



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**Uso de hábitat y movimientos migratorios de la tortuga laúd
(*Dermochelys coriacea*) en el Océano Pacífico Oriental**

TESIS

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

PRESENTA

Néstor Antonio Dávalos Alonso



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

SIP-14
REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 01 del mes de Julio del 2021 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS para examinar la tesis titulada:

"USO DEL HÁBITAT Y MOVIMIENTOS MIGRATORIOS DE LA TORTUGA LAÚD (Dermochelys coriacea) EN EL OCEANO PACÍFICO ORIENTAL" del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	DÁVALOS	Apellido Materno:	ALONSO	Nombre (s):	NÉSTOR ANTONIO
-------------------	---------	-------------------	--------	-------------	----------------

A 1 9 0 4 5 9 Número de registro:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 11 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI **NO SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

La mayoría de las palabras coincidentes son las usadas normalmente en las tesis como el nombre de las secciones.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

"SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VIGENTES"

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

DR. VÍCTOR MANUEL GÓEZ MUÑOZ
Director de Tesis
Nombre completo y firma

DR. EMIGDIO MARÍN ENRÍQUEZ
Director de Tesis
Nombre completo y firma

DR. VÍCTOR HUGO CRUZ ESCALONA
Nombre completo y firma

DRA. ARELLY ORNELAS VARGAS
Nombre completo y firma

DR. GUILLERMO MARÍN FLORES
Nombre completo y firma

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO
Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 22 del mes de Julio del año 2021

El (la) que suscribe BIÓL. NÉSTOR ANTONIO DÁVALOS ALONSO Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A190459 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. VÍCTOR MANUEL GÓMEZ MUÑOZ Y EMIGDIO MARÍN ENRÍQUEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

“USO DEL HÁBITAT Y MOVIMIENTOS MIGRATORIOS DE LA TORTUGA LAÚD
(*Dermochelys coriacea*) EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL”

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: nestordavalos66@gmail.com - vgomez@ipn.mx -

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

BIÓL. NÉSTOR ANTONIO DÁVALOS ALONSO

Nombre y firma del alumno



TesisNestorDavalos_20210701.pdf
Jul 5, 2021
13401 palabras/73813 caracteres

Dr. Mario Alberto Castillo Soria

TesisNestorDavalos_20210701.pdf

Resumen de fuentes

Néstor Antonio Dávalos Alonso

Nombre y firma

11%

SIMILITUD GENERAL

1	docplayer.es INTERNET	1%
2	www.repositoriodigital.ipn.mx INTERNET	<1%
3	digibug.ugr.es INTERNET	<1%
4	cienciasmarinas.com.mx INTERNET	<1%
5	dspace.cibnor.mx:8080 INTERNET	<1%
6	tesis.ipn.mx INTERNET	<1%
7	eprints.uanl.mx INTERNET	<1%
8	www.scribd.com INTERNET	<1%
9	pesqueriadelsaber.blogspot.com INTERNET	<1%
10	pmcarbono.org INTERNET	<1%
11	hdl.handle.net INTERNET	<1%
12	www.researchgate.net INTERNET	<1%
13	eprints.ucm.es INTERNET	<1%
14	repositorio.ual.es INTERNET	<1%
15	www.herpetologica.org INTERNET	<1%
16	www.sanignaciograywhales.org INTERNET	<1%

17	www.scielo.org.mx INTERNET	<1%
18	idus.us.es INTERNET	<1%
19	repositoriodigital.ipn.mx INTERNET	<1%
20	www.biblioteca.cicimar.ipn.mx INTERNET	<1%
21	tintorero-wwwartesdepesca.blogspot.com INTERNET	<1%
22	es.scribd.com INTERNET	<1%
23	www.pgrweb.go.cr INTERNET	<1%
24	mafiadoc.com INTERNET	<1%
25	www.revista.unam.mx INTERNET	<1%
26	"Análisis y modelación de patrones y procesos de cambio", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2017 CROSSREF	<1%
27	uahh.redalyc.org INTERNET	<1%
28	www.nmfs.noaa.gov INTERNET	<1%
29	www.rickbrusca.com INTERNET	<1%
30	www.youtube.com INTERNET	<1%
31	tesisenxarxa.net INTERNET	<1%
32	www.conanp.gob.mx INTERNET	<1%
33	www.consumer.es INTERNET	<1%
34	www.halacsolcha.org INTERNET	<1%
35	www.journals.hw.ac.uk INTERNET	<1%
36	www.mineranet.com.ar INTERNET	<1%
37	www.science.gov INTERNET	<1%
38	www.thefreelibrary.com INTERNET	<1%
39	7bdc0088-71e7-4641-b521-2e2e79400754.filesusr.com INTERNET	<1%
40	L. Cayuela, D. J. Golicher, A. C. Newton, M. Kolb, F. S. de Albuquerque, E. J. M. M. Arets, J. R. M. Alkemade, A. M. Pérez. "Species Distri... CROSSREF	<1%

41	archive.org INTERNET	<1%
42	bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083 INTERNET	<1%
43	digital.bl.fcen.uba.ar INTERNET	<1%
44	docs.com INTERNET	<1%
45	doczz.es INTERNET	<1%
46	laraza.com INTERNET	<1%
47	ninive.uaslp.mx INTERNET	<1%
48	repositorio.urp.edu.pe INTERNET	<1%
49	users.soe.ucsc.edu INTERNET	<1%
50	uvadoc.uva.es INTERNET	<1%
51	www.ehowenespanol.com INTERNET	<1%
52	www.gob.mx INTERNET	<1%
53	www.iacseaturtle.org INTERNET	<1%
54	www.iattc.org INTERNET	<1%
55	www.inirena.umich.mx INTERNET	<1%
56	www.pinterest.com INTERNET	<1%
57	www.propeninsula.org INTERNET	<1%
58	www.slideshare.net INTERNET	<1%

Se excluyeron los depósitos de búsqueda:

- Ninguno

Excluido del Informe de Similitud:

- Bibliografía
- Citas textuales
- Citas
- Coincidencias menores (8 palabras o menos)

Se excluyeron las fuentes:

- Ninguno

Dedicatoria

A mi abuelita Esther Aguilera Zamora (+) en donde quiera que estés.

A mis padres José Luis Dávalos Talavera y Maricela Alonso Aguilera, mis hermanos José Luis Dávalos Alonso y Daniel Dávalos Alonso son mi mayor tesoro y más grande apoyo para mi desarrollo personal. A pesar de la distancia sé que nos acompañamos en el camino de la vida, los amo. Gracias por el apoyo incondicional.

Al resto de mi familia, amigos y personas cercanas que sin saberlo fueron parte del proceso y son parte de mi desarrollo, gracias por todo y gracias, por tanto.

A las tortugas marinas que hasta ahora me han llenado de grandes enseñanzas y experiencias. Y que me han llevado a conocer diferentes partes y muchas personas increíbles, prometo seguir fiel con el duro trabajo de su protección y conservación.

