



# UNIVERSIDAD DEL MAR

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

### DINÁMICA MENSUAL DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *Thunnus* *albacares* Bonaterre, 1788, EN EL PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS: ECOLOGÍA MARINA**

PRESENTA

Ing. en Pesca Industrial Samuel Ramos Carrillo

DIRECTOR

Dr. Pedro Cervantes Hernández

CO-DIRECTORA

Dra. Genoveva Cerdenares Ladrón de Guevara



# UNIVERSIDAD DEL MAR

## DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Puerto Ángel, Oaxaca, a 22 de febrero de 2021.

Después de haber revisado, analizado y evaluado la tesis “DINÁMICA MENSUAL DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *Thunnus albacares* Bonaterre, 1788, EN EL PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL” de la Maestría en Ciencias: Ecología Marina, que presenta el Ingeniero en Pesca Industrial Samuel Ramos Carrillo, con número de matrícula 2015140003, comunicamos que la tesis **SÍ** cumple con los requisitos académicos para ser defendida públicamente en el examen de grado correspondiente.

---

Dr. Pedro Cervantes Hernández  
Profesor-Investigador – UMAR  
Director

---

Dra. Genoveva Cerdenares Ladrón de Guevara  
Profesora Investigadora – UMAR  
Co-directora

---

Dra. María del Carmen Alejo Plata  
Directora del Instituto de Recursos  
Profesora Investigadora – UMAR  
Revisora

---

M.A.I.A. Eduardo Juventino Ramírez Chávez  
Director del Instituto de Ecología  
Profesor Investigador – UMAR  
Revisor

---

Dr. Austreberto Cristóbal Reyes Hernández  
Profesor Investigador – UMAR  
Revisor

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Dirección General de Ordenamiento Pesquero y Acuícola de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, dependiente de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, quienes, en el marco del proyecto “Análisis de la biodiversidad y de los efectos de la pesca para determinar la factibilidad de establecer una zona de refugio de túnidos frente a la costa de Oaxaca”, proporcionaron la información de los lances de la flota cerquera atunera mexicana en los cuales se basa el presente trabajo.

Agradezco a los profesores del posgrado en ecología Marina de la Universidad del Mar, quienes compartieron conmigo toda su experiencia y conocimientos, entre quienes incluyo a los directores de Tesis y miembros del comité revisor, sin cuya ayuda, esta tesis no habría sido posible

Agradezco a los alumnos de posgrado, quienes con su tesón y esfuerzo me inspiraron a seguir adelante, a pesar de las dificultades.

Agradezco a mis amigos y compañeros de trabajo de la UMAR, quienes con su esfuerzo diario y trabajo académico me han inspirado a continuar adelante.

Agradezco a mi familia, especialmente a mi esposa e hijos, quienes me brindaron todo su apoyo para llevar a cabo mi proyecto de estudiar el posgrado y obtener el título de Maestro en Ciencias, y quienes me animaron a continuar.

A mi gran familia de la Iglesia Cristiana Bautista “El Divino Maestro”, de Pochutla, quienes estuvieron presentes en todo el proceso, y sin cuyo apoyo no habría podido salir adelante.

## Resumen

El atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) es una especie tropical pelágica oceánica altamente migratoria, que se distribuye en mares tropicales con temperaturas de entre 15 y 31 °C. Forma grandes cardúmenes segregados por tallas/edades, mono o poliespecíficos, y/o asociados a objetos flotantes. Depredador tope muy activo, se alimenta de otros peces, crustáceos y calamares. Si bien puede encontrarse por debajo de la termoclina, a profundidades de hasta 400 m, no es usual encontrarlo por debajo de los 250 m en los trópicos ya que es sensible a bajas concentraciones de oxígeno. En el Pacífico oriental se distribuye desde el sur de California (EEUU), incluyendo el Golfo de California, hasta el Perú, y durante años Niño puede encontrarse incluso frente a las costas de Oregon y Washington. Sustenta importantes pesquerías de alto valor económico, y en el Pacífico Oriental tropical se captura con embarcaciones cerqueras. Las capturas se componen de organismos de edades entre cero y más de 5 años de edad. La CIAT reporta reducciones en los volúmenes de capturas, lo que podría indicar declive de las poblaciones. Diversos estudios muestran que los factores más importantes que determinan su distribución geográfica son la temperatura superficial del mar (TSM), la clorofila a (Cl a) y la profundidad. Conocer la forma en que estos factores afectan a su distribución geográfica es importante para el manejo y la conservación de la especie. Si bien existen diversos métodos que permiten modelar el efecto de los factores ambientales sobre la distribución geográfica potencial de la especie, el método Maxent requiere solo datos de presencias, a diferencia de otros métodos que requieren además datos de ausencias, difíciles de obtener. El método MaxEnt se usó con el fin de describir la dinámica mensual de la distribución potencial, e identificar hot spots (zonas idóneas persistentes en todo el periodo de estudio) de distribución de *T. albacares*, empleando como predictores la TSM, Cl a y la profundidad. Los resultados mostraron que el factor que más influye en la distribución potencial es la TSM, seguida de la Cl a, mientras que el factor que menos influyó fue la profundidad. El efecto de la TSM y de la profundidad es positivo, mientras que el efecto de la Cl a es negativo. Las áreas bajo la curva (AUC), el estadístico validador de los modelos, fue en todos los casos mayor a 0.7, excepto en julio, que fue mayor a 0.6. Se tomaron como zonas de distribución potencial o zonas idóneas, aquéllas en las cuales el modelo MaxEnt estimó valores de tasa de

omisión mayores al 50 %. En general, las zonas de distribución potencial son menores en los meses fríos, con zonas cercanas a la costa y hacia el sur de la zona de estudio, mientras que en los meses cálidos aumenta hacia el norte y hacia el oeste, hacia zonas oceánicas. Los hot spots, identificados fueron zonas costeras frente a Centroamérica, hasta la frontera con México, una franja que abarca la costa occidental de Oaxaca hasta Colima, la costa de Sinaloa y la costa oriental de Baja California alrededor de Bahía de La Paz, y una zona oceánica al sur y sureste de las Islas Marías.

## **Abstract**

Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) is a highly migratory tropical oceanic pelagic species, which is distributed in tropical seas with temperatures between 15 and 31 ° C. It forms large schools segregated by size/age, mono or polyspecific, and/or associated with floating objects. Very active top predator, it feeds on other fishes, crustaceans and squids. Although it can be found below the thermocline, at depths of up to 400 m, it is not usual to find it below 250 m in the tropics as it is sensitive to low oxygen concentrations. In the eastern Pacific it is distributed from southern California (USA), including the Gulf of California, to Peru, and for years Niño can even be found off the coasts of Oregon and Washington. It supports important fisheries of high economic value, and in the tropical eastern Pacific it is caught with purse-seine vessels. The catches are made up of organisms between zero and more than 5 years old. The IATTC reports reductions in catch volumes, which could indicate a decline in stocks. Several studies show that the most important factors that determine its geographic distribution are sea surface temperature (SST), chlorophyll a (Cl a) and ocean depth. Knowing how these factors affect its geographical distribution is important for the management and conservation of the species. Although there are several methods that allow modeling the effect of environmental factors on the potential geographic distribution of the species, the Maxent method requires only presence data, unlike other methods that also require absence data, which are difficult to obtain. MaxEnt method was used in order to describe the monthly dynamics of the potential distribution, and to identify hot spots (persistent suitable zones throughout the entire study period) of *T. albacares*

distribution, using SST, Cl a and depth as predictors. The results showed that the factor that most influences the potential distribution is SST, followed by Cl a, while the least influencing factor was ocean depth. The effect of SST and ocean depth is positive, while the effect of Cl a is negative. The areas under the curve (AUC), the validating statistic of the models, was in all cases greater than 0.7, except for July, which was greater than 0.6. The potential distribution zones or suitable zones were taken as those in which the MaxEnt model estimated omission rate values were greater than 50%. In general, the potential distribution areas are smaller in the cold months, with areas close to the coast and towards the south of the study area, while in the warm months it increases towards the north and west, towards oceanic areas. The hot spots identified were coastal areas off Central America, up to the border with Mexico, a strip that covers the western coast of Oaxaca to Colima, the coast of Sinaloa and the eastern coast of Baja California around Bahía La Paz, and a oceanic zone to the south and southeast of the Marías Islands.

## i. INDICE

### Tabla de contenido

i.	INDICE.....	vi
ii.	Lista de figuras.....	viii
I.	INTRODUCCIÓN.....	1
	I.1. Importancia ecológica.....	1
	II.2. Importancia económica.....	2
	II.3. Variables ambientales que determinan la distribución de <i>T. albacares</i> .....	3
	II.3. El método MaxEnt.....	5
II.	ANTECEDENTES.....	6
	III.1. Distribución de túnidos y parámetros oceanográficos.....	6
	a. Distribución de <i>T. albacares</i> y parámetros oceanográficos.....	6
	III.3. Descripción general de las aplicaciones del método MaxEnt a la distribución de especies marinas.....	8
III.	JUSTIFICACIÓN.....	10
IV.	HIPÓTESIS:.....	11
V.	OBJETIVOS.....	12
	General.....	12
	Particulares.....	12
VI.	MATERIALES Y MÉTODO.....	13
VII.1.	Área de estudio.....	13
VII.2.	Método.....	18
	a. Datos de presencias.....	18
	b. Variables ambientales.....	18
	a. Distribución Potencial.....	22
	b. Validación del modelo.....	22
	c. Procesamiento Post Hoc.....	23
VIII.	RESULTADOS.....	24
	VIII.1 Variables ambientales.....	27
	a. Temperatura superficial.....	28
	b. Clorofila a.....	29
	c. Batimetría.....	32
	VIII.2. Análisis MaxEnt.....	32

IX.	Discusión.....	53
X.	Conclusiones .....	61
XI.	Recomendaciones.....	62
XII.	REFERENCIAS.....	63

## ii. Lista de figuras

Figura 1. Patrón general de distribución de temperatura superficial en el Pacífico Oriental Tropical norte en 2 meses de 2005. Enero (arriba) y junio (abajo). A la imagen de enero se le agregaron las principales corrientes superficiales. CC: Corriente de California, CNE: Corriente norecuatorial, CCNE: contracorriente norecuatorial, CSE: corriente surecuatorial, TT: tazón de Tehuantepec, DCR: domo de Costa Rica, CP: Corriente de Perú, CKS: Corriente de Kuro-shio (elaborado a partir de Fiedler & Talley, 2006 y Kessler, 2006). El cuadro verde en la figura 1a representa el área de estudio. El polígono dorado en la figura 2b representa aproximadamente la alberca de agua cálida. Imagen satelital extraída de <a href="http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3/A20050012005031.L3m_MO_TSM_TSM_4km.nc">http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3/A20050012005031.L3m_MO_TSM_TSM_4km.nc</a> . ....	15
Figura 2. Distribución promedio mensual de Cl a en el OP oriental en enero de 2007 (imagen superior) y junio de 2007 (imagen inferior). Modificado de <a href="http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3/">http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3/</a> . Consultado el 15/07/2016. ....	16
Figura 3. Distribución promedio anual de la salinidad con resolución de 1° lat/lon en el 2009. Extraído del World Ocean Atlas 2009. <a href="http://www.nodc.noaa.gov/cgi-bin/OC5/WOA09F/woa09f.pl">http://www.nodc.noaa.gov/cgi-bin/OC5/WOA09F/woa09f.pl</a> . Consultado el 01/09/2016. ....	17
Figura 4. Máscara aplicada al área de estudio. Las zonas blancas indican el área cuyos valores se conservaron. Las zonas en negro se enmascararon, esto es, se convirtieron en valores NA (Not Available, o no disponibles). La línea del continente y de la ZEE se presentan solo como referencias. ....	21
Figura 6. Píxeles donde se registró la presencia de <i>T. albacares</i> , indicando el tamaño de la muestra, para todos los meses (marzo a noviembre) y total del periodo de estudio. Datos obtenidos de CONAPESCA. ....	26
Figura 6. Intervalo de valores de TSM (°C), Cl a (mg/m <sup>3</sup> ), y profundidad (m.s.n.m.), por mes tipo y total en el periodo de estudio. ....	28
Figura 7. Promedios mensuales y total de la distribución de la TSM (°C) en el periodo, elaboradas a partir de imágenes Modis Terra. ....	30
Figura 8. Promedios mensuales y total de la distribución de la Cl a (mg/m <sup>3</sup> ) en el periodo, elaboradas a partir de imágenes Modis Aqua. La escala usada es logarítmica (Log[Cl a]). ....	31
Figura 9. Batimetría (m sobre el nivel medio del mar) de la zona de estudio, elaborado a partir de datos del proyecto ETOPO de la NOAA. <a href="http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html">http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html</a> . ....	33
Figura 10. Valores promedio de las $\lambda$ 's y los valores de entropía (H) de los modelos de cada mes, y del modelo total, con sus intervalos de confianza. ....	35
Figura 11. Contribuciones (en porcentaje) de cada variable al modelo, por mes y total. ■ TSM, ■ Bat, ■ Cl a. ....	36
Figura 12. Valor del área bajo la curva (AUC) del modelo de cada mes y del modelo total. ....	36

Figura 13. AUC de la curva ROC de prueba para los modelos ajustados de los meses de marzo a agosto. La línea roja es el promedio, y la banda azul es el intervalo de confianza ( $\pm 1 s$ ), estimado de las réplicas de la validación cruzada..	38
Figura 14. Curvas de respuesta de la salida acumulativa (tasa de omisión) del modelo MaxEnt, a cada una de las variables incluidas en el modelo. Las curvas de la derecha representan el efecto marginal de cada variable. Las curvas de la izquierda representan el efecto único de esa variable sobre la salida acumulativa.	40
Figura 15. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, correspondiente a cada mes tipo, y el total del periodo de estudio, usando el total de rango de salida de los valores acumulativos de MaxEnt.	46
Figura 16. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de marzo. Se marca el centroide (cntd) del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.	47
Figura 17. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de abril. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.	47
Figura 18. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de mayo. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.	48
Figura 19. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de junio. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.	48
Figura 20. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de julio. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.	49
Figura 21. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de agosto. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.	49
Figura 22. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de septiembre. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.	50
Figura 23. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de octubre. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.	50
Figura 24. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de noviembre. Cntd es el centroide	

del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.....	51
Figura 25. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al total del periodo. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.....	51
Figura 26. En rojo, representación geográfica de los hotspots, o áreas que en todos los meses tipo obtuvieron el estatus de zonas idóneas. En gris, los pixeles que fueron idóneos solo en algunos meses en el periodo de estudio. ....	52
Figura 27. Representación geográfica de los centroides de las distribuciones potenciales para cada mes tipo y el total del periodo. 1. Marzo, 2. Abril, 3. Mayo, 4. Junio, 5. Julio, 6. Agosto, 7. Septiembre, 8. Octubre, 9. Noviembre, 10. Total del periodo.....	52

## I. INTRODUCCIÓN

### I.1. Importancia ecológica

*Tunnus albacares* Bonaterre, 1788 (atún aleta amarilla) es una especie pelágica oceánica que forma grandes cardúmenes segregados por tallas/edades, ya sea monoespecíficos o en asociación con otras especies. Los cardúmenes formados por individuos adultos se asocian con otras especies de peces (otros túnidos, picudos, carángidos, elasmobranquios), mamíferos marinos (delfines), y algunas especies de aves marinas (gaviotas, pelicanos) (Au 1991, Collette & Nauen 1983; Fréon & Dagorn 2000, Collette *et al.* 2011). Es frecuente encontrarlos asociados a objetos flotantes, que posiblemente sirvan de refugio a pequeños pelágicos de los cuales se alimentan (Fréon & Dagorn 2000, Olson *et al.* 2014). Es un depredador tope muy activo que se alimenta de otros peces, crustáceos y calamares (Collette & Nauen 1983; Collette *et al.* 2011, Baque-Menoscal *et al.* 2012, Olson *et al.* 2014).

Se considera una especie altamente migratoria (FAO 1994), que se distribuye en todos los mares tropicales del mundo, en aguas cuyas temperaturas van de los 15 a los 31°C (Collette & Nauen 1983; Collette *et al.* 2011). Aunque es una especie epipelágica, puede encontrarse por debajo de la termoclina, a profundidades de hasta 400 m (Cayré y Marsac 1993). Es sensible a bajas concentraciones de oxígeno, por lo que no es usual encontrarlo por debajo de los 250 m en los trópicos (Collette & Nauen 1983; Collette *et al.* 2011). En el Pacífico oriental se distribuye desde el sur de California (EEUU), incluyendo el Golfo de California, hasta el Perú, y durante años Niño puede encontrarse incluso frente a las costas de Oregon y Washington (Collette *et al.* 2011).

Los atunes son gonocóricos, sin dimorfismo sexual, presentan reproducción ovípara, con desarrollo asincrónico de los oocitos, y se consideran desovadores múltiples o por lotes, expulsando sus ovocitos directamente al océano, donde ocurre la fertilización (Schaefer 2001, Andamari *et al.* 2012). Si bien *T. albacares* desova en aguas tropicales y ecuatoriales ( $T \geq 24^{\circ}\text{C}$ ) de todos los océanos, en latitudes medias los desoves son estacionales con picos en verano, mientras que en latitudes

bajas pueden ocurrir durante todo el año (Kailola *et al.* 1993). En el Pacífico, se sabe que desovan tanto en la zona Occidental como central del Pacífico, durante las respectivas primavera y verano de cada hemisferio, y durante todo el año en aguas ecuatoriales (Cole 1980, Donoso *et al.* 2009). Se sabe que existen máximos en diferentes épocas en cada área, con periodos más esporádicos y cortos en zonas costeras que en la zona norecuatorial (Cole 1980, Donoso *et al.* 2009).

Wild (1986) reporta para *T. albacares* del Pacífico oriental, un crecimiento diferenciado por sexos, siendo las hembras mayores en talla que los machos hasta la edad de 2.12 años ( $L_f = 94.9$  cm), e invirtiéndose la tendencia después de esta edad. Observa que, para sexos combinados, existen diferencias en las curvas de crecimiento entre años. Sugiere que la longevidad máxima puede diferir entre sexos, siendo menor para las hembras ( $t_{max} \approx 3.5$  años) que para los machos ( $t_{max} \gg 3.5$  años). Por su parte, Andrews (2020) reporta una longevidad de hasta 18 años para *T. albacares* en el Océano Atlántico.

## **II.2. Importancia económica.**

El atún aleta amarilla, *T. albacares*, sustenta una pesquería a nivel mundial, que en México ocupa el segundo lugar en importancia por su volumen de capturas (161,000 ton en el 2015), y por su valor económico (casi 2 000 millones de dólares, al precio de exportación del 2015) (CONAPESCA 2015).

En el Océano Pacífico Oriental Tropical (POT), la flota atunera mexicana de altura (además de flotas de otros países) captura *T. albacares*, como especie objetivo, con redes de cerco, apoyándose en modernos equipos de navegación y equipo auxiliar para la detección de cardúmenes (imágenes de satélite, videosondas, sonar, hidrófonos, helicóptero o avionetas de apoyo), en aguas de la Zona Económica Exclusiva mexicana (ZEE), así como en aguas internacionales en el Pacífico Centro-Oriental y cerca del Ecuador geográfico (CONAPESCA 2015), constituyéndose en un muestreador muy eficiente de *T. albacares*, ya que captura en zonas con altas densidades (Maury *et al.* 2001).

Si bien Lehodey y Leroy (1999) reportan que los desembarcos de esta pesquería están compuestos por individuos de entre 0.8 y 1.8 años de edad, correspondientes a tallas aproximadas de entre 42.9 y 82 cm, según el modelo de crecimiento de Wild

(1986), Dreyfus y Robles (2008, 2009) reportan tallas de entre 20 y 195 cm, correspondientes a edades de entre 0 y más de 5 años de edad, según el mismo modelo.

En aguas de la ZEE mexicana, las zonas de mayor actividad y capturas de la flota atunera mexicana de altura son la costa occidental de Baja California, la boca del Golfo de California, alrededor de las islas Marías y Revillagigedo, y aguas al suroeste de Guerrero y Michoacán (Gómez-Muñoz 1990; Vaca-Rodríguez *et al.* 2007).

La distancia de la costa a la que faena la flota atunera mexicana en el Pacífico Oriental Tropical, está limitada únicamente por consideraciones económicas (relación costo/beneficio), de reglamentación (evitar mortandad de delfines) y de seguridad de la embarcación (en las operaciones de pesca y en la navegación) (Sosa-López y Manzo-Monroy 2002). Debido a estas consideraciones, aunque la embarcación detecte un cardumen de *T. albacares*, solo poco más del 20% de los avistamientos finalizan en un lance de pesca exitoso (Solana-Sansores *et al.* 2009, Dreyfus-León *et al.* 2015).

Según reportes de capturas de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT o ICAT por sus siglas en inglés) y evaluaciones poblacionales, los volúmenes de captura de *T. albacares* se han visto reducidos en los últimos años, lo que podría significar un declive de sus poblaciones (Collette *et al.* 2001).

### **II.3. Variables ambientales que determinan la distribución de *T. albacares*.**

No obstante que se han efectuado estudios sobre las variables que determinan la abundancia (e indirectamente su distribución) de *T. albacares*, ésta no se ha podido asociar a una única variable, aunque las más importantes hasta ahora han sido la temperatura superficial del mar o TSM (Blackburn 1969, Laurs *et al.* 1984, Ortega-García 1998) y las altas concentraciones de clorofila a (Cl a) y b asociadas a frentes oceánicos (Castro y Quiñones 1987; Power y Nelson 1991; Santana-Hernández 1995; Ortega-García & Lluch-Cota 1996; Maury *et al.* 2001; Sosa-López y Manzo-Monroy 2002; Arias-Aréchiga 2005; Torres-Orozco 2005, Zainuddin *et al.* 2006). También se ha considerado que la topografía del fondo marino podría tener un efecto de agregación, principalmente cañones y montañas submarinas y las islas

oceánicas (Yasui 1984, Ortega-García 1989, Gómez-Muñoz 1990, Fonteneau 1991, Merlín-Pérez y Ortega-García 1998).

*T. albacares* se considera una especie altamente migratoria (Maguire *et al.* 2006), y por estudios efectuados en diferentes regiones geográficas, se sabe que sus patrones de captura y distribución experimentan cambios mensuales relacionados a la TSM y concentración de Cl<sup>-</sup>, así como a cambios en los patrones de circulación oceánica (Medina-Gaertner y Gaertner 1991, Lan *et al.* 2012, Lan *et al.* 2012 b, Lan *et al.* 2013).

El conocimiento de la distribución espacial de las localidades con características idóneas para ser usadas como hábitat por la especie es determinante para el manejo y conservación de especies marinas (Pearce *et al.* 2001, Hoolihan *et al.* 2015, Hill *et al.* 2016). Se han utilizado diversos métodos para tratar de conocer la distribución espacio - temporal de especies altamente migratorias, (Holland *et al.* 1990, Blocket *et al.* 1992, Graves *et al.* 2002, Chiang *et al.* 2015, Hoolihan *et al.* 2015, Carlisle *et al.* 2017, Acosta-Pachón *et al.* 2017) incluyendo a *T. albacares* (Castro-Ortíz y Quiñones-Velásquez 1987, Gómez-Muñoz *et al.* 1990, Fonteneau 1991, Cayré y Marsac 1993, Mori y Nishida 2000, Sosa-López y Manzo-Monroy 2002, De Anda-Montañez *et al.* 2004, Torres-Orozco *et al.* 2005, Vaca-Rodríguez *et al.* 2007, Song *et al.* 2008, Dreyfus-León 2017). Sin embargo, no se han utilizado modelos de distribución de especies (MDE o SDM, por sus siglas en inglés).

Los modelos de distribución de especies más comunes, que requieren datos binomiales de presencia/ausencia, son los modelos aditivos generalizados (MAG o GAM, por sus siglas en inglés) o modelos lineales generalizados (MLG o GLM, por sus siglas en inglés). Los datos de presencia/ausencia son difíciles de obtener cuando se utilizan muestreos dependientes de datos pesqueros (Phillips *et al.* 2006, Elith *et al.* 2010). Para evitar estas limitaciones, se han desarrollado MDE's que utilizan datos de presencias únicamente, y cuyo desempeño predictivo es consistentemente comparable a los modelos de presencia/ausencia (Ehrhardt & Fitchett 2006).

### II.3. El método MaxEnt.

MaxEnt es un modelo de distribución de especies basado en el nicho (Franklin 2009), que estima la distribución potencial (idoneidad de hábitat) de una especie, utilizando diferentes variables ambientales en un área geográfica, para predecir observaciones de presencias de la especie de interés (Phillips *et al.* 2004, 2006, Phillips & Dudik 2008).

MaxEnt ha sido usado para modelar la distribución potencial de una amplia variedad de especies terrestres (Phillips *et al.* 2004, Anderson & Martínez-Mayer 2004, Phillips *et al.* 2004, Phillips & Dudik 2008, Zizka *et al.* 2009, Cayuela *et al.* 2009, Rupprecht *et al.* 2011, Tarjuelo *et al.* 2014) y marinas (Jones *et al.* 2012, Bécares *et al.* 2015), incluyendo invertebrados marinos (Magris & Destro 2010), calamar (Alabia *et al.* 2015), tiburón ballena (Hacohen-Domené *et al.* 2015), algunos peces demersales (Monk *et al.* 2012), y pelágicos (Farchadi *et al.* 2019). Por otra parte, se ha utilizado como una herramienta para gestionar la conservación de las especies e identificar el potencial de invasión o como indicador biológico (Millsom *et al.* 2000, Manel *et al.* 2001).

El principal objetivo de este trabajo es describir los cambios espacio-temporales en los patrones de distribución de *T. albacares* en el Pacífico oriental tropical norte, por medio del método MaxEnt, usando como predictores la TSM, CI a y profundidad.

## II. ANTECEDENTES

### III.1. Distribución de túnidos y parámetros oceanográficos.

Diversos estudios han intentado establecer la relación entre la distribución de la abundancia de algunas especies de túnidos y diferentes factores oceanográficos, encontrándose que las más influyentes son la TSM, Cl a, productividad primaria neta (PPN), zonas de cambio de color asociados a frentes oceánicos, las características del fondo marino y giros de mesoescala (Lauri *et al.* 1984, Olson y Backus 1985, Mugo *et al.* 2011, Mc Gillicuddy *et al.* 1998, Kirby *et al.* 2000, Zainuddin *et al.* 2006, Acosta-Pachón *et al.* 2017). Los túnidos se distribuyen en zonas con altos valores de Cl a, y PPN (Lehodey *et al.* 1998, Lee *et al.* 1999). Se ha sugerido que las áreas con altos valores de Cl a y frentes de TSM afectan a los ecosistemas locales y a las pesquerías comerciales (Lan *et al.* 2009).

