunera mexicana).

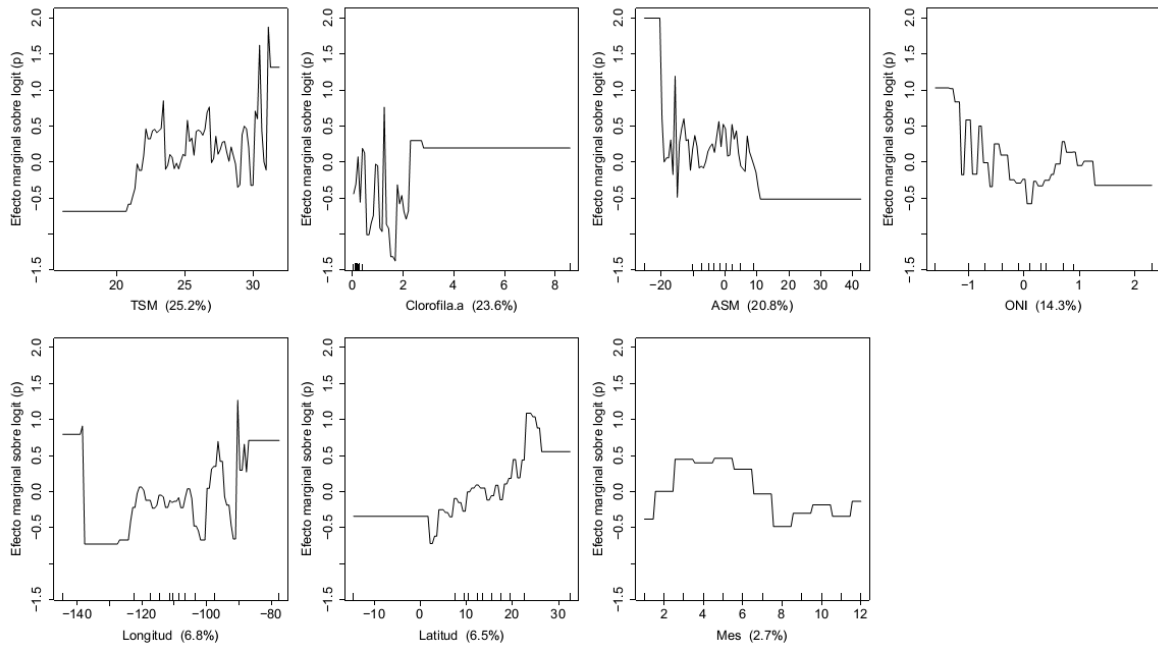


Figura 6. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin azul, explicado por el ARI.

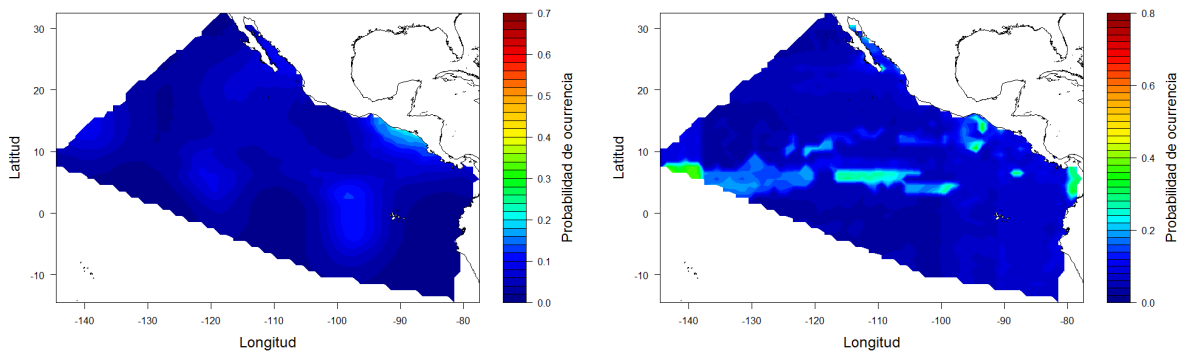


Figura 7. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del marlin azul en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).

VIII.3.2. Marlin negro *Makaira indica*

En la Figura 8 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el marlin negro de acuerdo al modelo-MAG. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en ambientes oceánicos (principalmente en una zona ubicada entre $0^{\circ} - 5^{\circ}$ N y $90^{\circ} - 100^{\circ}$ O), con temperaturas entre 25 y 30° C, cuando la concentración de *clorofila-a* es baja ($< 3 \text{ mg m}^{-3}$) y durante los meses de septiembre a diciembre. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en zonas oceánicas que se encuentran al sur del ecuador, con temperaturas menores de 25° C, durante eventos El Niño de gran intensidad ($\text{ION} > 1.5$), tanto en zonas de divergencia como de convergencia, cuando la concentración de *clorofila-a* es alta ($> 3 \text{ mg m}^{-3}$) y durante los meses de febrero a julio.

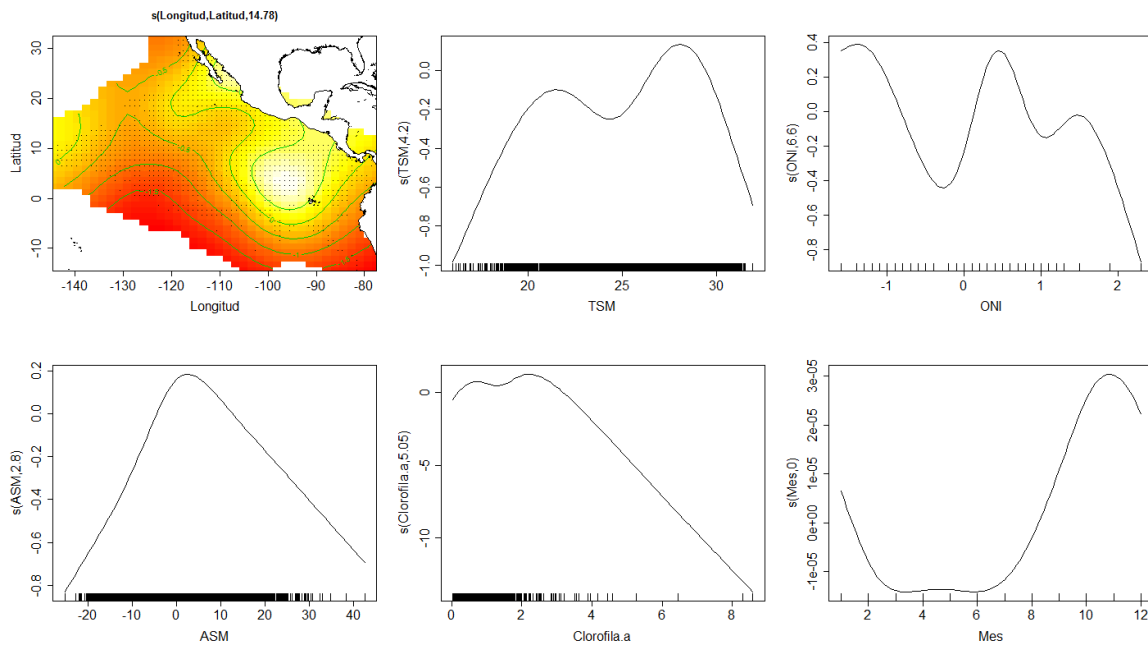


Figura 8. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin negro, explicado por el MAG.

En la Figura 9 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el marlin negro de acuerdo al modelo-ARI. Este modelo explica que la mayor probabilidad de ocurrencia de la especie se presenta en aguas con temperaturas entre 21 y 29 °C, en zonas costeras, durante eventos La Niña de gran intensidad ($\text{ION} < -1$) y eventos El Niño de baja intensidad ($\text{ION} = 0.5$), en latitudes al norte de los 20° N, y durante los meses de octubre y noviembre. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en aguas con temperaturas menores de 20 °C y mayores a 30 °C, en zonas oceánicas, durante eventos El Niño de gran intensidad ($\text{ION} > 1.5$), en latitudes al sur de los 10° N y durante el mes de febrero.

En la Figura 10 se muestran las predicciones de la probabilidad de ocurrencia del marlin negro en el OPO predicho por el modelo-MAG. La probabilidad de ocurrencia del marlin negro en el OPO es muy baja, siendo los valores máximos de ~0.2, mismos que se encuentran localizados al noroeste de las Islas Galápagos y al suroeste de las costas de Centroamérica (~10° N). Por otro lado las predicciones espaciales del modelo-ARI indican valores máximos de probabilidad de 0.4, que se encuentran principalmente al sur del Golfo de Tehuantepec.

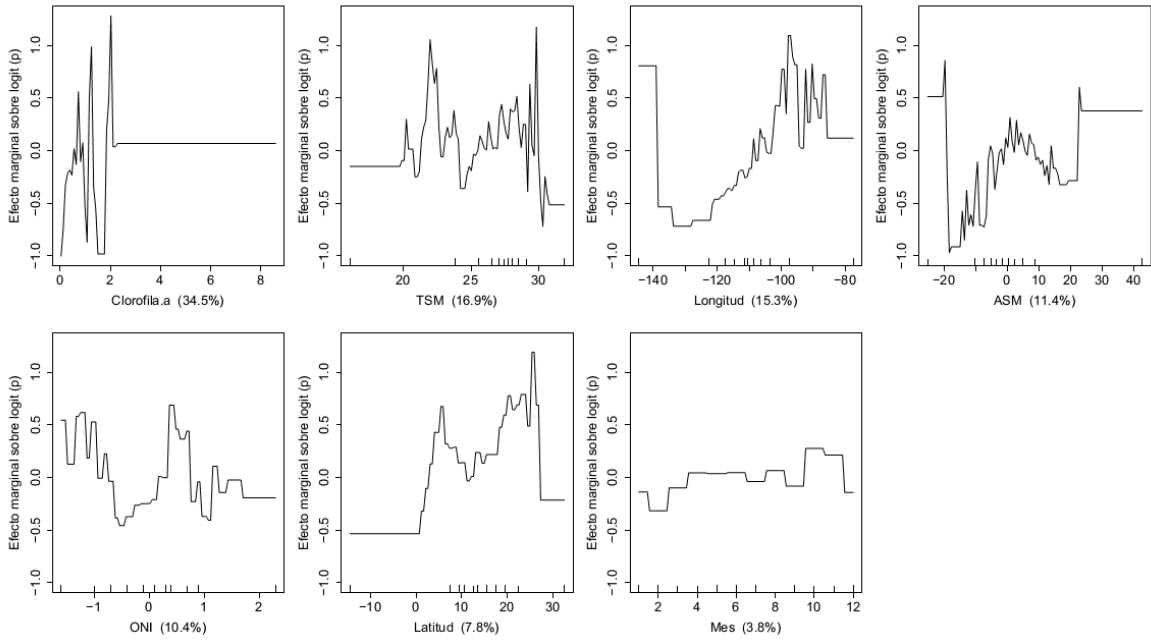


Figura 9. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin negro, explicado por el ARI.

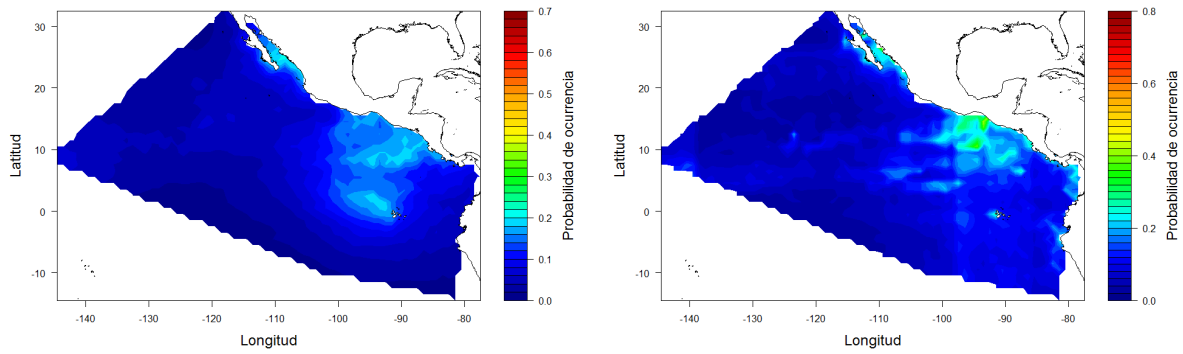


Figura 10. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del marlin negro en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).

VIII.3.3. Marlin rayado *Kajikia audax*

En la Figura 11 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el marlin rayado de acuerdo al modelo-MAG. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en ambientes costeros, en un rango de temperatura de 22 y 29 °C, en zonas de divergencia, cuando la concentración de *clorofila-a* es alta ($> 2 \text{ mg m}^{-3}$) y durante los meses de mayo a diciembre. Por el contrario, la probabilidad de ocurrencia de la especie sea baja en zonas oceánicas, con temperaturas menores de 22 °C, durante eventos El Niño de gran intensidad ($\text{ION} > 1.5$), en zonas de convergencia, cuando la concentración de *clorofila-a* es baja ($< 2 \text{ mg m}^{-3}$) y durante los meses de enero a abril.

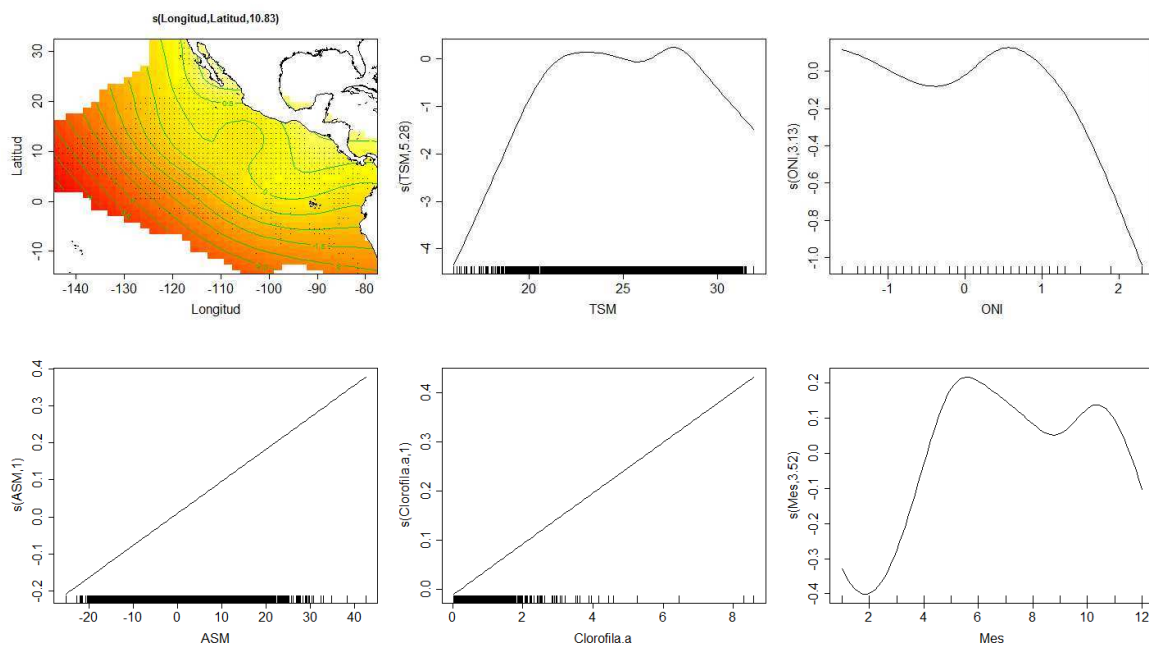


Figura 11. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin rayado, explicado por el MAG.

En la Figura 12 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el marlin rayado de acuerdo al modelo-ARI. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en un rango de temperatura de 22 y 29 °C, en latitudes al norte de los 20° N, en zonas costeras, principalmente durante los meses de mayo a diciembre. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja cuando la temperatura superficial del mar es menor a 22 °C, al sur de la latitud 20° N, en zonas oceánicas y durante los meses de enero a abril.

En la Figura 13 se muestran las predicciones espaciales por el modelo-MAG, de la probabilidad de ocurrencia del marlin rayado en el OPO. Como se aprecia en esta figura, la probabilidad de ocurrencia de esta especie es muy baja, siendo los valores de probabilidad máximos predichos de <0.2, mismos que se encuentran localizados en aguas costeras del noroeste de México y frente a las costas de Centroamérica. Predicciones espaciales muy similares fueron observadas con el modelo-ARI, los valores máximos predichos por este modelo son de 0.2, lo que indica una muy baja probabilidad de presencia de la especie en la pesquería del atún con cerco. Similar al modelo-MAG este modelo predice los valores más altos en el noroeste de México.

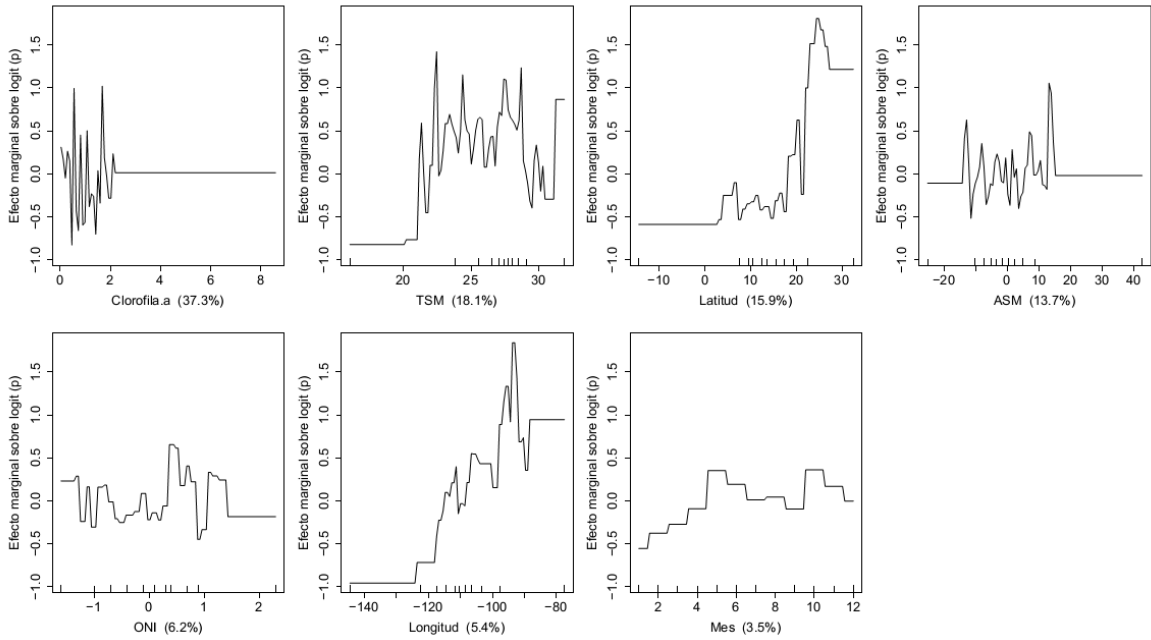


Figura 12. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del marlin rayado, explicado por el ARI.