Agradecimientos

Quiero agradecer de manera muy especial al Dr. Víctor Hugo Cruz Escalona, por brindarme su apoyo desde antes de iniciar el grado, por los consejos, regaños y aportaciones para lograr el objetivo.

Al Dr. Emigdio Marín Enríquez, por todo el conocimiento y apoyo durante el desarrollo del proyecto. Gracias por guiarme con sus acertadas y valiosas asesorías, y apoyo en cuestiones de programación.

A mi director de tesis el Dr. Víctor Manuel Gómez Muñoz por la paciencia, el apoyo y los atinados comentarios para finalizar el proyecto de tesis.

A la Dr. Arelly Ornelas Vargas, te agradezco las dudas resueltas, las explicaciones en cuestiones matemáticas y tus aportaciones en el proyecto. Además, por las cuestiones extra académicas el apoyo, risas y experiencias vividas.

Al Dr. Guillermo Martínez Flores por formar parte del proceso, con comentarios acertados, valiosas aportaciones y sugerencias, además de los buenos ratos en clases aprendiendo de programación.

A CICIMAR-IPN por aceptarme en su programa de maestría y las facilidades académicas. Además, el personal del mismo que facilitaron durante toda mi estancia, los procesos burocráticos, siempre con amabilidad.

A CONACyT por el apoyo económico, sin el cual hubiera hacer sido mucho más difícil lograr finalizar el proyecto.

A mis profesores y compañeros que me encontré durante el grado, por compartir las charlas, los nervios de examen, estrés y al mismo tiempo aligerar el proceso con las risas y anécdotas fuera o dentro de clases.

Al cardumen que fueron y seguirán siendo mi familia paceña y siempre los llevare en mi corazón.

A las demás personas con las que cruce caminos, platicas, chistes, tragos y experiencias durante mi estancia en La Paz, sin saberlo eran parte del proceso.

I. Resumen

La poca información sobre las zonas de alimentación, reproducción y rutas migratorias de la tortuga laúd, *Dermochelys coriacea*, representa un problema para su conservación, debido a los elevados costos que implica el seguimiento espacio-temporal de la especie. En un intento para resolver dicha situación, se propone el uso de modelos de distribución de especies (MDE), los cuales son eficientes para identificar áreas potenciales de distribución de especies. El objetivo del presente estudio es construir un modelo numérico que relacione los datos de presencia de la tortuga laúd en el Océano Pacífico Oriental (OPO) con distintas variables ambientales, lo cual ayudará a definir el hábitat idóneo de la especie. El área de estudio abarca de 25°S a 35°N, desde la línea de costa del continente americano hasta ~145°W en el océano abierto. El modelo fue alimentado con información de una base de datos que cuenta con 1437 registros de presencia de *D. coriacea* del periodo 2003-2015 para el OPO. Se utilizaron las condiciones promedio del mismo periodo de temperatura superficial del mar (TSM), concentración superficial de clorofila-a (Chl-a), anomalías del nivel del mar (ANM), distancia a islas oceánicas (Galápagos (DIGA) y Guadalupe (DIGU)) y distancia a la línea de costa (DLC). El modelo está basado en el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt), utilizando como insumo únicamente datos de presencia. Los resultados sugieren que la aproximación MaxEnt es una herramienta útil para la modelación de las ocurrencias de la especie de interés (~ 75% de precisión). La DLC y TSM son las variables que más influyen en la distribución de esta especie. El modelo final sugiere que existen dos zonas importantes de predicción de hábitat, la primera cercana a Islas Galápagos y otra al norte del área de estudio cerca de las costas de California. El modelo muestra la probabilidad de presencia de la tortuga laúd a distancias cercanas a la costa los primeros 100 km, sin embargo, también se apreció un valor importante de predicción a los 1800 km de DLC. Esta especie prefiere valores de TSM entre 14° y 20° C. El hábitat potencial mensual de la tortuga laúd sugiere una mayor presencia de la especie en el hemisferio sur durante los meses más fríos del invierno boreal, lo cual pudiera estar asociado a los patrones estacionales de migración de este gran reptil marino.

II. Abstract

The lack of information on the leatherback turtle's, *Dermochelys coriacea*, feeding areas, reproduction and migratory routes represents a problem for its conservation, due to the high costs involved in the spatio-temporal monitoring of the species. In an attempt to resolve this situation, the use of species distribution models (SDM), which are efficient for identifying potential areas of species distribution, is proposed. The objective of this study is to construct a numerical model that relates leatherback turtle occurrence data in the Eastern Pacific Ocean (EPO) to different environmental variables, which will help to define suitable habitat for the species. The study area covers the region from 25°S to 35°N, from the coastline of the American continent to ~145°W in the open ocean. The model was fed with information from a database with 1437 records of *D. coriacea* occurrences from 2003-2015 for the EPO. The average conditions for the same period of sea surface temperature (SST), surface chlorophyll-a concentration (Chl-a), sea level anomalies (SLA), distance to oceanic islands (Galapagos (DIGA) and Guadeloupe (DIGU) and distance to the coastline (DLC) were used. The model is based on the maximum entropy algorithm (MaxEnt), using only occurrence data as input. The results suggest that the MaxEnt approach is a useful tool for modeling the occurrences of the species of interest (~ 75% accuracy). It shows that DLC and SST are the variables that most influence the distribution of this species. The final model suggested two important zones of potential habitat: the first near the Galapagos Islands and the other to the north of the study area near the coast of California. The model shows the probability of leatherback presence at distances near to shore (~100 km), although an interesting potential habitat zone was also observed at around 1800 km DLC. Leatherback SST preferences ranged between 14° and 20° C. Monthly leatherback turtle potential habitat suggested a greater zone of importance on the southern hemisphere during the boreal winter months, which could be associated to the seasonal migration pattern of this large marine reptile.

III. Índice

1	Introducción	17
1.1	Características	17
1.2	Amenazas	18
1.3	Variación geográfica de la especie	19
1.4	Estado de conservación en el Pacífico.....	20
2	Antecedentes.....	21
2.1	Distribución en el Pacífico	22
2.2	Modelos de distribución de especies.....	22
3	Justificación	25
4	Hipótesis	25
5	Objetivos.....	26
5.1	Objetivo general	26
5.2	Objetivos particulares.....	26
6	Materiales y métodos.....	27
6.1	Área de Estudio.....	27
6.2	Origen de la información	30
6.2.1	Datos de ocurrencias de tortuga laúd	30
6.2.2	Base de datos ambientales	31
7	Modelación	31
8	Resultados.....	33
8.1	Ocurrencias de tortuga Laúd.....	33
8.2	Datos ambientales y derivados	35
8.2.1	Variables ambientales	35
8.2.2	Variables derivadas	36
9	Modelado de la distribución potencial.....	37
9.1	Contribución de las variables	37
9.2	Curvas de respuesta	38
9.3	Curva AUROC.....	40
9.4	Mapa del hábitat potencial de tortuga laúd.....	41