El medio biofísico juega un papel importante en la distribución y abundancia de túnidos (Lee *et al.* 1999). La variabilidad ambiental y climatológica de larga escala afecta la distribución y producción de las poblaciones de atún (Kumar *et al.* 2014, Erauskin-Extramiana *et al.* 2019). Anomalías, como el Niño en el Pacífico, se han reportado como la causa de cambios repentinos en las capturas de la pesquería de *T. albacares* (Torres-Orozco *et al.* 2006). Santiago (1997), incluso encontró que la oscilación del Atlántico Norte (NAO) estuvo fuertemente correlacionada de manera negativa con el reclutamiento de la albacora norteña (*Thunnus alalunga*) y débilmente correlacionada positivamente con el atún rojo (*Thunnus thynnus*) del este, ya que el hundimiento de la termoclina y el incremento de la TSM pudieron haber afectado el reclutamiento y la capturabilidad de las redes de cerco.

#### a. Distribución de *T. albacares* y parámetros oceanográficos

En lo que respecta a *T. albacares*, se han efectuado algunos trabajos directamente con algunos individuos a una pequeña escala geográfica que indican que la termoclina es una variable importante en su distribución vertical (Block *et al.* 1997, Bertrand *et al.* 2002). En escalas mayores, en el Pacífico se ha documentado un retraso de 3 meses entre la máxima concentración de pigmentos fotosintéticos y

máxima abundancia (Ortega-García y Lluch-Cota 1996), y entre los máximos de viento y la máxima abundancia de micronecton (Blackburn 1963).

Diferentes trabajos muestran que *T. albacares* prefiere aguas cálidas, y que su distribución es afectada por la TSM (Stretta 1991, Kumari *et al.* 1993, Lee *et al.* 1999, Mohri and Nishida 2000), temperaturas subsuperficiales (Bautista-Cortes 1997), y la profundidad de la termoclina (Robinson *et al.* 1976; Suzuki *et al.* 1978).

En el Océano Índico, se observó que la CPUE de *T. albacares* se relaciona negativamente con la TSM, y positivamente con la productividad primaria neta (PPN), y esto se refleja en un cambio en el patrón de zonas de pesca, ya que cuando la TSM aumenta y la PPN disminuye, las capturas se concentran en las márgenes norte y este del Índico, mientras que cuando la TSM disminuye y aumenta la PPN, las capturas se expanden a las regiones centrales del Índico Occidental (Lan *et al.* 2012, Lan *et al.* 2012 b, Lan *et al.* 2013). En el caso del único trabajo encontrado con el uso de MaxEnt en el Índico (Siregar *et al.* 2019), también encontraron que el factor que más influye en la presencia de *T. albacares* es la TSM, si bien las otras variables fueron la salinidad y la altura de la superficie oceánica.

En el océano Atlántico, se encontró que, en una amplia escala espacio-temporal, la salinidad superficial (SSS) es un buen predictor de hábitat de *T. albacares*, mientras que, en una escala menor, la estabilidad térmica oceánica y los gradientes de TSM determinan sus concentraciones (Maury *et al.* 2001). Sin embargo, en el Golfo de México, Power y Nelson (1991) encontraron que no había una relación clara entre la incidencia de *T. albacares* con los frentes térmicos, lo que atribuyeron a la gran movilidad del atún y la imprecisa referencia geográfica del lugar de captura en la pesquería con palangre, dificultando asociarlas a la temperatura.

En el océano Pacífico, se ha encontrado que las capturas de *T. albacares* están acotadas por la isoterma de 18 a 20 °C, o asociadas a aguas cálidas (Castro y Quiñones 1987, Santana-Hernández 1995, Arias-Aréchiga 2005). Así mismo, que las agregaciones importantes de atún se presentan con dos meses de retraso respecto a la presencia de surgencias y frentes de corrientes (Castro y Quiñones 1987, Arias-Aréchiga 2005, Torres-Orozco *et al.* 2005) y entre tres a cinco meses de retraso respecto a la máxima concentración de pigmentos fotosintéticos (Ortega-

García y Lluch-Cota 1996). También se ha observado que las capturas se distribuyen sobre el talud continental y alrededor de islas y montes submarinos la mayor parte del año (Torres-Orozco *et al.* 2005)

### **III.2. Descripción general de las aplicaciones del método MaxEnt a la distribución de especies marinas.**

MaxEnt se considera útil como una herramienta para gestionar la conservación de especies e identificar el potencial de invasión o como indicador biológico (Millsom *et al.* 2000, Manel *et al.* 2001). Sin embargo, su uso principal ha sido para estimar la idoneidad de hábitat y variables que determinan la distribución de diversas especies terrestres (Zizka *et al.* 2009, Cayuela *et al.* 2009) y recientemente, en invertebrados marinos (Magris & Destro 2010, Manyangadze *et al.* 2016), algunos peces (Monk *et al.* 2012), tiburón ballena (Hacohen-Domené *et al.* 2015) y calamar volador (Alabia *et al.* 2015) y dos especies de picudos, *Makaira nigricans* e *Istiompax indica* (Farchadi *et al.* 2019).

Respecto a la relación entre la idoneidad del hábitat y las diferentes variables oceanográficas utilizadas para evaluarlo usando Maxent, en el caso del tiburón ballena, se encontró que las variables más fuertemente relacionadas con los avistamientos fueron PP y TSM (Hacohen-Domené *et al.* 2015), mientras que en el caso del calamar volador fue la productividad primaria (Alabia *et al.* 2015). Así mismo, se han reportado variaciones mensuales o estacionales en la distribución geográfica de la idoneidad de hábitat para diversas especies, tales como tiburón ballena (Hacohen-Domené *et al.* 2015), calamar (Alabia *et al.* 2015) y picudos (Farchadi *et al.* 2019).

Por otra parte, Alabia *et al.* (2015) definió hotspots de hábitat potencial para calamar como zonas con alto traslape temporal, esto es, zonas que fueron clasificadas como hábitat adecuado o idóneo durante un porcentaje (25%) de los años en que se estudió la zona.

No obstante que se han efectuado diferentes estudios para tratar de conectar la abundancia o la presencia de *T. albacares* con diversos factores oceanográficos, el método MaxEnt solo se ha utilizado en el océano Indico, para determinar la distribución potencial de esta especie, pero no se ha utilizado para modelar su

distribución geográfica, ni se han evaluado los cambios de la distribución geográfica de las variables, sobre la distribución geográfica potencial de la especie en ningún otro océano, por lo que el propósito de este trabajo es describir los cambios mensuales en la distribución potencial de *T. albacares*, modelado mediante el método MaxEnt, en el océano Pacífico oriental tropical, usando como indicador de su distribución observada datos obtenidos de las capturas de la flota atunera mexicana de altura en el Pacífico mexicano, y como descriptores las variables ambientales: Temperatura superficial del mar (TSM), la concentración de Cl a, y la batimetría. Se espera que estas variables sean descriptores adecuados, y permitan inferir zonas idóneas para *T. albacares*, así como describir los cambios estacionales en la idoneidad de hábitat, modelada como distribución potencial. Los resultados pueden tener diferentes aplicaciones, desde proporcionar información a las embarcaciones pesqueras acerca de los mejores lugares para efectuar lances exitosos, hasta para propósitos de conservación, al servir de base para la creación de zonas de refugio o protección de la especie (Pearce *et al.* 2001, Hoolihan *et al.* 2015, Hill *et al.* 2016), o evaluar los efectos del cambio climático en la distribución de la especie.

### III. JUSTIFICACIÓN

Los cambios estacionales en la distribución geográfica de las variables ambientales influyen de manera natural en la distribución potencial o distribución de idoneidad de hábitat de *T. albacares*, la cual es importante conocer para determinar las zonas de distribución más probables de la especie, lo que servirá tanto para mejorar la eficiencia de operación de las flotas pesqueras, como de información base para tomar medidas adecuadas para su manejo y conservación.

Aunado a esto, la actividad de las flotas pesqueras, y los cambios ambientales ocasionados por las actividades humanas (cambio climático y calentamiento global), ejercen una presión sobre la distribución de *T. albacares*, por lo que existe la necesidad de conocer la dinámica de los cambios mensuales de la distribución potencial de la especie (idoneidad de hábitat), como base para evaluar los posibles efectos del calentamiento global sobre la distribución de la especie, además de que no se ha aplicado anteriormente un Modelo de Distribución de Especies basado en el nicho a la distribución de *T. albacares* en el Pacífico oriental tropical norte. Por lo que su aplicación contribuirá a mejorar el conocimiento de la dinámica de la distribución de la especie, al permitir obtener mapas mensuales y de todo el periodo de estudio, de la distribución potencial de *T. albacares*, con base en los registros de presencia obtenidos a partir de las capturas de la flota atunera y la distribución de valores de Temperatura superficial del mar (TSM), la concentración de Cl a, y la batimetría.

#### IV. HIPÓTESIS:

Debido a que existen cambios mensuales en los patrones de la distribución geográfica de las variables ambientales que podrían incidir en la distribución potencial de *T. albacares*, se encontrarán cambios mensuales asociados en su distribución potencial.

En la zona de distribución de *T. albacares*, existen hot spots, zonas en la cuales la distribución de *T. albacares* es persistente a lo largo de todo el año, por lo que también existen zonas que no mantienen su estatus de idóneas durante todo el año, o zonas de incertidumbre.

## V. OBJETIVOS

### General

- Describir la dinámica mensual de la distribución potencial de *T. albacares* en el Pacífico oriental tropical, identificando los hot spots, o zonas donde las condiciones son idóneas durante todo el año que permiten la presencia de la especie, así como las zonas de incertidumbre, o zonas que solo conservan su estatus de idóneas durante algunos meses del año.

### Particulares

- Describir la dinámica mensual de las diferentes variables que determinan la presencia de *T. albacares* en el Pacífico oriental tropical, por mes tipo.
- Describir los cambios en la distribución potencial de *T. albacares* a lo largo del año, por mes tipo.
- Identificar zonas persistentes (hot spots) como hábitat idóneo de *T. albacares* en el periodo de estudio.

## VI. MATERIALES Y MÉTODO

### VII.1. Área de estudio

El área de estudio corresponde a la zona donde opera la flota atunera cerquera mexicana en el POT norte, desde la costa del continente americano, incluyendo la totalidad de la ZEE mexicana, hasta aguas internacionales en el Pacífico central, delimitada por el meridiano 150°O, y desde el ecuador, hasta el paralelo 35°N.

El POT presenta una dinámica oceanográfica compleja, determinada por una gran cantidad de factores, entre los que se cuentan los patrones de temperatura, las diferentes corrientes marinas que afectan la zona, la circulación de los vientos, y la interacción de todos estos factores (Trasviña y Barton 1997, Amador *et al.* 2006, Kessler 2006, Fiedler & Talley 2006, Pantoja *et al.* 2012). En general, los vientos en la zona giran alrededor de una zona de calma localizada aproximadamente en los 35°N y 138°O, con vientos del SE en la zona ecuatorial, vientos alisios del NE en la zona tropical, vientos del NO en la zona templada cerca del continente americano, y del E en la zona del Pacífico centro Norte, con variaciones estacionales (Amador *et al.* 2006).

Las principales corrientes marinas que afectan a la región son la Corriente de California (CC), la Corriente Norecuatorial (CNE), la Contra Corriente Norecuatorial (CCNE), la Corriente Surecuatorial (CSE) y la Corriente del Perú (CP) o de Humboldt, que se prolonga en una pluma o lengua fría ecuatorial (PEC) (Kessler 2006, Fiedler & Talley 2006), sin olvidar la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) y la Corriente Costera Mexicana, que fluyen en dirección NO a lo largo de la costa de Centroamérica y México (Trasviña y Barton 1997, Pantoja *et al.* 2012) (Figura 1).

En general la TSM sigue un patrón latitudinal, con una franja de aguas cálidas (>26°C) en la zona ecuatorial y tropical (entre los 0 y 23.5°N), una banda de aguas templadas (entre 16 y 26°C) en la zona templada (entre 23 y 35°N), y aguas frías (<16°C) en latitudes mayores a 35°N, con variaciones estacionales, mientras que la franja continua con temperaturas más cálidas se localiza alrededor de los 5°N. Este patrón se ve modificado por el sistema general de circulación de los océanos, que acarrearán aguas frías hacia las zonas templadas, y aguas templadas hacia la zona

tropical en las márgenes orientales de la cuenca (CC y CP), y por la corriente de Kuro Shio (CKS) que acarrea aguas cálidas hacia la zona templada y fría en las márgenes occidentales de la cuenca (Figura 1a). Debido a la confluencia de corrientes templadas que se calientan rápidamente, se forma una zona de aguas cálidas entre Mesoamérica y Centroamérica, formando la “alberca de agua cálida” (AAC) ( $TSM > 27^{\circ}\text{C}$ ), que se extiende desde Michoacán hasta Nicaragua (Figura 1 b), favoreciendo una fuerte estratificación y baja productividad. A la altura del Ecuador, la CP introduce agua templada desde el sur, formando una lengua entre las aguas cálidas ecuatoriales, y que se va calentando al moverse hacia el Oeste sobre el Ecuador, hasta alcanzar temperaturas mayores a los  $27^{\circ}\text{C}$  alrededor de los  $145^{\circ}\text{O}$ , mientras que la CCNE acarrea agua cálida de Oeste a Este, conectando las aguas cálidas del oeste del Pacífico con la alberca de agua cálida (Fiedler & Talley 2006) (Figura 1a y b).

Estacionalmente, se destaca la influencia de los vientos tehuanos en el golfo de Tehuantepec que, de manera intermitente entre octubre y abril, y ocasionalmente en otros meses, rompe la homogeneidad de la alberca de agua cálida. Como respuesta al acarreo de Ekman provocado por los vientos perpendiculares al litoral, cerca de la costa se produce un afloramiento que lleva agua profunda más fría hacia la superficie, con la consiguiente aportación de nutrientes. Aguas afuera de la costa se produce en la superficie una capa de mezcla como efecto de la turbulencia provocada por el esfuerzo del viento, y el abordamiento generado en la columna de agua por la diferencia de velocidades a ambos lados del eje del chorro de viento, que contribuye a enfriar las aguas superficiales respecto a la temperatura de la AAC, y a suspender los nutrientes de capas más profundas a una distancia considerable de la costa. Procesos similares ocurren en los golfos de Papagayo y Panamá. Otros procesos de surgencia más persistentes ocurren en la franja ecuatorial, debido a la divergencia ocasionada por el acarreo de Ekman resultante de la circulación general de los vientos y de las corrientes oceánicas (Fiedler & Talley 2006; Willet *et al.* 2006; Alexander *et al.* 2012; Reyes-Hernández *et al.* 2016).

La isoterma de los  $20^{\circ}\text{C}$  de *TSM*, que es el límite teórico de distribución de *T. albacares*, se encuentra alrededor de los  $25^{\circ}\text{N}$  frente a la costa occidental de Baja

California Sur, y se extiende al O aproximadamente sobre este paralelo, con efectos locales de las corrientes hasta alcanzar los 140°O, donde se extiende al O a la altura de los 35°N hasta la línea de cambio de fecha.

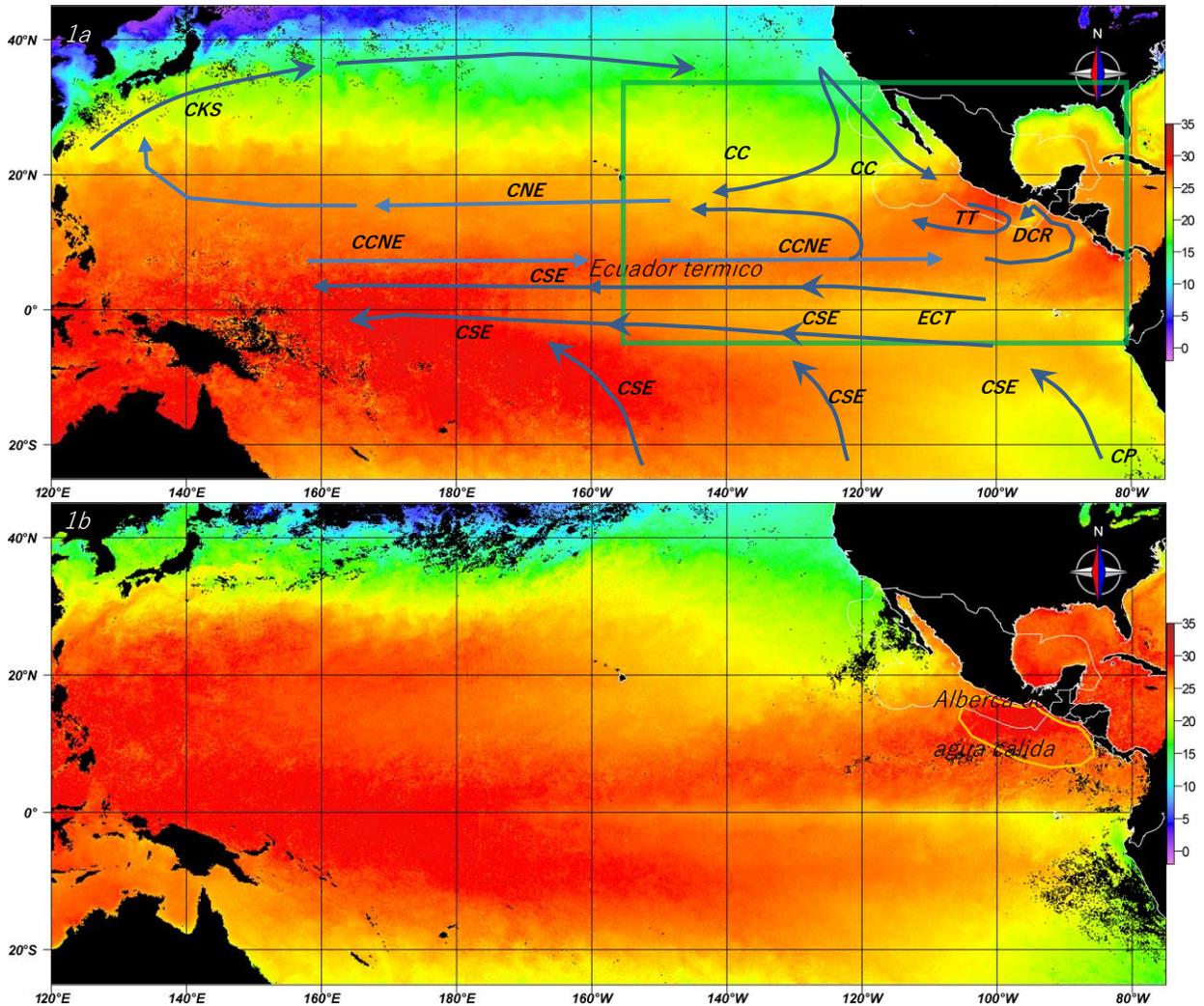


Figura 1. Patrón general de distribución de temperatura superficial en el Pacífico Oriental Tropical norte en 2 meses de 2005. Enero (arriba) y junio (abajo). A la imagen de enero se le agregaron las principales corrientes superficiales. CC: Corriente de California, CNE: Corriente norecuatorial, CCNE: contracorriente norecuatorial, CSE: corriente surecuatorial, TT: tazón de Tehuantepec, DCR: domo de Costa Rica, CP: Corriente de Perú, CKS: Corriente de Kuro-shio (elaborado a partir de Fiedler & Talley, 2006 y Kessler, 2006). El cuadro verde en la figura 1a representa el área de estudio. El polígono dorado en la figura 2b representa aproximadamente la alberca de agua cálida. Imagen satelital extraída de [http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3/A20050012005031.L3m\\_MO\\_TSM\\_TSM\\_4km.nc](http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3/A20050012005031.L3m_MO_TSM_TSM_4km.nc).

En lo que respecta a la clorofila (Figura 2), también existen variaciones estacionales, ocasionadas por los aportes diferenciados de nutrientes desde el continente, aunque, en general, las concentraciones son bajas en la zona oceánica ( $<0.3 \text{ mg m}^{-3}$ ), que abarca la mayor parte del océano Pacífico central, con valores moderados en la zona ecuatorial y aguas oceánicas cerca del continente americano, y con zonas de alta productividad ( $>1.0 \text{ mg m}^{-1}$ ) en las zonas costeras, resaltando la costa de California, la costa sudoccidental de Baja California, el alto golfo de California, la costa norte del golfo de Tehuantepec, algunas pequeñas bahías en la costa de Centroamérica y la costa norte de sudamérica.

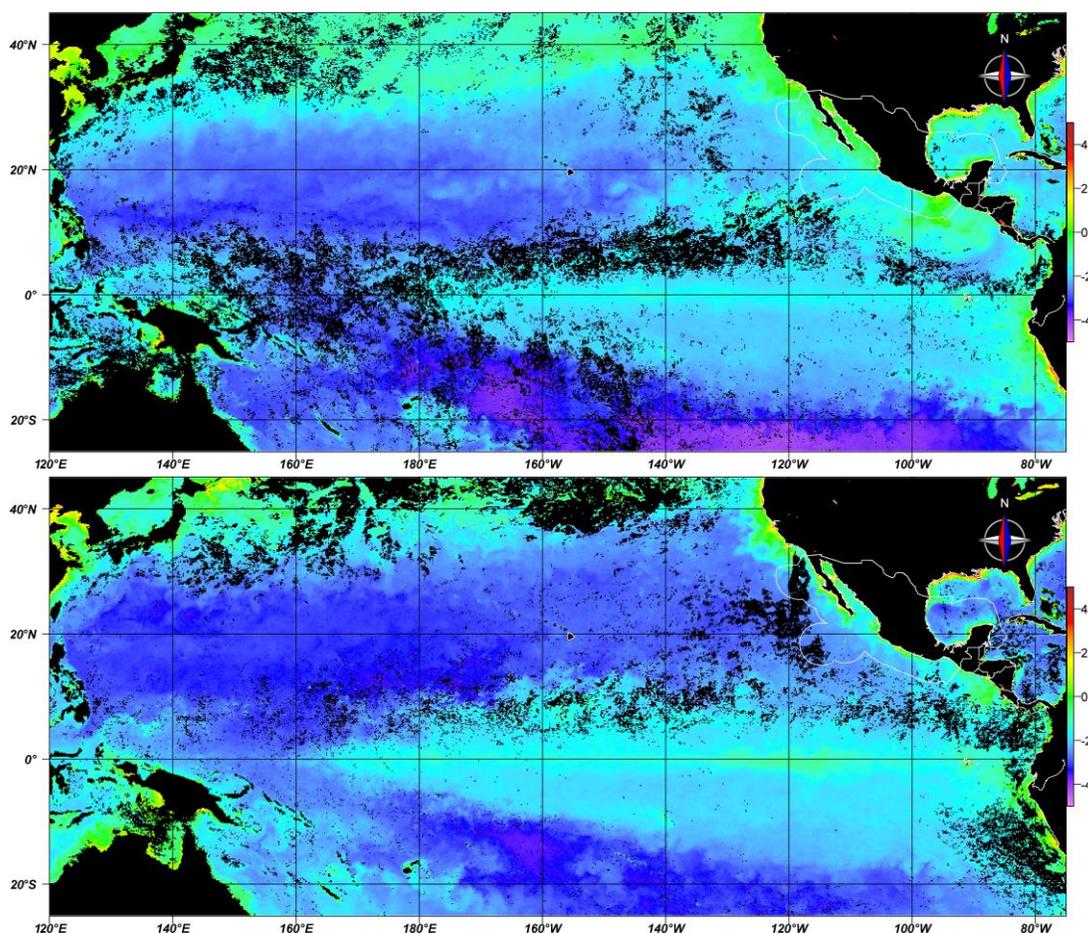


Figura 2. Distribución promedio mensual de Cl a en el OP oriental en enero de 2007 (imagen superior) y junio de 2007 (imagen inferior). Modificado de <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3/>. Consultado el 15/07/2016.

En cuanto a la salinidad (Figura 3), se distinguen dos zonas con bajos valores ( $< 34$ ), una que abarca desde las aguas oceánicas frente a Costa Rica, Panamá, Colombia

y Ecuador, donde alcanza sus valores mínimos ( $< 33$ ), y que se extiende en dirección O, aunque aumentando ligeramente la latitud, hasta alcanzar aproximadamente los  $123^{\circ}\text{O}$  y  $10^{\circ}\text{N}$ . La otra zona con bajos valores de salinidad se encuentra aguas afuera de Baja California y se extiende hacia el NO, siguiendo la línea de costa de América del Norte.

También se distinguen dos grandes zonas de salinidades relativamente altas (35 – 36), una que inicia frente a las costas de Sinaloa, Jalisco y Michoacán, y se extiende hacia el O, centrada aproximadamente en los  $20^{\circ}\text{N}$ , pero que se amplía tanto al N como al S al extenderse al O. La otra zona de salinidades relativamente altas ( $\sim 35$ ) se encuentra frente a la costa de Perú, y también se extiende hacia el O, a la altura del ecuador geográfico, ampliándose latitudinalmente al N y al S a medida que avanza al O, hasta tocar la zona anteriormente descrita, alrededor de los  $130^{\circ}\text{O}$  y  $10^{\circ}\text{N}$ .

Fiedler y Talley (2006) explican que la distribución de salinidad está asociada tanto a los patrones de precipitación y evaporación, incluyendo el aporte de los ríos cerca de la costa, como a la circulación vertical asociada a diferentes factores (corrientes horizontales, densidad, geostrofismo, vientos).

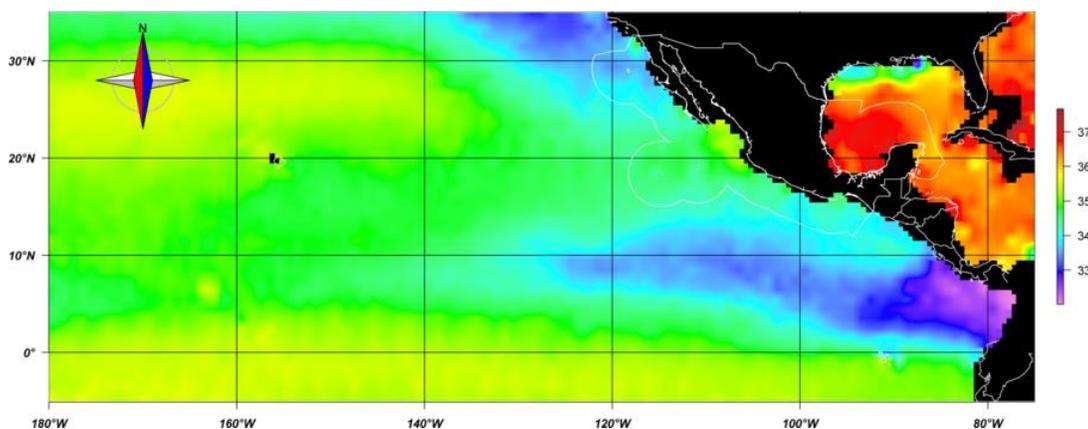


Figura 3. Distribución promedio anual de la salinidad con resolución de  $1^{\circ}$  lat/lon en el 2009. Extraído del World Ocean Atlas 2009. <http://www.nodc.noaa.gov/cgi-bin/OC5/WOA09F/woa09f.pl>. Consultado el 01/09/2016.