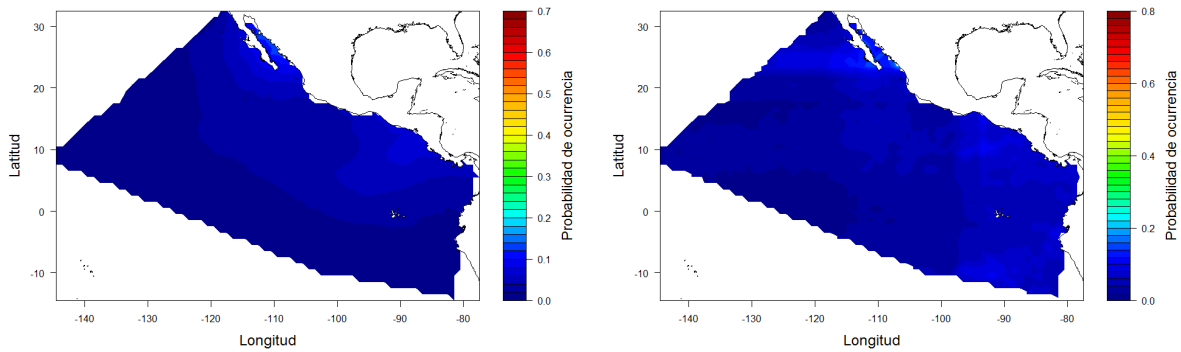


Figura 13. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del marlin rayado en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).

VIII.3.4. Pez Vela *Istiophorus platypterus*

En la Figura 14 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el pez vela de acuerdo al modelo-MAG. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en ambientes costeros, cuando la temperatura superficial del mar es mayor a 27 °C, durante eventos El Niño ($ION > 1$), cuando la concentración de *clorofila-a* es baja ($< 2 \text{ mg m}^{-3}$) y durante los meses de enero a marzo, noviembre y diciembre. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en zonas oceánicas (principalmente al sur del ecuador), con temperaturas menores de 27 °C, en zonas de divergencia, cuando la concentración de *clorofila-a* es alta ($> 2 \text{ mg m}^{-3}$) y durante los meses de mayo a septiembre.

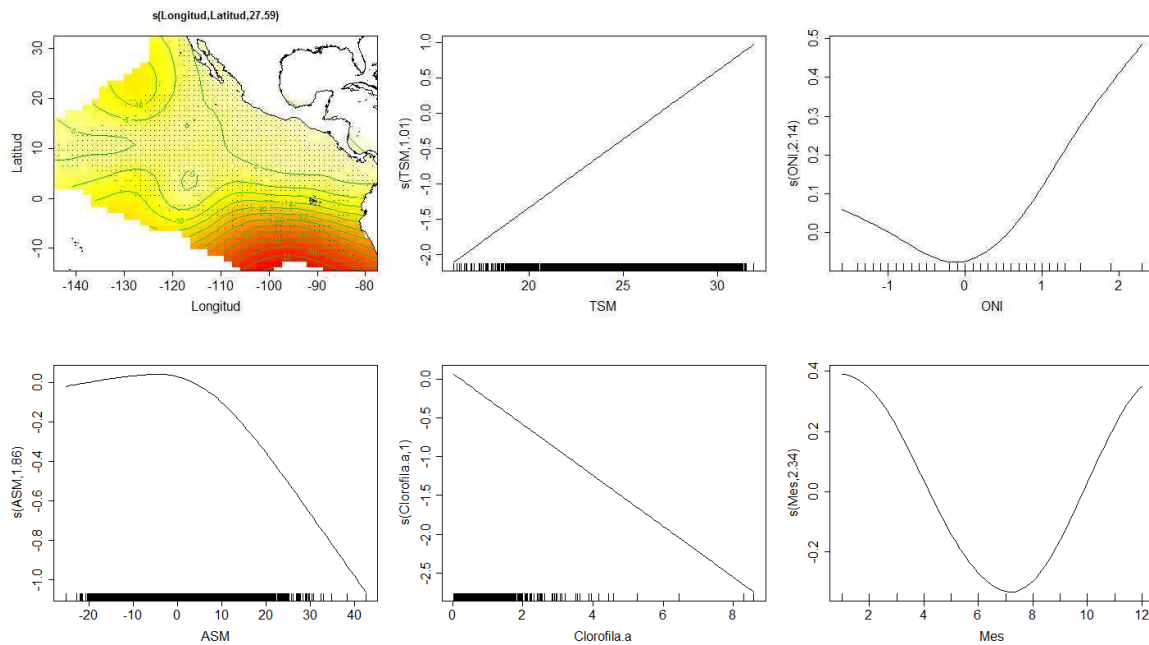


Figura 14. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del pez vela, explicado por el MAG.

En la Figura 15 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el pez vela de acuerdo al modelo-ARI. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor cuando la temperatura superficial del mar es mayor a 27 °C, en zonas costeras, en latitudes al norte de los 20° N, durante eventos El Niño ($ION > 1$), en diciembre, y en zonas de convergencia. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja cuando la temperatura superficial del mar es menor a 25 °C, en zonas oceánicas, en latitudes al sur de los 10° N, y en zonas de divergencia.

En la Figura 16 se muestran las predicciones espaciales de la probabilidad de ocurrencia del pez vela en el OPO predicho por el modelo-MAG, como se aprecia la captura incidental del pez vela es mayor en zonas costeras, principalmente al sur de México y Centroamérica. De manera muy similar el modelo-ARI predice que la mayor probabilidad de ocurrencia de la especie en zonas costeras de México y Centroamérica. Ambos modelos coinciden en que los ambientes costeros son los más favorables para el pez vela y que en zonas oceánicas la probabilidad de presencia de la especie es muy baja.

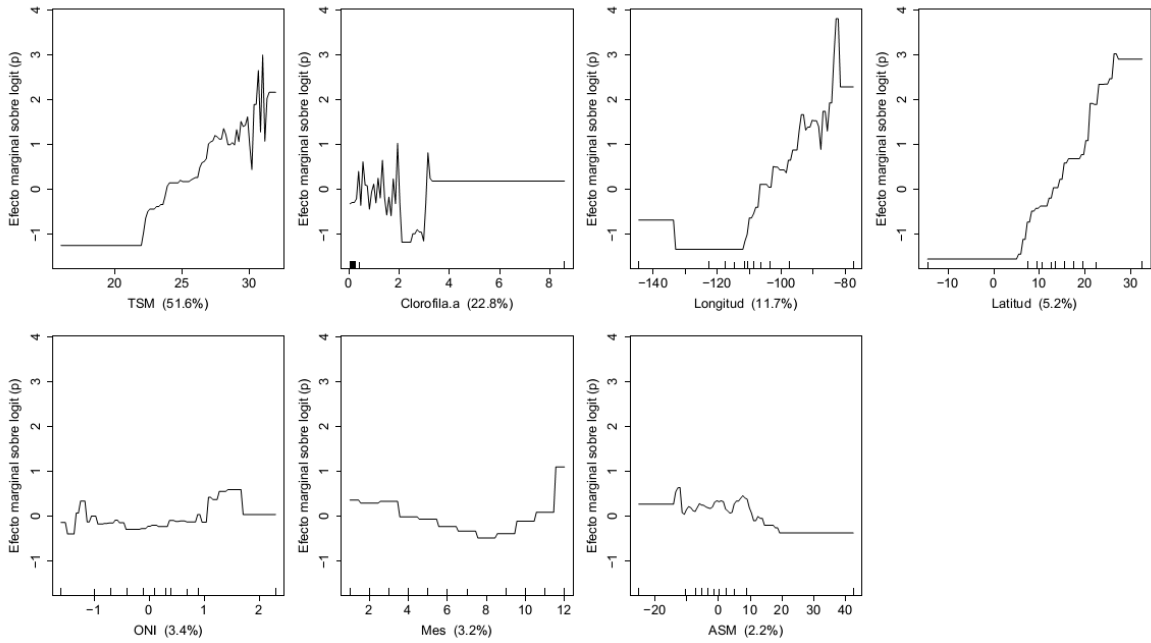


Figura 15. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del pez vela, explicado por el ARI.

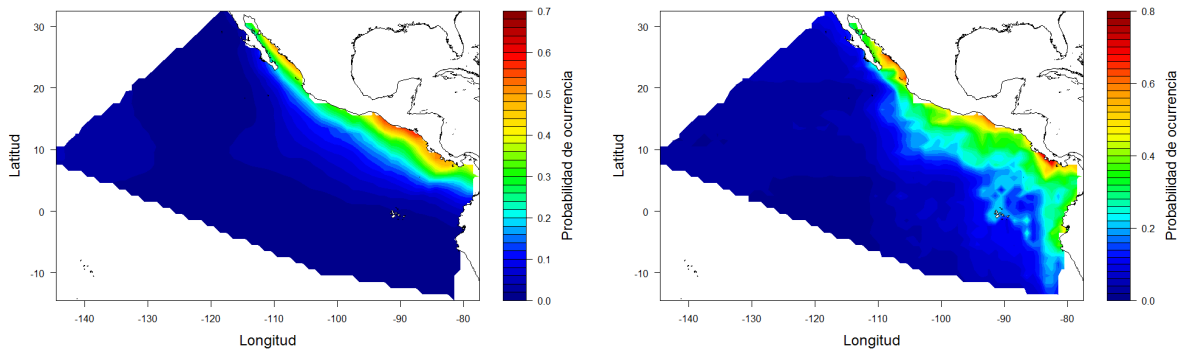


Figura 16. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del pez vela en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).

VIII.3.5. Dorado *Coryphaena* spp.

En la Figura 17 se muestra el efecto que las variables predictivas tienen en la presencia del dorado de acuerdo al modelo-MAG. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en ambientes oceánicos (principalmente al sur del ecuador), cuando la temperatura superficial del mar tiene un rango de 23 a 28 °C, durante eventos La Niña (ION < -1), cuando la concentración de *clorofila-a* es alta (> 2 mg m⁻³) y durante los meses de abril a julio. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en zonas costeras (principalmente en la latitud 15° N), con temperaturas menores de 20 °C y mayores de 29 °C, durante eventos El Niño (ION > 1), en zonas de convergencia y divergencia, cuando la concentración de *clorofila-a* es baja (< 2 mg m⁻³), y durante los meses de septiembre a diciembre.

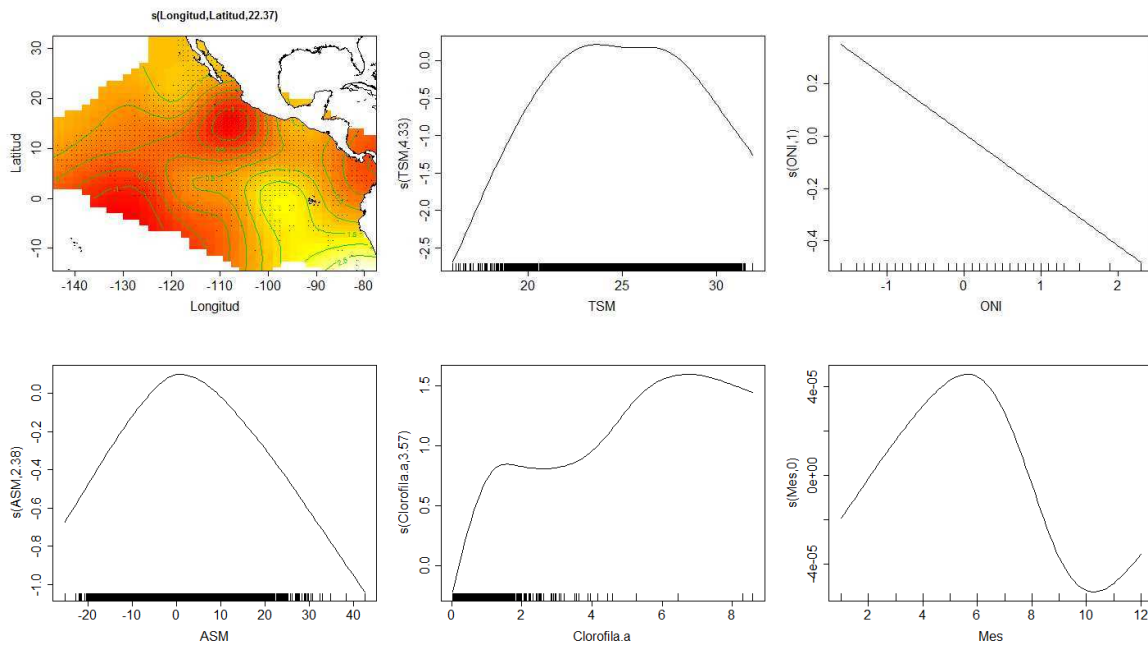


Figura 17. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del dorado, explicado por el MAG.

En la Figura 18 se muestra el efecto que las variables predictivas tienen en la presencia del dorado de acuerdo al modelo-ARI. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en latitudes al sur del ecuador, cuando los valores de temperatura están en un rango entre 23 y 27 °C, durante eventos La Niña (ION < -1), y en los meses de junio a diciembre. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja cuando la concentración de *clorofila-a* es baja (< 2 mg m⁻³), en latitudes al norte del ecuador, a temperaturas menores de 20 °C, en zonas de convergencia, durante eventos El Niño (ION > 1) y durante los meses de enero a mayo.

En la Figura 19 se muestran las predicciones espaciales de la probabilidad de ocurrencia del dorado en el OPO. Como se aprecia, las probabilidades más altas (0.7) de ocurrencia de la especie se presentan al sur del ecuador frente a las costas de Perú, sin embargo se observa otra zona importante ubicada en el Golfo de California. Las predicciones espaciales del modelo-ARI son muy similares a las del otro modelo. Se espera que al sur del ecuador se presenten los valores más altos (0.8) de probabilidad de ocurrencia, sin embargo esta zona es más oceánica.

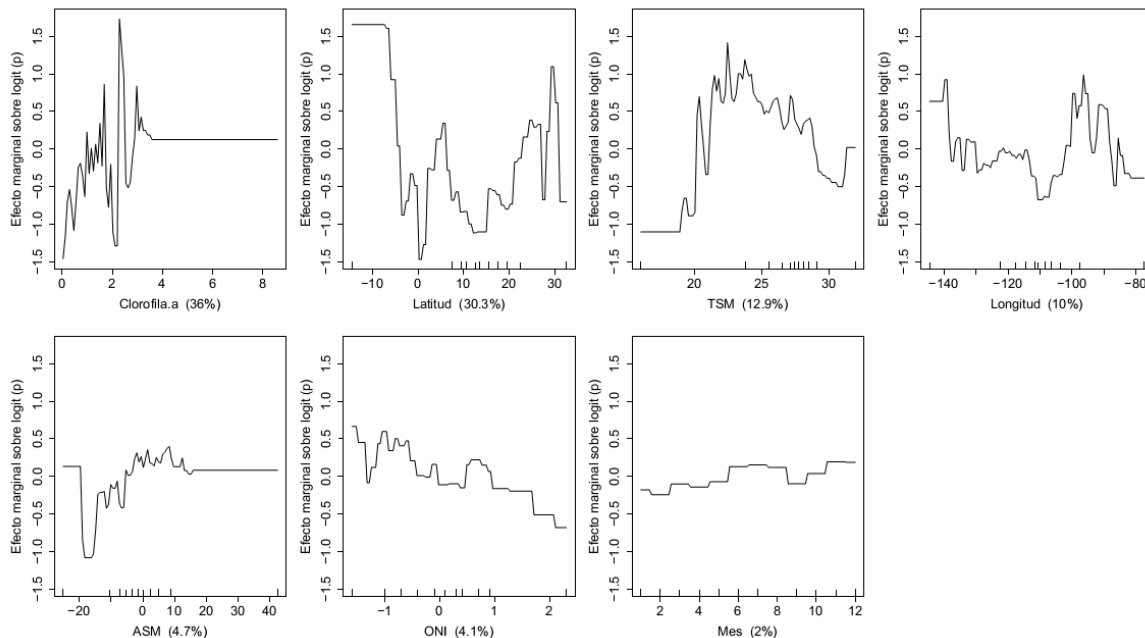


Figura 18. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del dorado, explicado por el ARI.

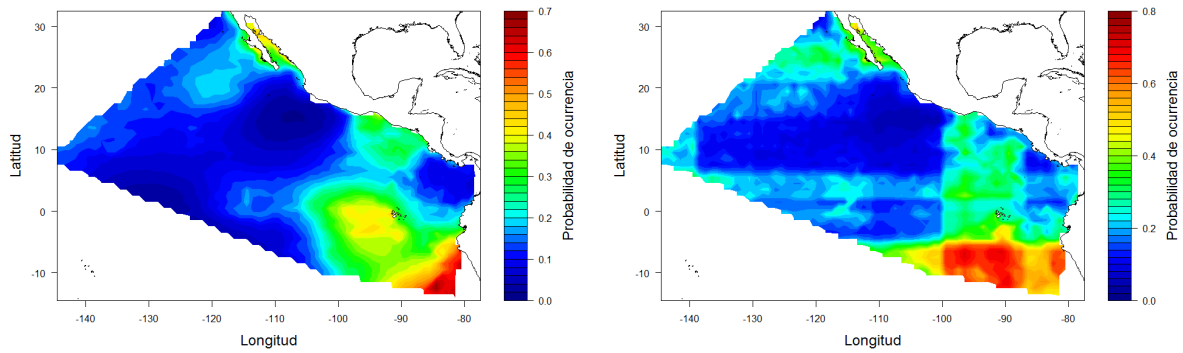


Figura 19. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del dorado en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).

VIII.3.6. Wahoo *Acanthocybium solandri*

En la Figura 20 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el wahoo de acuerdo al modelo-MAG. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en ambientes oceánicos (principalmente al sur del ecuador), cuando la temperatura superficial del mar tiene un rango entre 22 y 27 °C, durante eventos La Niña (ION < -1), cuando la concentración de *clorofila-a* es baja (< 2 mg m⁻³) y durante los meses de abril a julio. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en zonas costeras (excepto en la costa occidental de la península de Baja California), con temperaturas menores de 20 °C y mayores de 29 °C, durante eventos El Niño (ION > 1), en zonas de convergencia, cuando la concentración de *clorofila-a* es alta (> 2 mg m⁻³), y durante los meses de agosto a diciembre.