9.5	Hábitat potencial mensual	41
10	Discusión	45
10.1	Ocurrencias de tortugas marinas	45
10.2	Medio ambiente	46
10.3	Modelación.....	47
10.4	Predicción mensual.....	51
11	Conclusiones	55
12	Recomendaciones	57
13	Bibliografía.....	58

IV. Índice de Figuras

Figura 1.	Los puntos geográficos resaltados muestran las localidades de las Islas oceánicas importantes dentro del area de estudio.	29
Figura 2.	Muestra las ocurrencias capturadas dentro del área de estudio, cada una de ellas está representada con un punto negro.....	33
Figura 3.	Mapa que muestra las ocurrencias mensuales en el área de estudio. La variación de colores corresponde a los meses del año en que se realizó el registro.	34
Figura 4.	Mapas de variables ambientales: A Temperatura superficial del mar, B Concentración de clorofila-a y C Anomalía del nivel del mar.	36
Figura 5.	Mapas de variables derivadas: A Distancia a Isla Guadalupe, B Distancia a Islas Galápagos y C Distancia a la línea de costa.	37
Figura 6.	Contribución al modelo de las variables en porcentaje.....	38
Figura 7.	Curvas de respuesta obtenidas del modelo MaxEnt: En el panel A , temperatura superficial del mar, B concentración superficial de Clorofila-a, C Anomalía del nivel del mar, D Distancia a Isla Guadalupe, E Distancia a Isla Galápagos y F Distancia a la línea de costa.....	40

Figura 8.	Evaluación AUC.....	41
Figura 9.	Mapa del hábitat potencial promedio de la tortuga laúd (<i>Dermochelys coriacea</i>).....	41
Figura 10.	Mapas mensuales del hábitat potencial de la tortuga laúd. El gradiente del valor de predicción que va 0 a 1 con su respectivo color que va de un color café a azul.....	44
Figura 11.	Muestra la circulación de las masas de agua en el OPO. Tomado de Kessler (2006).	50

V. Índice de Tablas

Tabla 1.	Clasificación del desempeño de los modelos (índice AUROC; Phillips <i>et al.</i> , 2016).	32
Tabla 2.	Se muestra en número de ocurrencia correspondiente para cada mes del año.	34
Tabla 3.	Muestra las variables utilizadas para alimentar el modelo, y del lado derecho la justificación de su utilización.....	35

VI. Glosario

Algoritmo: Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite resolver un problema o conseguir un fin.

AUC/ROC: Acrónimo de “Area Under the Curve/Receiver Operating Characteristic plot”, o “Área Bajo La Curva”. El AUC es un estadístico generado en un diagrama de un operador receptor característico, que representa todo el desempeño y fortalezas de un modelo a través de umbrales. En modelación de nichos, el AUC es una medición no paramétrica de 0 a 1 que resumen la habilidad del modelo para clasificar aciertos y fallos de los registros de presencia y ausencia de especies.

Bootstrap: Método de remuestreo propuesto por Bradley Efron en 1979. Se utiliza para aproximar la distribución en el muestreo de un estadístico. Se usa frecuentemente para aproximar el sesgo o la varianza de un análisis estadístico, así como para construir intervalos de confianza o realizar contrastes de hipótesis sobre parámetros de interés. En la mayor parte de los casos no pueden obtenerse expresiones cerradas para las aproximaciones bootstrap y por lo tanto es necesario remuestrear en un ordenador para poner a prueba el método. La enorme potencia de cálculo de los ordenadores actuales facilita considerablemente la aplicabilidad de este método tan costoso computacionalmente.

Calibración del modelo: Etapas para llegar al modelo final, o al mejor modelo posible dado la información con la que se cuenta. Entre estas etapas se incluyen, la estimación del nicho de una especie basado en ocurrencias y la selección de variables ambientales scenopoéticas.

Carapacho: Cubierta rígida (ósea o queratinizado) que protege total o parcialmente el cuerpo de las tortugas y otros animales. También es llamado caparazón.

Datos de solo presencia: Referente al conjunto de datos con los registros de dónde una especie ha sido observada, pero no contienen ninguna información de los sitios de ausencia.

Escala espacial (espacio geográfico): Vocablo amplio que hace referencia al tamaño de celda (= pixel = resolución espacial) y a la extensión (área de estudio) geográfica estudiada.

Filopatría natal: Es la tendencia que presentan muchas especies animales a volver al mismo lugar en que nacieron, para cumplir funciones de reproducción o anidación.

Hábitat: Espacio que reúne un conjunto de condiciones bióticas y abióticas para que una especie pueda sobrevivir y reproducirse.

Hábitat potencial: Espacio en donde, aunque la especie de interés no ha sido observada, se reúnen las características bióticas y abióticas necesarias para que la especie pueda sobrevivir y reproducirse.

Máxima Entropía: Concepto estadístico que se desprende del concepto físico de entropía, el cual está asociado al caos, al desorden. En estadística, el principio de máxima entropía sugiere que la función de densidad más adecuada para modelar un conjunto de datos será aquella en donde el desconocimiento sobre el sistema de estudio sea el menor.

Modelo: Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento.

Movimiento migratorio: Desplazamiento de un individuo o una población, de un lugar a otro, durante un tiempo determinado.

Movimientos postanidatorios: Movimientos que generalmente realizan las tortugas marinas durante la temporada de anidación o al finalizar la temporada.

Muesca: Hueco estrecho y alargado que se hace en una cosa para introducir o encajar otra.

Neonatos: Estado de desarrollo asignado al embrión que ya ha salido del huevo y ha emergido a la superficie de la playa. Tortugueta recién eclosionada.

Neotenia: Retención de caracteres de etapa de crías, ya cuando se superó la etapa de desarrollo normal.

Ocurrencia: Se refiere a los puntos donde fue observada la especie.

Playas índices: Playas que históricamente registran mayor densidad de anidación de tortugas marinas.

Subcorrientes: Referente a una corriente que se encuentra por debajo de las corrientes superiores o la superficie.

Surgencia: Son movimientos ascendentes mediante los cuales las aguas de los niveles subsuperficiales son llevadas hasta aguas superficiales, desde profundidades generalmente menores de 100-200 metros, y removidas desde el área de transporte por el flujo horizontal, produciéndose así un aporte de nutrientes a las aguas superficiales empobrecidas por el consumo biológico.

Variabilidad genética: Se refiere a la diversidad en las frecuencias de los genes. Pudiéndose apreciar diferencias entre individuos o las diferencias entre poblaciones.

Variabilidad intraespecífica: Aquella diferenciación fenotípica dentro de una misma especie; es decir, individuos de la misma especie presentan características morfológicas o fisiológicas distintas.

zooplancton gelatinoso: Parte del zooplancton presenta cuerpos frágiles y transparentes compuestos principalmente por agua. compuesto mayoritariamente por los phyla Cnidaria, Ctenophora y Chordata.