## VII.2. Método

### **a. Datos de presencias**

Los datos de presencias se obtuvieron de una base de datos de capturas georeferenciadas de *T. albacares* de la flota atunera de altura del Pacífico Mexicano, del periodo de marzo a noviembre de los años 2005 a 2008, y de marzo a julio de 2009, la cual fue proporcionada por la CONAPESCA, como parte del proyecto “Análisis de la biodiversidad y de los efectos de la pesca para determinar la factibilidad de establecer una zona de refugio de túnidos frente a la costa de Oaxaca” CUP: 2IR0902.

A partir de la información anterior, se elaboraron tablas (mensuales y una general) georreferenciadas de presencias de *T. albacares*. Se registró como presencia el punto geográfico donde se efectuó un lance en el cual se obtuvieron capturas. Es importante mencionar que el método MaxEnt es sensible a la intensidad de muestreo (Phillips 2005, Baldwin 2009, Elith *et al.* 2010; Phillips *et al.* 2009), por lo que, si en el mismo punto geográfico, o muy cerca, se registraron dos presencias en el mismo periodo, se consideró como una sola. El criterio para separar puntos aledaños fue la resolución de las imágenes de satélite (1/24 de grado, equivalente a 4.63 km o 2.5 M.N.). Esto es, se usaron los pixeles de las imágenes de satélite como cuadrantes para agrupar las presencias registradas. Adicionalmente, con la finalidad de reducir aún más el efecto del sobre-muestreo, se tomó una submuestra espaciada regularmente, con un tamaño equivalente al 50%, de la cuadrícula definida por las imágenes de satélite, y solo se consideraron para el análisis las presencias que cayeron dentro de estas cuadrículas seleccionadas. Todo el proceso se efectuó con ayuda de las rutinas **raster** y **sampleRegular**, provistas por el paquete **Raster** (Hijmans *et al.* 2019), así como las funciones nativas del programa **CRAN-R**.

### **b. Variables ambientales**

Si bien, según la bibliografía, diferentes variables ambientales pueden influir en la distribución potencial de *T. albacares*, al revisar las bases de datos de información ambiental disponibles para el periodo de estudio, o aún para otros periodos, no se encontró información que cumpliera con el criterio de tener la misma o mayor

resolución que las imágenes de *TSM* y *Cl a* del portal OceanColor, salvo la batimetría.

Los datos de *TSM* se obtuvieron como imágenes compuestas mensuales del sensor MODIS en el satélite Terra (NOAA-<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>) en la banda de 11  $\mu$  daytime, con resolución de 1/24 de grado (equivalente a 4.63 km o 2.5 M.N.), en nivel de procesamiento L3, en formato NetCDF (Network Common Data Format, con la extensión “.nc”), con un intervalo de valores de -1.99 a 34.45 °C. Las imágenes de satélite en formato NetCDF contienen toda la información necesaria para su lectura y procesamiento, por lo que para convertir los valores digitales (VD) a *TSM*, se utilizó la función:

$$TSM = 0.000717184972018003 VD - 2$$

La cual se obtuvo del mismo archivo de la imagen.

Los datos de *Cl a*, se obtuvieron como imágenes compuestas mensuales del sensor MODIS del satélite Aqua (NOAA-<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>), procesadas con el algoritmo OCI, que es el actual estándar de la nasa, y consiste en una adaptación de los anteriores algoritmos OCx, con la adaptación del algoritmo de Hu *et al.* (2012) (NASA 2020) con la misma resolución, nivel de procesamiento y formato de imagen que la *TSM*, con un intervalo de valores de 0.01 a 20 mg m<sup>-3</sup>. Los VD de la imagen corresponden a los valores de *Cl a*. No obstante, en el mismo archivo se recomienda que la escala de visualización de los valores de *Cl a* sea logarítmica, únicamente para resaltar las diferencias entre valores muy pequeños de *Cl a*.

Los datos de batimetría se obtuvieron del proyecto ETOPO de la NOAA (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>), con una resolución de 2' de arco (1/30 de grado, equivalentes a 3.704 km o 2 M.N.) en el mismo nivel de procesamiento y formato de archivo que las imágenes anteriores, con un intervalo de valores de -10803 a 8333 msnm (metros sobre el nivel del mar), donde los valores negativos corresponden a batimetría y valores positivos corresponden a la altura del terreno sobre el nivel medio del mar. Debido a que los VD de la imagen

corresponden a los valores de batimetría, no fue necesario convertir los valores digitales.

Para igualar la resolución de las imágenes de batimetría con las imágenes de *TSM* y *CI a*, la imagen se procesó mediante la rutina **resample** del paquete **Raster** (Hijmans et al. 2019) en el paquete R, usando el método de interpolación bilineal.

A partir de las imágenes compuestas mensuales descargadas, se acotó el área de interés (lon: 75°O a 150°O, lat: 5°S a 35°N), se enmascararon las porciones geográficas fuera del área de estudio (Golfo de México y Caribe) y se obtuvieron las imágenes compuestas promedio como mes climático y una imagen climatológica anual para cada variable oceanográfica, y se exportaron al formato ESRI - Ascii. Las imágenes compuestas se obtuvieron mediante álgebra de imágenes raster, como el valor promedio de las imágenes, pixel a pixel, sin considerar los valores perdidos (Na).

El procesamiento de las imágenes de satélite se efectuó mediante el programa **CRAN-R** v. 3.3.1, con la interfase **Rstudio** v. 1.0.136, y los paquetes UNIDATA **ncdf** v. 1.6.8 y **ncdf4** v. 1.15, así como el paquete **Raster** v 2.5-8. (Hijmans et al. 2019). Adicionalmente se utilizaron los paquetes **maps** v. 3.2.0 (Becker & Wilks 1993 y 1995), **rasterVis** v. 0.41 (Perpinan & Hijmans 2016), **rgdal** v. 1.2-7 (Bivand et al. 2017), **aspace** v. 3.2 (Bui et al. 2012). Cada paquete puede utilizar además funciones contenidas en otros paquetes, los cuales no se han enlistado aquí.

A todas las imágenes se les aplicó una máscara, consistente en una matriz del mismo tamaño que las imágenes recortadas, con valores de 0 y 1. Los valores de 1 se usaron para preservar las áreas a utilizar en el análisis, y los valores de 0 para las áreas que se pretende enmascarar (Figura 4). La máscara se aplicó mediante una multiplicación pixel a pixel entre la imagen a procesar y la máscara, de tal manera que todos los pixeles de la imagen multiplicados por el valor 1, conservaron su valor, mientras que los multiplicados por el valor 0, se igualaron al valor 0. Este proceso se completó con la rutina **mask** del paquete **raster** en **CRAN-R**.

A partir de las imágenes de satélite procesadas en el programa R, se obtuvo una matriz georreferenciada de las variables ambientales (*TSM*, *CI a*, batimetría), siendo

necesario convertir las imágenes de satélite a formato ASCII, lo cual se efectuó mediante la instrucción **writeRaster** del paquete **Raster**, en la cual se especifica el formato de salida como archivo ASCII.

Se efectuó un análisis de correlación entre variables, usando la función **corr** de **CRAN-R**, que utiliza el coeficiente de correlación de Pearson, a fin de verificar si existía redundancia en el valor de las variables, para cada mes analizado, y para el total del periodo de estudio. En el caso de que existiera un alto valor de correlación, sería necesario eliminar una de las variables, para evitar redundancia de las mismas en el análisis MaxEnt.

Así mismo, se efectuó un análisis de autocorrelación entre las variables utilizadas (TSM, Cl a, Batimetría), a fin de detectar si existía autocorrelación espacial entre ellas, usando la función **Moran** del paquete **Raster** en **CRAN-R**.

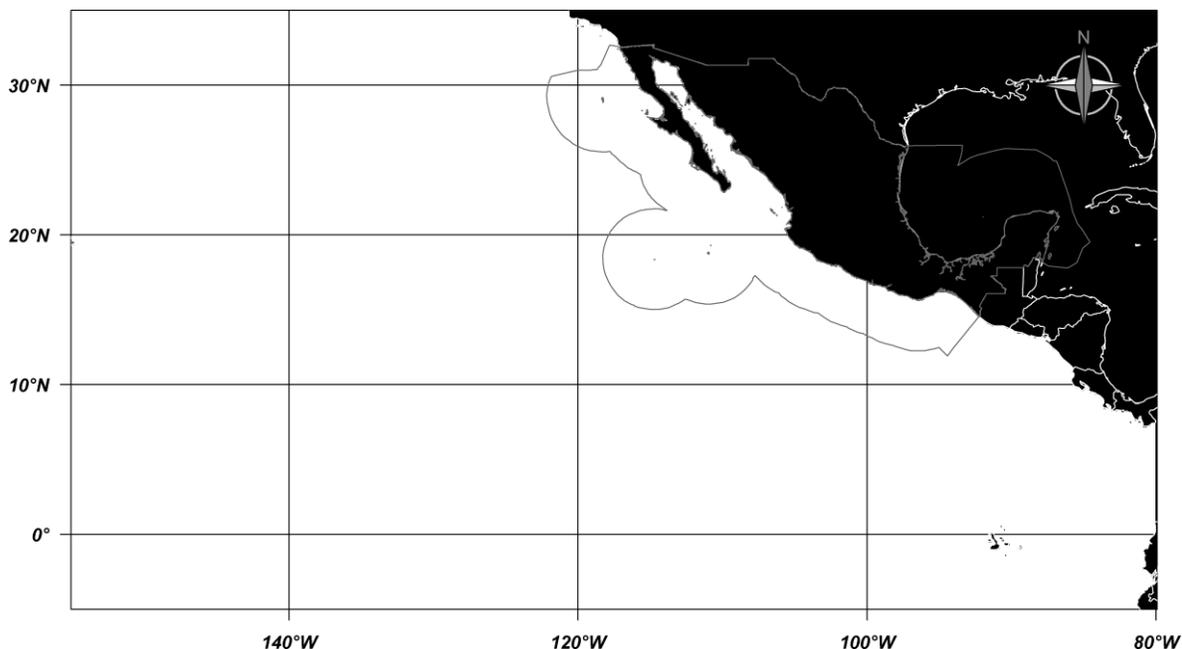


Figura 4. Máscara aplicada al área de estudio. Las zonas blancas indican el área cuyos valores se conservaron. Las zonas en negro se enmascararon, esto es, se convirtieron en valores NA (Not Available, o no disponibles). La línea del continente y de la ZEE se presentan solo como referencias.

### **a. Distribución Potencial**

Las tablas en formato ASCII georeferenciadas, tanto de las presencias como de las variables ambientales, se utilizaron en el modelado de la distribución potencial mediante el método de máxima entropía, usando el programa MaxEnt v3.4.1 (Phillips *et al.* 2017), y las opciones por default del programa, salvo las siguientes opciones:

- Se habilitó la opción de elaborar curvas de respuesta.
- Se habilitó el análisis Jackknife, para obtener la importancia de cada variable en el modelo. Consiste en repetir el proceso de ajuste del modelo, eliminando cada vez una variable, por lo que el modelo se ajusta tantas veces como variables tenga el modelo base (Elith *et al.*, 2006), lo que permite obtener una valoración absoluta y porcentual del aporte de cada variable a la distribución potencial.
- Se especificó el formato de salida acumulativo y en formato de archivo asc.
- Se utilizó la opción de validación cruzada, con 15 réplicas. Lo anterior, para elaborar estadísticas de salida del modelo.
- Se especificaron solo componentes lineales de las variables. Se deshabilitó la opción automática y se desmarcaron las componentes cuadrática, producto, threshold y hinge.
- Se habilitó la opción de crear archivos de datos de salida de MaxEnt (write plot data).

### **b. Validación del modelo**

Los modelos resultantes para cada periodo (mensuales y anual), se validaron mediante el método de validación cruzada (Elith *et al.* 2010; Merow *et al.* 2013), que utiliza un subconjunto de datos para entrenamiento del modelo, y otro subconjunto para verificar el poder predictivo del modelo ajustado. Además, el método de área bajo la curva (AUC), de la curva de características operativas del receptor (ROC), con el criterio de que el modelo tiene valor predictivo si el  $AUC > 0.75$  (75%) (Swets 1988, Burgueño *et al.* 1995). Adicionalmente, se consideró el uso del criterio de la razón de AUC propuesta por Townsend-Peterson *et al.* (2008), utilizando un valor de  $E = 0.5$ , y considerando adecuado un valor de AUC del modelo (AUCm) vs AUC nulo (AUCn)  $AUCm/AUCn > 1.5$ , sin embargo, debido a que se consideró que los datos analizados son de buena calidad (Townsend-Peterson *et al.* 2008), y que en

ese caso se recomienda un valor de  $E=0$ , lo que es equivalente a la ROC tradicional, se consideró innecesario efectuar este análisis.

### ***c. Procesamiento Post Hoc***

Para identificar las áreas de distribución potencial, o pixeles idóneos, se usó un valor de corte de la salida acumulativa ( $c$ ) de MaxEnt de 50, esto es, un pixel se considera idóneo, o donde existe distribución potencial de la especie, si su valor de  $c \geq 50$ .

Se elaboró la representación geográfica de la distribución potencial de *T. albacares*, mensual y total, en la zona y periodo de estudio usando el criterio ya señalado. Se identificaron las zonas persistentes (hot spots), como los pixeles que presentaron características idóneas durante todo el periodo de estudio, mientras que los pixeles donde no se cumplió esta condición se consideraron como zona de incertidumbre.

Para evaluar los cambios mensuales en la distribución potencial, se estimaron los centroides de las distribuciones potenciales mensuales, usando la función **mean\_centre** del paquete **aspace** v.3.2 (Bui *et al.* 2012), de **CRAN-R**.

## VIII. RESULTADOS

Los meses con el mayor registro de pixeles con presencias corresponden a los meses de marzo (1198), abril (1053) y octubre (1019). Los meses con el menor número de pixeles con presencias fueron agosto (332), junio (375) y julio (536) (Tabla 1). En los meses de diciembre, enero y febrero, no se contó con información, ya que corresponden a la veda internacional establecida por la CIAT.

Tabla 1. Número de lances con captura registrados en el mes (N) y número de pixeles con presencia de atún registrada después del filtrado (n).

Mes	N	n
Marzo	1851	1198
Abril	1781	1053
Mayo	1351	939
Junio	526	375
Julio	619	536
Agosto	398	332
Septiembre	724	553
Octubre	1526	1019
Noviembre	1017	689
Totales	9793	4386

En general, en los meses fríos la presencia de atún (lances exitosos) se registró cerca de la costa, en una zona más amplia y en mayor número de pixeles, mientras que en los meses cálidos se registraron en localidades más alejadas de la costa, en una menor extensión y cantidad. La presencia más septentrional se registró a los 34.6°N, y la más austral a los 0.4°N. El registro de presencia más oriental se registró a los 86°O, y la más occidental se presentó a los 149.6°O (Figura 6).

En los meses de marzo, abril, mayo y noviembre, hubo un mayor registro de presencias de atún dentro de la ZEE, en el área comprendida entre las islas Clipperton, Isla Socorro y la costa del Pacífico Centro de México (Figura 6).

En el mes de julio, la mayor cantidad de presencias se registró en una zona fuera de la ZEE, comprendida entre los 120° y los 145° O, alrededor del paralelo 10°N (Figura 6).

En el golfo de Tehuantepec, se registró la presencia de *T. albacares* en los meses de marzo, abril, junio, agosto, septiembre, octubre y noviembre (Figura 6), en la

zona costera de la región costa de Oaxaca, y fuera de la franja costera de la costa de Chiapas, cerca de la frontera con Guatemala (Figura 6).

Ninguna presencia se registró en un área comprendida al oeste de los 130°O y norte de los 20°N (Figura 6).

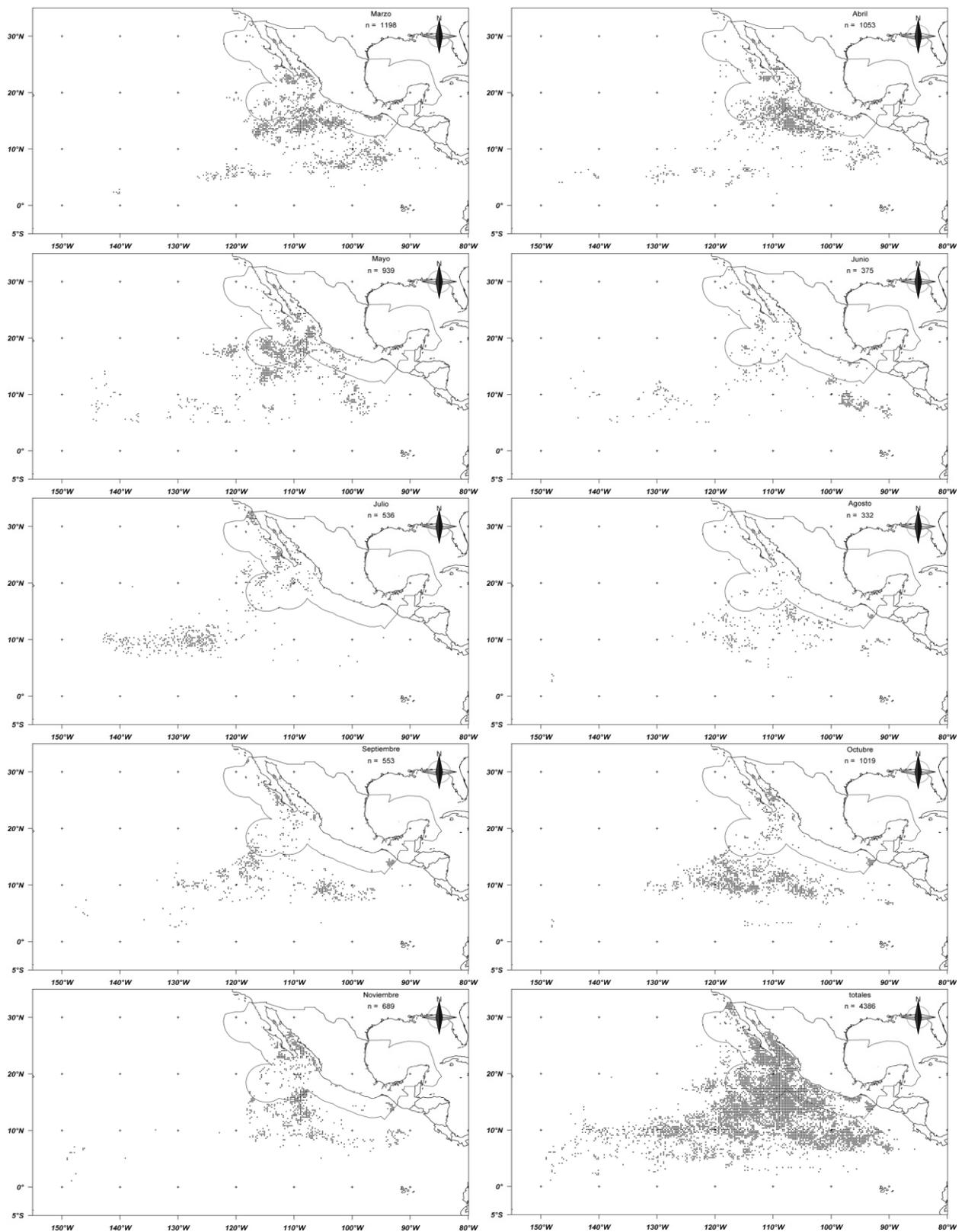


Figura 6. Píxeles donde se registró la presencia de *T. albacares*, indicando el tamaño de la muestra, para todos los meses (marzo a noviembre) y total del periodo de estudio. Datos obtenidos de CONAPESCA.

### **VIII.1 Variables ambientales.**

En la Figura 6 se muestran los valores promedio de cada variable considerada (TSM, CI a, Bat), así como la dispersión de valores, por mes y para todo el periodo de estudio. En el caso de la TSM, se observa que, en general, la temperatura aumenta al avanzar la temporada cálida, aunque el cambio de la temperatura promedio es muy pequeña. Al avanzar la temporada fría a fin de año, el promedio disminuye ligeramente de nuevo. Tanto los extremos superior e inferior siguen esta tendencia, aunque de manera un poco más pronunciada. En el mes de agosto se registró la temperatura más alta, pero el mes de septiembre presenta el extremo inferior más alto. En el caso de la CI a, el máximo valor promedio se registró en el mes de marzo, y se observa una tendencia a disminuir el valor promedio mensual al avanzar la temporada cálida, con el valor promedio mínimo en el mes de septiembre, volviendo a subir al avanzar la temporada fría. En el caso de la profundidad, se observa que la profundidad promedio de la zona de estudio se encuentra en alrededor de 4400 m de profundidad.

Con respecto a la correlación entre las variables, con base en el coeficiente de correlación de Pearson (P), se encontró que existe una correlación muy baja entre los valores de las variables (Tabla 2). Este análisis confirma que, en general, la correlación entre la CI a y la TSM, aunque es muy pequeña, es negativa, como ya se apreciaba en las gráficas de caja y bigote. Así mismo, en general, la correlación entre la batimetría y la TSM es positiva, aunque pequeña ( $\sim 0.13$ ), a diferencia de la correlación entre la batimetría y la CI a, que, aunque positiva, es más fuerte ( $\sim 0.45$ ). No obstante que se presenta un resumen de los valores de P, los valores de la desviación estándar muestran que los valores de P tienen una dispersión muy pequeña, siendo consistentes para todos los meses considerados.

El índice de Morán mostró que existe fuerte autocorrelación espacial de las diferentes variables (Tabla 3). Esto significa que valores altos de una variable están agrupados con otros valores altos, y viceversa, lo cual era de esperarse, debido a los factores físicos que determinan la distribución espacial de estas variables.

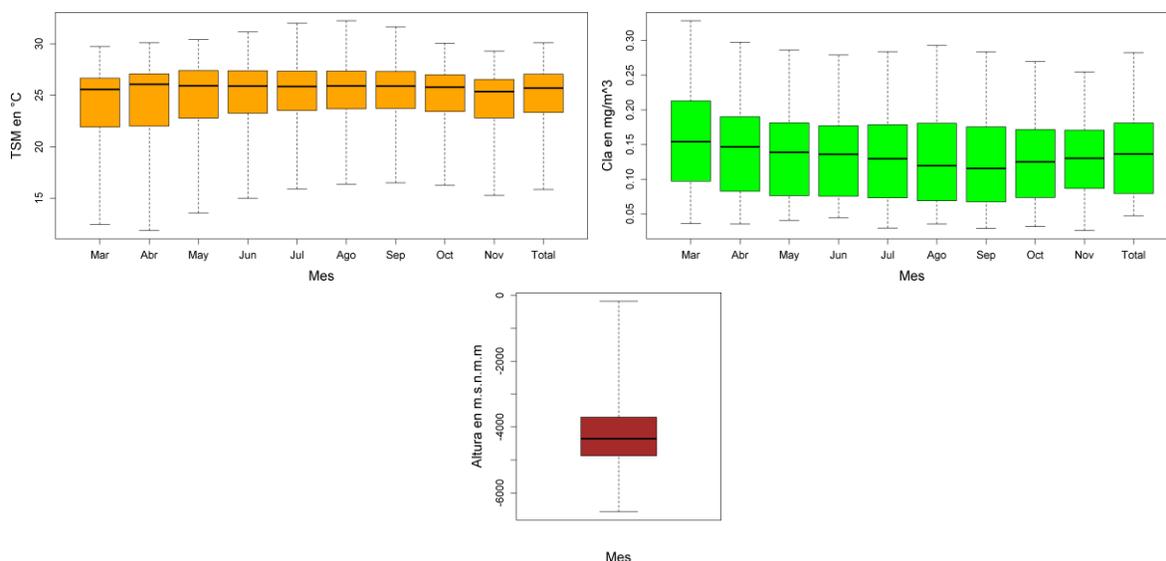


Figura 6. Intervalo de valores de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ), Cl a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), y profundidad (m.s.n.m.m.), por mes tipo y total en el periodo de estudio.

Tabla 2. Valores promedio del coeficiente de correlación de Pearson entre las diferentes variables consideradas, en todos los meses tipo analizados y para el total del periodo.

Variables	Promedio de R	DesvEst de R
Cl a VS TSM	-0.0176046	0.01861749
Bat VS TSM	0.12976438	0.06882867
Cl a VS Bat	0.44861079	0.03653216

Tabla 3. Valores promedio del Índice de Morán ( $I_m$ ) para evaluar la autocorrelación espacial de las variables, en todos los meses tipo analizados y para el total del periodo.

Variable	Promedio $I_m$	DesvEst $I_m$
Cl a	0.744582403	0.053665252
TSM	0.996016552	0.001212798
Bat	0.977002271	0.0

### a. Temperatura superficial

La TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) presentó un gradiente latitudinal (Figura 7), con las temperaturas más bajas hacia el norte de la zona de estudio y las más altas hacia el sur, con una reversión en la zona ecuatorial. Se observan bandas latitudinales más o menos deformadas por la circulación superficial general, por lo que, en la zona norte, frente a la costa de Baja California, se encuentra una lengua de agua templada ( $\leq 20^{\circ}\text{C}$ ) más al sur ( $\sim 25^{\circ}\text{N}$ ) que en la parte media del Pacífico Norte ( $\sim 30^{\circ}\text{N}$ ), intensificándose en los meses fríos y reduciéndose en los meses cálidos. En

general, la costa Oeste de Baja California es más templada (15-20°C) que el Golfo de California (18-35°C), especialmente en los meses cálidos, cuando la diferencia de TSM puede ser de casi 10°C.

#### **b. Clorofila a.**

Los valores de concentración de Cl a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) son muy pequeños ( $0 \leq [\text{Cl a}] \leq 1 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la zona oceánica del área de estudio (Figura 8), con pequeñas variaciones a lo largo del año. Los valores más pequeños de Cl a ( $< 0.1 \text{ mg m}^{-3}$ ) se encontraron en una zona al centro del Pacífico N, al O del meridiano 120°O, y al N del paralelo 10°N, la cual se expande en los meses cálidos y se contrae en los meses fríos. La franja que se encuentra sobre el ecuador presenta consistentemente valores de concentración de Cl a de alrededor de  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$ .

En la zona costera del litoral de Norte y centroamérica, las variaciones son más amplias, pasando de valores cercanos a cero en algunas zonas, hasta valores de más de  $14 \text{ mg m}^{-3}$ , y en algunos hasta más de  $50 \text{ mg m}^{-3}$ , lo que es particularmente evidente frente a Santa Bárbara, California, EEUU, frente a puerto Canoas en Baja California, y en menor intensidad y extensión en otras zonas del litoral, como dentro del golfo de California, en las cercanías de cabo Corrientes y todo el litoral del Pacífico Sur de México, incluyendo el golfo de Tehuantepec (Figura 8 a - h).

En el caso de los golfos de Tehuantepec y Papagayo, se hace evidente el efecto de los vientos de chorro que soplan en dirección al mar en los meses de marzo, abril, octubre y noviembre, ya que se observan franjas de agua que se internan en el mar, con valores de Cl a  $> 1 \text{ mg m}^{-3}$ .