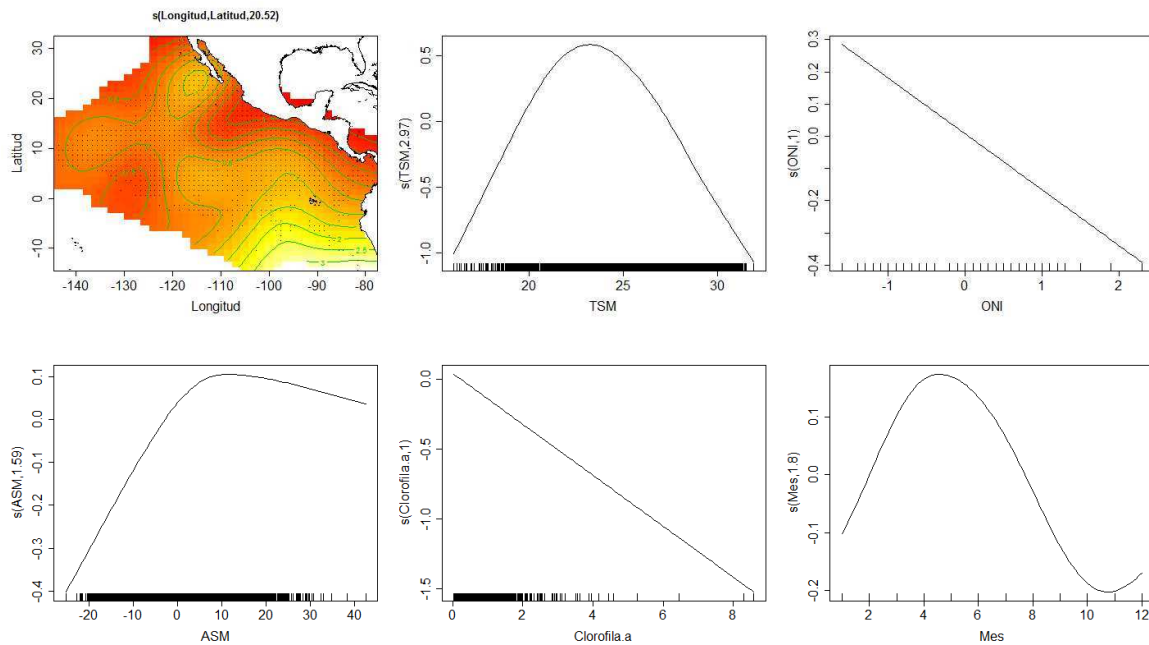


Figura 20. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del wahoo, explicado por el MAG.

En la Figura 21 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el wahoo de acuerdo al modelo-ARI. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en latitudes al sur del ecuador, cuando los valores de temperatura están en un rango entre 21 y 25 °C, durante eventos La Niña ($ION < -1$), y en los meses de marzo a agosto. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en latitudes al norte del ecuador, cuando la temperatura superficial del mar es menor de 20 °C y mayor de 28 °C, cuando la concentración de *clorofila-a* es baja ($< 2 \text{ mg m}^{-3}$), durante eventos El Niño ($ION > 1$) y durante los meses de enero y febrero.

En la Figura 22 se muestran las predicciones espaciales de la probabilidad de ocurrencia del wahoo en el OPO obtenido en el modelo MAG, en donde se puede apreciar que las probabilidades más altas (0.7) de ocurrencia de la especie se presentan al sur del ecuador en la latitud 10° S. Las predicciones espaciales del modelo-ARI son muy similares a las del otro modelo. Se espera que al sur del ecuador se presenten los valores más altos (0.8) de probabilidad de ocurrencia de la especie.

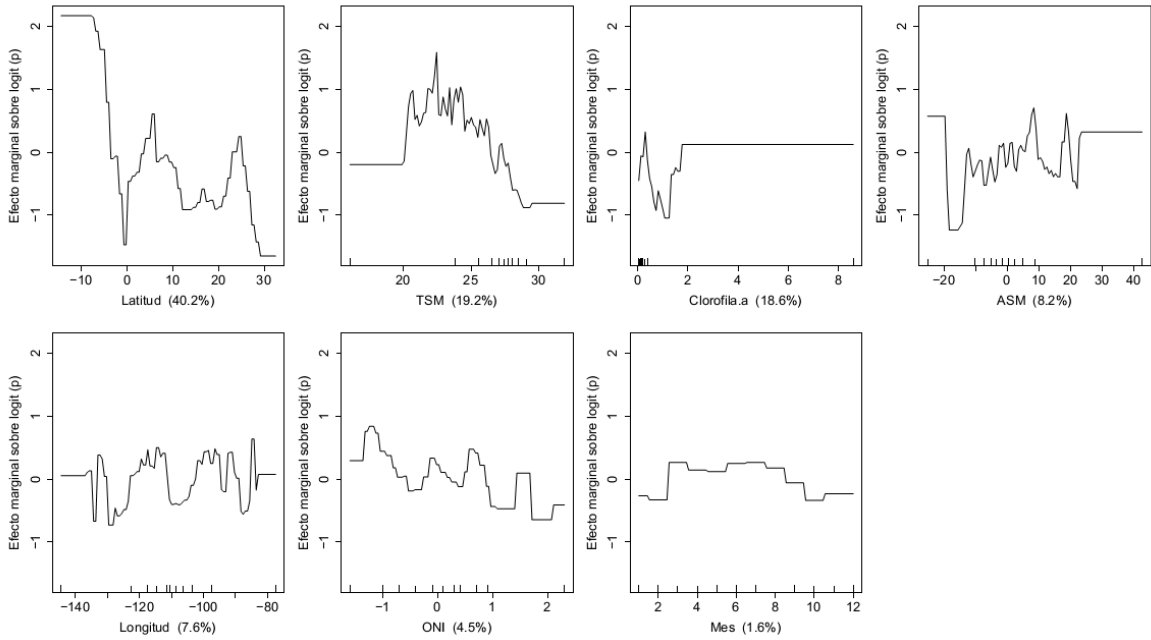


Figura 21. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del wahoo, explicado por el ARI.

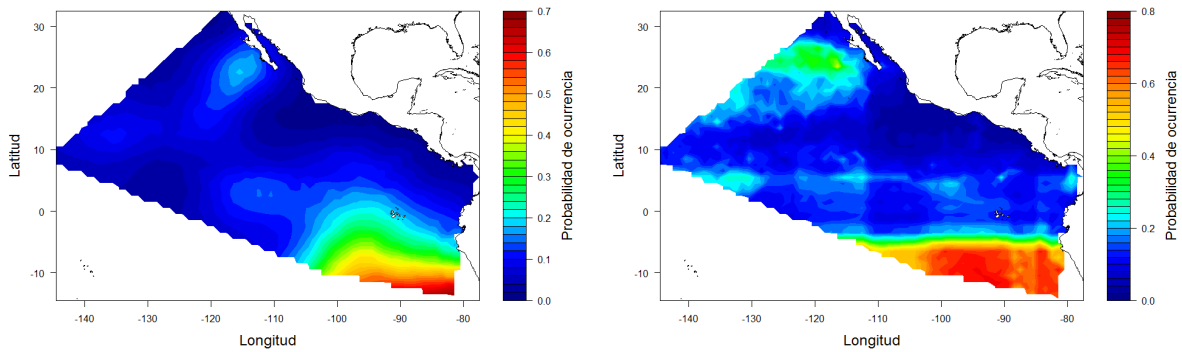


Figura 22. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del wahoo en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).

VIII.3.7. Tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis*

En la Figura 23 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el tiburón sedoso de acuerdo al modelo-MAG. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en ambientes costeros al sur del ecuador y a lo largo de la latitud 15° N, cuando la temperatura superficial del mar es mayor a 25 °C, durante eventos moderados La Niña y El Niño, en zonas de convergencia, y durante los meses de enero a mayo. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja cuando la temperatura superficial del mar es menor de 25 °C, en zonas de divergencia, cuando la concentración de *clorofila-a* es alta (> 2 mg m⁻³), y durante los meses de junio a diciembre.

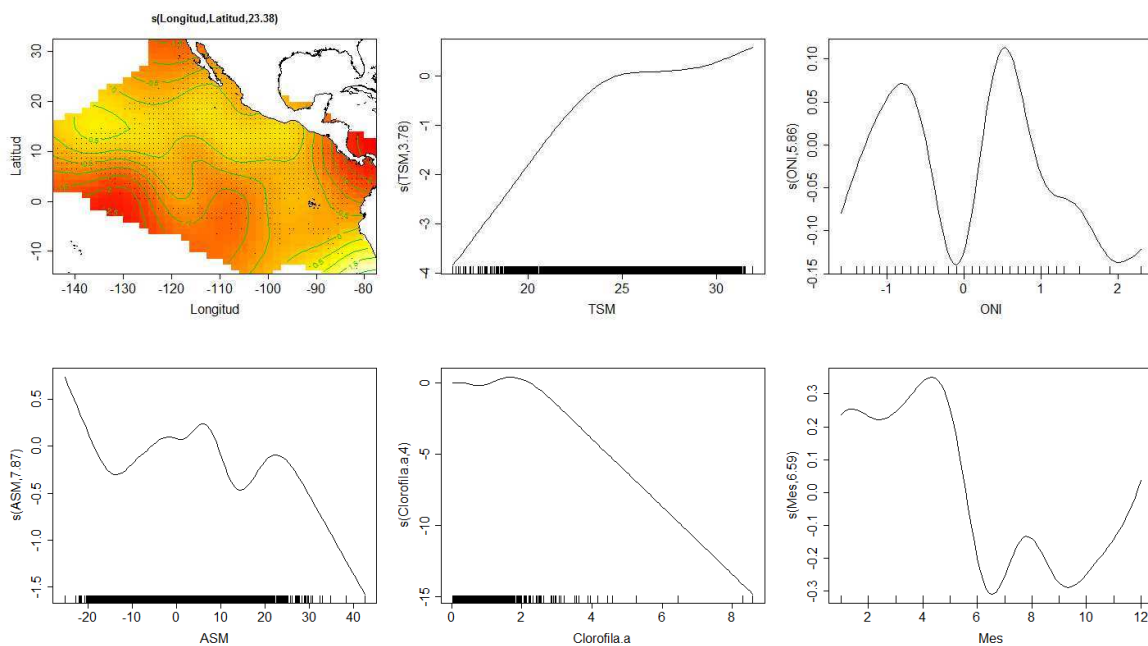


Figura 23. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del tiburón sedoso, explicado por el MAG.

En la Figura 24 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el tiburón sedoso de acuerdo al modelo-ARI. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor cuando la temperatura superficial del mar es mayor a 25 °C, en zonas oceánicas, al sur del ecuador y en la latitud 15° N y durante los meses de enero a mayo. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja cuando la temperatura superficial del mar es menor de 25 °C, en zonas costeras, en el ecuador y durante los meses de junio a diciembre.

En la Figura 25 se muestran las predicciones espaciales de la probabilidad de ocurrencia del tiburón sedoso en el OPO. Como se aprecia en el mapa predicho por el modelo-MAG, las probabilidades más altas (0.6) se presentan al sur de la latitud 10° S, sin embargo existe una franja con probabilidades cercanas a 0.4 entre las latitudes 10° y 20° N que podría considerarse importante para la especie. Las predicciones espaciales del modelo-ARI son un poco diferentes a las realizadas por el otro modelo, este modelo predice probabilidades de ocurrencia con un valor de 0.4 en una franja que se extiende a lo largo de la latitud 15° N, y otra zona ubicada al sur del ecuador con valores similares.

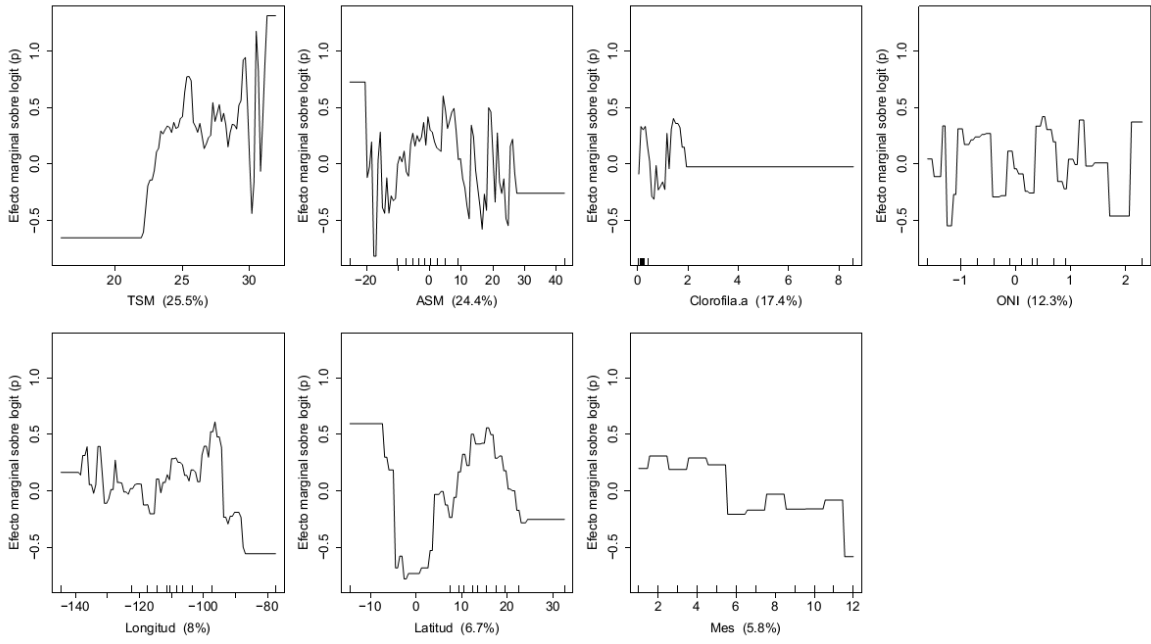


Figura 24. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del tiburón sedoso, explicado por el ARI.

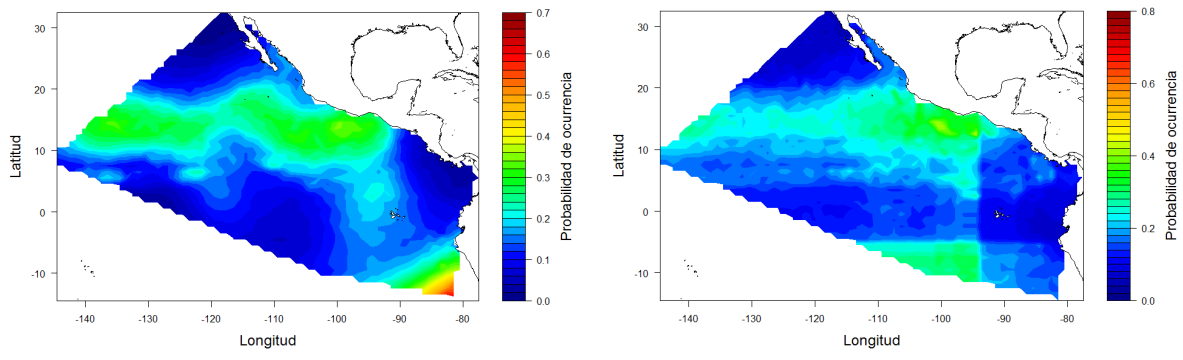


Figura 25. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del tiburón sedoso en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).

VIII.3.8. Tiburón puntas blancas *Carcharhinus longimanus*

En la Figura 26 se muestra el efecto que las variables predictivas tienen en la presencia del tiburón puntas blancas de acuerdo al modelo-MAG. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en ambientes muy oceánicos (principalmente alrededor de la latitud 15° N), en un rango de temperaturas entre 25 y 28 °C, durante eventos El Niño de gran intensidad (ION > 1.5), y durante los meses de mayo a septiembre. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en ambientes costeros, cuando la temperatura superficial del mar es menor de 25 °C y mayor a 29 °C, en zonas de divergencia, cuando la concentración de *clorofila-a* es alta (> 4 mg m⁻³), y durante los meses de enero a marzo y octubre a diciembre.

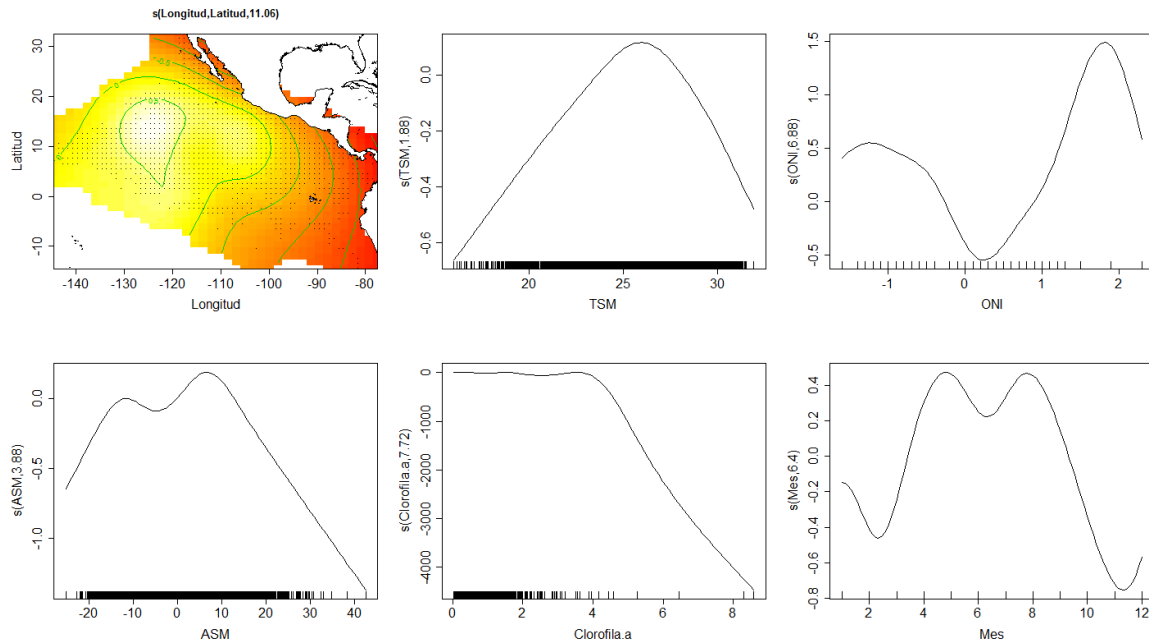


Figura 26. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del tiburón puntas blancas, explicado por el MAG.

En la Figura 27 se muestra el efecto que tienen las variables predictivas sobre el tiburón puntas blancas de acuerdo al modelo-ARI. Este modelo explica que la probabilidad de ocurrencia de la especie es mayor en zonas oceánicas, durante eventos El Niño de gran intensidad ($\text{ION} > 1.5$), cuando la concentración de *clorofila-a* es alta ($> 2 \text{ mg m}^{-3}$), en un rango de temperaturas entre 25 y 29 °C, en las latitudes 7° y 12° N, y durante los meses de abril a septiembre. Por el contrario, se espera que la probabilidad de ocurrencia sea baja en zonas costeras, cuando la concentración de *clorofila-a* es baja ($< 2 \text{ mg m}^{-3}$), cuando la temperatura superficial del mar es mayor de 30 °C, en latitudes al norte de los 20° N y durante los meses de febrero, marzo, noviembre y diciembre.

En la Figura 28 se muestran las predicciones espaciales de la probabilidad de ocurrencia del tiburón puntas blancas en el OPO predichas por el modelo-MAG, donde se puede apreciar que la probabilidad de ocurrencia es muy baja (< 0.25), registrando los valores mas altos en la zona oceánica centrada en la latitud 15° N y la longitud 125° O. De manera muy similar, las predicciones espaciales del modelo-ARI señalan la misma zona oceánica como la más importante para la especie, sin embargo los valores siguen siendo bajos (< 0.25).