1 Introducción

La tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) es uno de los vertebrados más grandes que habita en los océanos del mundo, y es el único miembro de la Familia monofilética Dermochelyidae. El nombre genérico *Dermochelys* fue introducido por Blainville (1816). El nombre específico *coriacea* lo designó Vandelli (1761), el cual fue adoptado por Linneaus (1766). El binomio “coreácea”, hace referencia a la piel característica, carente de placas en el carapacho y semejante al cuero en tortugas adultas (Rhodin & Smith, 1982).

Las tortugas laúd son los reptiles marinos que realizan las migraciones más extensas y alcanzan latitudes de aguas más frías, esta especie es considerada la tortuga más pelágica. Cuenta con un rango de movilidad mucho más amplio que el del resto de las especies de tortugas marinas, estos largos desplazamientos los realiza entre sus zonas de anidación y alimentación, teniendo así un rol importante en el ecosistema (Pritchard, 1976; Hughes *et al.*, 1998, Hays *et al.*, 2004).

1.1 Características

Es distintiva de las demás especies de tortugas, por presentar características morfológicas particulares. Presenta un conjunto de tejidos muy grasos además de un tejido óseo ancho, que se encuentra cubierto por una piel resistente, la cual es comparada al cuero. El exterior de esta piel está acompañado de 7 quillas longitudinales, mientras el plastrón en la parte ventral presenta 5 quillas. Presenta los tamaños más grandes que las demás especies de tortugas, los individuos adultos pueden llegar a medir hasta dos metros (Morgan, 1989); sus aletas anteriores son proporcionalmente más largas que las de otras tortugas, ayudándoles a realizar migraciones transoceánicas. La coloración dorsal es negra, presentando manchas rosadas en la parte superior de la cabeza, mientras que en el vientre la coloración varía entre manchas blancas, negras y rosadas. Su esqueleto es mayoritariamente cartilaginoso en un caso probable de neotenia. No presenta escudos, tampoco cuenta con uñas en las extremidades (Deraniyagala, 1930; Eckert *et al.*, 1989).

La tortuga laúd presente una cabeza grande y carente de escamas, cuenta con fuerte pico queratinizado con bordes lisos, adaptado para capturar presas resbalosas. Tiene un pico en la mandíbula inferior que embona perfectamente con la muesca en forma de W que presenta en la mandíbula superior. Al interior de la boca cuenta con diminutas crestas afiladas, las cuales han resultado de la adaptación a una dieta específica, la cual se basa principalmente en zooplancton gelatinoso.

Esta especie posee en las aletas un sistema de intercambio de calor contra corriente, con el exterior. Además, cuenta con un tejido subcutáneo muy graso que le permite habitar en aguas muy frías, debido a esta capacidad relativa que tiene para regular la temperatura corporal y tolerar bajas temperaturas del agua. (Greer *et al.*, 1973; Pritchard & Trebbau, 1984). Es la especie de tortuga marina que cuenta con la capacidad de sumergirse a mayores profundidades, ya que los individuos adultos pueden bucear en algunos casos a profundidades mayores de 300 m y durante periodos prolongados de hasta 30 min. Aunque cuando llegan a aguas frías suelen ocupar aguas más someras, existen registros que ocasionalmente pueden sumergirse hasta los 1000 metros (Eckert *et al.*, 1989, Eckert, 2006, Houghton *et al.*, 2008).

1.2 Amenazas

En los últimos años la drástica reducción en la población de tortugas laúd en diversas partes del mundo, ha provocado un gran interés por su conservación. Actualmente sus poblaciones se encuentran catalogadas por la lista roja oficial de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) en dos categorías. “En peligro crítico de extinción” y “Vulnerable”, según la zona de anidación en la que se localice la población (Wallace *et al.*, 2013). Las tortugas laúd del Pacífico y del Atlántico africano están incluidas en la lista de las 10 poblaciones con mayor urgencia de conservación en el mundo (Mast & Pritchard, 2006). Algunos países cuentan con leyes para ayudar al cuidado, protección y conservación, tanto en el ambiente marino, como en las zonas costeras donde anidan.

Esta especie se enfrenta a un gran número de amenazas tanto ambientales como de origen antropogénico, las cuales son determinantes para que la tendencia demográfica de sus poblaciones incremente o decrezca. Entre las causas principales de la disminución de las poblaciones de tortuga laúd se encuentran la pesca y la captura incidental; la extracción insostenible de huevos, la captura dirigida en playas y la destrucción o alteración del hábitat de anidación (Santidrián Tomillo *et al.*, 2007; Sarti Martínez *et al.* 2007; Casale *et al.*, 2003; Alfaro-Shigueto *et al.*, 2007; Troëng *et al.*, 2007).

Los procesos naturales que afectan a las poblaciones de tortuga laúd son: la pérdida de nidadas por inundación o erosión de las playas, altas tasas de mortalidad en crías y juveniles, baja calidad de la arena en playas de anidación, depredación natural o infecciones por microorganismos, las cuales son causas importantes de mortalidad de tortugas marinas (Bell *et al.*, 2003; Chan & Solomon, 1989; Patino-Martínez *et al.*, 2008). Las poblaciones de tortuga laúd pueden experimentar diferentes tipos de amenazas, y por tanto es necesario precisar distintas prioridades de conservación para cada una de ellas (Saba *et al.*, 2008; Seminoff & Shanker, 2008). Otro proceso natural clave para su conservación es que esta especie presenta una baja filopatría natal por determinadas playas de nidificación, lo cual le podría permitir tener una mayor flexibilidad y adaptabilidad frente a cambios ambientales. Sin embargo, son necesarios más estudios que identifiquen si dicha flexibilidad puede reflejarse en una mayor adaptabilidad (Hawkes *et al.*, 2009, López-Rivas, 2016).

El éxito reproductivo y la supervivencia de especies altamente migratorias, cuyas distribuciones abarcan amplias áreas geográficas y hábitats, pueden depender de la localización y explotación eficiente de recursos abundantes y fiables para satisfacer las demandas de energía de su historia de vida (Wallace *et al.*, 2018).

1.3 Variación geográfica de la especie

A pesar de tener una trayectoria evolutiva originada hace 100 millones de años, la tortuga laúd muestra una escasa variabilidad genética global (Bowen & Kart, 2007). La variabilidad intraespecífica indica el origen de la especie actual hace

900,000 años, probablemente en un refugio del Indo-Pacífico (Dutton *et al.*, 1999). Aún con esta escasa variabilidad genética, se han encontrado algunas diferencias en ADN mitocondrial en organismos de diferentes cuencas oceánicas y organismos dentro de una misma cuenca, confirmando una cierta filopatría natal, la cual indica aislamiento reproductor entre zonas muy separadas. Así mismo se han encontrado diferencias morfológicas entre organismos que habitan diferentes cuencas oceánicas (Dutton *et al.*, 1999).