Los mayores valores de Cl a se alcanzan durante los meses de primavera (marzo – mayo) (Figura 8 a,b,c), principalmente en la costa occidental de las californias, la costa oriental del golfo de California, y la costa de los estados de Sinaloa, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. En los meses veraniegos (junio – agosto), se reducen drásticamente las concentraciones de Cl a en el interior del golfo de California ( $\text{Cl a} < 1 \text{ mg m}^{-3}$ ), excepto en el alto golfo. Continúan altos los valores en la costa de la alta California y la costa occidental de la península de Baja California, y un remanente con valores de Cl a  $\sim 1 \text{ mg m}^{-3}$  en la zona oceánica afuera del golfo de Papagayo.

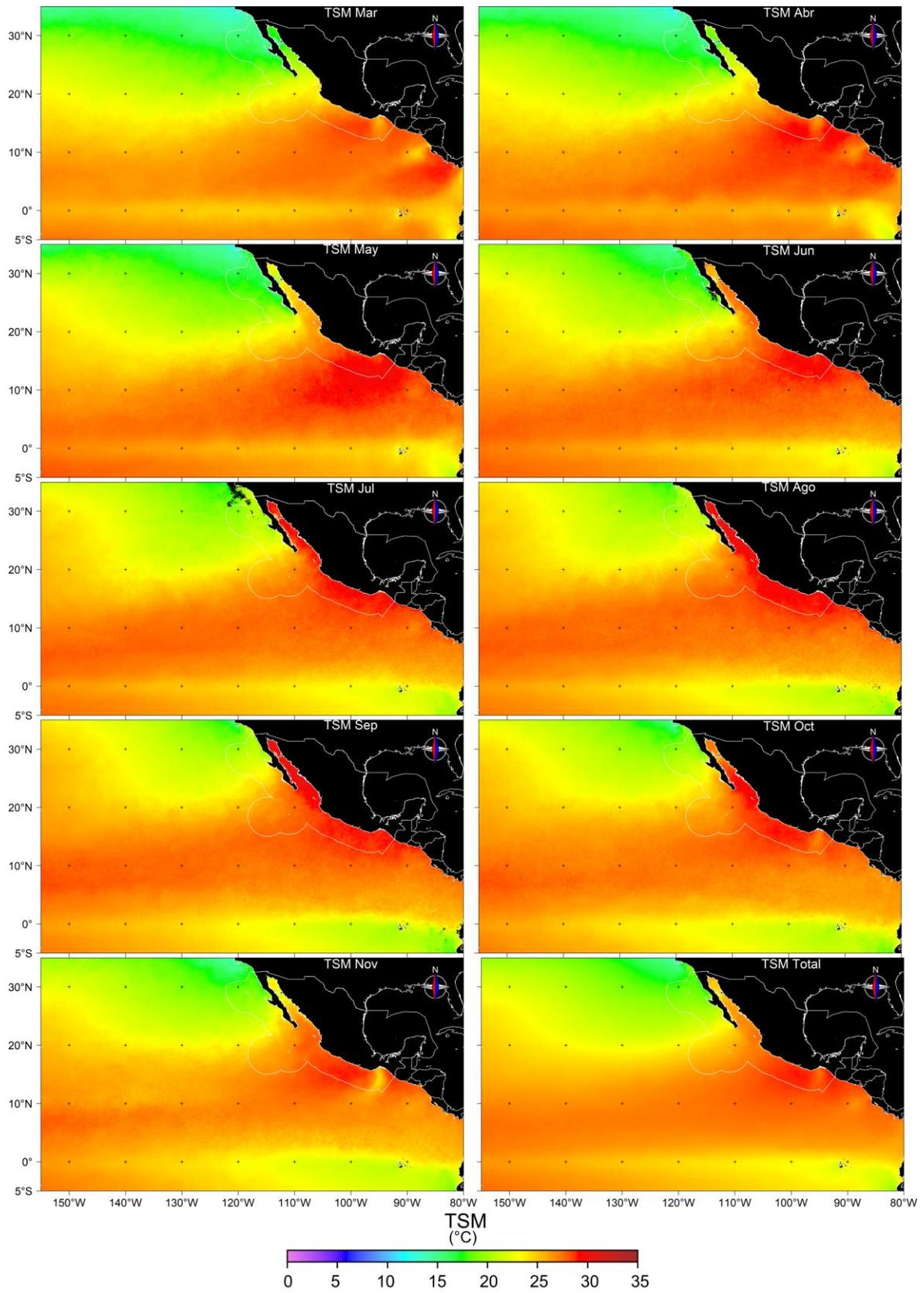


Figura 7. Promedios mensuales y total de la distribución de la TSM (°C) en el periodo, elaboradas a partir de imágenes Modis Terra.

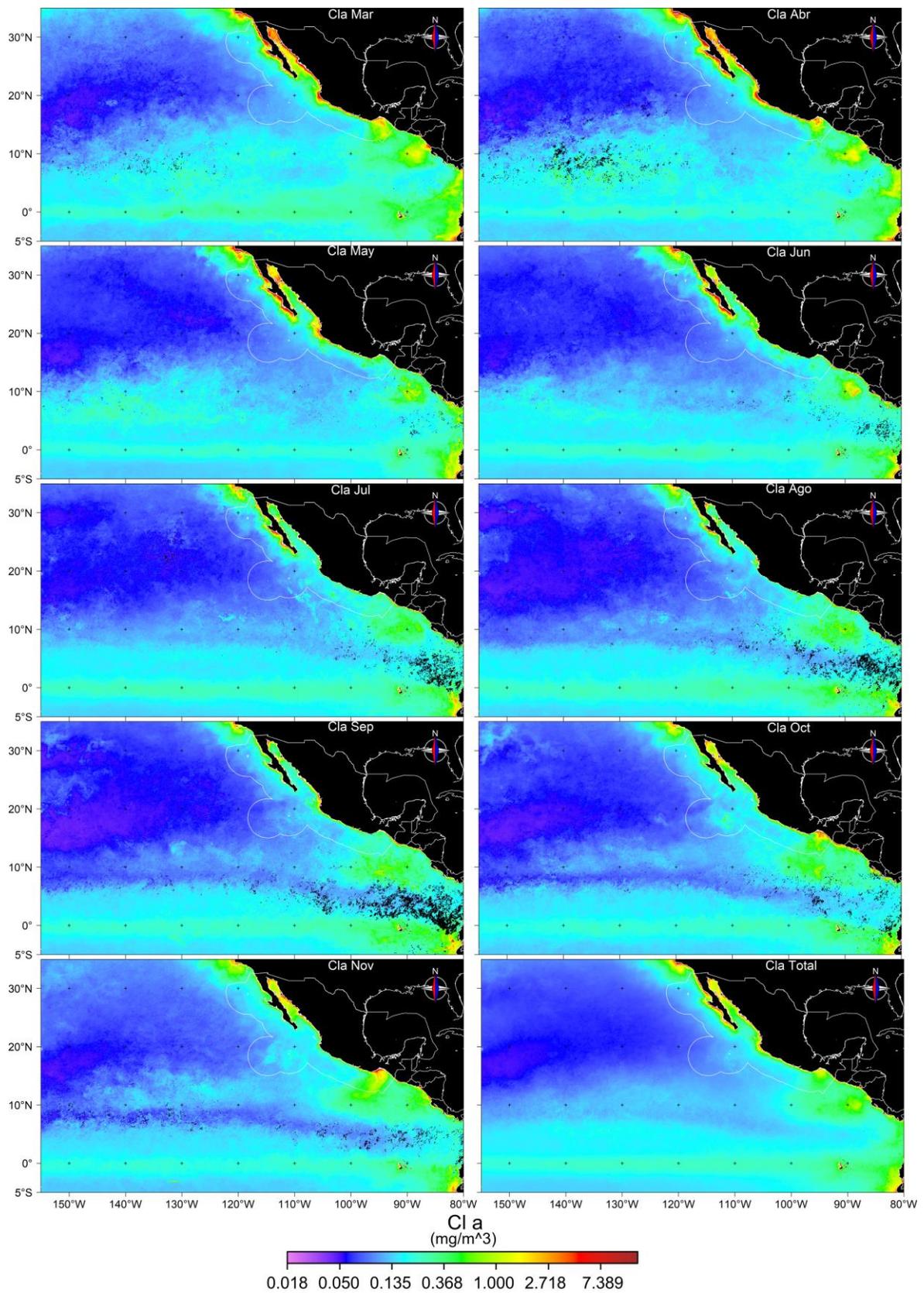


Figura 8. Promedios mensuales y total de la distribución de la Cl a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en el periodo, elaboradas a partir de imágenes Modis Aqua. La escala usada es logarítmica ( $\text{Log}[\text{Cl a}]$ ).

### c. Batimetría

En lo que respecta a la batimetría (Figura 9), resalta la zona de la plataforma continental, de amplitud variable, en zonas aledañas al continente, con profundidades menores a los 200 m, a lo largo de toda la costa en la zona de estudio, principalmente algunas zonas de la costa occidental de la península de Baja California, el alto golfo de California, y frente a la costa de Sinaloa, y en la costa de Oaxaca y centroamérica. Resalta también una franja con profundidad menor a 1000 m, que corre de norte a sur a lo largo de toda la costa del continente, y continuándose en el límite de la placa de cocos. La trinchera mesoamericana, con una profundidad de alrededor de 4000 m, que marca el límite de la plataforma continental en casi toda la extensión del litoral, desde sud-América hasta cabo Corrientes. Por último, la llanura abisal, que se extiende más allá de la trinchera mesoamericana, iniciando con profundidades de poco más de 2000 m, y que, merced a un gradiente positivo hacia el occidente del Pacífico, llega a alcanzar profundidades mayores a los 4000 m al centro del Pacífico. Se aprecian además las múltiples fallas que se extienden en sentido casi longitudinal, y que forman las principales islas que se encuentran en la región de estudio (Marías, Revillagigedo, Socorro, Clarión, Clipperton, Galápagos).

### VIII.2. Análisis MaxEnt

Como resultado del análisis MaxEnt, se obtuvieron los valores de  $\lambda_i$  para cada variable en el modelo, por mes y general para todo el periodo. La Tabla 3 presenta los valores promedio y desviación estándar, de  $\lambda_i$ , estimados a partir de las réplicas de la validación cruzada.  $\lambda_1$  corresponde a la TSM,  $\lambda_2$  corresponde a la Batimetría y  $\lambda_3$  corresponde a la CI a.

La variable con la mayor ponderación ( $\lambda$ ) es la CI a ( $\lambda_3$ ), si bien sus  $\lambda$  son negativas, aunque en dos meses son cero, ( $-19.846 \leq \lambda_3 \leq 0$ ). Un valor de  $\lambda$  negativo significa que al aumentar el valor de CI a, la probabilidad de presencia de *T. albacares* se reduce. La CI a adquiere importancia en los meses de octubre ( $\lambda_3 = -19.846$ ,  $s = 0.753$ ), agosto ( $\lambda_3 = -17.354$ ,  $s = 1.233$ ) y mayo ( $\lambda_3 = -13.551$ ,  $s = 0.599$ ). Su importancia es menor en los meses de julio ( $\lambda_3 = 0$ ), septiembre ( $\lambda_3 = 0$ ) y junio

( $\lambda_3 = -4.193$ ,  $\mathbf{s} = 0.356$ ). En el modelo total del periodo, la CI a tuvo un peso pequeño ( $\lambda_1 = -0.358$ ) (Figura 10).

En el caso de la TSM, todas las  $\lambda_1$  son positivas ( $1.457 \leq \lambda_1 \leq 9.877$ ), lo que implica que al aumentar la TSM, aumenta la probabilidad de presencia de *T. albacares*. Los meses en los que la ponderación de la TSM aumenta son agosto ( $\lambda_1 = 9.125$ ,  $\mathbf{s} = 0.187$ ), octubre ( $\lambda_1 = 9.877$ ,  $\mathbf{s} = 0.052$ ) y noviembre ( $\lambda_1 = 8.270$ ,  $\mathbf{s} = 0.109$ ). Los meses en los que su ponderación es menor en el modelo son mayo ( $\lambda_1 = 1.457$ ,  $\mathbf{s} = 0.048$ ), julio ( $\lambda_1 = 2.591$ ,  $\mathbf{s} = 0.086$ ) y abril ( $\lambda_1 = 2.721$ ,  $\mathbf{s} = 0.055$ ). En el modelo total del periodo, la ponderación de la TSM fue de  $\lambda_1 = 4.483$ , con  $\mathbf{s} = 0.033$  (Figura 10).

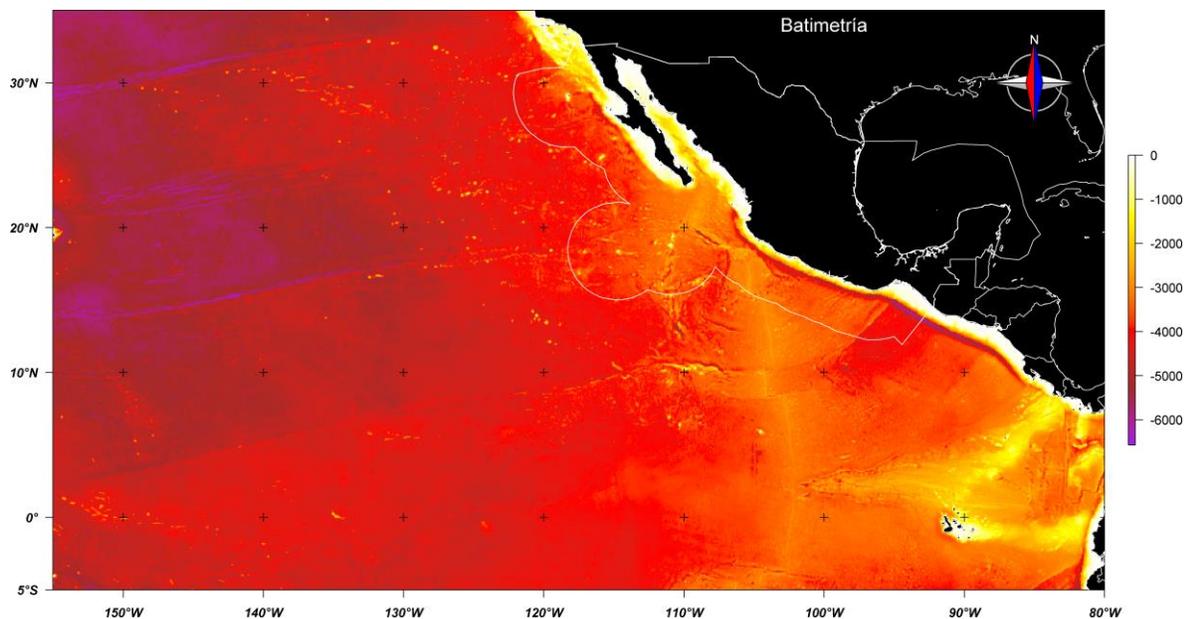


Figura 9. Batimetría (m sobre el nivel medio del mar) de la zona de estudio, elaborado a partir de datos del proyecto ETOPO de la NOAA. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>.

La ponderación de la batimetría ( $\lambda_2$ ) fluctúa entre  $1.334 \leq \lambda_2 \leq 3.742$ , con sus valores más altos en abril ( $\lambda_2 = 3.742$ ,  $\mathbf{s} = 0.053$ ), marzo ( $\lambda_2 = 3.513$ ,  $\mathbf{s} = 0.048$ ) y mayo ( $\lambda_2 = 3.441$ ,  $\mathbf{s} = 0.035$ ). Los valores más bajos de la ponderación de esta variable se obtuvieron en agosto ( $\lambda_2 = 1.334$ ,  $\mathbf{s} = 0.084$ ), julio ( $\lambda_2 = 1.354$ ,  $\mathbf{s} = 0.064$ ) y septiembre ( $\lambda_2 = 1.560$ ,  $\mathbf{s} = 0.065$ ). En el modelo total del periodo, la ponderación de la Bati fue de  $\lambda_2 = 1.762$ , con  $\mathbf{s} = 0.015$  (Figura 10).

La entropía promedio de los modelos mensuales y total estuvo entre  $8.510 \leq H \leq 9.321$ . La mayor entropía promedio (H) del modelo se obtuvo en el mes de julio, con un valor promedio de  $H = 9.143$ , y  $s = 0.0034$ . La menor H promedio se obtuvo en el mes de noviembre, con un valor de  $H = 8.510$  y  $s = 0.0088$ . El modelo total obtuvo una  $H = 9.321$  y  $s = 0.001$  (Figura 10).

En la Figura 11 se presenta la contribución porcentual de cada variable al modelo de cada mes y total. Se observa que la TSM es la variable más importante, con valores porcentuales de aportación al modelo en un intervalo de 22.6 % en el mes de mayo, a 90.5 % en el mes de agosto, así como un valor del 70.7 % en el modelo total. La Bat tiene una importancia que varía entre 6.4 % en octubre, a un 65.9 % en mayo, y un valor del 29 % en el modelo total. Por su parte, la CI a tuvo valores de contribución porcentual al modelo, de 0 % en julio y septiembre, hasta 11.5% en mayo, y un valor de 0.3% en el modelo total.

También en la Figura 12, se presentan los valores de AUC para los modelos de cada mes y el modelo total. La menor AUC fue de 0.657 para el modelo ajustado del mes de julio, y la máxima fue de 0.856 en el modelo ajustado con los datos del mes de septiembre, mientras que en el modelo total fue de 0.703.

En la Figura 13 se presentan las gráficas de la curva ROC y la respectiva AUC para los modelos de cada mes. En la tabla anterior y la Figura 10, se aprecia que en el primer semestre del año el valor del AUC para los modelos no fue mayor a 0.759. Sin embargo, en el segundo semestre, el valor del AUC fue ligeramente mayor, con valores superiores a 0.834, lo que evidencia un mayor poder predictivo.

En la Figura 14 se presentan las curvas de respuesta de la salida acumulativa de MaxEnt a cada variable, para el modelo total, omitiéndose las curvas de respuesta para cada mes. El lado derecho presenta la respuesta conjunta de la variable indicada, mientras las demás variables toman el valor de su respectivo promedio (efecto marginal). En el lado izquierdo se muestra la respuesta de la salida acumulativa de MaxEnt (tasa de omisión), usando la variable indicada como la única variable del modelo MaxEnt.

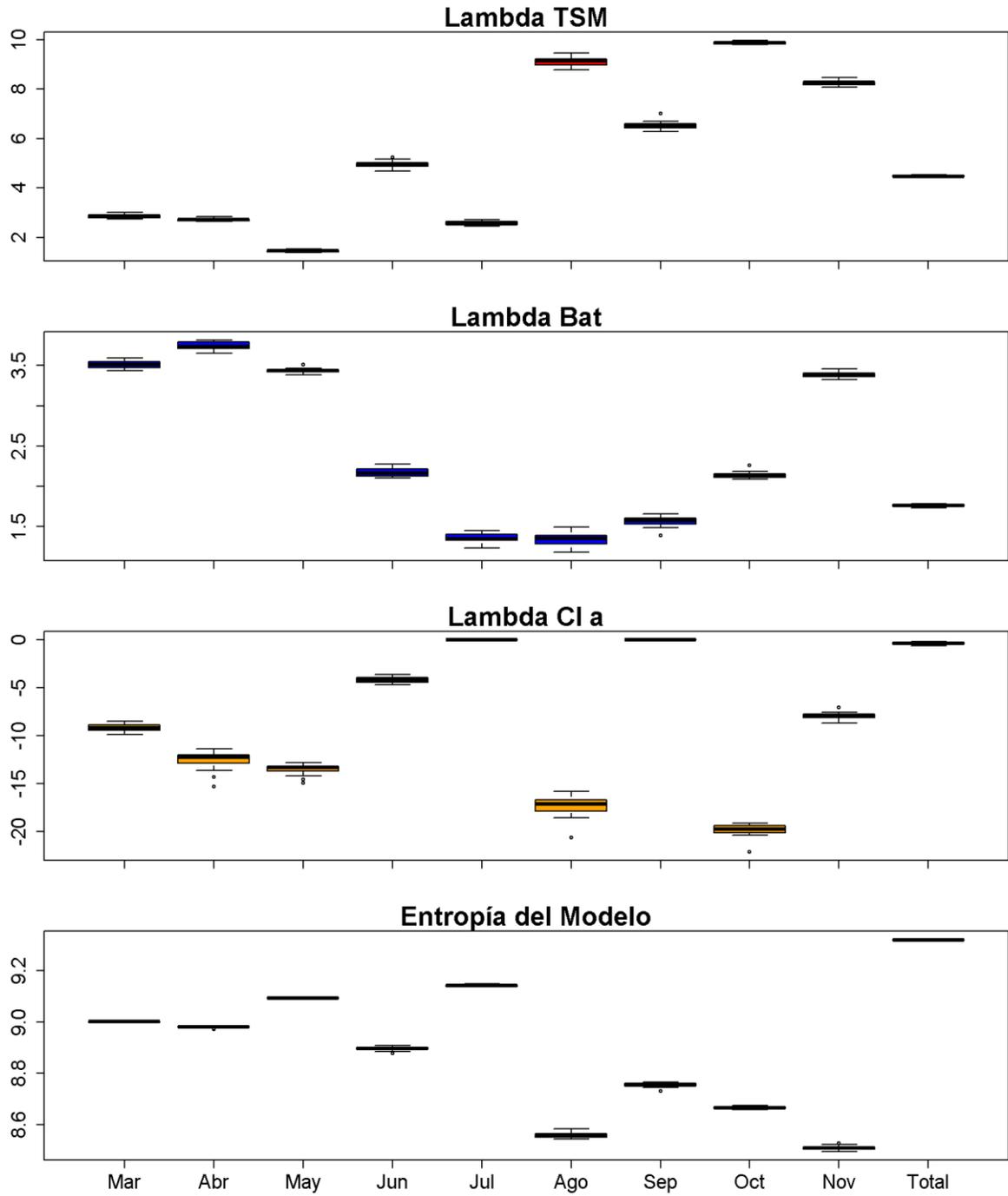


Figura 10. Valores promedio de las  $\lambda$ 's y los valores de entropía (H) de los modelos de cada mes, y del modelo total, con sus intervalos de confianza.

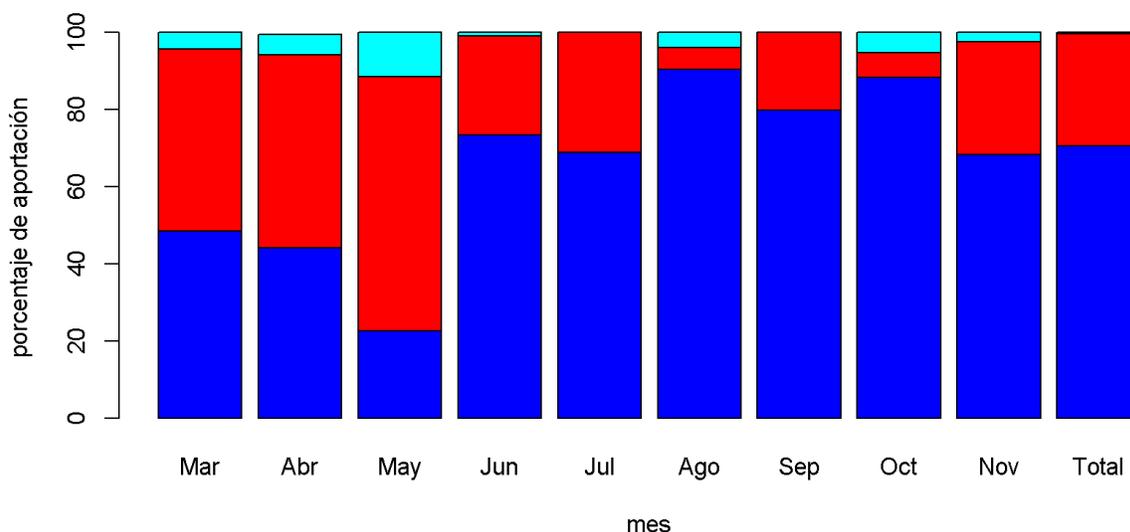


Figura 11. Contribuciones (en porcentaje) de cada variable al modelo, por mes y total.  
■ TSM, ■ Bat, ■ Cl a.

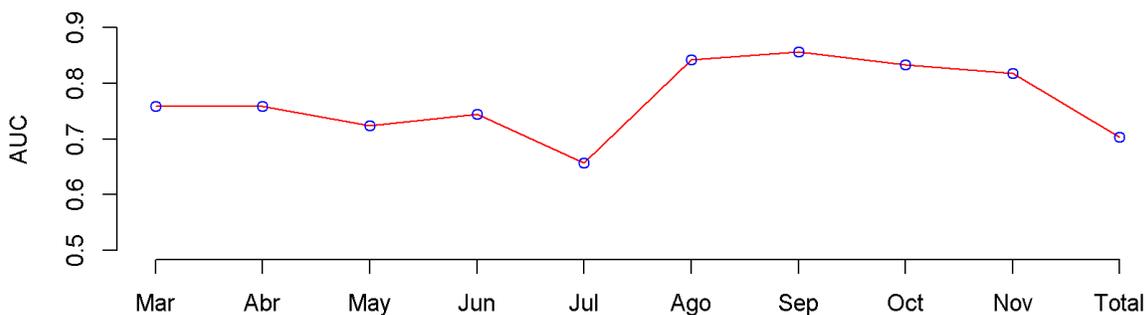


Figura 12. Valor del área bajo la curva (AUC) del modelo de cada mes y del modelo total.

Se aprecia que, en el caso de la TSM, tanto el efecto marginal como el efecto único de la TSM, es positivo sobre la salida acumulativa, esto es, a mayor valor de la TSM, mayor tasa de omisión. Además, la salida acumulativa es casi nula por debajo de los 20°C, y se hace máxima por arriba de los 30°C. Valores de tasa de omisión mayores al 50% se presentan en valores de TSM por arriba de los 27°C.

En el caso de la Cl a, el efecto marginal de la concentración de Cl a sobre la salida acumulativa es negativo, aunque el máximo valor de la salida acumulativa no sobrepasa el 50% para el mínimo valor de la concentración de Cl a. En el caso de considerar la Cl a como la única variable del modelo MaxEnt, no se aprecia un efecto sobre la salida acumulativa en el intervalo de valores de concentración de Cl a encontrado.

En el caso de la Bat, ambas curvas muestran un efecto positivo de la variable sobre la salida acumulativa. Valores de tasa de omisión mayores al 50% se presentan en valores de Bat por arriba de los -3500 m.s.n.m. En el caso del efecto marginal, el intervalo de valores de la Bat no alcanza el 100% de tasa de omisión. En el caso de la respuesta del modelo MaxEnt construido solo con esta variable, el 100% de la tasa de omisión se alcanza en localidades con profundidades menores a los -50 m. Entonces, podemos decir que *T. albacares* prefiere zonas con temperaturas superiores a los 27°C, con bajas concentraciones de Cl a (si bien el efecto es muy bajo) y zonas con profundidades menores a los 3500 m.