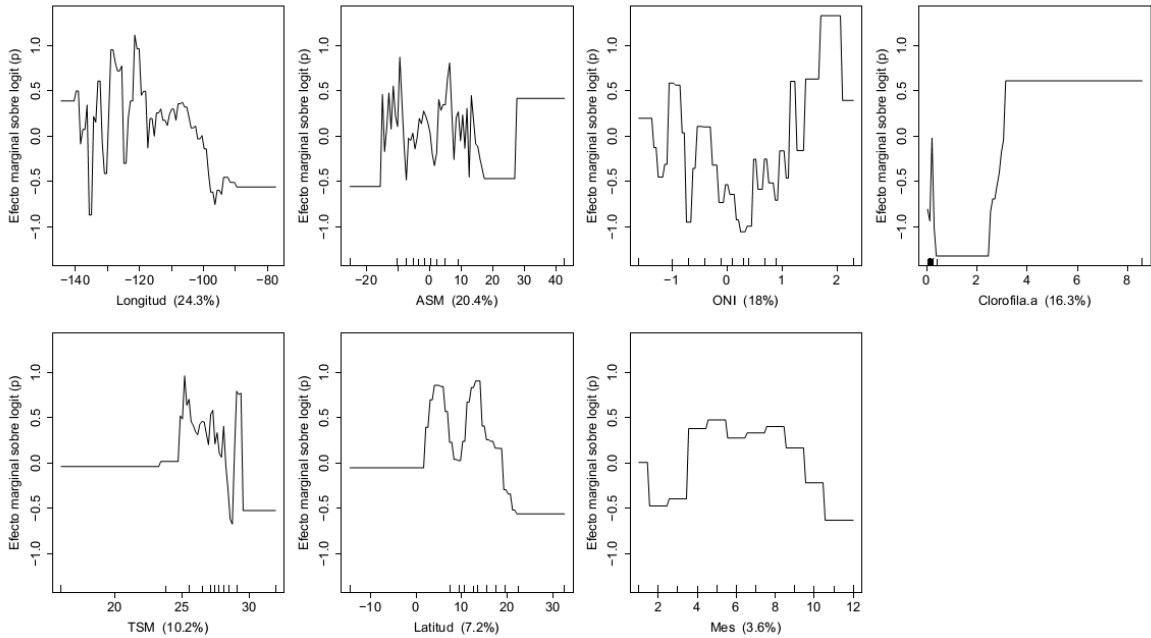


Figura 27. Efecto de las variables predictivas sobre la presencia del tiburón puntas blancas, explicado por el ARI.

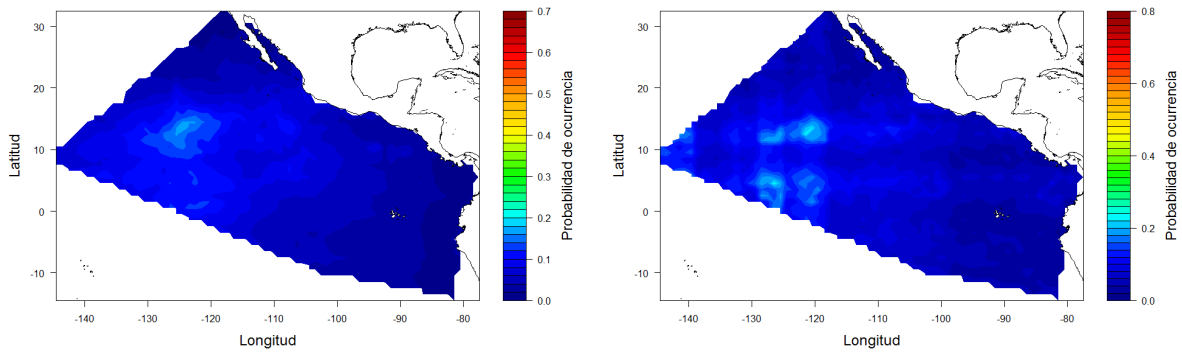


Figura 28. Predicciones espaciales de la probabilidad de presencia del tiburón puntas blancas en el OPO predichos por los modelos (izquierda = MAG y derecha = ARI).

VIII.4. Evaluación de los modelos estadísticos

En esta sección se presenta la evaluación numérica del desempeño predictivo de los modelos estadísticos (MAG y ARI) utilizados para explicar el efecto de las variables ambientales, espaciales y temporales sobre la captura incidental de las 8 especies de pelágicos mayores analizadas en este estudio.

En las Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los valores estadísticos que se utilizaron para comparar el desempeño predictivo los modelos estadísticos. De manera general se observa que todos los modelos estadísticos clasificaron correctamente los registros de presencia/ausencia de las 8 especies (más del 85% de acierto). Con respecto al área debajo de la curva (ADC), los resultados indican que los modelos-ARI tienen un mejor desempeño predictivo que los modelos-MAG. Por último, se evaluó el porcentaje de devianza explicado por los modelos de cada una de las especies. Estos resultados indican un mejor desempeño de los modelos-ARI con respecto a los modelos-MAG. En promedio los modelos-MAG explicaron el 8.54% de la devianza total, mientras que los modelos-ARI explicaron el 17.42% de la devianza total.

Tabla 4. Evaluación del desempeño predictivo de los modelos aditivos generalizados. PCC = porcentaje correctamente clasificados. ADC = área debajo de la curva.

Especie	PCC	ADC	% de devianza explicada
Marlin azul	0.97	0.68	4.96
M. negro	0.95	0.70	6.66
M. rayado	0.97	0.71	6.06
Pez vela	0.95	0.83	20.65
Dorado	0.93	0.74	9.45
Wahoo	0.96	0.73	8.16
Tiburón Sedoso	0.87	0.65	4.47
T. puntas blancas	0.97	0.71	7.43

Tabla 5. Evaluación del desempeño predictivo de los arboles de regresión impulsados. PCC = porcentaje correctamente clasificados. ADC = área debajo de la curva.

Especie	PCC	ADC	% de devianza explicada
Marlin azul	0.97	0.81	16.52
M. negro	0.95	0.78	14.48
M. rayado	0.97	0.85	21.21
Pez vela	0.95	0.85	25.66
Dorado	0.93	0.79	16.11
Wahoo	0.96	0.80	16.77
Tiburón Sedoso	0.87	0.73	10.14
T. puntas blancas	0.97	0.83	18.50

VIII.5. Análisis multivariados

La Figura 29 muestra de manera gráfica y numérica la correlación que existe entre la probabilidad de presencia (en el área de operación de la flota mexicana) predicha con el modelo-MAG entre cada par de especies analizadas en este trabajo. La información que muestra esta figura es la siguiente: A) Histogramas de frecuencia de la probabilidad de presencia de cada una de las especies, B) La correlación que existe entre dos especies, C) Gráficos de dispersión (x, y) con línea de tendencia, que compara la probabilidad de presencia de dos especies.

En los histogramas de frecuencia se aprecia, de manera general, que la probabilidad de ocurrencia de los pelágicos mayores es baja, siendo los valores que dominan menores a 0.5, es decir menos del 50% de probabilidad de que la flota mexicana capture a estas especies.

Los valores de correlación indican que los picudos (pez vela, marlín azul, negro y rayado) tienen una alta correlación (> 0.5) entre sí, lo que sugiere que los valores de probabilidad de ocurrencia de estas especies, son muy similares en los mismos cuadrantes, es decir que cuando la probabilidad de ocurrencia de una especie es baja (o alta), la probabilidad de ocurrencia de la otra especie en el mismo cuadrante se presenta en la misma magnitud. Las otras especies que tienen una correlación alta (> 0.5) son el dorado y el wahoo, lo que sugiere que los valores de probabilidad de ocurrencia de estas especies son muy similares en los mismos cuadrantes. Los valores de correlación del resto de las especies sugieren que no existen similitudes entre ellas. Además de los resultados descritos anteriormente, se observó que ningún valor de correlación es negativo, lo que sugiere que ninguna especie se ve afectada negativamente en presencia de otra especie. Los

gráficos de dispersión y las líneas de tendencia¹⁶ confirman los resultados observados con los valores de correlación.

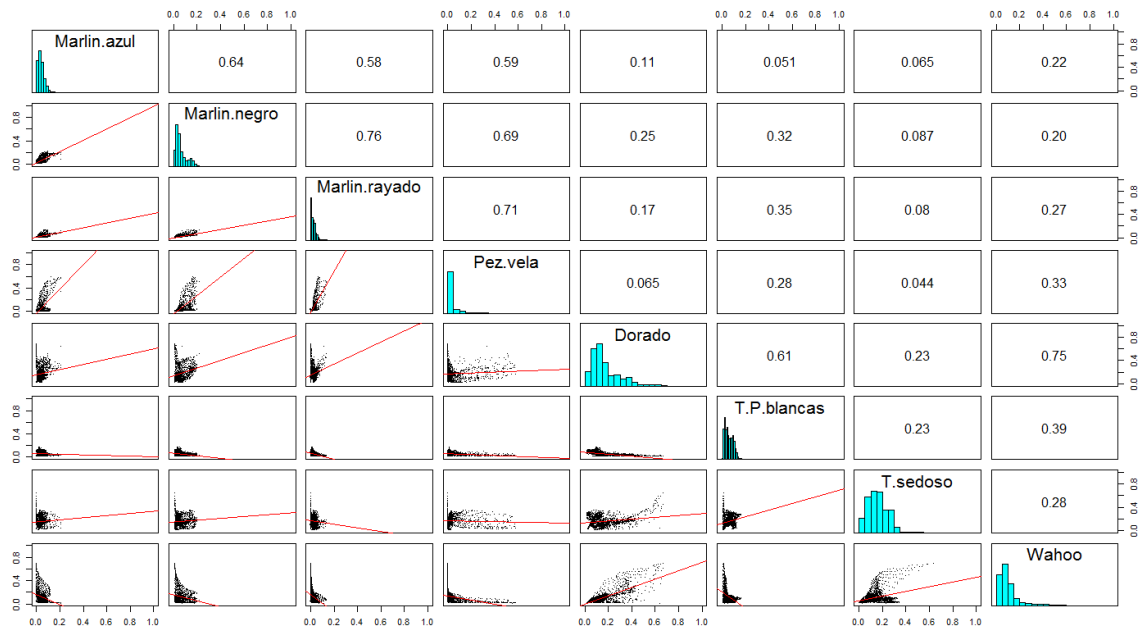


Figura 29. Análisis exploratorio de las predicciones espaciales generadas con el modelo-MAG.

El análisis de componentes principales aplicado a las predicciones espaciales calculadas con el modelo-MAG, muestra que existen dos grupos de especies que comparten ambientes similares. El primer grupo conformado por los marlines (azul, negro y rayado) y el segundo grupo conformado por el dorado y el wahoo. Sin embargo, se considera que el pez vela podría pertenecer al primer grupo, debido a que comparten valores muy similares a la de los marlines. La Figura 30 resume de manera gráfica los resultados obtenidos con esta técnica estadística.

¹⁶ Calculada con un modelo lineal simple.

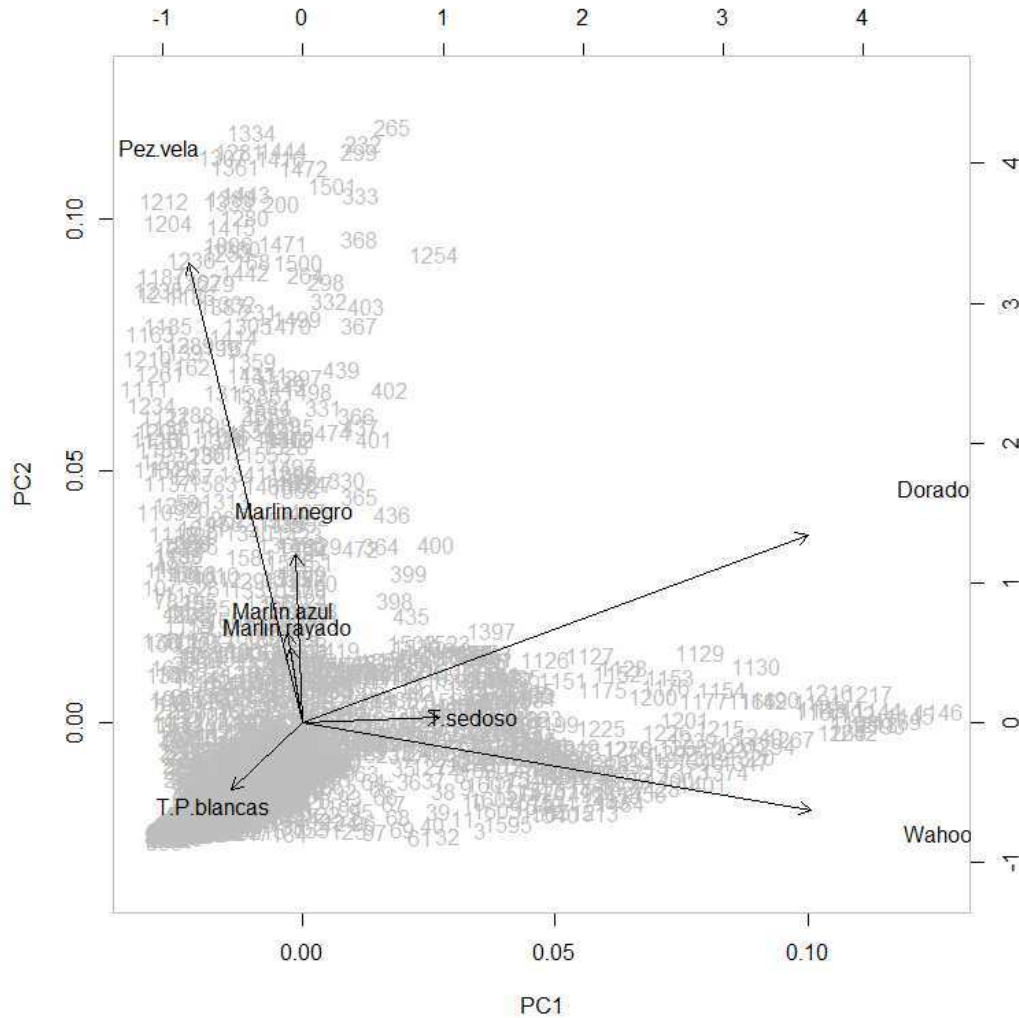


Figura 30. Análisis de componentes principales aplicado a la probabilidad de ocurrencia de los pelágicos mayores, obtenidos con el modelo-MAG. PC1 = componente principal 1, PC2 = componente principal 2. Los números en color gris dispersos dentro de la gráfica corresponden al número de cuadrante.

A partir de este gráfico y de los mapas de distribución de las especies se puede inferir que el primer componente principal podría estar muy relacionado con cuadrantes que se encuentran en ambientes oceánicos, mientras que el segundo componente principal podría estar relacionado con los cuadrantes que se encuentran en ambientes costeros. Sin embargo, estas son suposiciones que

proviene de los resultados previamente descritos en la modelación estadística de la captura incidental de los pelágicos mayores.

Los resultados anteriormente descritos muestran el grupo de los picudos y el grupo dorado-wahoo comparten ambientes muy similares. En la Figura 31 se muestra la distribución espacial de la probabilidad de presencia de estos grupos de especies. Como se observa en esta figura la probabilidad de presencia de los picudos es mayor en ambientes costeros, mientras que el grupo dorado-wahoo presenta sus valores más altos en zonas oceánicas al sur del ecuador.

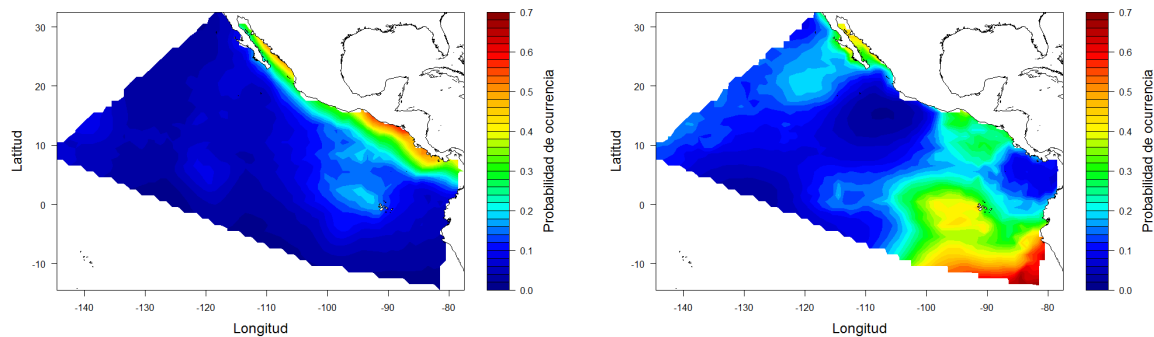


Figura 31. Predicciones espaciales de la probabilidad de ocurrencia del grupo de los picudos (izquierda) y el grupo dorado-wahoo (derecha) en el OPO.

En la Figura 32 se muestra la distribución espacial de la probabilidad de la captura incidental de los pelágicos mayores en el OPO durante el periodo 1998 – 2007. En esta figura se reconocen tres zonas donde ocurren las capturas incidentales de diferentes especies. 1) La zona costera: dominada por la presencia de los picudos, 2) La franja oceánica ubicada entre los 10° y 20° N, dominada por la presencia de los tiburones, y 3) La zona oceánica al sur del ecuador: dominada por la presencia del grupo dorado-wahoo.

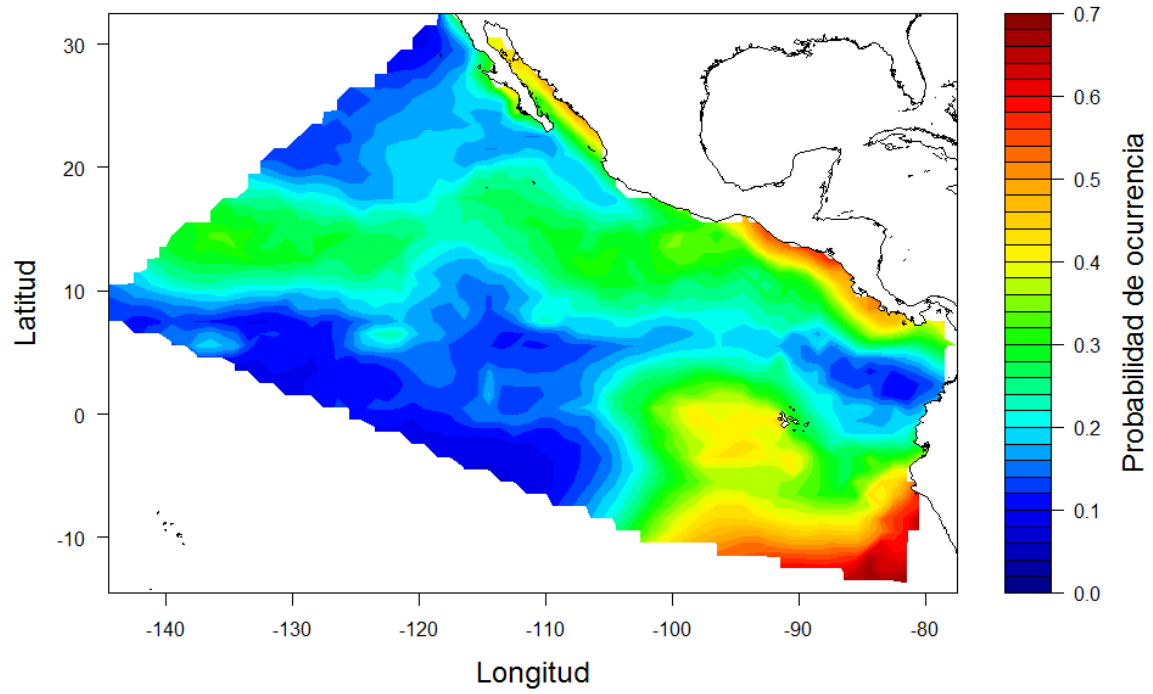


Figura 32. Distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de los pelágicos mayores en el OPO.