A pesar de que las poblaciones de los océanos Atlántico y Pacífico tienen una baja variabilidad genética, con pocas diferencias interpoblacionales (Dutton *et al.*, 1999) se ha identificado la existencia de poblaciones demográficamente diferentes, mediante análisis de ADN (Dutton *et al.*, 2013). La diferencia más clara parece ser el tamaño corporal, ya que en el Pacífico las hembras adultas son relativamente más pequeñas que las del Atlántico. Sin embargo, a pesar de que los reportes indican que el menor tamaño medio se encuentra en el Pacífico, hay que tomar en cuenta que esto se podría deber a una mayor mortalidad y por lo tanto una menor longevidad. (Patino-Martínez, 2014). También se han descrito otras diferencias morfológicas entre tortugas del Atlántico y del Indo-Pacífico, ya que la tortuga atlántica tiene las aletas anteriores más largas, una cabeza más corta y una coloración más oscura con menos manchas blancas claras en el dorso, la mandíbula inferior y la garganta (Pritchard, 1980, Patino-Martínez *et al.*, 2014).

1.4 Estado de conservación en el Pacífico

La población anidadora de la tortuga laúd en el Océano Pacífico Oriental (OPO) ha disminuido más del 90% en las últimas dos décadas (Spotila *et al.*, 1996), debido principalmente a la extensa extracción de huevos, caza de adultos y la captura incidental en pesquerías (Alfaro-Shigueto *et al.*, 2007; Casale *et al.*, 2003; Santidrián-Tomillo *et al.*, 2007; Troëng *et al.*, 2007).

2 Antecedentes

La tortuga laúd anida a lo largo de la costa Pacífica de América desde México hasta Ecuador, y la mayoría de las anidaciones se concentran principalmente en dos playas, una en Costa Rica (Santidrian-Tomillo *et al.*, 2007) y la otra en México (Sarti-Martínez *et al.*, 2007), mientras que una tercera de menor ocurrencia se presenta en Nicaragua (Urteaga & Chacón 2007), aunque existen playas con pocas nidadas anuales o nidadas ocasionales a lo largo de la costa del OPO.

Una de estas poblaciones que podemos diferenciar, se encuentra en la cuenca del Océano Pacífico. La población anidadora del OPO fue considerada durante mucho tiempo la más grande del mundo, estimándose al inicio de la década de 1980 que el área del Pacífico mexicano albergaba el 65% de la población mundial (75,000 hembras). Sin embargo, una combinación de amenazas directas e indirectas provocó una reducción del 95% en el tamaño de la población anidadora en poco más de una década (Sarti-Martínez, 2004).

Los juveniles de tortuga laúd permanecen en latitudes tropicales hasta que alcanzan una longitud de caparazón cercana a los 100 cm (Eckert, 1999). Los requerimientos de hábitat de los neonatos, juveniles y organismos reproductores son prácticamente desconocidos. En la etapa adulta, tanto hembras como machos realizan migraciones hacia áreas cercanas a las playas de anidación para reproducirse, y las hembras realizan anidaciones (James *et al.*, 2005).

Actualmente, la distribución de los machos y hembras presenta huecos grandes de información, las rutas migratorias o zonas de agregación de esta especie, tanto para organismos juveniles y adultos, no son del todo comprendidas debido a la dificultad de su seguimiento en tiempo real (James *et al.*, 2005).

La supervivencia, tasas de crecimiento, edad de primera madurez y longevidad en el medio natural, no han sido comprobadas del todo para esta especie, en gran parte por la falta de información sobre las áreas de distribución o rutas migratorias de la especie.

2.1 Distribución en el Pacífico

La población de tortuga laúd de la cuenca del Océano Pacífico también se caracteriza por realizar largas migraciones transoceánicas desde aguas tropicales donde se reproducen y nacen, hasta aguas muy frías donde encuentra una concentración mayor de alimento. Sin embargo, dichas migraciones podrían variar según las condiciones ambientales presentes. Los requerimientos de hábitat de los neonatos, juveniles y organismos reproductores son prácticamente desconocidos. (Hays *et al.*, 2004, Price *et al.*, 2006).

La tortuga laúd es considerada una especialista en el consumo de medusas (Bjørndal, 1997); algunos autores señalan que es un depredador obligado de zooplankton gelatinoso: medusas *Rhizostoma*, *Chisaora plocamia*, *Stolophus*, sinóforos y salpas. Este consumo especializado de medusas y otros invertebrados gelatinosos les confiere una posición trófica intermedia, confirmada con estudios isotópicos (Godley *et al.*, 1998).

Agregaciones consistentes de medusas (*Rhizostoma sp.*) de decenas de kilómetros cuadrados parecen condicionar la distribución de la tortuga laúd en el Atlántico Norte (Houghton *et al.*, 2006) que podrían explicar el 25% de las observaciones oceánicas de la tortuga laúd. Estas asociaciones interespecíficas parecen ser muy consistentes en el espacio y el tiempo (Houghton *et al.*, 2006).

2.2 Modelos de distribución de especies

En las últimas décadas la generalización de los sistemas de información geográfica y el desarrollo de técnicas estadísticas han permitido el incremento de opciones metodológicas para el análisis de los patrones espaciales de presencia y ausencia de especies, entre ellas, los modelos de distribución de especies (MDE; Franklin, 1995; Guisan & Zimmermann, 2000; Rushton *et al.*, 2004; Foody, 2008). Existe una gran variedad de métodos para modelar la distribución de las especies, entre ellos varias alternativas estadísticas tales como los modelos lineales generalizados (Renwick *et al.*, 2012), algoritmos genéticos (GARP-*Genetic algorithm for rule set prediction*) (Stockwell & Peters,

1999; Marín-Togo *et al.*, 2012) y los métodos de máxima entropía (MaxEnt, *Maximun entropy*) (Phillips *et al.*, 2006; Kumar, 2012).

Los modernos modelos cuantitativos de distribución de especies surgieron cuando hubo una convergencia entre diferentes disciplinas del conocimiento: geografía, física, ecología y estadística, acompañados de avances significativos en tecnologías de la información. Cada día es mayor la cantidad de información disponible al usuario común, que incluye datos de programas de campo muy amplios, registros de museos y herbarios, bases de datos de la biodiversidad nacional y mundial, así como datos de bitácoras de pesca (Soberón & Peterson, 2005). Teniendo como consecuencia una amplia variedad de técnicas de modelado para representar con mejor precisión la distribución de especies utilizando los datos disponibles de ocurrencia (Jiménez-Valverde *et al.*, 2008).

Los MDE aún están en pleno desarrollo y expansión con nuevas áreas, métodos, y estrategias para el tratamiento e interpretación de datos (Wilson *et al.*, 2005, Elith *et al.*, 2006; Ferrier & Guisan, 2006; Mateo, 2008). En general, los MDE comprenden al conjunto de estrategias y técnicas utilizadas para describir y predecir los patrones espaciales de distribución de especies, establecen relaciones estadísticas entre las presencias de una especie y las variables ambientales, prediciendo su idoneidad en el área de estudio (Elith & Leathwick, 2009; Franklin, 2010).