### **Distribución Potencial de *T. albacares*.**

Como ya se indicó, se considerarían como zonas idóneas las zonas con un valor de la salida acumulativa de MaxEnt mayor de 50 (tasa de omisión  $\geq 50\%$ ).

En la representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt (Figuras 12 a 22), se observa que, en general, en los meses fríos la zona de distribución potencial se desplaza hacia el S y al E de la zona de estudio, mientras que en los meses cálidos la zona de distribución potencial se desplaza al N y al O de la zona de estudio, con zonas idóneas aisladas fuera de la zona principal de distribución potencial, o no idóneas dentro de la misma, como resultado de fenómenos locales (Figura 16).

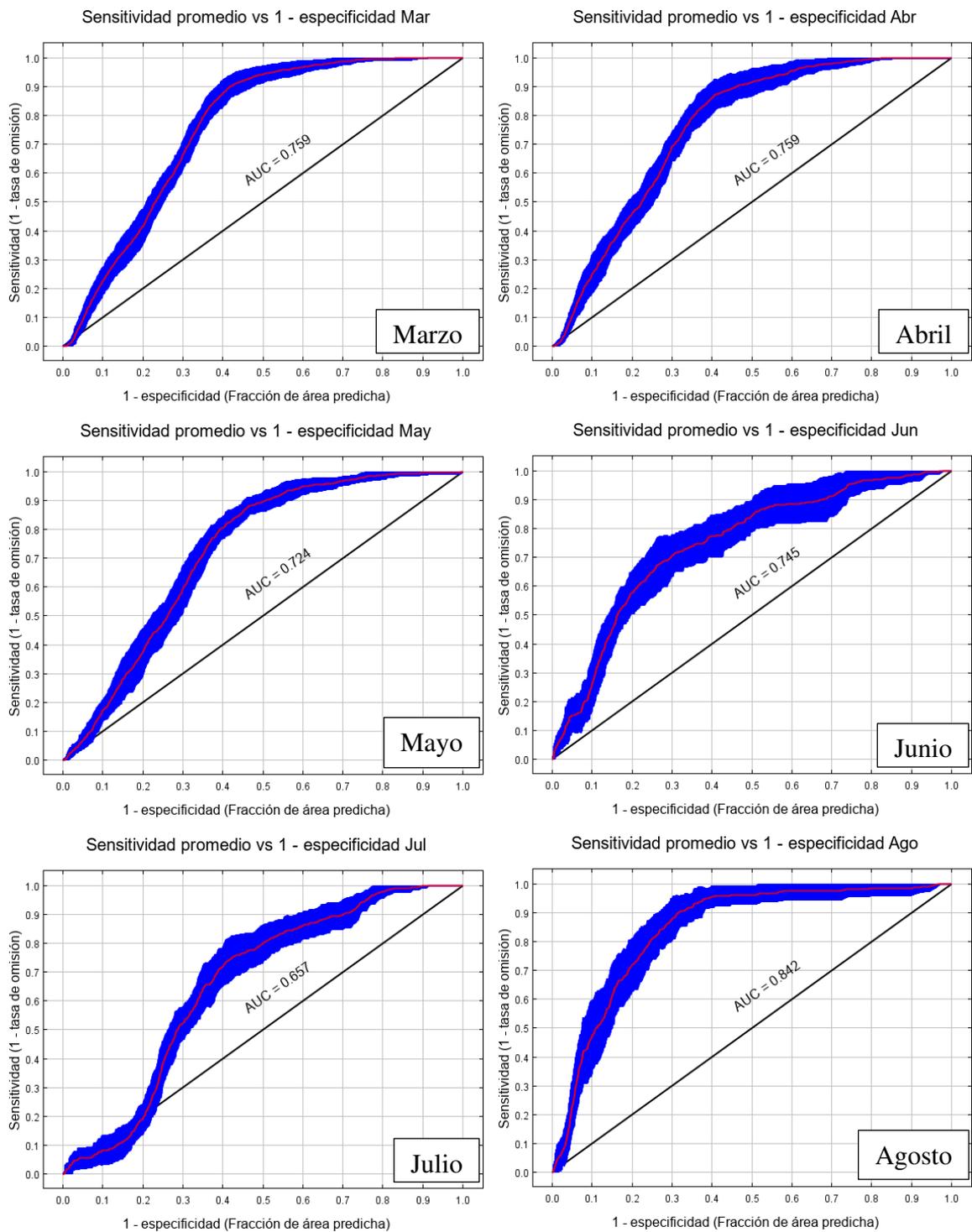


Figura 13. AUC de la curva ROC de prueba para los modelos ajustados de los meses de marzo a agosto. La línea roja es el promedio, y la banda azul es el intervalo de confianza ( $\pm 1$  s), estimado de las réplicas de la validación cruzada.

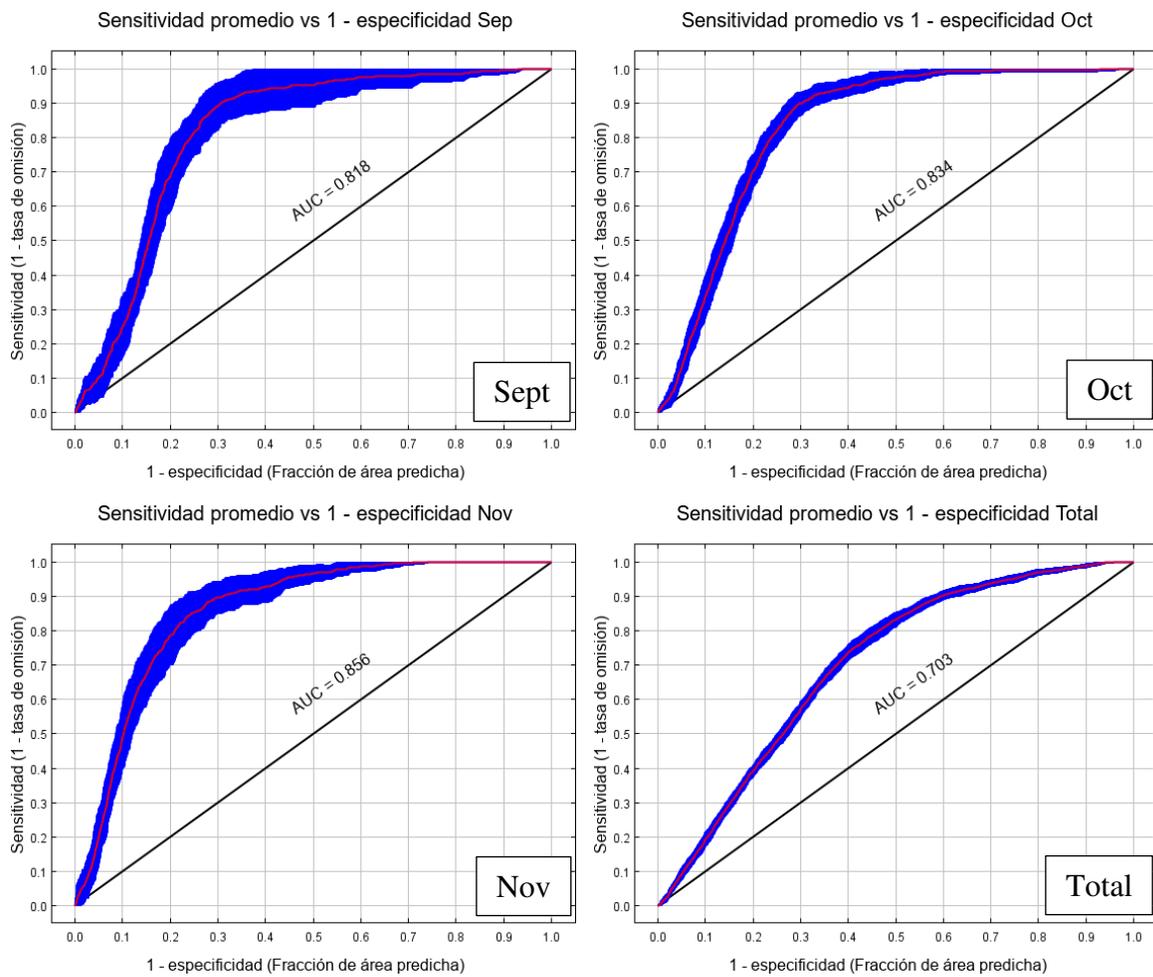


Figura 13 (cont.). AUC de la curva ROC de prueba para los modelos ajustados de los meses de septiembre a noviembre, y el total del periodo de estudio. La línea roja es el promedio, y la banda azul es el intervalo de confianza ( $\pm 1$  s), estimado de las réplicas de la validación cruzada.

Curvas de respuesta de la salida MaxEnt a cada variable

Efecto marginal de cambio de una variable

Efecto de una sola variable

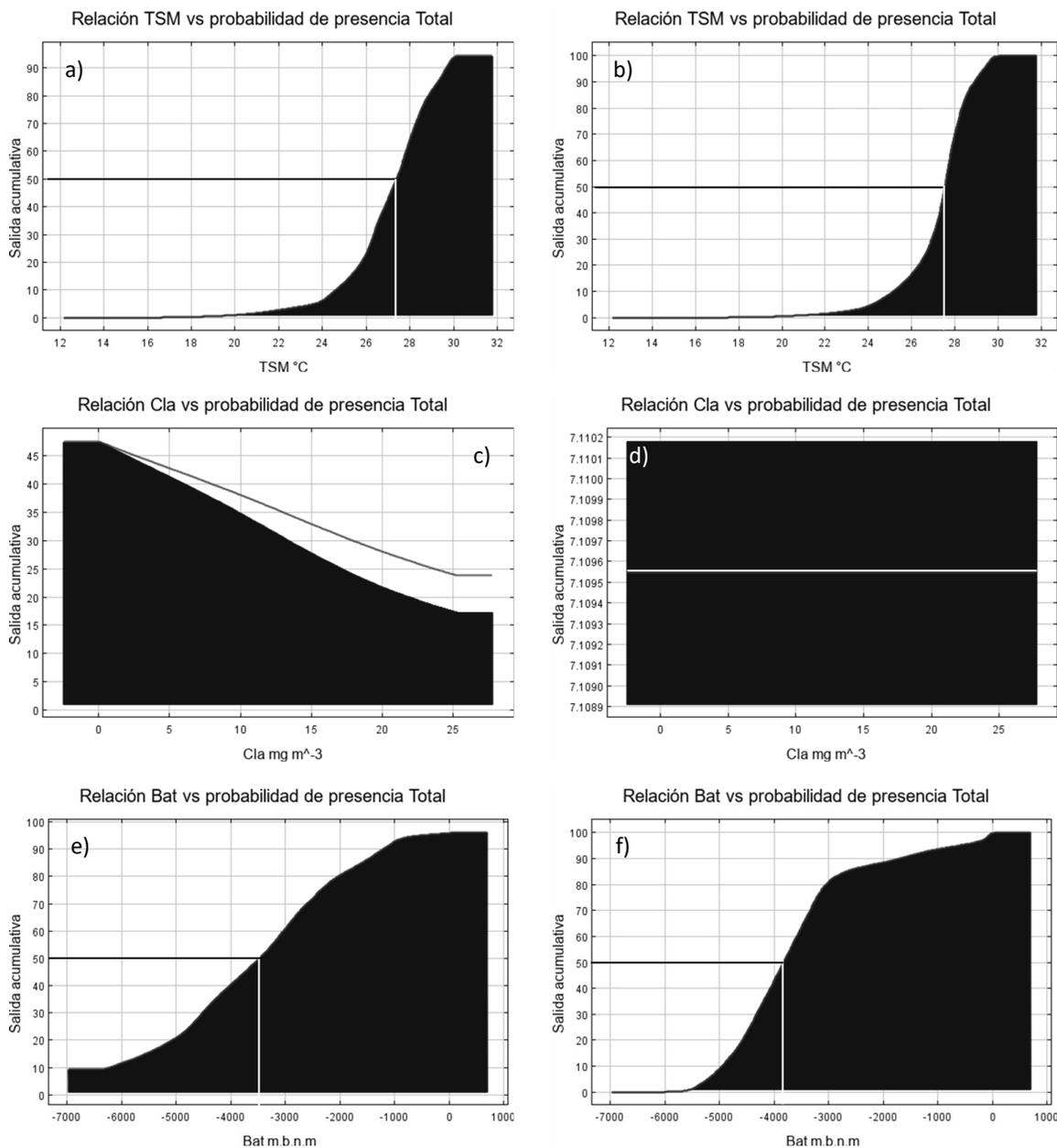


Figura 14. Curvas de respuesta de la salida acumulativa (tasa de omisión) del modelo MaxEnt, a cada una de las variables incluidas en el modelo. Las curvas de la derecha representan el efecto marginal de cada variable. Las curvas de la izquierda representan el efecto único de esa variable sobre la salida acumulativa.

### **Dinámica de la distribución potencial de *T. albacares*.**

Al final del invierno, o de la estación seca (marzo, Figura 16), la distribución potencial de *T. albacares* ( $C \geq 50\%$ ) se extiende en una zona costera que sigue el ancho de la plataforma continental frente a las costas de la parte sur de la península de Baja California, frente a la parte sur de Baja California Sur, la costa de Sinaloa, y la zona costera de los estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, prolongándose hasta las costas de sudamérica. También la zona oceánica que comprende la alberca de agua cálida, frente y al SO de las costas de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, y que se extiende hasta las islas Galápagos, aproximadamente al E del meridiano  $110^{\circ}\text{O}$ , y al norte del paralelo  $5^{\circ}\text{S}$ .

Las zonas no idóneas son la zona oceánica afuera del golfo de Tehuantepec, zona oceánica fuera de la costa de Nicaragua, la franja oceánica encima de la trinchera Mesoamericana, desde Cabo Corrientes en México, hasta el golfo de Nicoya en Costa Rica, y la zona oceánica al O del meridiano  $110^{\circ}\text{O}$ , incluyendo la zona costera de la parte norte de la costa O de Baja California Sur y Baja California. El centroide de la distribución potencial se localizó en  $97.92059^{\circ}\text{O}$  y  $5.987640^{\circ}\text{N}$  (Figura 27). La extensión del área idónea en este mes fue de 5.86 millones de  $\text{km}^2$ , siendo el 3er mes con mayor extensión de la distribución potencial.

Al inicio de la primavera, aún en la estación seca (abril, Figura 17), la distribución potencial fue muy similar al mes de marzo. Los pequeños cambios fueron la reducción como zona idónea del área costera en el litoral O de la zona sur de Baja California Sur y la zona al sur del Ecuador y al E del meridiano  $110^{\circ}\text{O}$ . Aumentaron la extensión de las áreas idóneas en la boca del Golfo de California y la zona oceánica del golfo de Tehuantepec. El centroide de la distribución potencial se localizó en la posición  $98.34121^{\circ}\text{O}$  y  $6.841991^{\circ}\text{N}$  (Figura 27), a solo 105 km casi al N del mes anterior, lo que evidencia los pequeños cambios ocurridos entre el mes anterior y el mes de abril. La extensión del área idónea en este mes fue de 5.76 millones de  $\text{km}^2$ , siendo el 4to mes con mayor extensión de la distribución potencial.

A mediados de la primavera (mayo, Figura 18), se observa que la distribución potencial se extiende hacia la zona costera en la zona N de Baja California, y zona S de la alta California en EEUU. Se amplía hacia todo el golfo de California, excepto

a la altura de las islas Tiburón y Ángel de la Guarda. Las zonas idóneas de la boca del golfo de California se conectan con la zona que abarca la alberca de agua cálida en la zona oceánica frente a Michoacán, Guerrero y Oaxaca, expandiéndose también la zona alrededor de isla Socorro, y se extiende ligeramente al O de los 110° O a la altura de los 8°N. Se reduce hasta casi desaparecer la zona no idónea afuera del golfo de Tehuantepec y se reduce ligeramente la mancha no idónea en la zona oceánica frente a la costa de Nicaragua. El centroide de la distribución potencial se desplaza a la posición 100.16957°O y 8.000812°N (Figura 27), a 239 km al NO de donde se localizó el mes anterior, lo que evidencia que los cambios se dieron al N y al O de la extensión del mes anterior. La extensión del área idónea en este mes fue de 6.99 millones de km<sup>2</sup>, siendo el 3er mes con mayor extensión de la distribución potencial.

Al final de la primavera (junio, Figura 19), la distribución potencial se extiende hasta abarcar completamente el golfo de California, toda la alberca de agua cálida y las zonas oceánicas frente al golfo de Tehuantepec y Nicaragua, así como la franja sobre la trinchera mesoamericana, y ampliándose la lengua oceánica occidental al O de los 110°O a la altura de los 8° – 10°N. Desaparecen por completo los manchones idóneos en la costa O de California y Baja California, y casi desaparece la zona idónea alrededor de la Isla Socorro. También desaparece la zona idónea al S del paralelo 2°-3°S. El centroide de la distribución potencial en este mes se localizó en 101.79313°O y 10.265211° (Figura 27), a 307 km al NO del mes anterior, evidenciando el avance al N y al O de la distribución potencial. La extensión del área idónea en este mes fue de 5.46 millones de km<sup>2</sup>, siendo el 5to mes con mayor extensión de la distribución potencial.

Ya entrado el verano (julio, Figura 20), el área de distribución potencial se extiende ligeramente hacia la costa O de baja California Sur, por todo el Golfo de California, que se conectan a su vez con la alberca de agua cálida, mediante la zona alrededor de Isla Socorro, constituyendo un manchón casi uniforme, mientras que la lengua que se extiende al O del meridiano 110°O se amplía hasta los 140°O, a la altura del paralelo 8°N. El centroide de la distribución potencial se localizó en 110.24685°O y 9.908903°N (Figura 27), a 927 km al O del mes anterior, lo que evidencia la extensión

hacia el O de la zona de distribución potencial. La extensión del área idónea en este mes fue de 8.91 millones de km<sup>2</sup>, siendo el mes con mayor extensión de la distribución potencial.

A finales del verano, entrada la estación lluviosa (agosto, Figura 21), la zona de distribución potencial se reduce, debilitándose la zona idónea de la costa O de Baja California, y casi desaparece la lengua oceánica que se extendía hacia el centro del Pacífico, y reduciéndose la porción sur, quedando solo como idónea la zona comprendida al N de los 10°N, salvo la zona costera de Centroamérica. El centroide de la distribución potencial se localizó en 106.20598°O y 14.109981°N (Figura 27), a 639 km al NE del mes anterior, evidenciando la reducción E y S de la zona de distribución potencial. La extensión del área idónea en este mes fue de 3.22 millones de km<sup>2</sup>, siendo el 3er mes con menor extensión de la distribución potencial.

A final del verano, en plena estación lluviosa (septiembre, Figura 22), se observaron pocos cambios respecto al mes anterior, resaltando el repunte de la pluma en la zona S de la costa O de Baja California, y el ensanchamiento de la zona costera de Centroamérica. El centroide de la distribución potencial se localizó en 104.75948° y 13.640212° (Figura 27), a tan solo 164 km al WSW del mes anterior, evidenciando los pocos cambios entre ambos meses. La extensión del área idónea en este mes fue de 4.13 millones de km<sup>2</sup>, siendo el 4to mes con menor extensión de la distribución potencial.

Al principio del otoño, casi al final de la temporada de lluvias (octubre, Figura 23), se pierde como zona idónea la zona N del Golfo de California, La totalidad del golfo de Tehuantepec y toda la zona S al S del paralelo 10°N, salvo la franja costera de Guatemala, El Salvador y Nicaragua, y una zona oceánica afuera de la trinchera mesoamericana frente a Nicaragua. Se amplía ligeramente la lengua oceánica al centro del Pacífico. El centroide de la distribución potencial se localizó en 112.52319°O y 13.042806°N (Figura 27), a 843 km al O del mes anterior, y a 400 km al WNW del centroide del mes de julio, evidenciando la reducción de las áreas idóneas al S y O de la zona de estudio, y leve aumento de las zonas al O, hacia el centro del Pacífico. La extensión del área idónea en este mes fue de 3.10 millones de km<sup>2</sup>, siendo el 2do mes con menor extensión de la distribución potencial.

A finales del otoño, y entrando a la temporada seca (noviembre, Figura 24), la zona de distribución potencial se reduce a la boca del golfo de California, que se conecta con la alberca de agua cálida, al NO de una diagonal a alrededor de 45° que parte de Puerto Ángel hacia la zona oceánica, hasta el paralelo 10°N y otra diagonal a alrededor de 15° desde donde este paralelo interseca con el meridiano 110°O hacia la punta de la península de Baja California. La parte sur de esta zona se encuentra como zona no idónea, salvo la franja costera desde Chiapas hasta Costa Rica. El centroide de la distribución potencial en este mes se localizó en 102.46474°O y 13.659022°N (Figura 27), a 1091 km al E del centroide del mes anterior, y a 200 km al E del centroide del mes de agosto. La extensión del área idónea en este mes fue de 2.29 millones de km<sup>2</sup>, siendo el mes con menor extensión de la distribución potencial.

En lo que respecta a la extensión de la distribución potencial del total del periodo de estudio (Figura 25), fue muy similar al mes de junio, tanto en la extensión del área (5.46 millones de km<sup>2</sup>,) como en la distribución espacial. Anualmente, la zona de distribución potencial para *T. albacares* comprende la zona costera norte del alto golfo de California, zona costera del litoral oriental de Baja California Sur, zona costera de Sonora y Sinaloa, al Sur de la Isla Espíritu Santo, ampliándose hacia la boca del golfo de California, toda la alberca de agua cálida frente a las costas de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, abarcando una amplia zona equivalente a 4 veces la ZEE, estrechándose hacia el SE del Pacífico hasta converger con la costa NO de Sudamérica, así como zonas dispersas en el área comprendida al O de los 120°O. Dentro de la amplia zona costera clasificada como idónea, se observan pequeños espacios no clasificados como idóneas, como una estrecha franja sobre la trinchera mesoamericana frente a cabo Corrientes, y desde Puerto Ángel hasta Nicaragua, también sobre la trinchera, así como una mancha en la zona oceánica frente a la costa de Nicaragua, más alejado de la costa que la franja de la trinchera mesoamericana, y pequeñas zonas dispersas. El centroide de la distribución potencial anual se localizó en la posición 99.43073°O y 10.305738°N (Figura 27), a 258 km al E del centroide del mes de junio.

En cuanto a las zonas consideradas como hotspots (Figura 26), se identificaron: una estrecha zona costera alrededor de la Bahía de la Paz y el extremo de la península de Baja California, una franja costera frente al estado de Sinaloa, una estrecha franja costera que abarca desde Colima hasta Puerto Ángel, una franja costera desde Pijijiapan, Chiapas, hasta Costa Rica, y la alberca de agua cálida frente a las costas mexicanas, separada de la zona costera por la franja de la trinchera mesoamericana.

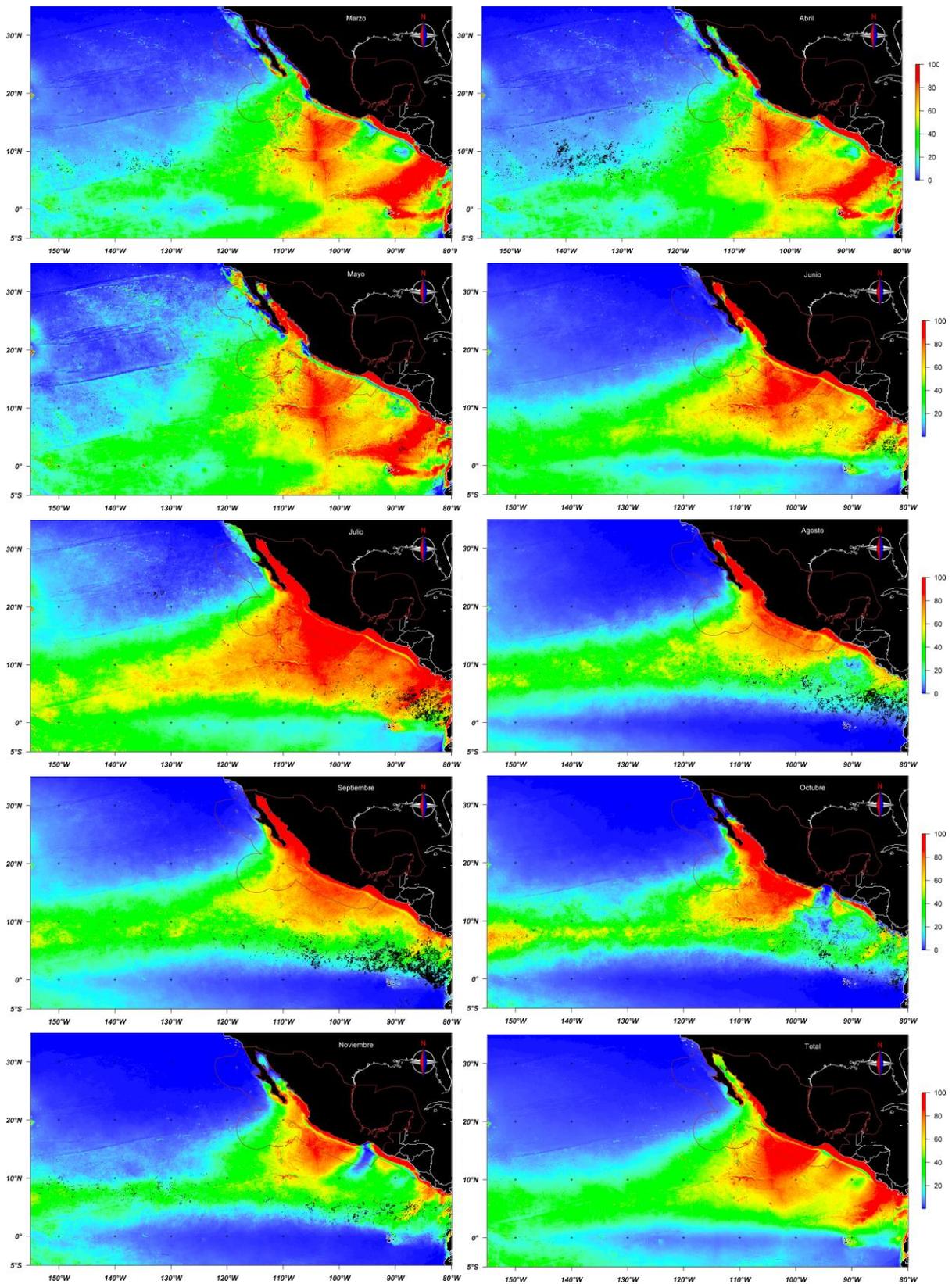


Figura 15. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, correspondiente a cada mes tipo, y el total del periodo de estudio, usando el total de rango de salida de los valores acumulativos de MaxEnt.