VIII.6. Análisis de tallas

La distribución de tallas por especie de los picudos muestreados por la CIAT en el periodo 1993 – 2008 se presenta en la Figura 33. Para el marlin azul se observó que el intervalo de tallas registrado en el periodo de muestreo fue de 90 a 340 cm de longitud ojo-furca (LOF), con un promedio de 208.7 cm ($n = 12,821$). Para el marlin negro se observó que el intervalo de tallas registrado fue de 60 a 340 cm LOF, con un promedio de 209.4 cm ($n = 7,742$). Para el marlin rayado se observó que el intervalo de tallas registrado fue de 95 a 335 cm LOF, con un promedio de 193.1 cm ($n = 3,051$), en tanto que para el pez vela el intervalo de tallas registrado fue de 40 cm a 295 cm LOF, con un promedio de 170.1 cm ($n = 5,010$).

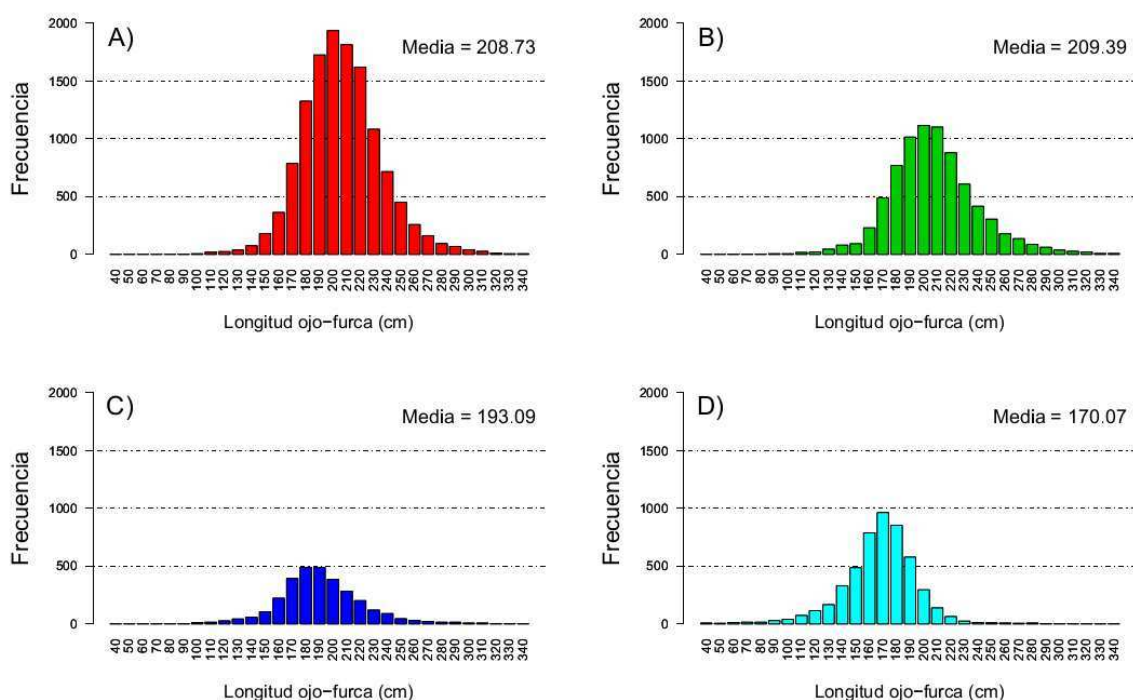


Figura 33. Distribución de frecuencias de las tallas de picudos registrados por la CIAT durante el periodo 1993 - 2008. A) Marlin azul, B) Marlin negro, C) Marlin rayado, D) Pez vela.

Interanualmente se encontraron diferencias significativas en las tallas promedio de las cuatro especies de picudos analizadas en este trabajo (Tabla 6 y Figura 34).

De manera general, estos resultados indican una disminución de las tallas promedio de las tres especies de marlin analizadas, principalmente en los últimos años del periodo de muestreo. Con respecto al pez vela, las tallas registradas por los observadores a bordo de los buques de pesca se mantuvieron más o menos constantes durante este periodo de estudio.

Tabla 6. Análisis de varianza de las tallas de picudos por año.

Especie	Número de datos	F	p
Marlin azul	12,821	11.15	< 0.001
Marlin negro	7,742	12.73	< 0.001
Marlin rayado	3,051	17.21	< 0.001
Pez vela	5,010	4.84	< 0.001

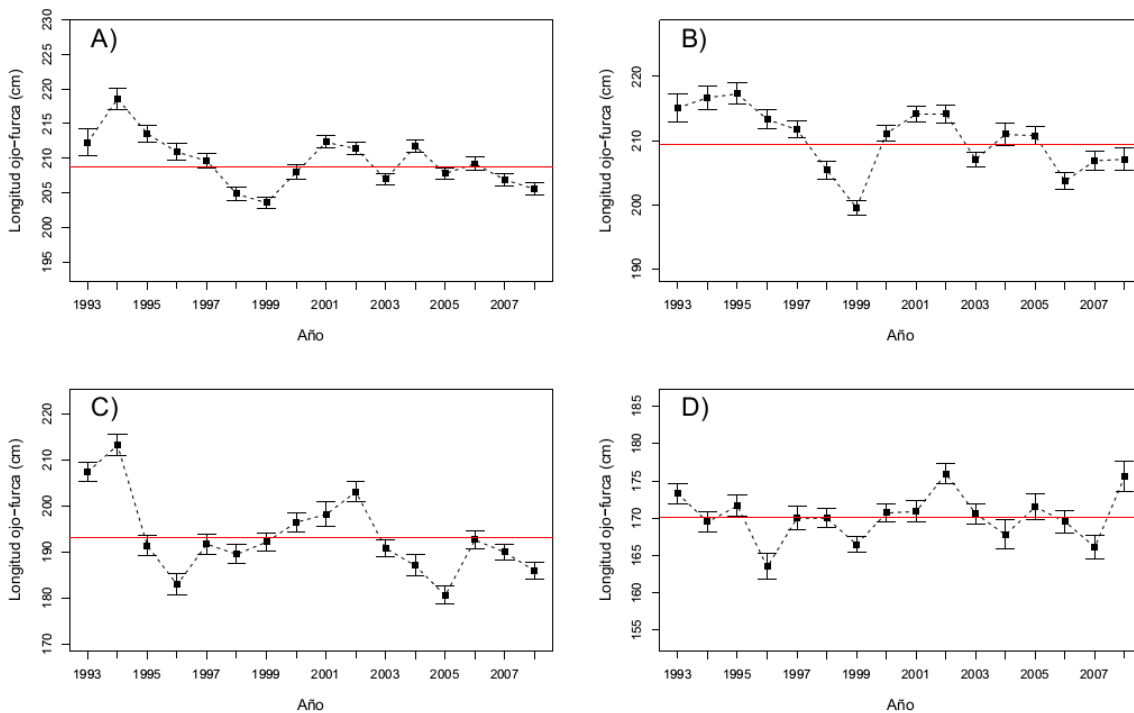


Figura 34. Variación interanual de la talla promedio de los picudos registrados por la CIAT durante el periodo 1993 – 2008. Línea roja = media general, bigotes = \pm error estándar. A) Marlin azul, B) Marlin negro, C) Marlin rayado, D) Pez vela.

El análisis de varianza realizado a las tallas por mes (representativo del periodo 1993 – 2008), muestra que existen diferencias significativas en las tallas de las cuatro especies de picudos analizadas en este trabajo (Tabla 7 y Figura 35). De manera general, se observa que durante enero se registran los peces más pequeños.

Tabla 7. Análisis de varianza de las tallas de picudos por mes.

Especie	Número de datos	F	p
Marlin azul	12,821	6.85	< 0.001
Marlin negro	7,742	3.06	< 0.001
Marlin rayado	3,051	1.92	< 0.05
Pez vela	5,010	4.91	< 0.001

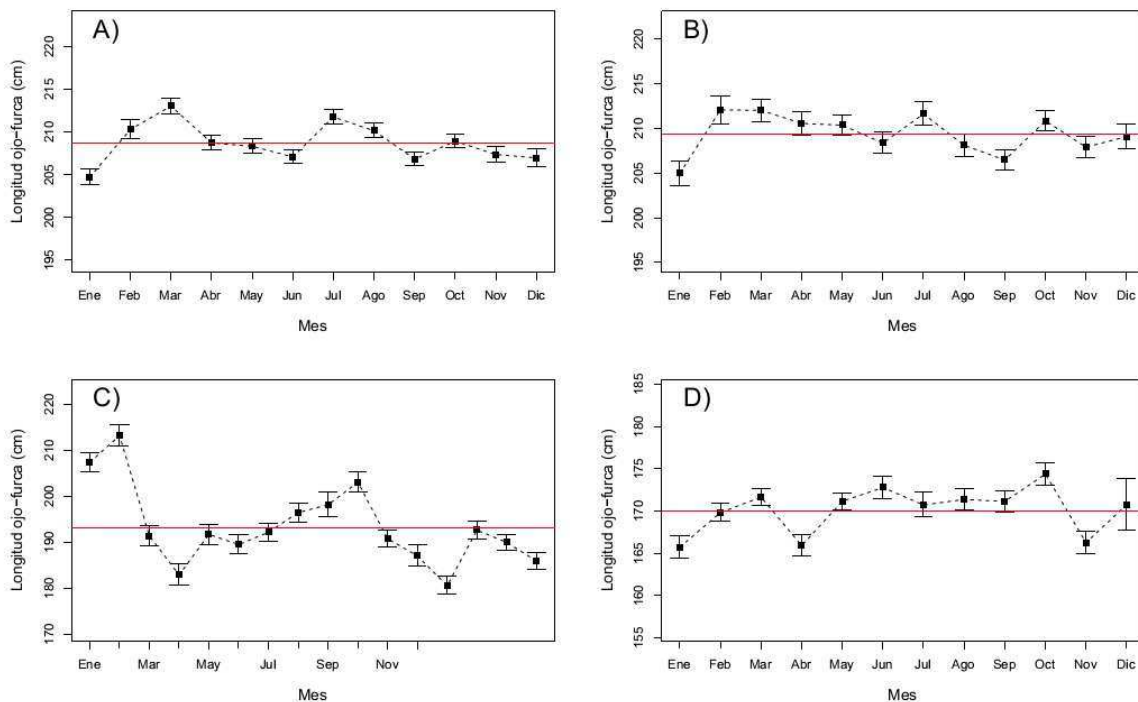


Figura 35. Variación mensual de la talla promedio de los picudos registrados por la CIAT durante el periodo 1993 – 2008. Línea roja = media general, bigotes = \pm error estándar. A) Marlin azul, B) Marlin negro, C) Marlin rayado, D) Pez vela.

Espacialmente se observa una segregación en las tallas de los picudos (Figura 36), de tal manera que al norte de los 5° N predominan los peces de la categoría juveniles, entre las latitudes 5° S – 5° N se observa que las proporciones de los juveniles y adultos es casi del 50%, y al sur de los 5° S dominan los peces de la categoría adultos. En el caso particular del marlin negro, no se encontró ninguna referencia bibliográfica en la cual se mencione la L₅₀ de esta especie, es por eso que se crearon tres categorías de tallas (chicos, medianos y grandes). Espacialmente se observa el mismo patrón que en las otras especies, al norte dominan los peces de la categoría “chicos (<195 cm LOF)”, en la parte central las tres categorías de tallas se encuentran casi en las mismas proporciones, y en la parte sur dominan los peces de la categoría “grandes (>220 cm LOF)”.

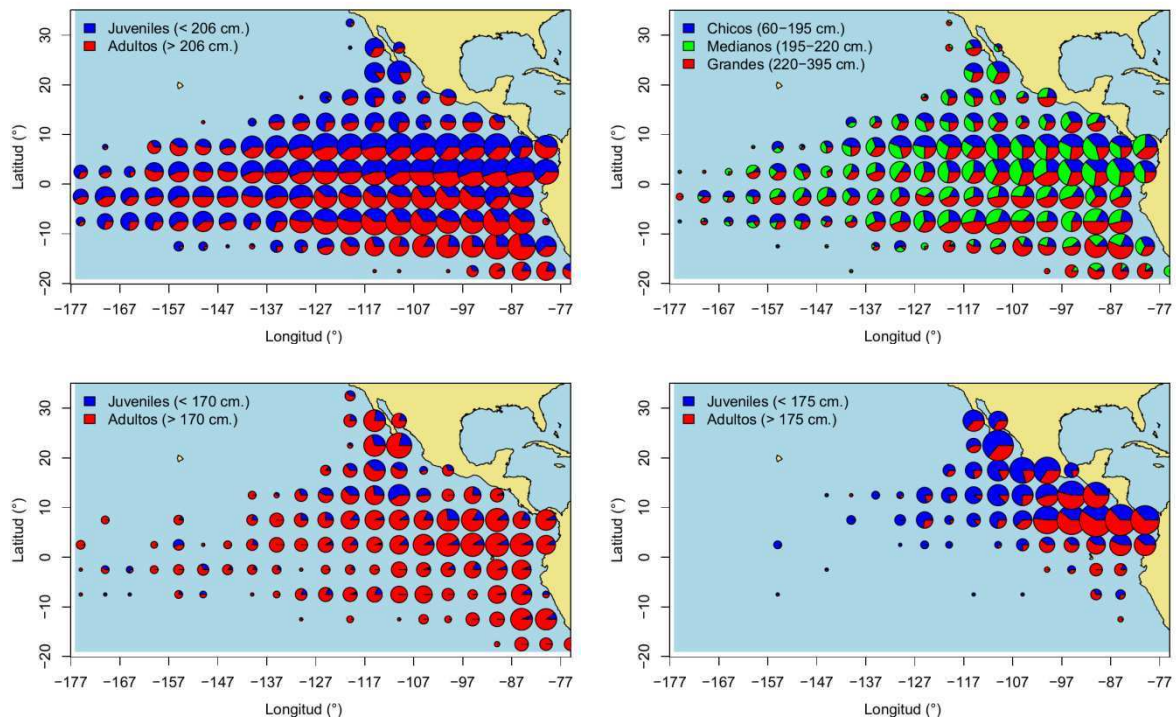


Figura 36. Distribución espacial de las tallas de picudos registrados por la CIAT durante el periodo 1993-2008. Marlin azul (arriba-izquierda), marlin negro (arriba-derecha), marlin rayado (abajo-izquierda) y pez vela (abajo-derecha).

IX. Discusión de resultados

IX.1. Esfuerzo de pesca

El análisis del esfuerzo de pesca realizado por la flota mexicana muestra que esta flota tiene una fuerte preferencia por realizar lances sobre cardúmenes de atún asociados con delfines (> 60% del total del esfuerzo de pesca) y que los lances realizados en objetos flotantes son escasos (< 3% del total del esfuerzo de pesca). Sin embargo, los datos de la flota internacional muestran que el 48% del total de los lances de pesca se realizan sobre delfines, el 26% sobre no asociados y el 26% sobre objetos flotantes (CIAT, 2010). Estas diferencias en el número de lances por tipo de indicador de pesca se deben principalmente a que la mayoría de los países que conforman la flota internacional, tiene una marcada preferencia de pescar los atunes que se encuentran asociados a objetos flotantes (principalmente plantados¹⁷).

La distribución de lances por tipo de indicador de pesca presentó diferencias espaciales importantes. De acuerdo a Bautista-Cortés (1997) los lances realizados sobre cardúmenes no asociados ocurren generalmente en aguas cercanas a las costas, cuando se cumplen dos condiciones: temperaturas óptimas (iguales o mayores a 20° C) y disponibilidad de alimento. En este trabajo, se observó que los lances realizados sobre cardúmenes no asociados fueron predominantes en dos zonas costeras de México: A) Alrededor de la península de Baja California, y B) Frente al Golfo de Tehuantepec.

Pares-Sierra y O'brien (1989), mencionan que la costa occidental de la península de Baja California se ve afectada por los procesos estacionales de surgencias, que ocurren a lo largo de la costa durante la primavera y verano y cesan a finales

¹⁷ Nombre común de los dispositivos agregadores de peces (DAP).

del otoño. Estas surgencias propician la abundancia de plancton y de organismos que se alimentan de éste, como la langostilla *Pleuoncodes planipes*, que constituye la principal especie en la dieta de peces pelágicos en la zona (Blackburn, 1969; Trigueros-Salmerón, 1999; Tripp-Valdez, 2005). Bajo estas condiciones se espera que la pesca del atún comience en la parte sur de la península al final de la primavera o principios del verano, se extienda al norte durante el verano, y se traslade a otra zona al final del invierno o al inicio de primavera.

Respecto al Golfo de Tehuantepec, esta zona es de gran importancia para la pesquería de pelágicos mayores como atunes, tiburones y otros peces de importancia comercial durante el primer semestre del año (Santana-Hernández, 2001), debido a que la producción primaria en ésta área se incrementa significativamente durante el invierno gracias a los eventos de surgencia que se generan por el aumento de la intensidad de los vientos (Sasai *et al.*, 2012). Algunos autores (Blackburn, 1962; Ortega-García y Lluch-Cota, 1996; Martínez-Rincón, 2005) mencionan que este afloramiento de fitoplancton es aprovechado por los depredadores con un desfase de 4 a 5 meses.

Con respecto a los lances sobre delfines, aproximadamente el 60% de los lances realizados en este indicador de pesca se registraron entre los 5° y 15° N. Esta zona ha sido descrita previamente por tener una gran importancia en la pesca del atún, principalmente cuando se realizan lances sobre cardúmenes asociados a delfines (Gómez-Gallardo Unzueta, 1995; Bautista-Cortés, 1997; Vilchis-Ramírez, 1997; Hall *et al.*, 1999; Bistraín-Meza, 2003). Esta zona coincide con la zona de divergencia tropical entre la contracorriente Ecuatorial y la corriente Norecuatorial, donde el efecto del viento y de las principales corrientes provoca un flujo vertical de nutrientes hacia la zona eufótica, lo que genera un enriquecimiento en la productividad primaria (Au y Perryman, 1985; Reilly, 1990). Además, esta zona se caracteriza por presentar termoclinas someras (entre 50m y 150m) y de gran intensidad, así como poca variabilidad estacional en lo que respecta a la

temperatura superficial del mar, lo que favorece la agregación tanto de mamíferos marinos y otros depredadores tope (Fiedler, 1992; Fiedler *et al.*, 1992).