Sin embargo, los MDE se han convertido en una aproximación común para analizar y predecir hábitats adecuados de especies, también para pronosticar y evaluar rutas potenciales con distintos objetivos: conservación de especies o en peligro de extinción, ecoturismo o aprovechamiento de especies (Owens *et al.*, 2012; Cianfrani *et al.*, 2013), ya que estiman la relación entre registros de especies y las características del medio ambiente (Franklin, 2009). Actualmente existen algoritmos para generar mapas predictivos sobre la distribución potencial de especies en el espacio geográfico. Estos son ampliamente utilizados para muchos propósitos en biogeografía, filogeografía, conservación, biología y ecología.

Los MDE se han utilizado para determinar ubicaciones de nuevas poblaciones de especies raras. Por ejemplo, Owens *et al.* (2012) los utilizaron para predecir los ambientes adecuados y la posible ocurrencia de celacantos (*Latimeria* sp.). Así mismo, Cianfrani *et al.* (2013) combinaron de modelos de aptitud de hábitat y análisis de conectividad para evaluar el posible retorno de la nutria a Suiza. Los MDE también han sido utilizados para evaluar zonas adecuadas para el establecimiento de áreas protegidas (Urcádiz-Cázares *et al.*, 2021), la translocación de especies, así como pronosticar la posible propagación de especies invasoras y el potencial efecto que pudiera tener el cambio climático sobre la distribución de las especies (Thuiller *et al.*, 2005; Webber *et al.*, 2011).

A partir de los MDE se generan mapas, análisis y gráficas en donde se representa la idoneidad de cada lugar para que una especie pueda, o no, estar presente. Son aproximaciones visuales que permiten analizar las preferencias ambientales de la especie de interés y delimitar regiones biogeográficas. Mediante la ejecución de los modelos se producen diversos archivos de salida, que facilitan el análisis y la descripción de los resultados. La proyección final de los modelos muestra curvas de respuesta, que nos representan las diferencias entre las características consideradas.

Los mapas finales de los MDE tienen la propiedad de representar la idoneidad de cada lugar para que una especie esté o no presente. El concepto de idoneidad refleja lo adecuado o inadecuado que es un sitio para satisfacer las necesidades o requerimientos ecológicos de una especie desde el punto de vista biológico: temperatura, precipitación, sustrato geológico o cualquier variable ambiental (Mateo *et al.*, 2012). Los mapas de hábitat potencial han resultado una herramienta valiosa para detectar zonas potenciales de agregación y resaltar patrones migratorios de grandes pelágicos (Marín-Enríquez *et al.*, 2018).

El éxito de los MDE en otras especies, para describir hábitats de distribución críticos, respalda la eficiencia para predecir la distribución de la tortuga laúd (*Dermodochelys coriacea*) en el OPO, lo que resulta de gran importancia para asegurar su conservación y tratar de entender su comportamiento migratorio.

3 Justificación

Actualmente la falta de información sobre las rutas migratorias y zonas de distribución para reproducción y alimentación de la tortuga laúd se convierte en una problemática para la conservación de la especie, debido a los altos costos que implica el seguimiento de este tipo de organismos. En este estudio se propone como alternativa la utilización de los Modelos de Distribución de Especies (MDE), para identificar zonas potenciales de distribución de la tortuga laúd, así como sus posibles rutas migratorias para el Océano Pacífico Oriental. Existen distintos estudios que relacionan la distribución de la tortuga laúd con algunas variables ambientales como la temperatura y productividad primaria que servirán como línea de base para la investigación y contribuir a la falta de información de la especie.

4 Hipótesis

Se ha demostrado que los modelos de Máxima Entropía han tenido un buen desempeño en organismos terrestres, sin que su eficiencia haya sido del todo probada en organismos marinos altamente migratorios. Dicho lo anterior, se propone que su implementación tendrá una eficacia similar a la observada en especies terrestres para describir los sitios potenciales de ocurrencia, el uso de hábitat y las rutas migratorias de tortuga laúd en el Océano Pacífico Oriental, tomando la temperatura superficial del mar, la altura del nivel del mar, la clorofila-a, distancia a la costa, distancia Isla Guadalupe y la distancia a Isla Galápagos como variables predictoras del hábitat de la especie.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

Modelar la distribución potencial espacial y temporal de la tortuga laúd, *Dermochelys coriacea*, en el Océano Pacífico Oriental.

5.2 Objetivos particulares

- 1 Describir las preferencias ambientales de la tortuga laúd.
- 2 Construir un modelo numérico que relacione los datos de ocurrencia de tortuga laúd con distintas variables ambientales, que defina el hábitat idóneo de la especie.
- 3 Predecir posibles rutas migratorias de esta especie a partir de las condiciones ambientales mensuales promedio.

6 Materiales y métodos

6.1 Área de Estudio

El área del Océano Pacífico Oriental (OPO) considerada para la construcción del modelo de distribución de la tortuga laúd del presente estudio, abarca desde los 35°N hasta los 25°S y desde la línea de costa hasta los 145°O.

El OPO está definido como la zona entre el litoral del continente americano (incluyendo Norte, Centro y Sudamérica) desde 50°N hasta 50°S, hasta la longitud de 150°O, según una clasificación de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) en 2007. Una de las principales características ambientales del OPO es su termoclina poco profunda (Anónimo, 2002).

Incluye diversas corrientes marinas y costeras que ocurren simultáneamente, las cuales tienen una variación estacional respecto a sus características (Marín-Enríquez *et al.*, 2018). En esta zona se presentan flujos de calor superficial variables, variaciones regionales y remolinos de gran escala. Una de las corrientes que predominan el área de estudio, es la Corriente de California, que domina en gran parte de la zona norte y que se bifurca en dos ramas. La primera es la corriente central, que gira hacia el oeste alrededor de los 120°O y la segunda que es una bifurcación de la rama tropical, que fluye paralela a la Península de Baja California. La circulación vertical en el OPO tiene orígenes y consecuencias locales y a escala de cuenca (Lavín & Kurczyn, 2010; Kurczyn *et al.*, 2012, Marín-Enríquez *et al.*, 2018). En la región que abarca desde la Península de Baja California hasta la lengua fría ecuatorial, coincide aproximadamente con la piscina cálida del OPO. En esa misma porción costera de la parte central del área de estudio, circula una corriente costera, conocida como la Corriente Costera Mexicana o la Corriente Occidental Mexicana que fluye hacia el Norte y paralelo a la costa (Kessler, 2006).

La alberca de agua cálida del OPO es una zona en el Pacífico frente a México, en donde se observan aguas oceánicas con altas temperaturas durante todo el año superiores a los 27.5 °C, y su variabilidad depende de varios factores. Esta alberca está ubicada en la parte oceánica central del área de estudio, a lo largo

de la costa del suroeste de México y Guatemala (Fiedler & Talley, 2006; Kessler, 2006).