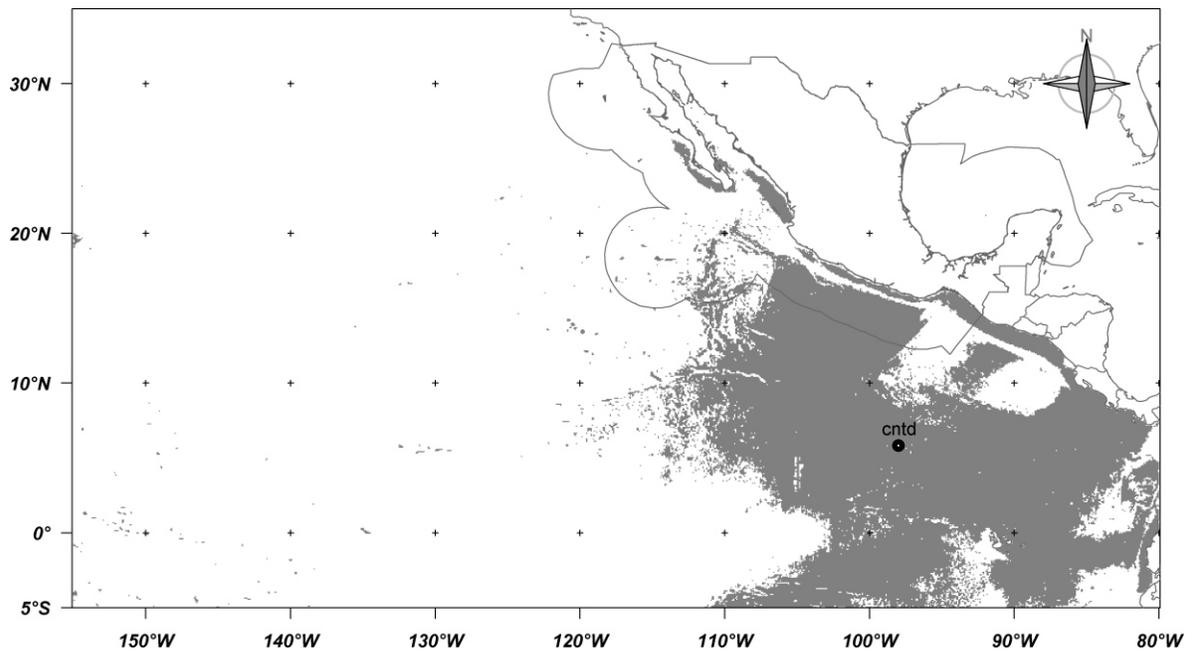


Figura 16. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de marzo. Se marca el centroide (cntd) del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

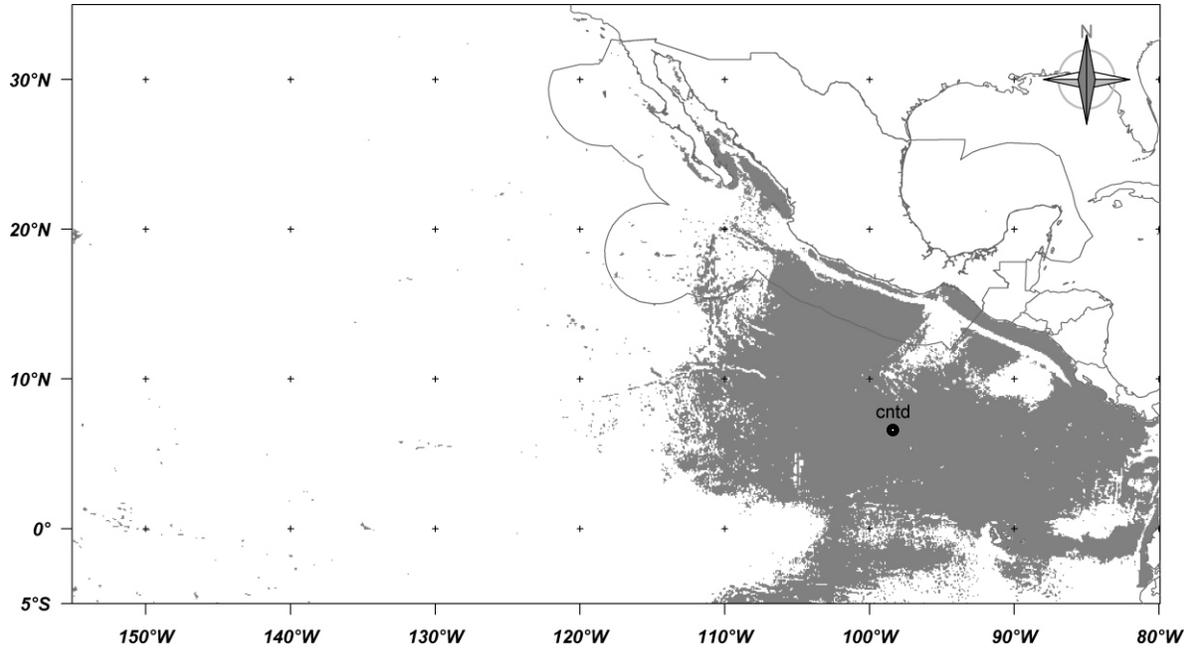


Figura 17. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de abril. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

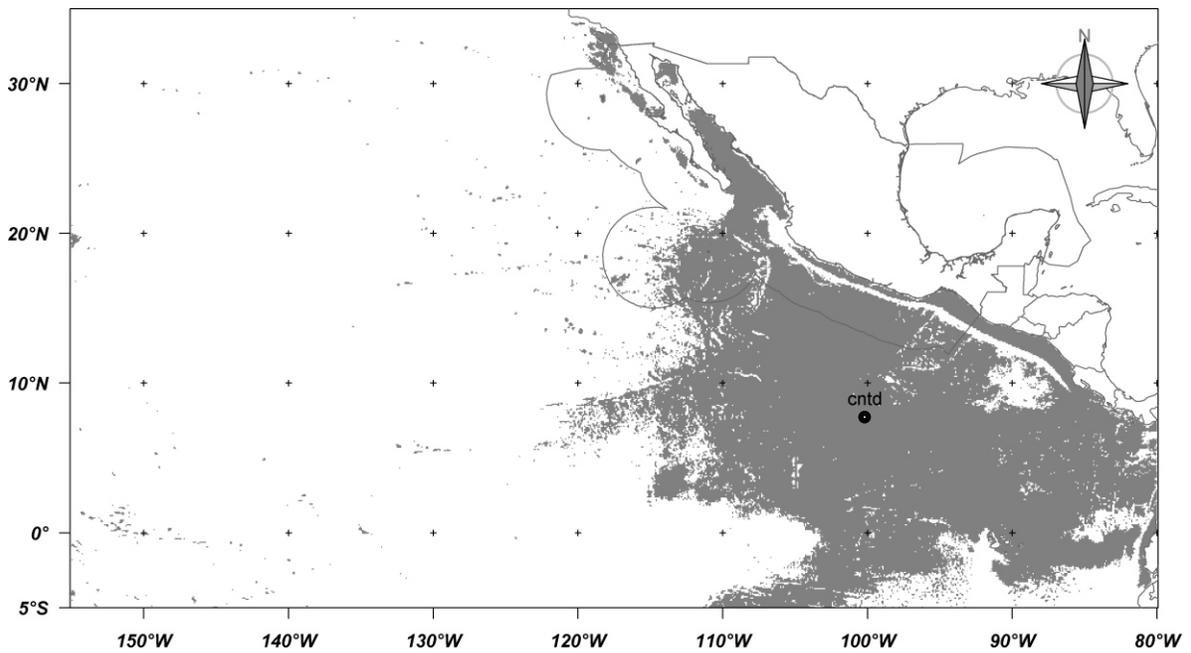


Figura 18. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de mayo. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

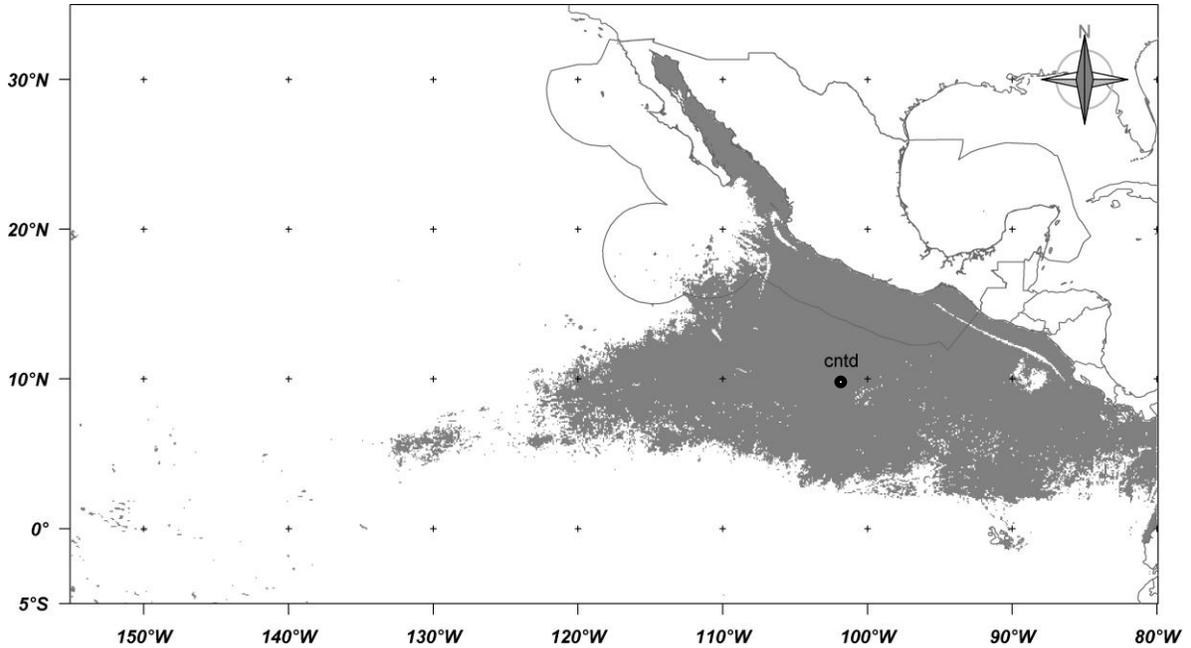


Figura 19. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de junio. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

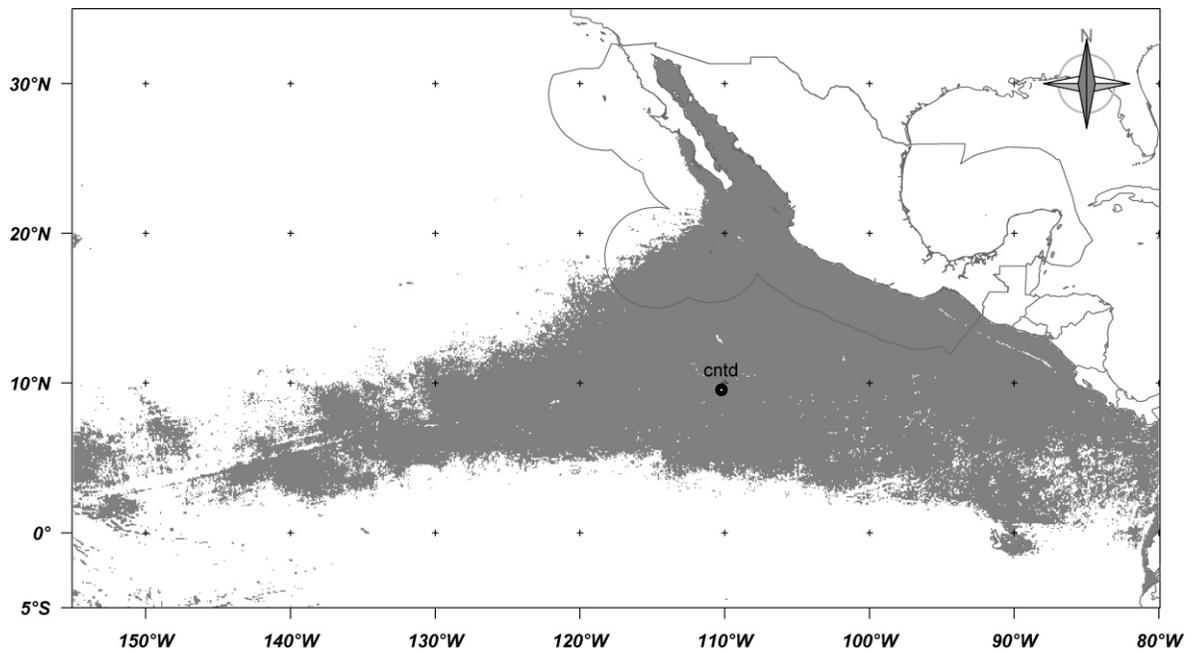


Figura 20. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de julio. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

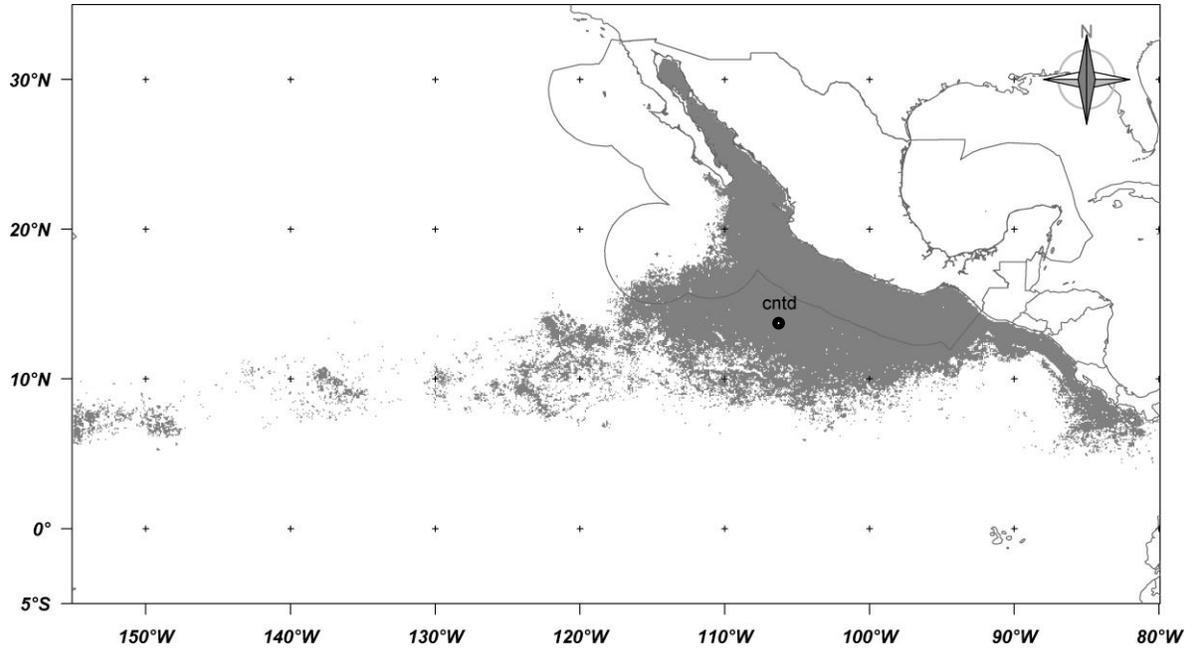


Figura 21. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de agosto. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

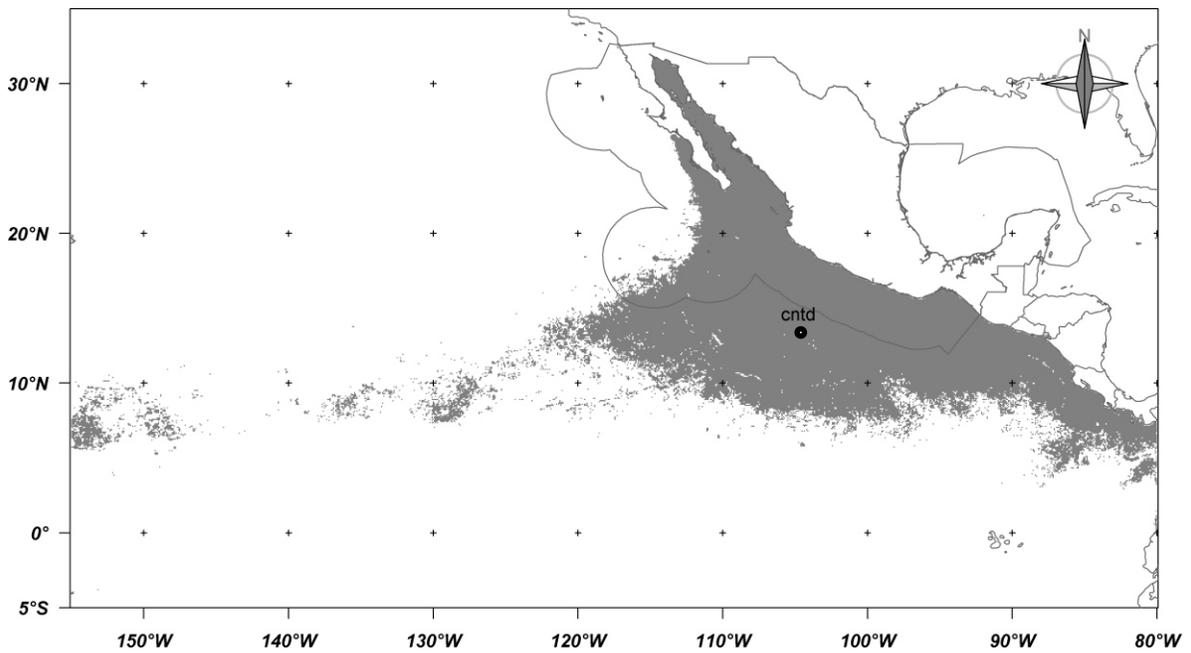


Figura 22. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de septiembre. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

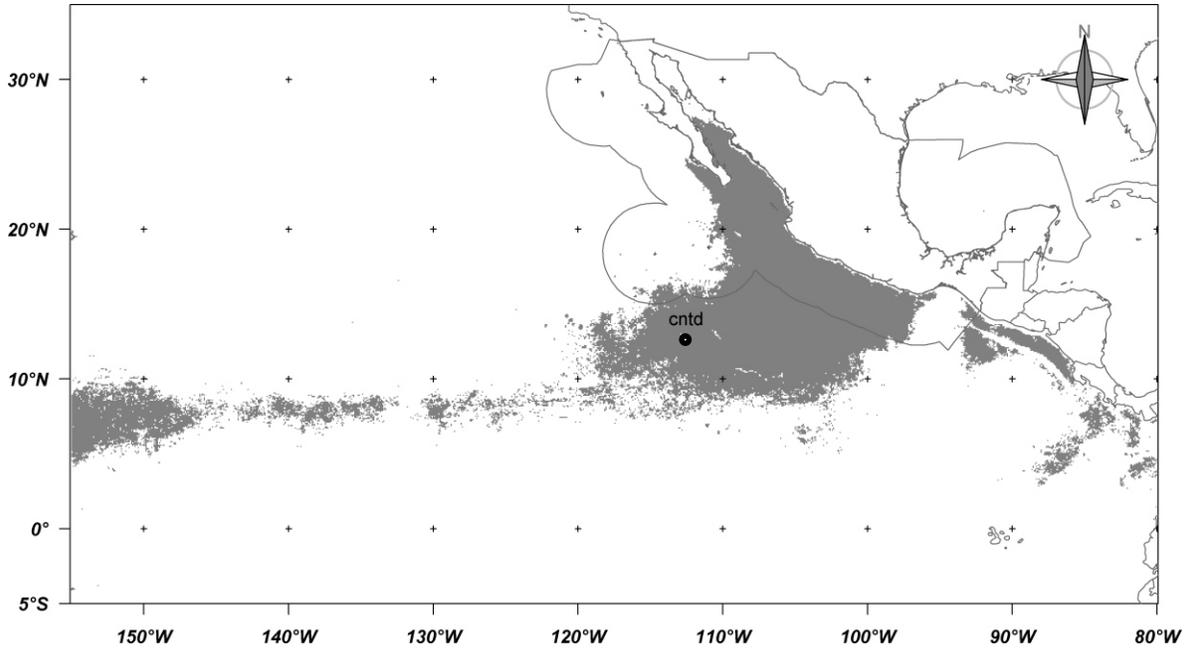


Figura 23. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de octubre. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

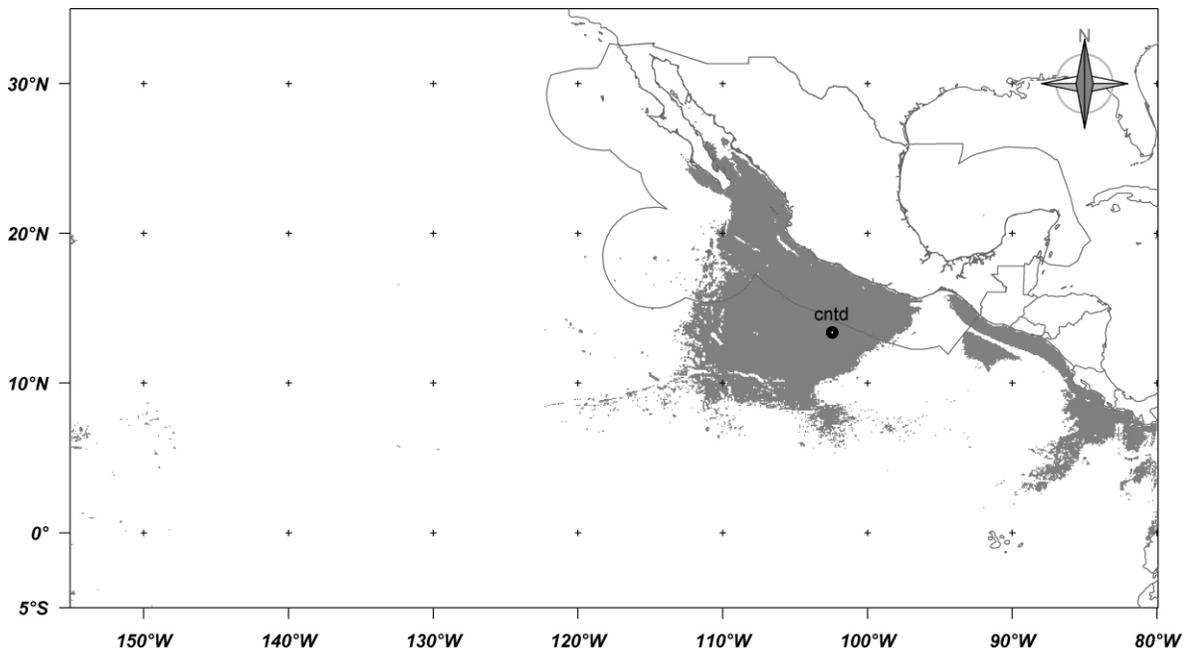


Figura 24. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al mes de noviembre. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

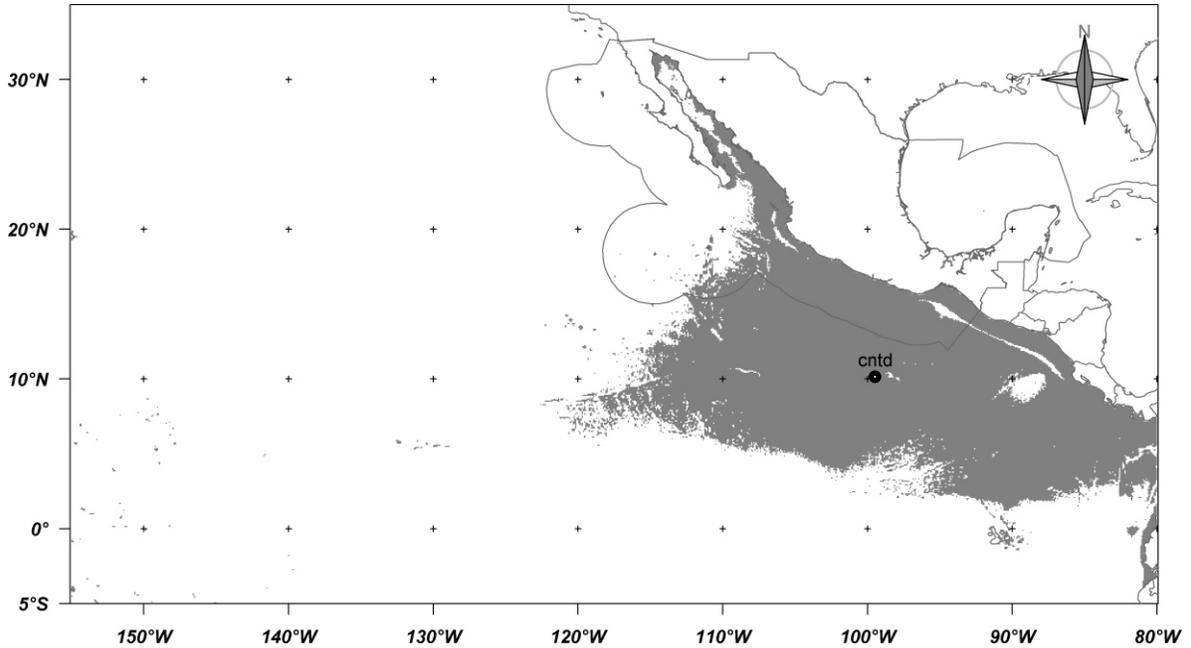


Figura 25. Representación geográfica de la salida acumulativa de MaxEnt, usando el valor umbral de 50, correspondiente al total del periodo. Cntd es el centroide del área abarcada por las zonas idóneas por arriba del valor umbral de la salida acumulativa.

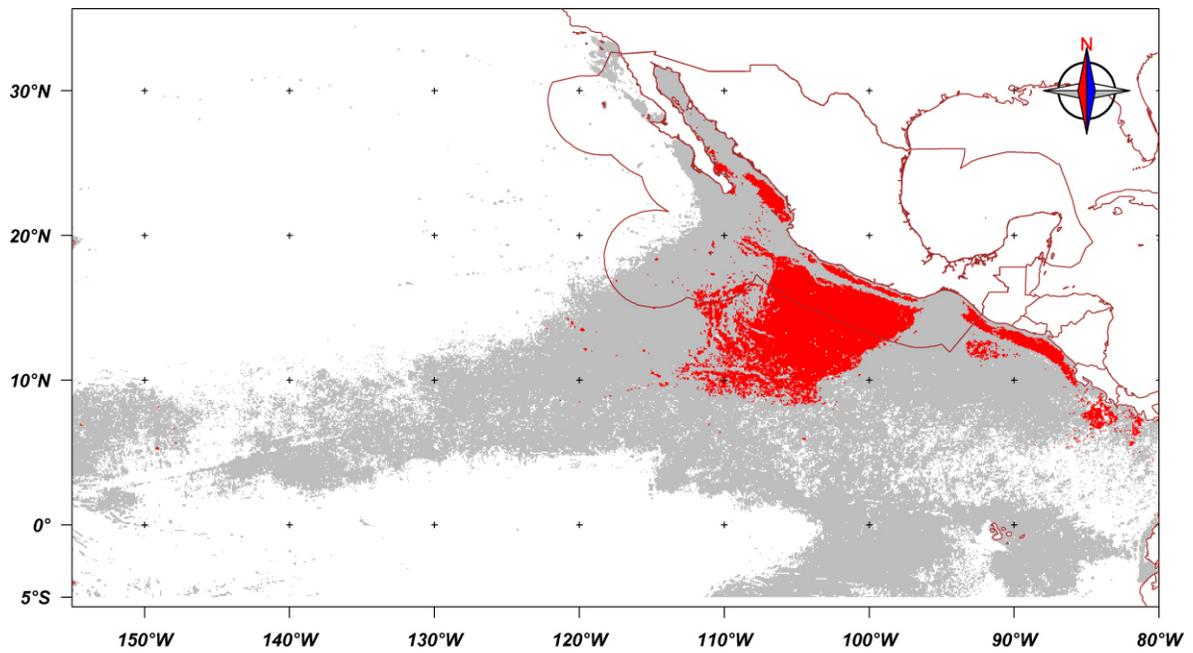


Figura 26. En rojo, representación geográfica de los hotspots, o áreas que en todos los meses tipo obtuvieron el estatus de zonas idóneas. En gris, los pixeles que fueron idóneos solo en algunos meses en el periodo de estudio.