En la pesca del atún con cerco se ha observado que los peces pelágicos (como los túnidos) tienden a agruparse alrededor de los objetos flotantes. Los resultados observados en este trabajo muestran que la mayor parte de los lances realizados sobre objetos flotantes (más del 50%) se registraron en la franja ecuatorial ubicada entre el ecuador y 10° N. Al respecto, Solana-Sansores (2001b) menciona que la probabilidad de encuentro de los objetos flotantes a la deriva es mayor en estas latitudes del OPO, debido principalmente a las altas densidades de vegetación costera. Aunado a esto se tiene que estos objetos son arrastrados a zonas oceánicas por las grandes corrientes marinas. Sin embargo, cabe señalar que estudios recientes mencionan que el tipo de objetos flotantes presentes en la zona ecuatorial ha cambiado, debido a que en las últimas dos décadas la flota internacional ha aumentado el uso de los DAP (Dempster y Taquet, 2004; Dagorn *et al.*, 2010).

IX.2. Captura incidental de pelágicos mayores

La captura incidental de los pelágicos mayores fue mayor tanto en número de peces como en proporción (número de peces por lance) en los lances realizados sobre objetos flotantes, seguido por los no asociados y sobre delfines.

En los lances realizados sobre cardúmenes de atún no asociados a menudo se presentan capturas incidentales, sin embargo estas capturas generalmente están limitadas a un número pequeño de depredadores, como dorados, jureles, marlines, tiburones y rayas (Hampton y Bailey, 1993; CIAT, 2010). Algunos autores mencionan que los lances realizados sobre este indicador de pesca ocupan el segundo lugar en lo que respecta a las capturas incidentales y descartes de la especie objetivo en la pesquería del atún (Romanov, 1998; Hall *et al.*, 2000). La presencia de estas especies en cardúmenes no asociados, se debe principalmente a que estos lances se realizan en zonas que tienen altas abundancias de especies presas (sardinias, macarelas, peces voladores, etc.), mismas que atraen un gran número de depredadores a la zona.

En los lances realizados sobre delfines generalmente se capturan peces grandes y otros mamíferos marinos. Los principales grupos de peces que se capturan en este indicador de pesca son: tiburones, rayas, dorados, y picudos (CIAT, 2010). Este indicador de pesca ha sido descrito como el que genera la menor cantidad de captura incidental, y además la menor cantidad de descarte de las especies objetivo, debido a que en este indicador de pesca se captura a los atunes de mayor tamaño (Hall *et al.*, 2000; Gerrodette *et al.*, 2012). Hall *et al.* (2000), mencionan que la captura incidental en este indicador de pesca es baja, porque son pocas las especies que tienen la capacidad física necesaria para mantener la misma velocidad que tiene el grupo de atún-delfín.

Los lances realizados en los objetos flotantes generan la mayor cantidad de captura incidental tanto en volumen de captura como en diversidad de especies,

siendo las principales especies que son capturadas en este indicador de pesca el dorado, wahoo, salmonete, tiburón sedoso, tiburón puntas blancas, jurel y peces de la familia *Balistidae* (Hampton y Bailey, 1993; Romanov, 1998; Hall *et al.*, 2000; CIAT, 2010; Gerrodette *et al.*, 2012). Actualmente se han planteado varias hipótesis que tratan de explicar el por qué las especies se asocian con los objetos flotantes. Las más comunes son: los objetos flotantes concentran suministros de alimento, ayudan a formar cardúmenes, son utilizados como ambientes sustitutos, como estaciones de limpieza, como refugio contra depredadores, y como punto de referencia (Hampton y Bailey, 1993; Dagorn y Fréon, 1999; Deudero *et al.*, 1999; Massutí *et al.*, 1999; Deudero, 2001; Dagorn *et al.*, 2010). Con base al conocimiento de los pelágicos mayores, se considera que la asociación que tienen con los objetos flotantes esté en función de su ontogenia, es decir, los peces jóvenes utilizan a los objetos flotantes como zonas de alimentación, refugio y/o punto de encuentro (para formar cardúmenes), mientras que peces adultos los utilizan como punto de referencia cuando se encuentran desplazando de una zona a otra.

En el análisis de la captura incidental de los pelágicos mayores se observó que las especies que se capturan tanto en mayor número como en mayor proporción (número de peces por lance) son el dorado, el wahoo, el tiburón sedoso y el tiburón puntas blancas, por el contrario, las especies de pico (pez vela, marlin azul, negro y rayado) fueron las especies que se capturaron en menor medida. Resultados muy similares han sido reportados por CIAT (2010), mencionando que las principales especies que son capturadas de manera incidental por la flota internacional son el dorado, el wahoo y el salmonete *Elegatis bipinnulata*, y que la sumatoria de la captura incidental de todas las especies de picudos es menor al 3%.

El análisis de las capturas incidentales de los picudos por indicador de pesca muestra que las mayores capturas de estas especies se presentaron en los lances realizados sobre delfines. Sin embargo, CIAT (2010), menciona que las mayores

capturas del marlin azul, negro y rayado se registran principalmente en lances realizados en objetos flotantes, mientras que las del pez vela es en lances sobre delfines. Una posible explicación de estas diferencias, puede estar relacionada con el número de lances que se realizan por tipo de indicador de pesca, ya que la flota mexicana realiza menos del 3% del total de sus lances sobre objetos flotantes, mientras que otras flotas tienden a pescar más con éste método de pesca, lo que seguramente genera un sesgo en la estimación.

Para el caso particular del dorado, varios estudios han reportado que esta especie se captura comúnmente en la pesquería del atún con cerco, sin embargo las mayores capturas se registran en los lances realizados sobre objetos flotantes, mientras que la captura de esta especie en los otros indicadores de pesca es muy baja (Romanov, 1998; Hall *et al.*, 2000; Solana Sansores, 2001a; Martínez-Rincón *et al.*, 2009; CIAT, 2010). Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con lo anteriormente reportado, observándose que las mayores capturas de dorado se registraron en este indicador de pesca, lo que confirma el hecho de que esta especie tiene una preferencia muy marcada a asociarse con objetos flotantes. Aunque existen muchas hipótesis que explican la asociación de los organismos marinos con los objetos flotantes, para el caso particular del dorado se considera que la razón más importante de asociación con los objetos flotantes, sea de que los utilizan como punto de encuentro para formar cardúmenes, sin embargo esta hipótesis no puede ser comprobada con los datos de este trabajo.

En lo que respecta a las capturas incidentales del wahoo, los resultados obtenidos en este trabajo muestran que las mayores capturas incidentales de esta especie se registran en lances realizados sobre objetos flotantes y no asociados, sin embargo la proporción de animales por lance es 13 veces mayor en objetos flotantes comparados con los no asociados. Resultados similares fueron encontrados por Martínez-Rincón *et al.* (2012), mencionando que la presencia del wahoo es hasta cuatro veces mayor en lances sobre objetos flotantes comparados con lances realizados sobre delfines, y hasta dos veces mayor comparados con

los lances no asociados. Sin embargo, según CIAT (2010), casi el 100% de las capturas incidentales de wahoo (en número de peces) ocurren en lances realizados sobre objetos flotantes, mientras que las capturas de esta especie en los otros indicadores de pesca son muy escasas. Una causa probable de estas diferencias encontradas, puede estar relacionada con el número tan bajo de lances que realiza la flota mexicana en lances sobre objetos flotantes, comparados con la flota internacional.

Las mayores capturas incidentales del tiburón sedoso se registraron en lances realizados en objetos flotantes, seguido por los lances realizados en delfines y no asociados. Estos resultados coinciden con los reportados por Román-Verdesoto y Orozco-Zöllner (2005), quienes analizaron la captura incidental de tiburones registrada por la flota internacional, estos autores reportan que el porcentaje de lances con captura de esta especie es mayor en lances realizados en objetos flotantes, seguidos por los lances en delfines y no asociados.

Actualmente la información de la captura incidental del tiburón puntas blancas es muy escasa, sin embargo, CIAT (2010), menciona que históricamente esta especie de tiburón ocupa el segundo lugar de los tiburones que son capturados de manera incidental por la flota internacional. En este trabajo, el tiburón puntas blancas fue capturado principalmente en lances realizados sobre objetos flotantes y delfines. Estos resultados coinciden con el trabajo de Román-Verdesoto y Orozco-Zöllner (2005), en donde se menciona que el porcentaje de captura de la especie por indicador de pesca es mayor en lances realizados sobre objetos flotantes, seguido por los delfines y no asociados.

IX.3. Modelación de las capturas incidentales

En este trabajo se eligieron cuatro variables ambientales (TSM, concentración de *clorofila-a*, ION y ASM), dos variables espaciales (longitud y latitud) y una variable temporal (mes) para explicar la distribución de peces los pelágicos mayores en el OPO.

La TSM ha sido ampliamente utilizada para describir la preferencia de hábitat de los organismos marinos, ya que esta variable ambiental afecta directamente los procesos fisiológicos de las especies (p.ej. respiración, crecimiento, reproducción, etc.). De tal manera que las especies están adaptadas a vivir en ciertos rangos de temperatura donde estas pueden llevar a cabo su ciclo de vida (Boyce *et al.*, 2008).

La concentración de *clorofila-a*, ha sido utilizada como medida de referencia de la cantidad de alimento disponible en el ecosistema pelágico (Sartimbul *et al.*, 2010), ya que éste pigmento fotosintético está presente en la mayoría de las especies que conforman el fitoplancton, que a su vez es la base de la cadena trófica de los ecosistemas pelágicos y de éste depende la presencia y abundancia de los consumidores primarios (zooplancton), secundarios (organismos filtradores) y terciarios (depredadores tope).

El ION ha sido utilizado para detectar las anomalías de temperatura presentes en la zona ecuatorial del Océano Pacífico, siendo los valores menores a -0.5 los que se relacionan con eventos La Niña y por el contrario valores mayores a 0.5 los relacionados con eventos El Niño. Estos eventos oceanográficos han sido relacionados con procesos de migración o cambios en la abundancia de los pelágicos mayores, ya que las condiciones ambientales (particularmente la temperatura) presentes en una zona cambian de tal manera que afectan el ciclo de vida de una especie (Lluch-Belda *et al.*, 2005).

La ASM es la variable ambiental que ha sido utilizada en menor medida en entender la distribución de las especies, ya que los procesos oceanográficos que han sido relacionados con ésta variable ambiental son las corrientes oceánicas, sin embargo, existe un número creciente de publicaciones en las cuales se ha relacionado esta variable ambiental con procesos oceanográficos como giros oceánicos, zonas de convergencia o divergencia, y El Niño principalmente (Zainuddin *et al.*, 2008). En este estudio las zonas de convergencia pueden estar muy relacionadas con las zonas donde se retienen un mayor número de objetos flotantes, y por lo tanto pueden ser consideradas como zonas de atracción de organismos marinos.

Con respecto a las variables ambientales, varios autores (Pennington *et al.*, 2006; Sartimbul *et al.*, 2010; Sasai *et al.*, 2012) mencionan que algunas variables oceanográficas están correlacionadas entre sí. Tal es el caso de la temperatura y la concentración de *clorofila-a*, ya que estas tienen una correlación negativa. En términos biológicos se interpreta de la siguiente manera: “la concentración de *clorofila-a* tiende a ser mayor a temperaturas templadas o frías y por el contrario esta tiende a ser baja a temperaturas cálidas”. Otro ejemplo es la relación entre la TSM y eventos El Niño o La Niña, ya que se ha descrito que durante eventos El Niño la TSM en la zona ecuatorial del OPO es más cálida, mientras que durante eventos La Niña la TSM es más fría que en años típicos. Sin embargo, es importante señalar que en este trabajo se aplicó un análisis de correlación (ver anexos 2) a las variables ambientales utilizadas, y los resultados indican que estas no están correlacionadas entre sí. Estos resultados se deben principalmente a la escala espacial del área de estudio, por ejemplo, si se observa la distribución de la concentración de *clorofila-a* (ver anexos 2), es muy evidente que los valores más altos de esta variable se encuentran principalmente en zonas costeras, mientras que el resto del OPO tiene valores muy bajos. En el mismo sentido, se ha observado que el área afectada por un evento El Niño o La Niña está en función de la intensidad de los mismos, es decir, cuando la intensidad de estos eventos es

baja, solo se observan anomalías en las temperaturas en la parte ecuatorial del OPO.

En este trabajo se utilizaron los MAG y los ARI para explicar el efecto que tienen las variables ambientales y espaciales sobre las capturas incidentales de los pelágicos mayores registradas en el OPO por la flota mexicana. Actualmente existen muchos trabajos que mencionan que los MAG y/o los ARI son herramientas estadísticas que ayudan a explicar el efecto que tienen las variables ambientales, espaciales, temporales, y/o las de pesca, sobre las especies (tanto las objetivo como las que son capturadas de manera incidental) que son capturadas por las pesquerías comerciales (Walsh y Kleiber, 2001; Leathwick *et al.*, 2006a; Damalas *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2011; Vögler *et al.*, 2012).

Para el caso particular del marlin azul, se observó que las mayores capturas de esta especie ocurren cuando la TSM es mayor a 26 °C, en presencia de eventos La Niña, y cuando la concentración de *clorofila-a* es alta. Al respecto, Su *et al.* (2008), en un análisis de los efectos ambientales y espaciales en la distribución del marlin azul, mencionan que la especie puede ser encontrada en una gran proporción del Océano Pacífico, pero que ésta prefiere zonas tropicales con temperaturas cálidas y bajas concentraciones de *clorofila-a*, lo que indica resultados diferentes (parcialmente) a los obtenidos en este trabajo. Una posible explicación de las diferencias encontradas entre este trabajo y el anteriormente mencionado, podría radicar en que en el presente estudio se analizaron las capturas que realizan los barcos cerqueros, mientras que en el trabajo de Su y colaboradores analizaron las capturas que registraron los barcos palangreros, lo que sugiere que la captura de los marlines ocurrieron en zonas más oceánicas.

Actualmente existen pocos trabajos en donde se describe la relación que existe entre el marlin negro y las variables ambientales, sin embargo Gunn *et al.* (2003), reportan que esta especie tiene una preferencia marcada por habitar en la capa de mezcla (20 – 120 m) y en aguas con temperaturas cálidas superiores a los 24 °C.

Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con esos autores, ya que las mayores capturas incidentales de esta especie se encuentran en un rango de temperaturas entre 25 y 30 °C. Por su parte, Leyva-García (2007), menciona que las capturas incidentales de esta especie se ven afectadas negativamente durante eventos El Niño, y por el contrario, que las capturas incidentales aumentan durante eventos La Niña; los resultados de este trabajo coinciden con lo reportado por este autor, ya que los modelos estadísticos predicen que las capturas incidentales del marlin negro disminuyen durante eventos El Niño de gran intensidad, y por el contrario estos modelos predicen altas capturas durante eventos La Niña de gran intensidad.

Sippel *et al.* (2007), demostraron que el marlin rayado habita principalmente en la capa de mezcla y que prefiere aguas con temperaturas entre 20 y 24 °C, mediante el uso de marcas satelitales. Los resultados encontrados en este trabajo indican un rango de temperaturas superior, ya que esta especie fue capturada con mayor frecuencia entre 21 y 27 °C, además de que se presentó en mayor medida en lances realizados en zonas costeras, principalmente al norte de los 10° N. De manera similar, Shimose *et al.* (2010), mencionan que esta especie tiene una mayor tolerancia a temperaturas superiores a los 24 °C, prefiriendo los ambientes costeros.

Con respecto al ION, los resultados de este trabajo sugieren que las capturas incidentales de esta especie disminuyen durante eventos El Niño de gran intensidad, lo cual discrepa con lo reportado por Ortega-García *et al.* (2008), quienes reportan tasas de captura más altas durante eventos El Niño. Lo anterior podría ser el resultado de la escala espacial analizada entre estos dos trabajos, ya que en ese estudio las capturas son en aguas costeras, adyacentes a Cabo San Lucas, en tanto que en este estudio se analizan todas las capturas registradas entre los 15° S y los 33° N.

Los resultados obtenidos con los modelos estadísticos sugieren que las mayores capturas incidentales del pez vela se presentan cuando se realizan lances en zonas costeras, a temperaturas mayores de 27 °C y durante eventos El Niño. Al respecto, varios autores (Kume y Joseph, 1969; Prince y Goodyear, 2006; Boyce *et al.*, 2008; Chiang *et al.*, 2011) han señalado que esta especie tiene una preferencia muy marcada por habitar zonas con temperaturas cálidas. Con respecto a su distribución espacial, estudios previos han demostrado que las áreas de mayor concentración se ubican principalmente en zonas costeras (Nakamura, 1985; Shimose *et al.*, 2010), en donde también se lleva a cabo su reproducción (González-Armas *et al.*, 2006).

Los estudios de las capturas de dorado reportadas tanto por las flotas comerciales como recreativas han señalado que esta especie prefiere habitar en aguas tropicales con temperaturas cálidas superiores a los 22 °C (Norton, 1999; Oxenford, 1999; Zúñiga-Flores *et al.*, 2008; Martínez-Rincón *et al.*, 2009). Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con lo anteriormente mencionado, ya que los modelos estadísticos sugieren que la probabilidad de ocurrencia de dorado aumenta cuando la temperatura superficial del mar tiene valores entre 23 y 28 °C. Por otro lado, Solana-Sansores (2001a), menciona que las mayores capturas incidentales de dorado registradas en objetos flotantes ocurren principalmente en dos franjas ubicadas al norte y al sur del ecuador. Estos resultados coinciden parcialmente con lo encontrado en este trabajo, ya que los modelos estadísticos sugieren que la probabilidad de ocurrencia del dorado es mayor, solo en aguas oceánicas al sur del ecuador. Se sugieren dos posibles explicaciones del porqué los resultados obtenidos en este trabajo difieren a lo encontrado por el autor anteriormente mencionado. 1) En el trabajo de Solana-Sansores se analizó la distribución de las capturas de dorado en número de peces, mientras que en este trabajo se analizó la probabilidad de presencia. 2) En este trabajo solo se analizaron las capturas registradas por la flota mexicana, mientras que en el otro se analizaron las capturas registradas por la flota internacional, lo que implica una mayor cantidad de lances sobre objetos flotantes.