Al sureste de la costa de México se ubica el Golfo de Tehuantepec. Los vientos en esta zona, son un parámetro clave en la comprensión de fenómenos marinos y atmosféricos. Este golfo es considerado dentro del OPO como una zona con altos niveles de productividad primaria. Las condiciones y los gradientes de presión atmosférica, generan chorros de viento que producen afloramientos en áreas costeras y mar adentro, además de procesos de surgencia y mezcla vertical. Estos vientos son fuertes durante el otoño y el invierno (Trasviña & Barton, 2008; Trasviña *et al.*, 2003).

En la temporada de otoño-invierno es posible encontrar los frentes fríos provenientes Canadá y E.U.A, conocidos como nortes o tehuanos, y son capaces de transferir una gran energía al océano provocando efectos como una lengüeta de agua fría, además de un sistema de remolinos (con encuentros entre remolinos ciclónicos y anticiclónicos), que tiene como consecuencia el arrastre de propiedades de masa de agua costera hacia el océano abierto (Trasviña *et al.*, 2003).

De igual manera en el centro del área de estudio se encuentra otro sistema importante es el de las corrientes ecuatoriales que fluyen superficialmente. Se distinguen tres corrientes ecuatoriales: la ecuatorial del Norte (CEN), que se desplaza hacia el Oeste en el Hemisferio Norte; la ecuatorial del Sur (CES), que circula en la misma dirección, pero en el Hemisferio Sur, y la contracorriente ecuatorial (CEC). La contracorriente ecuatorial del norte es la característica oceanográfica que domina la circulación en la parte central del área de estudio (Kessler, 2006; Marín-Enríquez *et al.*, 2018).

También en el ecuador se observa la presencia de aguas superficiales templadas, en una zona llamada "lengüeta fría ecuatorial", que se centra directamente en el ecuador al oeste de los 120°O, y ligeramente al sur del ecuador hacia el Este. La divergencia estacional de aguas frías de la corriente de Perú y el afloramiento ecuatorial provocan un cambio en las propiedades de esta zona en el OPO (Wyrcki, 1966). Esta lengua de agua fría presenta cambios

estacionales en su temperatura, la corriente subterránea ecuatorial surge, provocando que la temperatura disminuya hacia el Este, generando un movimiento de agua de Oeste a Este. Estas afluencias de aguas subterráneas ecuatoriales ocasionan la disminución de la temperatura en el lado oeste de las Islas Galápagos (Sloyan *et al.*, 2003; Kessler, 2006; Fiedler & Talley, 2006).

El área de estudio cuenta con tres cuencas principales en la parte central, la cuenca de Guatemala, la de Panamá y la de Perú, separadas por las cordilleras submarinas de Cocos y Carnegie, respectivamente (Fiedler & Lavín, 2006). La cuenca de Perú tiene entrada de aguas de fondo, que provienen desde el sur de la cuenca de Chile. Pasan a través de varios huecos en las cordilleras y en la fosa Perú-Chile. Son aguas que se caracterizan por ser ricas en oxígeno y pobres en nutrientes en comparación de las aguas profundas suprayacentes (Fiedler & Talley, 2006). La cuenca de Panamá se extiende a ambos lados del ecuador, de la misma manera tiene presencia de aguas de fondo provenientes de la cuenca de Perú, que pasan a través de una brecha entre la costa de América del Sur y la cordillera submarina de Carnegie. En general, la cuenca de Panamá es menos profunda que las cuencas de Perú y Guatemala (Laird, 1971; Fiedler & Talley, 2006).

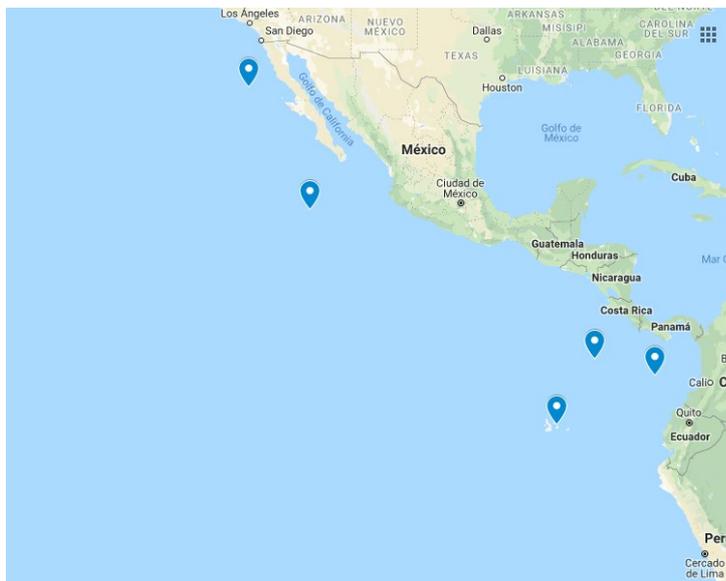


Figura 1. Los puntos geográficos resaltados muestran las localidades de las Islas oceánicas importantes dentro del area de estudio.

6.2 Origen de la información

6.2.1 Datos de ocurrencias de tortuga laúd

La información de ocurrencias de tortuga laúd abarca desde enero de 2003 a diciembre de 2015. Especialmente, la base de datos de ocurrencias abarca zonas tanto templadas como tropicales de 25°S a 35°N, desde la línea de costa del continente americano hasta alrededor de los 145°O en el océano abierto. La base de datos de ocurrencias de laúd se recopiló utilizando las funciones de la librería *robis* ver. 1.0.1 del lenguaje R ver. 3.3.1 (R Core-Team, 2013). Estas funciones se conectan al portal web de OBIS (Ocean Biogeographic Information System, <http://www.iobis.org/>), y tienen como principal función extraer la base de datos de la especie de interés e importarla al ambiente R. La base de datos cuenta con la posición geográfica del avistamiento de cada tortuga, el día, mes y año del avistamiento, así como varios metadatos asociados a los avistamientos y ocurrencias (datos taxonómicos, nombre de la base de datos de dónde se extrajo cada avistamiento, institución que reporta el avistamiento, etc.). Las fuentes de información de los avistamientos son varias, entre las que destacan prospecciones aéreas hechas por distintas instituciones, como el programa de avistamiento de cetáceos en las regiones marítimas de Canadá, el programa de observadores de mamíferos marinos y tortugas de (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI), el programa de marcado de tortugas marinas de Perú y datos de captura incidental de la flota palangrera reportados por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), entre otros.

Se realizó un análisis exploratorio de la base de datos de ocurrencias (histogramas, diagramas de caja y bigotes, *dotcharts*, y diagramas de dispersión) y análisis de estadísticos descriptivos, con el fin de detectar observaciones sospechosas o incongruencias en el formato de las coordenadas geográficas. Se crearon mapas de ocurrencia del número de tortugas observadas por mes y por año. Para el análisis posterior se utilizaron sólo las observaciones que pasaron el análisis exploratorio de los datos.