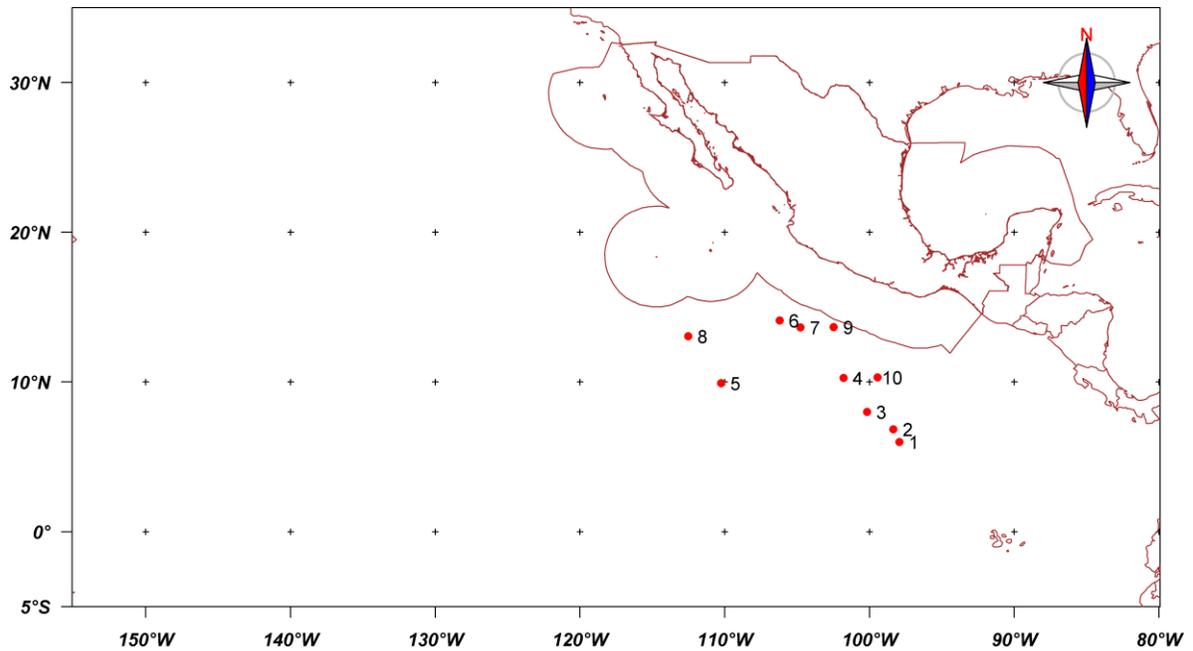


Figura 27. Representación geográfica de los centroides de las distribuciones potenciales para cada mes tipo y el total del periodo. 1. Marzo, 2. Abril, 3. Mayo, 4. Junio, 5. Julio, 6. Agosto, 7. Septiembre, 8. Octubre, 9. Noviembre, 10. Total del periodo.

## IX. Discusión

En este trabajo, los registros de presencia de atún se basan en el éxito de captura de cada lance efectuado por la flota. Por lo anterior, debe considerarse que, no obstante que pueda existir la presencia de atún en una localidad geográfica, si por alguna razón el lance no fue exitoso, esa localidad geográfica no se tomó en cuenta para el análisis, por lo que podrían haberse subestimado las presencias. Las razones por las cuales un lance no es exitoso pueden ser, entre otras causas, la velocidad del viento, la profundidad de la termoclina y la presencia de surgencias (Ortega-García 1998, Trigueros-Salmerón 2003). Sin embargo, el número de lances sin captura fue muy pequeño, y no se consideraron en el análisis.

No existen trabajos similares que exploren el efecto de la distribución potencial de *T. albacares* con el método MaxEnt y datos de presencias, lo que hace imposible comparar los resultados de este trabajo de manera directa, sin embargo, existen diferentes trabajos que han explorado el efecto de las variables ambientales sobre los lances efectuados, las capturas, o un índice de abundancia, ya sea con *T. albacares*, o con otras especies pelágicas.

### TSM

Los resultados del presente trabajo muestran en general un efecto directo de la TSM sobre la salida acumulativa de MaxEnt ( $1.457 \leq \lambda_1 \leq 9.877$ ), esto es, que a mayor valor de la TSM en el intervalo de valores analizado (11°C – 35°C), mayor valor de la salida acumulativa. Al respecto, Blackburn (1969), Castro y Quiñones (1987), Santana-Hernandez (1995), Arias-Aréchiga (2005) y Torres-Orozco *et al.* (2005), en el Pacífico, Medina-Gaertner y Gaertner (1991) y Maury *et al.* (2001) en el Atlántico, reportan que el *T. albacares* prefiere aguas con TSM mayores a 18 °C, si bien Mohri y Nishida (2000), analizando la distribución vertical de *T. albacares*, reportan capturas con palangre a temperaturas tan bajas como 13°C en la columna de agua. De manera específica, Siregar *et al.* (2019), encuentra también que la TSM es el factor ambiental que más influye en la predicción de zonas de distribución de *T. albacares* en las cercanías de la isla de Sumatra. Por otra parte, De Anda-Montañez

*et al.* (2004) encuentran que la TSM no es un factor determinante en la distribución de *T. albacares*.

Respecto a si existe un valor de TSM preferido, el análisis MaxEnt en todos los periodos analizados (mensuales y total), muestra una relación creciente, esto es, en el intervalo de valores analizado (11°C – 35°C), *T. albacares* prefiere las temperaturas más cálidas, lo que difiere con lo reportado por Ortega-García (1998) en el golfo de Tehuantepec, quien determinó que la mayor abundancia relativa de *T. albacares* ocurre a una TSM de 28 °C, y por Mohri y Nishida (2000) en el océano Indico, quienes reportan que las mayores capturas de *T. albacares* ocurren en aguas con temperaturas de la columna de agua de entre 13 y 24 °C. Aunque esta diferencia puede deberse únicamente a la variable estudiada, ya que estos autores utilizan un índice de abundancia, y en este trabajo se utilizan registros de presencia.

En cuanto a los cambios estacionales, la amplia zona de distribución de *T. albacares* que arroja el modelo en los meses de julio a septiembre, que abarca la zona costera desde el Golfo de California hasta Centroamérica, y gran parte de la ZEE mexicana, está explicada por la alberca de agua cálida, que se refuerza en los meses cálidos, por la contracorriente nor-ecuatorial (mayo-septiembre) (Wyrski 1965) y la circulación geostrófica superficial (Kessler 2006), produciendo temperaturas superiores a 25°C (Figura 7 c, d, e, f, g). Esta homogeneidad se rompe en los meses fríos (noviembre a marzo), debido al enfriamiento del golfo de California por efecto los vientos templados del NO, y al enfriamiento de los golfos de Tehuantepec y Papagayo causadas por las corrientes de aire de chorro provenientes del océano Atlántico (golfo de México y mar Caribe) (Trasviña y Barton 1997).

En la zona suroriente, en los meses fríos, la circulación oceánica del Pacífico Sur sobrepasa la región ecuatorial y provoca la entrada de agua más fría a la zona ecuatorial tropical en el hemisferio Norte, reforzando la zona de surgencias ecuatoriales relativamente más templadas (~24°C) que las aguas cálidas (26-30°C) por encima y por debajo de la latitud 0°.

La imagen promedio del total del periodo de estudio, resalta estas estructuras regionales. Sin embargo, se aprecia que la temperatura promedio en toda la zona

de estudio no es inferior a 20°C, por lo que teóricamente, es zona de distribución de *T. albacares* (Collette *et al.* 1983).

Stretta (1991), propuso un “Escenario Térmico Ideal” (ETI), en el que una parcela de agua es considerada como favorable para la pesca de túnidos, esto es, para que exista presencia, y obtener abundancias altas de túnidos, es necesario que ocurra el siguiente proceso:

- 1) el arribo a la superficie de aguas frías mediante el proceso de surgencia,
- 2) maduración de estas aguas durante 4 semanas (lo que puede implicar su desplazamiento horizontal),
- 3) estabilización térmica durante 2 semanas adicionales,
- 4) que se den condiciones favorables para la presencia de túnidos.

Por lo anterior, aun cuando la TSM pueda ser un factor importante, por si sola podría no ser determinante para establecer si una localidad es idónea como hábitat para *T. albacares*.

### **Clorofila a**

En el presente trabajo, al ajustar el modelo MaxEnt a los datos mensuales y total, se encontró un efecto de inverso a nulo ( $-19.846 \leq \lambda_3 \leq 0$ ) de la concentración de *Cl a* sobre la salida acumulativa de MaxEnt, lo que concuerda parcialmente con lo reportado por diversos autores (Stretta 1988,1991; Ortega-García y Lluch-Cota 1996; Zainuddin *et al.* 2006; Song *et al.* 2006; Lan *et al.* 2013), quienes reportan mayores índices de captura a menores valores de *Cl*, *Cl a* o PPN, ya sea para todo, o una parte de sus intervalos de valores muestreado para esas variables.

Sin embargo, González-Andrés *et al.* (2016), señalan que la *Cl a* es el mejor predictor de hábitat, lo cual explican al relacionar valores altos de *Cl a* y TSM con alta disponibilidad de alimento.

Stretta (1986, 1988, 1991), basado en los trabajos de otros autores (Herbland y Voituriez 1977; Roger y Grandperrin 1976; Kitchell *et al.* 1978; Olson y Boggs 1986), y en la hipótesis de que la distribución de especies forraje determina la distribución

de túnidos, señaló la aparente paradoja de que especies con altos requerimientos energéticos, como los túnidos, se distribuyeran en aguas oceánicas epipelágicas, poco productivas, señalando además, que la fauna migratoria no es una fuente importante de alimento para túnidos.

Siguiendo la idea de Stretta (1991) del ETI, el proceso de maduración de una parcela de agua puede implicar la reducción de la concentración de Cl a en el proceso de maduración, al ser consumido el fitoplancton por organismos de niveles tróficos superiores, muy posiblemente mientras se produce un desplazamiento geográfico de la parcela de agua. En este proceso, podría aumentar la biomasa de especies forraje, que tal vez sean especies pelágicas de peces o crustáceos, las cuales podrían tener movilidad horizontal, por lo que finalmente la parcela original podría reflejar o no una alta abundancia de Cl a o de especies forraje.

Ortega-García y Lluch-Cota (1996), encontraron un desfase de entre 3 a 5 meses entre las máximas concentraciones promedio de pigmentos y las abundancias máximas promedio en su área de estudio. Sin embargo, aunque en el presente trabajo se exploró la posibilidad de obtener una mejor respuesta entre el desfase de la concentración de Cl a y la presencia de *T. albacares*, el análisis MaxEnt no produjo mejores resultados en desfases de entre 1 y 5 meses.

Lo anterior puede deberse a que Ortega-García y Lluch-Cota (1996) efectuaron su análisis en un área que abarcó únicamente el golfo de Tehuantepec y sus inmediaciones (8°N – 18°N, 85°O – 105°O), donde las variaciones de la concentración de Cl a superficial son más marcadas que en la parte oceánica, lo que podría hacer más evidente el posible efecto de los pigmentos fotosintéticos (Cl) sobre la abundancia de *T. albacares*. Además, su análisis lo efectuaron relacionando la Cl con la abundancia, y no con la presencia de *T. albacares*, lo que podría haber influido en las diferencias encontradas.

Bertrand *et al.* (2002) concluye que, en el caso de la pesca de túnidos con palangre, existe una relación inversa entre CPUE y la presencia de parches de especies forraje, mediante el mecanismo de reducción de la capturabilidad, ya que la especie objetivo se alimenta rápidamente y pierde el interés en la carnada.

Un efecto parecido puede estar ocurriendo en este caso respecto a la Cl a y la presencia de *T. albacares*, ya que al alimentarse principalmente de organismos pelágicos depredadores (calamares y peces pelágicos pequeños) (Baque-Menoscal *et al.* 2012, Ruíz-Pérez *et al.* 2016), que a su vez ocupan un nivel trófico alto, podrían no depender directamente de la concentración de Cl a. Lo anterior, aunado a la preferencia de *T. albacares* por temperaturas cálidas, y al hecho de que los fenómenos de surgencia, que favorecen la resuspensión de nutrientes, que a su vez favorecen la producción primaria que aumentan los niveles de Cl a, también favorecen un descenso de la TSM, puede contribuir al aparente efecto inverso de la probabilidad de presencia de *T. albacares* con la Cl a.

Por otra parte, según diversos autores, una parte importante de la productividad de los sistemas de surgencias se exporta fuera del sistema, vía la depredación sobre pequeños pelágicos (Duarte y García 2004, Ciales-Hernandez *et al.* 2006), lo que hace factible que el *T. albacares* pueda alimentarse fuera de las zonas de alta productividad primaria.

Respecto a la preferencia de *T. albacares* por algún valor de concentraciones de Cl a, en el presente estudio no se encontró un límite inferior preferido, y en algunos meses no se apreció un efecto de la Cl a sobre la presencia de *T. albacares*. A este respecto, Lan *et al.* (2013) observan que las mayores capturas de *T. albacares* no ocurren en zonas con los mayores valores de PPN, sino en zonas con valores estables de PPN, y sugieren que la variabilidad del hábitat influye más que la PPN en su distribución y capturas. Sin embargo, Song *et al.* (2006), al relacionar las capturas de *T. albacares* con palangre en el océano Índico, y algunas variables oceanográficas (temperatura del agua, salinidad, Cl a y oxígeno disuelto (DO)), encontraron que el rango de concentraciones de Cl a en donde se presentaron las capturas de *T. albacares* fueron de 0.090 a 0.099  $\mu\text{g l}^{-1}$ , lo que corresponde a valores bajos (Harold *et al.* 1982, Martinet y Saint 1982, Bianchi *et al.* 1995, Webber y Roff 1996, Bode *et al.* 2001, Orejarena *et al.* 2004).

### **Batimetría**

La batimetría se encuentra muy bien descrita por diferentes autores (Frutos y Lara 2010). En este trabajo, se utilizó como un indicador de la topografía y complejidad

del fondo marino, puesto que el *T. albacares* (adultos y juveniles) tiene un comportamiento pelágico, por lo que, si se considera su distribución vertical, es raro encontrarlos por debajo de los 200 m de profundidad o de la termoclina (Cayré y Marsac 1993; González-Andrés 2016). Sin embargo, en cuanto a su distribución horizontal, ya que la especie es pelágica y oceánica, sería más probable encontrarlos en aguas con más de 200 m de profundidad.

En el presente trabajo se encontró un efecto directo ( $1.334 \leq \lambda_2 \leq 3.742$ ) de la profundidad del fondo marino, sobre la presencia de *T. albacares*, esto es, a menor profundidad del fondo marino en una localidad, mayor idoneidad para la presencia de *T. albacares* en esa localidad. Lo anterior concuerda parcialmente con lo reportado por diversos autores, quienes encontraron que la flota atunera ha reportado volúmenes importantes de capturas de *T. albacares* (Ortega-García 1989; Fonteneau 1991; Merlín-Pérez y Ortega-García 1998; Torres-Orozco 2004; Torres-Orozco *et al.* 2005, González-Andrés *et al.* 2016) como de otras especies de túnidos (*Thunnus alalunga*) (Yasui 1984), en lances efectuados sobre el talud continental, y alrededor de islas y montañas submarinas, tanto en el Pacífico nor-oriental y nor-occidental, como en el Atlántico oriental. González-Andrés *et al.* (2016), menciona que *T. albacares* tiende a ser más abundante en localidades con fondos someros (entre 20 y 80 m) y complejos (rocas y arrecifes).

Sin embargo, Fonteneau (1991), también menciona que, en el océano Atlántico oriental, no todas las montañas presentaron altas concentraciones de *T. albacares* y especies asociadas, por lo que expresa la posibilidad de que no todas las montañas submarinas sean de importancia para la agregación de esta especie. Esto puede deberse a que no se cumplen todas las condiciones que favorezcan la presencia de *T. albacares*.

### **Distribución Potencial**

En este trabajo, se consideraron hot spots para *T. albacares*, los pixeles que se estimaron como idóneos en todos los modelos mensuales (100 % de los periodos), a diferencia de Alabía *et al.* (2015), quienes consideraron como hot spots los pixeles que se estimaron como idóneos solo en un 25% de los periodos analizados.

En el presente trabajo, se observaron cambios geográficos mensuales en la distribución de la TSM y Cl a, lo que a su vez, produjo cambios mensuales en la distribución potencial de *T. albacares*.

Según el análisis MaxEnt, las zonas más probables para la presencia de *T. albacares* son zonas con temperaturas por arriba de 20°C, con bajas concentraciones de Cl a y profundidades menores a 3500 m. Dado que la batimetría no cambia apreciablemente en el tiempo, son los cambios estacionales en los valores de TSM y Cl a los que producen los cambios estacionales en la distribución geográfica de *T. albacares*.

Gómez-Muñoz (1990), en un análisis de las capturas de la flota nacional, determinó que en la Isla de Cedros, Banco del Tío Sam, El farallón de San Ignacio y frente a Cabo Corrientes se lograron capturas importantes durante 1975-1986. En el presente trabajo, la zona costera de Isla de Cedros (BC) se identificó como hot spot, mientras que la zona frente a Cabo Corrientes se identificó como parte de la distribución potencial de junio a noviembre

Merlín-Pérez & Ortega-García (1998), al analizar la influencia de las principales estructuras topográficas en la pesquería de *T. albacares* al noroeste de México encontraron que la abundancia relativa de *T. albacares* fue mayor en islas (15.6 t/día normal de pesca), montañas submarinas (13.4 t/día) y en bajos o bancos (10.2 t/día); que del total de lances realizados por la flota atunera mexicana de cerco durante 1984-1993, el 22% fueron realizados en la zona de las Islas Revillagigedo, registrándose el mayor esfuerzo pesquero durante primavera-verano. En el presente trabajo, la zona costera muy cercana a las Islas Revillagigedo se identificó como hot spot.

Torres-Orozco (2004), describió que el archipiélago de las Islas Marías exhibe una estructura oceanográfica compleja que favorece las capturas de *T. albacares*, las cuales se distribuyen en su mayoría sobre el talud continental, alrededor de las islas y bajos. Encontró que altas concentraciones de lances ocurren alrededor de las Islas Marías y Cabo Corrientes a lo largo del año, particularmente en marzo y junio. En el presente trabajo, la zona comprendida entre las islas Marías y el continente se identificó también como hot spot para *T. albacares*.

En marzo, las temperaturas templadas ( $<27^{\circ}\text{C}$ ) que prevalecen al norte del paralelo  $20^{\circ}\text{N}$ , justo en el límite de los valores de temperatura preferidos de *T. albacares*, limitan su zona de distribución a la parte sur del Pacífico, y apenas a la parte sur de la península de Baja California. Por otra parte, las crecientes profundidades al O del Pacífico, restringen la zona de distribución potencial a la margen E de la cuenca. En la zona ecuatorial, la zona de distribución solo se amplía al O del pacífico al aumentar las temperaturas a valores  $>27^{\circ}\text{C}$ , lo que ocurre en los meses subsecuentes.

Dreyfus-León (2017), encuentra que la distribución espacial de *T. albacares* está diferenciado por tallas, por lo que también las variables oceanográficas podrían influir de manera diferenciada según las tallas.

## X. Conclusiones

- ✓ En general, la variable ambiental que más aportó al modelo MaxEnt en el periodo de estudio fue la *TSM*, con una influencia directa, esto es, a mayor temperatura en el intervalo de valores muestreado (18-35°C), mayor valor de la salida acumulativa de MaxEnt. En este sentido, la temperatura en zonas tropicales no parece ser una variable limitante, en el intervalo de temperaturas considerado, para la distribución de *T. albacares*.
- ✓ Las zonas idóneas para *T. albacares* son las zonas cálidas con profundidades menores a 3500 metros. Estas características se encuentran durante todo el año en la franja costera de la república mexicana, excepto el Golfo de California y la zona costera del golfo de Tehuantepec, golfo de Papagayo y de Panamá en la temporada fría.
- ✓ En general, en los meses fríos, la zona de distribución potencial de *T. albacares* es hacia el S y el E del Pacífico, mientras que, en los meses cálidos, la distribución potencial se expande hacia el N y el O del Pacífico. Hacia el N se expande solo en la zona costera, mientras que al O lo hace en una franja a la altura del paralelo 10°N.
- ✓ La distribución potencial más amplia de *T. albacares* se presentó en julio, ocupando un área de 5.46 millones de km<sup>2</sup>, y la más restringida en noviembre, ocupando un área de 2.29 millones de km<sup>2</sup>.
- ✓ Las zonas que se identificaron como hot spots son:
  - La franja costera desde el sur de Sonora hasta centroamérica.
  - La costa oriental de Baja California Sur.
  - Una franja oceánica que se extiende perpendicularmente desde la costa de Panamá y Costa Rica, aproximadamente 400 M.N. en dirección a las Islas Galápagos.
  - Una amplia zona oceánica de forma triangular frente a las costas del Pacífico Sur de México, comprendida entre Cabo Corrientes, Jalisco, y Puerto Ángel, Oaxaca, de aproximadamente 400 M.N. de amplitud, delimitada vagamente por la falla entre la placa de Cocos y la Placa del Pacífico.

## **XI. Recomendaciones**

Con base en los resultados del presente trabajo, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Es necesario explorar en mayor detalle la relación entre la concentración de  $Cl^-$ , la productividad y la disponibilidad de alimento, con la distribución de *T. albacares*.
- Se necesita explorar una mayor cantidad de variables ambientales explicatorias de la presencia de *T. albacares*, como la salinidad, el oxígeno disuelto, o la profundidad de la termoclina, y las interacciones entre estas variables.
- Es necesario explorar además las interacciones de *T. albacares* con otras especies, ya sea como especies competidoras o como fuentes de alimento para *T. albacares*, que pudieran influir en su distribución de una manera indirecta.
- De ser posible, efectuar el análisis utilizando presencias de *T. albacares* por tallas, ya que existen antecedentes de que diferentes tallas de *T. albacares* pueden tener preferencias diferenciadas de intervalos de valores de las diferentes variables ambientales.

## XII. REFERENCIAS

- Acosta-Pachón T. A., Martínez-Rincón R. O. y Hinton M. G. 2017. Habitat preferences of striped marlin (*Kajikia audax*) in the eastern Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography* 2017: 1–10. DOI: 10.1111/fog.12220.
- Alabia I. D., Saitoh S. I., Mugo R., Igarashi H., Ishikawa Y., et al. 2015. Identifying Pelagic Habitat Hotspots of Neon Flying Squid in the Temperate Waters of the Central North Pacific. *PLoS ONE* 10(11):e0142885.doi: 10.1371/journal.pone.0142885
- Alexander M. A., Seo H., Xie S. P. and Scott J. D. 2012. ENSO's Impact on the Gap Wind Regions of the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Journal of Climate* (25):3549-3565.
- Amador J. A., Alfaro E. J. Lizano O. G., & Magaña V. O. 2006. Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), 101-142.
- Andamari R., Hutapea J. H., Prisantoso B. I. 2012. Reproduction aspects of the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 4 (1):89-96.
- Anderson R. P., Martínez-Meyer E., 2004. Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biol. Conser.* 116, 167–179.
- Andrews A.H., Pacicco A., Allman R.J., Falterman B.J., Lang E.T., Golet W. 2020. Age validation of yellowfin (*Thunnus albacares*) and bigeye (*Thunnus obsesus*) tuna of the northwestern Atlantic Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 77(4):637-643.
- Arias-Aréchiga J. P. 2005. Oceanografía Pesquera del Golfo de Tehuantepec: El caso de *T. albacares*. La Paz. CICIMAR.
- Au D. 1991. Polyspecific Nature of Tuna Schools: Shark, Dolphin, and Seabird Associates. 89:343-354.
- Baldwin R. A. 2009. Use of maximum *Entropy* modeling in wildlife research. *Entropy*. 11 (4):854-866
- Baque-Menoscal J., Páez-Rosas D. y Wolff M. 2012. Hábitos alimentarios de dos peces pelágicos *Thunnus albacares* y *Acanthocybium solandri* de la Reserva Marina de Galápagos/Feeding habits of two pelagic fish *Thunnus albacares* and *Acanthocybium solandri* from the Galapagos Marine Reserve. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* Vol. 47(1): 1-11.
- Bautista-Cortes L. F. 1997. Análisis de la pesquería Mexicana de atún, con énfasis en tres tipos de indicadores de cardúmenes. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Bécares J., García-Tarrasón M., Villero D., Bateman S., Jover L., García-Matarranz V., et al. 2015. Modelling Terrestrial and Marine Foraging Habitats in Breeding

- Audouin's Gulls *Larus audouinii*: Timing Matters. *PLoS ONE*. 2015; 10(4):e0120799.
- Becker R. A. and Wilks A. R. 1993. Constructing a Geographical Database. AT&T Bell Laboratories Statistics Research Report [95.2], <http://ect.bell-labs.com/sl/doc/95.2.ps>.
- Becker R. A. and Wilks A. R. 1993. Maps in S. AT&T Bell Laboratories Statistics Research Report [93.2], <http://ect.bell-labs.com/sl/doc/93.2.ps>. Consultado el 7 de julio de 2017.
- Bertrand A., Josse E., Bach P., Gros P. & Dagorn L. 2002. Hydrological and trophic characteristics of tuna habitat: consequences on tuna distribution and longline catchability. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 1002–1013
- Bianchi T., Lambert C. y Biggs D. 1995. Distribution of chlorophyll a and phaeopigments in the northwestern gulf of Mexico. A Comparison between fluorometric and high performance liquid chromatography measurements. *Bull. Mar. Sci.*, 50 (1):25-32.
- Bivand R., Keitt T., Rowlingson B. 2017. Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library. CRAN-R.
- Blackburn M., 1965. Oceanography and the ecology of tunas. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, Vol. 3, pp. 299-322.
- Block B. A., Teo S. L. H., Walli A., Boustany A., Stokesbury M. J. W., Farwell C. J., Weng K. C., Dewar H., Williams T. D., 2005. Electronic tagging and population structure of atlantic bluefin tuna. *Nature*. 434: 1121–1127
- Block B. A., Booth D., Carey F. 1992. Depth and temperature of the blue marlin, *Makaira nigricans*, observed by acoustic telemetry. *Mar. Biol.* 114: 175–183
- Block B.A., Keen J.E., Castillo B., Dewar H., Freund E.V., Marcinek D.J., Brill R.W., and Farwell C. 1997. Environmental preferences of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) at the northern extent of its range. *Mar. Biol.* 130: 119–132.
- Bode A., Barquero S., Varela M., Braun J. y de Armas D. Pelagic bacteria and phytoplankton in oceanic waters near the Canary Islands in summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* , 209: 1-17.
- Bui R., Buliung R.N., Remmel T.K. 2012. A collection of computational geometries for spatial point patterns. R package version 3.2. <https://CRAN.R-project.org/package=aspace>
- Burgueño M.J., García-Bastos J.L., Gonzzález-Buitrago J.M. 1995. Las curvas ROC en la evaluación de las pruebas diagnósticas. *Medicina Clínica*. 104:661-670.
- Carlisle A.B., Kochevar R.E., Arostegui M.C., Ganong J.E., Castleton M., Schratwieser J., Block B.A. 2017. Influence of temperature and oxygen on the distribution of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the Central Pacific. *Fish. Oceanogr.* 26: 34–48
- Castro-Ortíz J. L., y Quiñones-Velásquez C. 1987. Geographic distribution and abundance of yellow fin (*Thunnus albacares*) related to sea surface temperature in the Northeast Pacific (1983–1985). In Symposium of investigations in biology and *Fisheries Oceanography* in México (M. Ramírez, ed.), p. 21–23. CICIMAR, La Paz, B.C.S., Mexico.