Las variables espaciales y ambientales que tienen un mayor efecto en las capturas incidentales del wahoo son la latitud, la temperatura superficial del mar y la concentración de *clorofila-a*. Al respecto, Martínez-Rincón *et al.* (2012), reportan que además de las variables anteriormente mencionadas, el indicador de pesca es una variable que afecta la presencia de la especie en la pesquería del atún con cerco, señalando que cuando se realizan lances sobre objetos flotantes, la probabilidad de ocurrencia del wahoo es hasta cuatro veces mayor que en los otros indicadores de pesca. Por su parte, Sepulveda *et al.* (2011), utilizaron marcas satelitales para caracterizar las preferencias térmicas de la especie, y reportaron que el wahoo habita principalmente en aguas con temperaturas cálidas entre 23 y 26 °C. Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con lo anteriormente mencionado, demostrando que esta especie tiene una preferencia térmica bien definida. Especialmente se observó que el área de probabilidad de ocurrencia se presenta al sur del ecuador, lo que coincide con los resultados descritos por Martínez-Rincón *et al.* (2012). Sin embargo los trabajos anteriormente mencionados también señalan otra zona importante para la especie, ubicada en la costa occidental de la península de Baja California, que quizá no se detectó porque en el modelo estadístico no se utilizó el indicador de pesca, lo que disminuyó el efecto de los objetos flotantes en esta zona.

Minami *et al.* (2007), reportaron que las temperaturas cálidas propician una mayor captura incidental de tiburón sedoso. Esto coincide con lo observado en este trabajo, ya que los modelos estadísticos predicen que las capturas incidentales de esta especie son mayores cuando la temperatura superficial del mar es mayor a 25 °C. Por otro lado, se observó que la mayor probabilidad de ocurrencia de la especie se presenta en una zona costera al sur del ecuador, sin embargo, existe evidencia de que la franja localizada entre las latitudes 10° y 20° N representa una zona importante para la especie. Al respecto, Watson *et al.* (2009), mencionan que entre los 5° y 15° N se captura el 33% del total de las capturas incidentales de la especie (principalmente peces pequeños [< 90 cm de longitud total]).

Para el caso particular del tiburón puntas blancas, actualmente existen pocos trabajos que describen la biología de esta especie y su relación con el ambiente es muy escasa. Sin embargo, CIAT (2010), menciona que las capturas incidentales de esta especie en la pesquería del atún han disminuido drásticamente en los últimos años. En este trabajo se observó que esta especie tiene una preferencia por habitar ambientes muy oceánicos, con temperaturas en un rango entre 25 y 28 °C, y que eventos El Niño de gran intensidad propician que las capturas incidentales de esta especie sean mayores. Esto coincide con lo reportado por Román-Verdesoto y Orozco-Zöllner (2005) y Solana-Sansores (2001a), ya que estos autores encontraron que las capturas incidentales de esta especie se presentan principalmente en zonas oceánicas.

IX.4. Evaluación de los modelos estadísticos

La evaluación del desempeño predictivo de los modelos estadísticos utilizados en este trabajo (MAG y ARI), indican una diferencia mínima, siendo los modelos-ARI los que tienen un mejor desempeño en la predicción de las capturas incidentales de los pelágicos mayores. Resultados similares han sido descritos por varios autores (Kawakita *et al.*, 2005; Leathwick *et al.*, 2006b; Knudby *et al.*, 2010; Martínez-Rincón *et al.*, 2012), mencionando que usualmente los modelos-ARI (o modelos basados en árboles de regresión) tienen un mejor desempeño predictivo que los modelos-MAG. Al respecto, Knudby *et al.* (2010), concluyen que los modelos-ARI tienen un mejor desempeño que los modelos-MAG debido a que estos modelos tienen la capacidad de combinar los efectos no lineales que tienen las variables predictivas cuando se utilizan solas o en términos de interacción, lo que permite que estos modelos estadísticos sean mucho más flexibles que los MAG. Sin embargo, Leathwick *et al.* (2006b) y Martínez-Rincón *et al.* (2012), mencionan que cuando ambos modelos son utilizados con el mismo nivel de complejidad (mismas variables predictivas y sin considerar interacciones entre éstas) ambas herramientas estadísticas tienen un desempeño predictivo muy similar.

IX.5. Análisis multivariados

Los análisis realizados con las predicciones de probabilidad de las capturas incidentales de los pelágicos mayores, muestran que las distribuciones espaciales de las especies de picudos son muy parecidas entre sí, de tal manera que el valor de probabilidad de ocurrencia de una especie de picudo en un cuadrante dado es muy similar a los de otra especie de picudo en el mismo cuadrante. Las otras especies que tienen una gran similitud en su distribución espacial fueron el dorado y el wahoo, lo que sugiere que estas especies comparten las mismas preferencias espaciales, hecho que se confirmó con el análisis de componentes principales. Al respecto, se puede señalar que las especies de picudos se caracterizan por tener una amplia distribución espacial, sin embargo las mayores capturas de estas especies ocurren principalmente en zonas costeras (Kume y Joseph, 1969; Nakamura, 1985; Chiang *et al.*, 2011). Por su parte, el dorado y el wahoo son especies que tienen una gran preferencia de asociación con los objetos flotantes, lo que propicia que ambas especies compartan ambientes y espacios muy similares (Oxenford, 1999; Oxenford *et al.*, 2003; Martínez-Rincón *et al.*, 2009, 2012).

La distribución espacial de la probabilidad de presencia de los grupos de especies anteriormente mencionados confirma que los picudos prefieren ambientes costeros, mientras que el grupo dorado-wahoo tiene una preferencia por ambientes oceánicos (principalmente al sur del Ecuador). Al respecto, la CIAT ha propuesto medidas de manejo que permiten la reducción de capturas de tallas o especies no deseadas, mismas que están basadas principalmente en vedas espaciales y/o temporales. Por lo tanto, con los resultados obtenidos se espera que una reducción en el esfuerzo de pesca, principalmente en la zona sur del área de operación de esta pesquería, pudiera tener un impacto positivo en la reducción de la captura de dorado y wahoo. Aunado a esto, se tiene que en esta zona la pesca sobre objetos flotantes es alta, lo que propicia capturas de túnidos de un menor tamaño.

IX.6. Análisis de tallas

Actualmente no existen estudios donde se describan las tallas de los picudos que son capturados por pesquerías comerciales a una escala global u oceánica, por lo tanto, se considera que la información de las tallas de los picudos generada por los observadores a bordo de los buques cercoeros podría tener una gran importancia para la evaluación de estos recursos pesqueros.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que el marlin azul tuvo un intervalo de tallas de 90 – 340 cm de longitud ojo-furca (LOF), con un promedio de 208.7 cm. Esto coincide con lo reportado por Kume y Joseph (1969), en un análisis de las tallas de los picudos capturados por la flota palangrera en el periodo 1963 – 1967, lo que sugiere que las tallas de esta especie se han mantenido más o menos constantes entre estos periodos de estudio. Sin embargo, la tendencia observada en las tallas promedio, sugiere que las tallas del marlin azul son más pequeñas en los últimos años.

Con respecto a las tallas del marlin negro, los resultados obtenidos en este trabajo muestran que esta especie tiene un rango de tallas de 60 – 340 cm LOF. Resultados muy similares fueron descritos por Nakamura (1985), mencionando que el rango de tallas reportadas por la flota palangrera en el Océano Índico es de 130 – 310 cm de longitud furcal. Para el caso del marlin rayado el intervalo de tallas observado fue de 95 – 335 cm LOF, con un promedio de 193.1 cm. Al respecto, Kume y Joseph (1969), mencionan que el intervalo de tallas reportado de esta especie es de 80 – 275 cm LOF, con una moda de 170 cm, lo que indica que los peces capturados por la flota atunera de cerco son más grandes. Por último, el intervalo de tallas del pez vela fue de 40 – 295 cm LOF. Sin embargo, Chiang *et al.* (2006), analizando la captura comercial (red de cerco) e incidental (flota palangrera) de esta especie en aguas taiwanesas durante 1998 – 2002, encuentra que el intervalo de tallas es de 78 – 239 cm de longitud furcal, lo que

podría indicar que los peces capturados en el OPO son más grandes que los capturados en el Océano Pacífico Occidental.

Los análisis de varianza muestran que existen diferencias significativas en las tallas promedio de los picudos entre años y meses, observándose una disminución de las tallas capturadas en los últimos años (excepto en el pez vela) y tallas más pequeñas en los primeros meses del año. Resultados similares fueron observados por Ponce-Díaz y Casas-Valdéz (2009), quienes reportan una disminución de las tallas del marlin rayado desembarcado en Cabo San Lucas. Al respecto, es ampliamente aceptado que uno de los efectos que la explotación intensiva de un recurso marino podría ocasionar es una disminución de las tallas capturadas, por lo que podría sugerirse poner atención a esta especie dada la coincidencia en la disminución de tallas tanto a nivel costero como oceánico. Aunado a esto si bien no existe una evidencia sólida de la sobre explotación de los picudos en el OPO, Matsumoto y Bayliff (2008), mencionan una disminución en las capturas de picudos que son capturados por la flota palangrera japonesa, durante el periodo 1998 – 2003.

El análisis de la distribución espacial de las categorías de tallas de los picudos muestra que existe una segregación espacial de las tallas de los picudos en el OPO, observándose que en la zona norte del OPO dominan los peces juveniles, mientras que en la zona sur los adultos. Resultados similares fueron descritos por Kume y Joseph (1969), en un análisis de las tallas de los picudos registrados por la flota palangrera japonesa que opera en el OPO, estos autores mencionan que de manera general existe una tendencia de incremento en la talla promedio de estas especies de norte a sur. Resultados similares han sido reportados para otras especies, por ejemplo Chen *et al.* (2005), reportan que la albacora *Thunnus alalunga* presenta una segregación espacial por tallas en el Océano Índico, mencionando que los individuos maduros habitan en la zona norte, mientras que los juveniles en la zona sur. Estos autores concluyen que esta segregación espacial se debe a las preferencias ambientales que tiene esa especie en

diferentes etapas de su ciclo de vida. En este estudio es difícil suponer que esta segregación espacial de los picudos fue ocasionada por las preferencias ambientales, debido a que la base de datos analizada no tiene información adicional de la biología de estas especies que pudiese utilizarse para contrastar una hipótesis similar.

X. Conclusiones

- ✓ Los lances de pesca de atún presentan una distribución espacial diferencial: los lances realizados sobre delfines ocurren principalmente en aguas oceánicas entre las latitudes 10° – 20° N, los lances no asociados en aguas costeras de México, mientras que los lances sobre objetos flotantes se presentan principalmente en una franja ubicada entre el ecuador y la latitud 10° N.
- ✓ Las especies que se capturan tanto en mayor número como en proporción de manera incidental en la pesca de atún con red de cerco son el dorado, wahoo, tiburón sedoso, tiburón puntas blancas y el pez vela, en tanto que la captura de los marlines es la más baja. Las mayores capturas incidentales de los peces pelágicos mayores se presentan principalmente en los lances realizados sobre objetos flotantes.
- ✓ Los modelos estadísticos (MAG y ARI) utilizados en este trabajo tuvieron un buen desempeño en la predicción de las capturas incidentales de los pelágicos mayores. Si bien los modelos-ARI tuvieron un mejor desempeño predictivo, los modelos-MAG pueden reconocer con mejor precisión la estructura espacial de los peces pelágicos mayores.
- ✓ Las variables ambientales que tienen un mayor efecto en las capturas incidentales de los peces pelágicos mayores fueron: la temperatura superficial del mar, la concentración de la clorofila-a y el Índice Oceánico el Niño. La probabilidad de ocurrencia de los pelágicos mayores es mayor a temperaturas superiores a los 20° C, durante eventos La Niña, y en zonas con bajas concentraciones de *clorofila-a*.

- ✓ Se reconocieron dos grupos de especies que comparten las mismas preferencias espaciales. El primero conformado por los picudos y el segundo conformado por el dorado-wahoo. La probabilidad de ocurrencia del grupo de los picudos es más alta en zonas costeras, en tanto que la probabilidad de ocurrencia del grupo dorado-wahoo es mayor en zonas oceánicas ubicadas al sur del ecuador.

- ✓ Se observó una disminución de las tallas promedio de los picudos en los últimos años del periodo analizado (1993 – 2008). Además de que las tallas más pequeñas de los picudos se capturan en los primeros meses del año.

- ✓ Espacialmente se observa una segregación en las tallas de los picudos. Al norte de los 5° N predominan peces de la categoría juveniles, entre las latitudes 5° S – 5° N se observa que las proporciones de los juveniles y adultos es casi del 50%, y al sur de los 5° S dominan los peces de la categoría adultos.

Bibliografía

- Anónimo, 1999. Informe anual de la Comisión Interamericana del Atún tropical para 1997, la Jolla, California, EE.UU. 310 pp.
- Au, D.W.K., Perryman, W.L. 1985. Dolphin habitats in the eastern tropical pacific. Fish. Bull. 83(4):623-643.
- Badan, A. 1997. La corriente costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. Contribuciones a la Oceanografía Física en México. (3), 99-112.
- Bailey, K., Williams, P.G., Itano, D. 1996. By-catch and discards in Western Pacific tuna fisheries: a review of SPC data holdings and literature. Ocean Fish Prog. Tech rep 34. Noumea, New Caledonia.
- Bautista-Cortés, L.F. 1997. Análisis de la pesquería mexicana de atún, con énfasis en tres tipos de indicadores de cardúmenes. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 69 pp.
- Bistraín-Meza, E. 2003. Variación espacio-temporal de los lances de atún asociados a delfines y su relación con la temperatura del mar. Tesis De Maestría. CICIMAR-IPN. Mexico. 71 Pp.
- Blackburn, M. 1969. Conditions related to upwelling which determine distribution of tropical tunas off western Baja California. Fishery Bulletin: Vol. 68, No. 1. 147- 175.
- Boyce, D.G., Tittensor, D.P., Worm, B. 2008. Effects of temperature on global patterns of tuna and billfish richness. Marine Ecology Progress Series 355, 267–276.
- Bull, L.S. 2007. Reducing seabird bycatch in longline, trawl and gillnet fisheries. Fish and Fisheries 8, 31–56.
- Caddy, J.F, Griffiths, R.C. 1996. Recursos marinos vivos y su desarrollo sostenible: perspectivas institucionales y medioambientales. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 353. Roma. 191 pp.
- Carey, F.G., Robinson, B.H. 1981. Daily patterns in the activities of swordfish, *Xiphias gladius*, observed by acoustic telemetry. Fisheries bulletin, 79 (2): 277-292.

- Carvalho, F.C., Murie, D.J., Hazin, F.H.V., Hazin, H.G., Leite-Mourato, B., Burgess, G.H. 2011. Spatial predictions of blue shark (*Prionace glauca*) catch rate and catch probability of juveniles in the Southwest Atlantic. *Journal of Marine Science* 68, 890–900.
- CIAT. 2010. Reporte anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, 2008. Inter-American Tropical Tuna Commission. La Jolla, California. 100 pp.
- Chen, I.C., Lee, P.-F., Tzeng, W.-N. 2005. Distribution of albacore (*Thunnus alalunga*) in the Indian Ocean and its relation to environmental factors. *Fisheries Oceanography* 14, 71–80.
- Chiang, W.-C., Sun, C.-L., Yeh, S.-Z., Su, W.-C., Liu, D.-C., Chen, W.-Y. 2006. Sex ratios, size at sexual maturity, and spawning seasonality of sailfish *Istiophorus platypterus* from eastern taiwan. *Bulletin of Marine Science* 79, 727–737.
- Chiang, W.-C., Musyl, M.K., Sun, C.-L., Chen, S.-Y., Chen, W.-Y., Liu, D.-C., Su, W.-C., Yeh, S.-Z., Fu, S.-C., Huang, T.-L. 2011. Vertical and horizontal movements of sailfish (*Istiophorus platypterus*) near Taiwan determined using pop-up satellite tags. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 397, 129–135.
- Chong-Robles, J. 2006. Análisis de la captura incidental de elasmobranquios en la pesquería mexicana de atún con red de cerco en el Océano Pacífico Oriental. Tesis de Maestría. CICESE. México. 112 pp.
- Compagno, L.J.V. 1984. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. FAO Species catalogue. Vol. 4, Part 2. FAO Fisheries Synopsis, Rome.
- Crawley, M.J. 2007. *The R Book*. John Wiley & Sons Ltd. England. 942 pp.
- Dagorn, L., Fréon, P. 1999. Tropical tuna associated with floating objects: a simulation study of the meeting point hypothesis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56, 984–993.
- Dagorn, L., Holland, K.N., Filmlalter, J. 2010. Are drifting FADs essential for testing the ecological trap hypothesis? *Fisheries Research* 106, 60–63.

- Damalas, D., Megalofonou, P., Apostolopoulou, M. 2007. Environmental, spatial, temporal and operational effects on swordfish (*Xiphias gladius*) catch rates of eastern Mediterranean Sea longline fisheries. *Fisheries Research* 84, 233–246.
- Dempster, T., Taquet, M. 2004. Fish aggregation device (FAD) research: Gaps in current knowledge and future directions for ecological studies. *Fish Biology and Fisheries* 14, 21–42.
- Deudero, S., Merella, P., Morales-Nin, B., Massutí, E., Alemany, F., 1999. Fish communities associated with FADs. *Scientia Marina* 63, 199–207.
- Deudero, S., 2001. Interspecific trophic relationships among pelagic fish species underneath FADs. *Fish Biology* 58, 53–67.
- Elith, J., Leathwick, J.R., Hastie, T. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 77, 802–813.
- Fiedler, P.C. 1992. Seasonal Climatology and Variability of Eastern Tropical Pacific Surface Waters. NOAA Technical Report NMFS 109. US Department of Commerce. 65 pp.
- Fiedler, P.C. 2002. The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 49, 321–338.
- Fiedler, P.C., Lavin, M.F. 2006. Introduction: A review of eastern tropical Pacific oceanography. *Progress in Oceanography* 69, 94–100.
- Friedman, J.H. 2002. Stochastic gradient boosting. *Computational Statistics & Data Analysis* 38, 367–378.
- Gaertner, D., Ménard, F., Develter, C. 2002. Bycatch of billfishes by the European tuna purse-seine fishery in the Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin* 100, 683–689.
- Gerrodette, T., Forcada, J. 2005. Non-recovery of two spotted and spinner dolphin populations in the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 291, 1–21.
- Gerrodette, T., Olson, R., Reilly, S., Watters, G., Perrin, W. 2012. Ecological metrics of biomass removed by three methods of purse-seine fishing for

- tunas in the eastern tropical pacific ocean. *Conservation Biology* 26, 248–256.
- Gómez-Gallardo Unzueta, E.A. 1995. Distribución espacio-temporal de las operaciones de pesca sobre atún asociado a delfines, realizadas por la flota atunera mexicana que opera con red de cerco en el Pacífico Oriental Tropical: 1985-1987. Tesis Profesional, UABCS, La Paz. 105 pp.
- Gonzalez-Armas, R., Klett-Traulsen, A., Hernandez-Herrera, A. 2006. Evidence of billfish reproduction in the southern Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 79, 705–717.
- Gunn, J.S., Patterson, T.A., Pepperell, J.G. 2003. Short-term movement and behaviour of black marlin *Makaira indica* in the Coral Sea as determined through a pop-up satellite archival tagging experiment. *Marine and Freshwater Research* 54, 515–525.
- Guisan, A., Edwards, T.C., Hastie, T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene. *Ecological Modelling* 157, 89–100.
- Hall, M., Lennert-Cody, C., García, M., Arenas, P. 1999. Characteristics of floating objects and their attractiveness for tunas. In: M.D. Scott, W. Bayliff, C.E. Lennert-Cody and Shaefer, K.M. (eds.), *Proc. International Workshop on the Ecology and Fisheries for Tunas Associated with Floating Objects*, pp. 396–446.
- Hall, M.A., Alverson, D.L., Metuzals, K.I. 2000. By-Catch: Problems and Solutions. *Marine Pollution Bulletin* 41, 204–219.
- Hall, S.J., Mainprize, B.M. 2005. Managing by-catch and discards: How much progress are we making and how can we do better? *Fish and Fisheries* 6, 134–155.
- Hampton, J., Bailey, K. 1993. Fishing for tunas associated with floatin objects: A review of the western pacific fishery. Technical Report No. 31. Noumea.
- Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J. 2012. dismo: Species distribution modeling. R package version 0.7-17. <http://CRAN.R-project.org/package=dismo>.