- Cayré P. y Marsac F. 1993. Modelling the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) vertical distribution, using sonic tagging results and local environmental parameters. *Aquatic Living Resources* 6:1-14.
- Cayuela L., Golicher D.J., Newton A.C., Kolb M., De Albuquerque F.S., Arets E.J.M.M., Alkemade J.R.M., Pérez A.M. 2009. Species distribution modeling in the tropics: problems, potentialities, and the role of biological data for effective species conservation. *Tropical Conservation Science*. 2(3):319-352.
- Chiang W.C., Musyl M.K., Sun C.L., DiNardo G. and others. 2015. Seasonal movements and diving behaviour of black marlin (*Istiompax indica*) in the northwestern *Pacific Ocean*. *Fish. Res.* 166: 92–102
- Cole J.S. 1980. Synopsis on biological data on the yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonaterre, 1788) in the Pacific Ocean. In: Synopses of biological data on eight species of scombrids. Ed. William H. Bayliff. IATTC. La Jolla, California. 530 pp.
- Collette B., Acero A., Amorim A.F., Boustany A., Canales Ramirez C., Cardenas G., Carpenter K.E., Chang S.-K., de Oliveira Leite Jr. N., Di Natale A., Die D., Fox O., Fredou F.L., Graves J., Guzman-Mora A., Viera Hazin F.H., Hinton M., Juan Jorda M., Minte Vera C., Miyabe N., Montano Cruz R., Masuti E., Nelson R., Oxenford H., Restrepo V., Salas E., Schaefer K., Schratwieser J., Serra R., Sun C., Teixeira Lessa R.P., Pires Ferreira Travassos P.E., Uozumi Y. & Yanez E. 2011. *Thunnus albacares*. The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T21857A9327139. <http://www.iucnredlist.org/details/21857/0>. Consultado el 10 de junio de 2017.
- Collette B.B. & Nauen C.E. 1983. FAO species catalogue, vol 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos, and related species known to date. FAO Fisheries Synopsis 125: 1-137.
- CONAPESCA 2015. Anuario estadístico de pesca. SAGARPA.
- Criales-Hernández M.A., García C.B. & Wolff M. 2006. Flujos de biomasa y estructura de un ecosistema de surgencia tropical en La Guajira, Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical* Vol. 54 (4):1257-1282.
- De Anda-Montañez J.A., Amador-Buenrostro A., Martínez-Aguilar S y Muhlia-Almazán A. 2004. Spatial analysis of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catch rate and its relation to El Niño and La Niña events in the eastern tropical Pacific. *Deep-Sea Research II* 51:575–586.
- Donoso M., Barría P., Braun M., Valenzuela V. 2009. Distribución y Abundancia de Larvas de Atunes en Isla de Pascua e Isla Salas y Gómez, Chile. *Crucero Cimar 5 - Islas Oceánicas. Ciencia y Tecnología del Mar*, vol. 32(1), 2009:83-92.
- Dreyfus-León M. J. 2017. Distribución Espacial de Tallas del Atún Aleta Amarilla (*Thunnus albacares*) Capturado por la Flota Atunera Mexicana Durante el 2016. *El Vigía*, 22(45), 8-14. [https://docs.wixstatic.com/ugd/fcbd3d\\_148819167210495f88753d5e9b4914d2.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/fcbd3d_148819167210495f88753d5e9b4914d2.pdf).

- Dreyfus-León M. J., Mejía-Trejo A., & Villaseñor-Derbez J. C. 2015. Analysis of null sets (zero catch) made by the Mexican tuna purse seine fleet (2000-2013). *Ciencias marinas*, 41(2), 85-92. <https://dx.doi.org/10.7773/cm.v41i2.2471>.
- Dreyfus M. y Robles H. 2008. Talla (longitud furcal) del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, de la pesca de cerco en el OPO durante 2008. El Vigía Órgano informativo del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines. No. 34:4-6.
- Dreyfus M. y Robles H. 2009. Talla (longitud furcal) del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, de la pesca de cerco en el OPO durante 2009. El Vigía Órgano informativo del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines. No. 36:5-8.
- Duarte L.O., García C.B. 2004. Trophic role of small pelagic fishes in a tropical upwelling ecosystem. *Ecological Modeling*. 172(2-4):323-338.
- Ehrhardt N.M., Fitchett M.D. 2006. On the seasonal dynamic characteristics of the sailfish, *Istiophorus platypterus*, in the eastern Pacific off Central America. *Bull. Mar. Sci.* 79:589-606
- Elith J., Graham C.H., Anderson R.P. et al. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151.
- Elith J., Phillips S.J., Hastie T., Dudík M., Chee Y.E. y Yates C.J. 2010. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.
- Erauskin-Extramiana M., Arrizabalaga H., Hobday A.J., Cabré Albos A., Ibaibarriaga L., Arregui I., Murua H., Chust G. 2019. Large-scale distribution of tuna species in a warming ocean. *Global Change Biology* 25(6):2043-2060.
- FAO Fisheries Department. 1994. World review of highly migratory species and straddling stocks. FAO Fisheries Technical Papers, Vol. 337, pp. 1-70.
- Farchadi N., Hinton M.G., Thompson A.R., Yin Z.Y. 2019. Modeling the dynamic habitats of mobile pelagic predators (*Makaira nigricans* and *Istiompax indica*) in the eastern Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 622:157-176.
- Fiedler P. C., & Talley L. D. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69:143-180.
- Fonteneau A. 1991. Seamounts and tuna in the tropical Easter Atlantic. *Aquat. Living Resour.*, 4(1):13-25.
- Franklin J. & Miller J.A. 2009. Mapping species distributions. Spatial inference and prediction. Cambridge University Press. Cambridge. 320 pp.
- Fréon P. & Dagorn L. 2000. Review of fish associative behaviour: toward a generalisation of the meeting point hypothesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 10:183-207.
- Frutos J. y Lara L. 2010. La cuenca del océano Pacífico. In: Geología Marina de Chile. Díaz N, J & Frutos J (Eds.). Comité Oceanográfico Nacional.
- Gómez-Muñoz V.M., Trip-Quezada A. y Quiñones-Velázquez C. 1990. Áreas y épocas de pesca más importantes para la flota atunera mexicana en el Pacífico Oriental de 1975 a 1986. *Inv. Mar. CICIMAR*, 5(1):47-54.

- González-Andrés C., Lopes P. F. M., Cortés J, Sánchez-Lizaso J.L., Pennino M.G. 2016. Abundance and Distribution Patterns of *Thunnus albacares* in Isla del Coco National Park through Predictive Habitat Suitability Models. *PLoS ONE* 11 (12): e0168212. doi:10.1371/journal.pone.0168212.
- Graves J.E., Luckhurst B.E., Prince E.D. 2002. An evaluation of pop-up satellite tags for estimating postrelease survival of blue marlin (*Makaira nigricans*) from a recreational fishery. *Fish. Bull.* 100: 134–142
- Hacohen-Domené A., Martínez-Rincón R.O., Galván-Magaña F., Cárdenas-Palomo N., de la Parra-Venegas R., Galván-Pastoriza B., Dove A.D.M. 2015. Habitat suitability and environmental factors affecting whaleshark (*Rhincodon typus*) aggregations in the Mexican Caribbean. *Environmental Biology of Fishes*. Vol. 98(6).
- Harold E., Marshall H. y Solder J. 1982. Pelagic phytoplankton in the Caribbean Sea. *Bull. Mar. Sci.*, 32 (1): 354-365.
- Herbland A. and Voituriez B. 1977. Production primaire, nitrate et nitrite dans l'Atlantique tropical I.-Distribution du nitrate et production primaire. Cahiers ORSTOM. *Série Océanographie*, 15:47-56.
- Hijmans R.J., 2019. Package 'Raster'. Geographic Data Analysis and Modeling. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=raster>. Consultado el 15 de julio de 2019.
- Hill N.J., Tobin A.J., Reside A.E., Pepperell J.G., Bridge T.C. 2016. Dynamic habitat suitability modelling reveals rapid poleward distribution shift in a mobile apex predator. *Glob Change Biol* 22: 1086–1096
- Holland K., Brill R., Chang R.K. 1990. Horizontal and vertical movements of Pacific blue marlin captured and released using sportfishing gear. *Fish. Bull.* 88: 397–402
- Hoolihan J.P., Luo J., Snodgrass D., Orbesen E.S., Barse A.M., Prince ED. 2015. Vertical and horizontal habitat use by white marlin *Kajikia albida* (Poey, 1860) in the western North Atlantic Ocean. *ICES Journal of Marine Science* 72: 2364–2373
- Hu C., Lee Z. and Franz B., 2012. Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference, *J. Geophys. Res.*, 117, C01011, doi:10.1029/2011JC007395.
- Jones M.C., Dye S.R., Pinnegar J.K., Warren R., Cheung W.W.L. Modelling commercial fish distributions: Prediction and assessment using different approaches. *Ecological Modelling*. 2012; 225(0):133–45.
- Kailola P.J., M.J. Williams, P.C. Stewart, R.E. Reichelt, A. McNee, C. Grieve. 1993. Australian Fisheries Resources. Bureau of Resource Sciences. Department of Primary Industries and Energy. In: Collette et al., 2011.
- Kessler O. S. (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), 181-217.
- Kirby D.S., O. Fiksen and P.J.B. Hart. 2000. A dynamic optimization model for the behavior of tunas at ocean fronts. *Fisheries Oceanography*. 9:4, 328-342.

- Kitchell J.F., Neill W.H., Dizon A.E., Magnuson J.J. 1978. Bioenergetic spectra of Skipjack and Yellowfin Tunas. In: Sharp, G.D., Dizon A.A. (Eds.), *The Physiological Ecology of Tunas*. Academic Press. 512 pp.
- Kumar P.S., Pillai G.N. & Manjusha U. 2014. El Nino Southern Oscillation (ENSO) impact on tuna fisheries in Indian Ocean. *SpringerPlus* 3 591. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-591>
- Kumari B., Raman M., Narain A., Sivaprakasam T.E. 1993. Location of tuna resources in Indian waters using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*. 14: 3305-3309.
- Lan D.S., O. Fiksen and P.J.B. Hart. 2009. A dynamic optimization model for the behavior of tunas at ocean fronts. *Fisheries Oceanography*. 9:4, 328-342.
- Lan K. O., Evans K. & Lee M. A. 2013. Effects of climate variability on the distribution and fishing conditions of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian Ocean. *Climatic Change*. 119:63–77.
- Lan K. O., Lee M. A., Nishida T., Lu H. J., Weng J. S. & Chang Y. 2012. Environmental effects on yellowfin tuna catch by the Taiwan longline fishery in the Arabian Sea. *International Journal of Remote Sensing* 33,23, 7491-7506
- Lan K. O., Nishida T, Lee M. A., Lu H.-J., Huang H. O., Chang S. K., and Lan Y. C. 2012. Influence of the Marine Environment Variability on the Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) Catch Rate by the Taiwanese Longline Fishery in The Arabian Sea, With Special Reference to the High Catch in 2004. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 20, No. 5, pp. 514-524.
- Laurs R.M., Fielder P.C. & Montgomery D.R. 1984. Albacore tuna catch distribution relative to environmental features observed from satellites. *Deep-Sea Res.*, 31(9):1085-1090.
- Lee P. F., Chen I. C., and Tseng W. N., Distribution patterns of three dominant tuna species in the Indian Ocean. 19th International ESRI Users Conference, San Diego, CA (1999).
- Lehodey P., & Leroy B. 1999. Age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the western and central Pacific Ocean as indicated by daily growth increments and tagging data. WP YFT-2, SCTB, 12, 16-23.
- Lehodey P., Andre J.-M., Bertignac M., Hampton J., Stoens A., Menkes C., Memery L., and Grima N., Predicting skipjack tuna forage distributions in the equatorial Pacific using a coupled dynamical bio-geochemical model. *Fisheries Oceanography*, Vol. 7, pp. 317-325 (1998).
- Magris R.A. y Déstro G.F.G. 2010. Predictive modeling of suitable habitats for threatened marine invertebrates and implications for conservation assessment in Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*. 58 (spe4):57-68. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592010000800008>
- Maguire J. J., Sissenwine M., Csirke J., Grainger R., Garcia S. 2006. The state of world highly migratory, straddling and other high seas fishery resources and associated species. FAO Fisheries Technical Paper 495. Roma. 84 pp.

- Manel S., Williams H.C. y Ormerod S.J. 2001. Evaluating presences-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology* 38 ,921-931.
- Manyangadze T., Chimbari M.J., Gebreslasie M., Ceccato P., Mukaratirwa S. 2016. Modelling the spatial and seasonal distribution of suitable habitats of schistosomiasis intermediate host snails using Maxent in Ndumo area, KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Parasites & Vectors* 9:572 DOI10.1186/s13071-016-1834-5
- Martinet J. y Saint C. 1982. Primary production of Atlantic waters of Martinique coastal. *Carib. J. Sci.*, 18: 103-105.
- Maury O., Gascuel D., Marsac F., Fonteneau A. & De Rosa A. 2001. Hierarchical interpretation of nonlinear relationships linking yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) distribution to the environment in the Atlantic Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58(3): 458–469.
- Mc Gillicuddy D.J., Robison A.R., Siegel D.A., Jannash H.W., Johnson R., Dickey T.D., Mc Neil J., Michaels A.F. and Knap A.H. 1998. Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea. *Nature*. 394:263-266.
- Medina-Gaertner M. y Gaertner D. 1991. Factores ambientales y pesca atunera de superficie en el mar Caribe. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 36:523-550.
- Merlín-Pérez P. & Ortega-García S. 1998. Principales estructuras topográficas en el noroeste de México y su influencia en la pesquería de *T. albacares*. En: Ortega-García S. & Zárata-Villafranco A. (Eds.) Memorias del Primer Foro Nacional sobre Investigación del atún. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S., México.
- Merow C., Smith M.J. and Silander Jr J.A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36:1058-1069.
- Milsom, T. P., S. D. Langton, W. K. Parkin, S. Peel, J. D. Bishop, J. D. Hart, and N. P. Moore. 2000. Habitat models of bird species' distribution: an aid to the management of coastal grazing marshes. *Journal of Applied Ecology* 37:706-727.
- Mohri M. y Nishida T. 2000. Consideration on distribution of adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean based on Japanese tuna longline fisheries and survey information. *Journal of National Fisheries University* 49(1): 1-11.
- Monk J., Ierodiaconou D., Harvey E., Rattray A., Versace V.L. 2012. Are We Predicting the Actual or Apparent Distribution of Temperate Marine Fishes? *PLoS ONE* 7(4): e34558. doi:10.1371/journal.pone.0034558
- Mugo R., Saitoh S.I., Nihira A., Kuroyama T. Application of Multi-Sensor Satellite and Fishery Data, Statistical Models and Marine-GIS to detect Habitats Preferences of Skipjack Tuna. In: Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Applications for marine Living Resources Conservation and Management. 1 Ed. Jesus Morales, Venetia Stuart, Trevor Platt y Shubha Sathyendranath Eds. EUPRESPO & IOCCG. PP. 169-185.

- Olson D.B. y Backus R.H. 1985. The concentrating of organisms at fronts: A cold-water fish and a warm-core Gulf Stream ring. *Journal of Marine Research* 43:113-137.
- Olson R. J., and Boggs C. H. 1986. Apex predation by yellowfin tuna (*Thunnus albacares*): independent estimates from gastric evacuation and stomach contents, bioenergetics and cesium concentration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 43:1760-1775.
- Olson R. J., Duffy L.M., Kuhnert P.M., Galván-Magaña F., Bocanegra-Castillo N., Alatorre-Ramírez V. 2014. Decadal diet shift in yellowfin tuna *Thunnus albacares* suggests broad-scale food web changes in the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 497:157-178.
- Orejarena J., Domínguez J., Ricaurte C., Mayo G., Andrade A., Ospina H. y Castro W.. 2004. Variaciones de la concentración de la clorofila a y su relación con los parámetros fisicoquímicos medidos en los bancos de Salmedina durante 2003-2004, Caribe colombiano. *Bol. Cient CIOH*, 22:56-63.
- Ortega-García S. 1989. Análisis y normalización del esfuerzo de pesca de la flota atunera mexicana de cerco y vara que opera en el Pacífico Oriental. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. México. 100 p.
- Ortega-García S. 1998. Análisis de las fluctuaciones espacio temporal en la abundancia de atún en el Océano Pacífico Oriental. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 67 p.
- Ortega-García S. y S. Lluch-Cota. 1996. Distribución de la abundancia de *T. albacares* (*Thunnus albacares*) y su relación con la concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por satélite en aguas al sur de México. *Investigaciones Geográficas. Boletín* núm. Especial (4):85-93.
- Pantoja D.A., Marinone S.G., Parés-Sierra A., Gómez-Valdivia F. 2012. Modelación numérica de la hidrografía y circulación estacional y de mesoescala en el Pacífico central mexicano. *Ciencias Marinas* 38(2):363-379.
- Pearce J., Ferrier S., Scotts D. 2001. An evaluation of the predictive performance of distributional models for flora and fauna in north-east New South Wales. *Journal of Environmental Management* 62: 171-184
- Phillips S. J. et al. 2005. Maxent software for species distribution modeling. <http://www.cs.princeton.edu/schapiere/maxent/>.
- Phillips S. J. y Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- Phillips S. J., Anderson R. P., & Schapire R. E. 2006. Maximum *Entropy* modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 1(190), 231-259.
- Phillips S. J., Dudík M. & Schapire R. E. 2017. MaxEnt software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Disponible en la dirección url: [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/MaxEnt/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/MaxEnt/). Consultado el 31 de Agosto de 2017.

- Phillips S.J., et al. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecol. Appl.* 19:181-197.
- Phillips, S. J. et al. 2004. A maximum Entropy approach to species distribution modeling. In: Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning. ACM Press, New York, pp. 472-486.
- Phillips, S. J. et al. 2006. Maximum Entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190: 231-259.
- Power J.H. y Nelson M.L. Jr. 1991. Satellite observed Sea-surface Temperatures and Yellowfin Tuna Catch and Effort in the Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 89(3): 429-439.
- Reyes-Hernández C., Ahumada-Sempoal M. A. & Durazo R. 2016. The Costa Rica Coastal Current, eddies and wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Southern Mexican Pacific. *Continental Shelf Research* 114:1 – 15.
- Robinson M. K., Bauer R. A., and Schroeder E. H. 1976. Atlas of the North Pacific Ocean monthly mean temperatures and mean salinities of the surface layer. Naval Oceanographic Office, Department Navy, Washington, D.C.
- Roger C. y Grandperrin R. 1976. Pelagic food webs in the tropical Pacific. *Limnol. Oceanogr.* 21:731-735.
- Ruíz-Pérez N. E., Cerdaneres-Ladrón de Guevara G., López-Herrera D. L. y Altamirano-Ramírez I. R. 2016. Relaciones tróficas entre cinco especies de peces pelágicos que cohabitan en las costas de Oaxaca, México. *Hidrobiológica* 26 (1): 77-85
- Rupprecht F., Oldeland J., Finckh M. Modelling potential distribution of the threatened tree species *Juniperus oxycedrus*: how to evaluate the predictions of different modelling approaches? *Journal of Vegetation Science.* 2011; 22(4):647–59.
- Santana-Hernández H., Macías-Zamora R., & Vidaurri-Sotelo A. L. (1996). Relación entre la abundancia de especies de pico y la temperatura del agua en el Pacífico mexicano. *Ciencia Pesquera* (13), 62-65.
- Santiago J. 1997. The North Atlantic Oscillation and Recruitmen of Temperate Tunas. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 48(3):240-249.
- Schaefer K. M. 2001. Reproductive biology of tunas. *Fish Physiology* 19: 225-270.
- Siregar E.S.Y., Siregar V.P., Jhonnerie R., Alkayakni M., Samsul B. 2019. Prediction of potencial fishing zones for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) using maxent models in Aceh province waters. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science IOP Publishing* doi:10.1088/1755-1315/284/1/012029
- Solana-Sansores R., Dicante I. & Arredondo-Uribe L. P. 2009. Dinámica de la flota atunera mexicana del Océano Pacífico Oriental. *Hidrobiológica* 19(3): 225-232.
- Song L. M., Zhang Y, Xu L. X., Jiang O. X. and Wang J. Q. 2008. Environmental preferences of longlining for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the tropical high seas of the Indian Ocean. *Fisheries Oceanography* 17(4): 239–253.

- Song, L.M. and Gao, P.F. (2006) Captured depth, water-temperature and salinity of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) longlining in Maldives waters. *J. Fish China* 30:335–340.
- Sosa-López A. y Manzo-Monroy H.G. 2002. Patrones espaciales de *T. albacares* (*Tunnus albacares*) en el Océano Pacífico Oriental: una exploración de perfiles de concentración. *Ciencias Marinas* 28 (4): 331-346.
- Stretta D.S. 1988. Environnement et peche thoniere en Atlantique Tropical Oriental. In: Ressources, peche et biologie des thonides tropicaux s l'Atlantique Centre Est. Fonteneau, A et. J. Marcille (Eds) FAO Doc. Tech. Peches (292):269-316.
- Stretta J. M. 1991. Forecasting models for tuna fishery with aeroespacial remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 12, No. 4:771-779.
- Stretta M. and Slepoukhma. 1986. Analyse des facteurs biotiques et abiotiques associés aux bancs de listaos. Proceedings of the International Commission for Conservation of Atlantic Tuna (ICCAT-Madrid Spain), Conference on the International Skipjack Program held in Canarias, Spain, on 21-29 June 1983, edited by P. E. K. Symmons, P. M. Miyake and G. T. Sakagawa, pp. 161-169.
- Suzuki Z., Tomlinson P. K., and Honma M., 1978. Population structure of Pacific yellowfin tuna. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, Vol. 17, No. 5, pp. 273-441.
- Swets J.A.. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240: 1,285-1,293.
- Tarjuelo R., Morales M.B., Traba J., Delgado M.P. Are Species Coexistence Areas a Good Option for Conservation Management? Applications from Fine Scale Modelling in Two Steppe Birds. *PLoS ONE*. 2014; 9(1):e87847. doi: 10.1371/journal.pone.0087847 PMID: 24498210
- Torres-Orozco E. 2004. Características dinámicas e hidrográficas del océano en relación con la distribución de las capturas de *T. albacares* (*Thunnus albacares*) en la entrada al Golfo de California. Tesis de Doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 31(4), 671–683.
- Torres-Orozco E., Muhlia-Melo A., Trasviña A., Ortega-García S. 2006. Variation in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catches related to El Niño-Southern Oscillation events at the entrance to the Gulf of California. *Fishery Bulletin* 104:197–203.
- Torres-Orozco E., Trasviña A., Muhlia-Melo A., & Ortega-García S. 2005. Dinámica de mesoescala y capturas de *T. albacares* en el Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*, 31(4), 671–683.
- Townsend-Peterson A., Papeş M., Soberón J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*. 213(1): 63-72. ISSN 0304-3800. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008>.
- Trasviña A. and Barton E.D. 1997. Los ‘Nortes’ del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento. En: M.F. Lavín (ed.).

Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana. P. 25-46.

- Trigueros-Salmerón J. A. & S. Ortega-García, 2001. Spatial and seasonal variation of relative abundance of the skipjack tuna *Katsuwonus Pelamis* (Linnaeus, 1758) in the Eastern Pacific Ocean (EPO) during 1970-1995. *Fisheries Research* 49:227-232.
- Vaca-Rodríguez J.G., Carrara-Rosales R., Montano-Moctezuma G y Almanza-Heredia E. 2007. Evaluación de zonas pesqueras de atún en el Pacífico oriental con un método multicriterio. *Ciencias marinas* vol.33(4):457-471.
- Webber D. y Roff J. 1996. Influence of Kingston harbor on the phytoplankton community of the nearshore Hellshire coast, southeast Jamaica. *Bull. Mar. Sci.*, 59:245-258.
- Wild A. 1986. Growth of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean based on otolith increments. Crecimiento del atun aleta amarilla, *Thunnus albacares*, en el Océano Pacífico oriental, basada en los incrementos de los otolitos. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin/Boletín de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. Vol. 18(6):423-482.
- Willett C. S, Leben R. R. & Lavín M. F. 2006. Eddies and Tropical Instability Waves in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69:218–238.
- Wyrtki K. 1965. Corrientes superficiales del Océano Pacífico oriental tropical. Boletín de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. IX(5):271-303.
- Yasui M. 1984. Albacore, *Thunnus alalunga*, Pole and Line Fishery around the Emperor Seamounts, 37-40. En: Uchida, R.N., Hayasi, S. & G.O. Boehlert (Eds.) Environment and Resources of Seamounts in the North Pacific. Proceedings of a Workshop, NOAA Technical Report NMFS 43. Shimizu, Japón. 105 p.
- Zainuddin M., Kiyofuji H., Saitoh K. & Saitoh S.I. 2006. Using multi-sensor satellite remote sensing and catch data to detect ocean hot spots for albacore (*Thunnus alalunga*) in the northwestern North Pacific. *Deep-Sea Research II* 53:419–431.
- Zizka G., Schmidt M., Schulte K., Novoa P., Pinto R., & König K. 2009. Chilean Bromeliaceae: diversity, distribution and evaluation of conservation status. *Biodiversity Conservation* (9), 2449-2471.