- Huang, H.-W., Liu, K.-M. 2010. Bycatch and discards by Taiwanese large-scale tuna longline fleets in the Indian Ocean. *Fisheries Research* 106, 261–270.
- Kawakita, M., Minami, M., Eguchi, S., Lennert-Cody, C.E. 2005. An introduction to the predictive technique AdaBoost with a comparison to generalized additive models. *Fisheries Research* 76, 328–343.
- Kelleher, K. 2005. Discards in the world's marine fisheries: An update. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Kessler, W.S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*. 69, 181–217.
- Knudby, A., Brenning, A., LeDrew, E. 2010. New approaches to modelling fish-habitat relationships. *Ecological Modelling* 221, 503–511.
- Kopf, R.K., Davie, P.S., Bromhead, D.B., Young, J.W. 2012. Reproductive biology and spatiotemporal patterns of spawning in striped marlin *Kajikia audax*. *Journal of Fish Biology*.
- Kume, S., Joseph, J. 1969. Size composition and sexual maturity of billfish caught by the Japanese longline fishery in the Pacific Ocean east of 130° W. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.* 115–162.
- Leathwick, J.R., Elith, J., Hastie, T. 2006a. Comparative performance of generalized additive models and multivariate adaptive regression splines for statistical modelling of species distributions. *Ecological Modelling* 199, 188–196.
- Leathwick, J.R., Elith, J., Francis, M.P., Hastie, T., Taylor, P. 2006b. Variation in demersal fish species richness in the oceans surrounding New Zealand: An analysis using boosted regression trees. *Marine Ecology Progress Series* 321, 267–281.
- Leyva-García, I.A. 2007. Análisis espacio-temporal de la captura incidental de picudos asociada a la pesquería del atún con red de cerco por la flota mexicana en el Océano Pacífico Oriental de 1998 a 2004. Tesis de Maestría. CICESE. México. 167 pp.

- Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D.B., Lluch-Cota, S.E., 2005. Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Current. *Fisheries Oceanography* 14, 458–467.
- Martínez-Rincón, R.O. 2005. Distribución espacio-temporal de la captura por unidad de esfuerzo del pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Golfo de Tehuantepec y su relación con la temperatura superficial del mar y la concentración de pigmentos fotosintéticos. Tesis de Licenciatura. UNICACH. México. 77 pp.
- Martínez-Rincón, R.O. 2008. Análisis de la captura incidental de dorado (*Coryphaena* spp) registrada por la flota atunera mexicana en el Pacífico oriental. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 97 pp.
- Martínez-Rincón, R.O., Ortega-García, S., Vaca-Rodríguez, J.G. 2009. Incidental catch of dolphinfish (*Coryphaena* spp.) Reported by the Mexican tuna purse seiners in the eastern Pacific Ocean. *Fisheries Research* 96, 296–302.
- Martínez-Rincón, R.O., Ortega-García, S., Vaca-Rodríguez, J.G. 2012. Comparative performance of generalized additive models and boosted regression trees for statistical modeling of incidental catch of wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the Mexican tuna purse-seine fishery. *Ecological Modelling* 233, 20–25.
- Massutí, E., Morales-Nin, B., Deudero, S. 1999. Fish fauna associated with floating objects sampled by experimental and commercial purse nets. *Scientia Marina* 63, 219–227.
- Matsumoto, T., Bayliff, W.H. 2008. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern pacific ocean, 1998-2003. Inter-American Tropical Tuna Commission. La Jolla, California.
- Maunder, M., Harley, S.J. 2006. Evaluating tuna management in the Eastern Pacific Ocean. *Bull. Mar. Sci.* 78 (3), 593–606.
- McBride, R.S., Richardson, A.K., Maki, K.L. 2008. Age, growth, and mortality of wahoo, *Acanthocybium solandri*, from the Atlantic coast of Florida and the Bahamas. *Marine and Freshwater Research* 59, 799–807.

- Minami, M., Lennert-Cody, C.E., Gao, W., Román-Verdesoto, M. 2007. Modeling shark bycatch: The zero-inflated negative binomial regression model with smoothing. *Fisheries Research* 84, 210–221.
- 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 Fisheries Synopsis, Rome.
- Norton, J.G. 1999. Apparent habitat extensions of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in response to climate transients in the California Current. *Scientia Marina* 63, 239–260.
- Ortega-García, S., Lluch-Cota, S. 1996. Distribución de la abundancia de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y su relación con la concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por satélite en aguas al sur de México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. No. especial 4. México.* 85-93.
- Ortega-García, S., Vaca-Rodríguez, J.G., Rodríguez-Sánchez, R. 2006. Analysis of billfishes by catch recorded by the Mexican tuna fleet in the Eastern Pacific ocean. VII congreso de ciencias del mar. Cuba. 224 pp.
- Ortega-García, S., Ponce-Díaz, G., O'Hara, R., Merilä, J. 2008. The relative importance of lunar phase and environmental conditions on striped marlin (*Tetrapturus audax*) catches in sport fishing. *Fisheries Research* 93, 190–194.
- Oxenford, H.A. 1999. Biology of the dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic: A review. *Scientia Marina* 63, 277–301.
- Oxenford, H.A., Murray, P.A., Luckhurst, B.E. 2003. The biology of wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the western central Atlantic. *Gulf and Caribbean Research* 15, 33–49.
- Pares-Sierra, A., O'Brien, J.J. 1989. The Seasonal and interannual variability of the California Current System: a numerical model. *Journal of Geophysical Research*. 94 (C3): 3159-3180

- Pennington, J.T., Mahoney, K.L., Kuwahara, V.S., Kolber, D.D., Calienes, R., Chavez, F.P. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69, 285–317.
- Ponce-Díaz, G., Casas-Valdéz, M. 2009. Carta estatal pesquera y acuícola del estado de Baja California Sur. 280 pp.
- Prince, E.D., Goodyear, C.P. 2006. Hypoxia-based habitat compression of tropical pelagic fishes. *Fisheries Oceanography* 15, 451–464.
- Project Global. 2010. Global bycatch assessment of long-lived species. <http://bycatch.nicholas.duke.edu/>
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Reilly, S.B. 1990. Seasonal changes in distribution and habitat differences among dolphins in the eastern tropical Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 66:1-11.
- Restrepo, V., Dagorn, L. 2011. Defining Bycatch. <http://iss-foundation.org/2011/08/30/defining-bycatch/>
- Ridgeway, G. 2012. gbm: Generalized Boosted Regression Models. R package version 1.6-3.2. <http://CRAN.R-project.org/package=gbm>
- Román-Verdesoto, M., Orozco-Zöllner, M. 2005. Bycatches of sharks in the tuna purse-seine fishery of the Eastern Pacific Ocean reported by observers of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 1993-2004. Data Report 11. Inter-American Tropical Tuna Commission, La Jolla, California.
- Romanov, E.V. 1998. Bycatch in the purse seine tuna fisheries in the western Indian Ocean. In: 7th Expert Consultation on Indian Ocean Tunas. pp. 277–291.
- Romanov, E.V. 2002. Bycatch in the tuna purse-seine fisheries of western Indian Ocean. *Fish. Bull.* 100 (1), 90–105.
- Santana-Hernández, H. 2001. Estructura de la comunidad de pelágicos mayores capturados con palangre en el Pacífico mexicano (1983-1996) y su relación la temperatura superficial del mar. Tesis doctoral. Universidad de Colima, México 122 pp.

- Sartimbul, A., Nakata, H., Rohadi, E., Yusuf, B., Kadarisman, H.P. 2010. Variations in chlorophyll-a concentration and the impact on *Sardinella lemuru* catches in Bali Strait, Indonesia. *Progress in Oceanography* 87, 168–174.
- Sasai, Y., Richards, K.J., Ishida, A., Sasaki, H. 2012. Spatial and temporal variabilities of the chlorophyll distribution in the northeastern tropical Pacific: The impact of physical processes on seasonal and interannual time scales. *Journal of Marine Systems* 96–97, 24–31.
- Sepulveda, C.A., Aalbers, S.A., Ortega-Garcia, S., Wegner, N.C., Bernal, D. 2011. Depth distribution and temperature preferences of wahoo (*Acanthocybium solandri*) off Baja California Sur, Mexico. *Marine Biology* 158, 917–926.
- Shimose, T., Yokawa, K., Saito, H. 2010. Habitat and food partitioning of billfishes (Xiphoidei). *Journal of Fish Biology* 76, 2418–2433.
- Sippel, T.J., Davie, P.S., Holdsworth, J.C., Block, B.A. 2007. Striped marlin (*Tetrapturus audax*) movements and habitat utilization during a summer and autumn in the Southwest Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography* 16, 459–472.
- Solana Sansores, R. 2001a. Patrones espaciales de las especies epipelágicas capturadas incidentalmente en la pesca del atún sobre objetos flotantes, en el océano pacífico oriental. *Ciencias Marinas* 27, 445–479.
- Solana Sansores, R. 2001b. Los objetos flotantes del pacífico oriental: Formas, distribución espacial y cambios temporales. *Ciencias Marinas* 27, 423–443.
- Springer, S. 1967. Social organization of sharks populations. Chap. 9: 149 – 172. In: Gilbert, P. W., R. F. Mathewson & D. P. Rall (eds). *Sharks, Skates, and Rays*. The Johns Hopkins Press. USA.
- Su, N.-J., Sun, C.-L., Punt, A.E., Yeh, S.-Z. 2008. Environmental and spatial effects on the distribution of blue marlin (*Makaira nigricans*) as inferred from data for longline fisheries in the Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography* 17, 432–445.
- Sun, C.-L., Chang, Y.-J., Tszeng, C.-C., Yeh, S.-Z., Su, N.-J., 2009. Reproductive biology and spatiotemporal patterns of spawning in striped marlin *Kajikia audax*. *Fishery Bulletin* 107, 420–432.

- Trasvina, A., Barton, E.D. 1997. Los “nortes” del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento. En: M. F. Lavin (ed). Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana. pp. 25-46.
- Trigeros-Salmerón, J.A. 1999. Variación espacio-temporal de la abundancia relativa del barrilete *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758) en el Océano Pacífico Oriental, Durante 1970-1995. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 122 pp.
- Tripp-Valdez, A. 2005. Ecología trófica del dorado *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) en dos áreas del sur del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. México. 122 pp.
- Vilchis-Ramírez, L.P. 1997. Análisis de la pesca de atún aleta amarilla *Thunnus albacares* (Bonaterre, 1788), de la flota atunera mexicana del Pacífico oriental, durante el período de 1992 a 1995. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada. 104 pp.
- Vögler, R., Beier, E., Ortega-García, S., Santana-Hernández, H., Valdez-Flores, J.J. 2012. Ecological patterns, distribution and population structure of *Prionace glauca* (Chondrichthyes: Carcharhinidae) in the tropical-subtropical transition zone of the north-eastern Pacific. *Marine Environmental Research* 73, 37–52.
- Walsh, W.A., Kleiber, P. 2001. Generalized additive model and regression tree analyses of blue shark (*Prionace glauca*) catch rates by the Hawaii-based commercial longline fishery. *Fisheries Research* 53, 115–131.
- Watson, J.T., Essington, T.E., Lennert-Cody, C.E., Hall, M.A. 2009. Trade-Offs in the Design of Fishery Closures: Management of Silky Shark Bycatch in the Eastern Pacific Ocean Tuna Fishery. *Conservation Biology* 23, 626–635.
- Wood, S.N. 2006. *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman and Hall/CRC.
- Wood, S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 73(1):3-36

- Wyrtky, K. 1965. Surface currents of the eastern tropical pacific ocean. Bull. Int. Am. Tropical Tuna Com, 9 (5), 269 – 304.
- Wyrtki, K. 1966. Oceanography of the eastern tropical Pacific Ocean. Bull. Inter-Am Trop. Tuna Commission. 5: 269-304.
- Zainuddin, M., Saitoh, K., Saitoh, S.-I., 2008. Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data. Fisheries Oceanography 17, 61–73.
- Zischke, M.T. 2012. A review of the biology, stock structure, fisheries and status of wahoo (*Acanthocybium solandri*), with reference to the Pacific Ocean. Fisheries Research 119 - 120, 13–22.
- Zúñiga-Flores, M.S., Ortega-García, S., Klett-Traulsen, A. 2008. Interannual and seasonal variation of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) catch rates in the southern Gulf of California, Mexico. Fisheries Research 94, 13–17.

Anexos

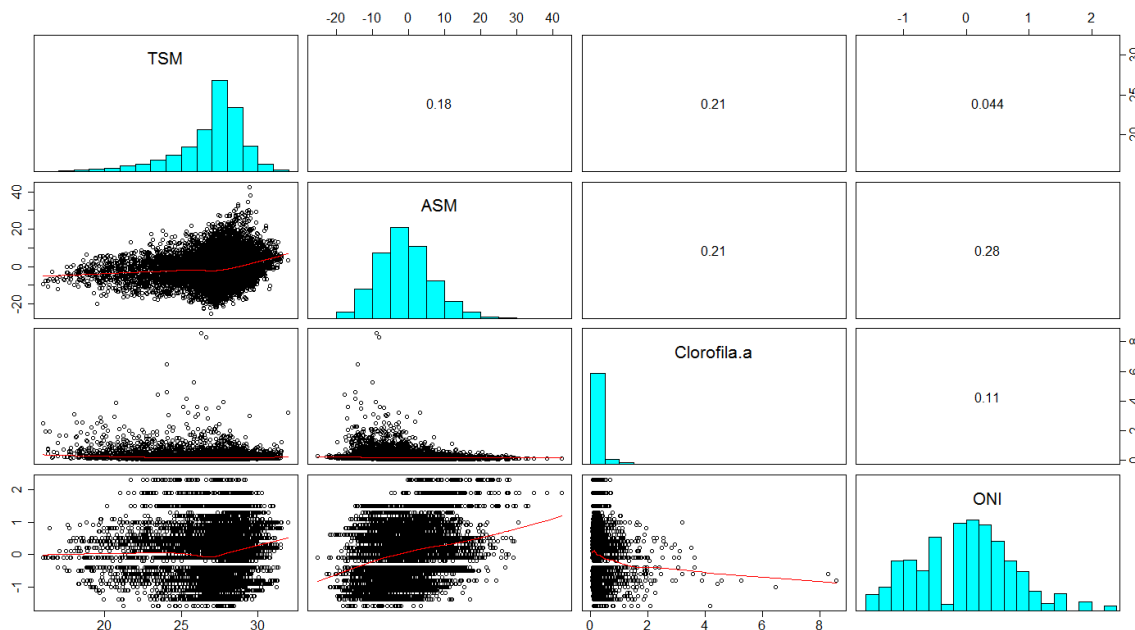
Anexos 1. Base de datos agrupada (editada)

En la siguiente tabla se muestra la base de datos final (modificada) con la que se realizaron todos los análisis estadísticos en este trabajo. Como se aprecia en esta tabla, después realizarse la agrupación de las bases de datos (captura y ambiente), la base de datos final quedó disponible con una resolución espacial de 1° x 1° (longitud y latitud) y temporal de un mes.

Año	Mes	Longitud	Latitud	Indicador de pesca	Marlin azul	Pez vela	Dorado	Tiburón sedoso	TSM	ASM	Clorofila	ION
1998	12	-116.5	4.5	Objeto flotante	15	0	110	120	25.04	-4.61	0.16	-1.4
1998	7	-120.5	17.5	Objeto flotante	3	0	580	139	25.98	0.14	0.07	-0.5
1999	11	-120.5	10.5	Objeto flotante	6	0	40	8	26.28	-14.08	0.16	-1.3
1999	1	-111.5	9.5	Delfín	5	0	0	0	27.05	-9.76	0.15	-1.4
2000	5	-108.5	24.5	No asociado	8	0	0	1	26.45	-5.14	0.66	-0.6
2001	6	-93.5	14.5	Delfín	4	5	0	0	30.44	1.76	0.33	0.1
2002	3	-108.5	24.5	No asociado	4	0	0	0	21.49	-15.82	1.24	0.2
2003	2	-108.5	24.5	Delfín	12	12	13	0	23.33	-8.56	0.49	0.9
2003	10	-85.5	7.5	Objeto flotante	4	1	4	0	26.65	-5.04	0.25	0.5
2005	3	-95.5	15.5	No asociado	5	4	133	69	27.33	-12.21	0.86	0.4
2005	2	-113.5	16.5	Delfín	4	0	0	0	25.86	-1.95	0.12	0.5
2006	2	-99.5	8.5	Objeto flotante	4	0	50	0	27.07	-5.17	0.41	-0.6
2006	7	-111.5	27.5	No asociado	3	0	4	0	31.20	-0.56	0.22	0.3
2007	4	-114.5	7.5	Objeto flotante	5	0	400	7	28.17	1.39	0.15	-0.1
2007	10	-110.5	12.5	Delfín	4	0	0	1	27.37	-20.12	0.14	-1.0

Anexos 2. Análisis de correlación de las variables ambientales

En la siguiente figura se muestra de manera gráfica el análisis de correlación aplicado a las variables ambientales utilizadas en la modelación estadística de las capturas incidentales de los pelágicos mayores. Los componentes gráficos de esta figura son: A) Histogramas de frecuencia de las variables ambientales, B) Gráficos de dispersión (x, y), donde se comparan los valores de dos variables, y C) Línea de tendencia¹⁸, que muestra de manera visual la relación que existe entre dos variables. El componente numérico de este gráfico son los valores de correlación que existen entre dos especies. Este valor de correlación fue calculado con el método de Pearson. Esta figura muestra de manera muy evidente que las variables ambientales no están relacionadas entre sí.



Análisis de correlación de las variables ambientales utilizadas en los modelos estadísticos.

¹⁸ Se utilizó un modelo polinomial para evaluar tanto las relaciones lineales como las no lineales.