6.2.2 Base de datos ambientales

Se utilizó una base de datos ambientales de promedios mensuales de Temperatura Superficial del Mar (TSM), concentración superficial de Clorofila-a (Chl-a) y Anomalía del Nivel del Mar (ANM). Los períodos de tiempo cubiertos en la base de datos ambientales coinciden con el período de cobertura de la base de avistamientos de tortuga laúd entre 2003 y 2015. Las bases de datos se presentaron en cuadrantes de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. A esta base de datos ambientales se adicionaron variables secundarias (derivadas), entre las que se contemplan la distancia a la línea de costa (DLC) y la distancia a distintas islas oceánicas: distancia a Isla Guadalupe (DIGU) y distancia a Islas Galápagos (DIGA).

7 Modelación

Se utilizó una opción de alternativa metodológica que sólo utiliza datos de presencia para modelar el efecto que tienen las variables ambientales y las variables derivadas sobre la ocurrencia de la tortuga laúd. La aproximación de Máxima Entropía (MaxEnt; Phillips *et al.*, 2006) se basa en el principio estadístico del mismo nombre, el cual sugiere que la mejor distribución estadística para modelar un conjunto de datos es aquella que contiene la menor cantidad de información (o mayor entropía) posible. Esta aproximación ha resultado ser útil cuando no se cuenta con datos de ausencia de la especie de interés. El modelo MaxEnt utiliza datos ambientales para los cuadrantes en donde se observó la tortuga laúd, así como un número elevado de cuadrantes “de fondo”. Estos cuadrantes de fondo son muestreados aleatoriamente de los cuadrantes de la base de datos ambientales. El resultado final es un modelo del que se puede extraer la contribución relativa de cada una de las variables ambientales, así como las curvas del efecto que cada variable tiene sobre la ocurrencia de la tortuga laúd en el área de estudio y los mapas del hábitat potencial del organismo.

Se construyó un modelo MaxEnt utilizando las ocurrencias de laúd, utilizando como predictores las condiciones ambientales promedio para todo el período de estudio. Previamente, se incluyeron en este escrito algunas tablas con la justificación, fuentes y estadística descriptiva de cada una de las variables

ambientales utilizadas en el proceso de modelación. El desempeño de este modelo se evaluó mediante el área bajo la curva (AUROC). El AUROC es un índice que va de 0 a 1, en el que valores mayores a 0.5 significan que el modelo tiene un desempeño “mejor que al azar”, y valores cercanos a 1 significan que el modelo es capaz de discernir de manera perfecta las ocurrencias observadas y aquellas que ocurren únicamente por azar (Tabla 1). En el caso de la aproximación MaxEnt, el resultado del análisis AUROC se utilizó para diferenciar las presencias observadas de las ocurridas al azar (Phillips *et al.*, 2016).

Tabla 1. Clasificación del desempeño de los modelos (índice AUROC; Phillips *et al.*, 2016).

INTERVALO	DESEMPEÑO
$0.5 < \text{AUROC} \leq 0.7$	Bajo
$0.7 < \text{AUROC} \leq 0.9$	Medio
$\text{AUROC} > 0.9$	Alto

Con el modelo final terminando de MaxEnt, se hicieron predicciones del hábitat potencial de la tortuga laúd usando las condiciones mensuales promedio de cada una de las variables ambientales, obteniendo 12 mapas de hábitat potencial, uno para cada mes del año. Estos mapas se interpretaron como el hábitat potencial mensual promedio. Con esto se pretendió evaluar si el hábitat potencial de la tortuga laúd en el área de estudio varía a lo largo del año, con la finalidad de detectar la existencia de algún patrón migratorio de la especie. Todo el proceso de modelación se realizó en el lenguaje R (R Core-Team 2016), utilizando la función de *maxent* de la librería *dismo*, ver. 1.1-4. Esta librería incluye funciones de mapeo, las cuales se utilizaron para la creación de los mapas de hábitat potencial de la tortuga laúd.

8 Resultados

8.1 Ocurrencias de tortuga Laúd

En el área de estudio se documentaron 1437 ocurrencias de laúd, Distribuidos desde las costas del sur de Estados Unidos (35° N) hasta las costas del Norte de Chile (25°S).

En la figura 2 se puede observar que los datos de ocurrencia de la tortuga laúd están separados en dos grandes zonas, con un vacío de información aparente en la parte central del área de estudio.

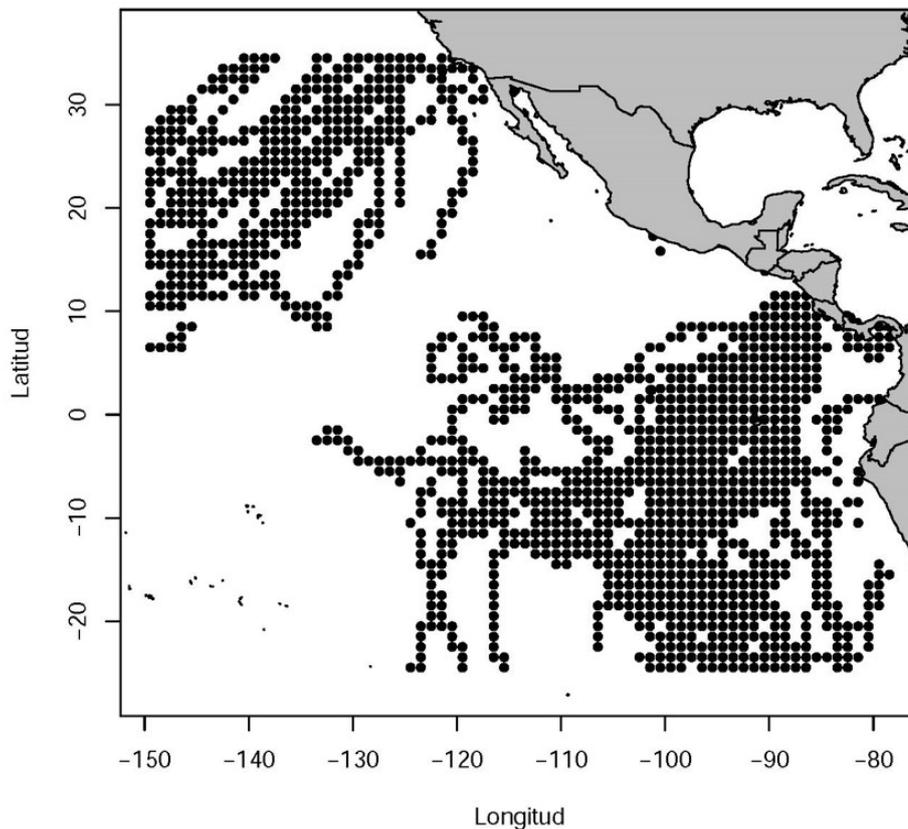


Figura 2. Muestra las ocurrencias capturadas dentro del área de estudio, cada una de ellas está representada con un punto negro.

En la figura 3 se muestra la distribución mensual de las ocurrencias de la tortuga laúd en la zona de estudio en el OPO, con lo cual se buscó evidenciar posibles patrones de distribución temporal.

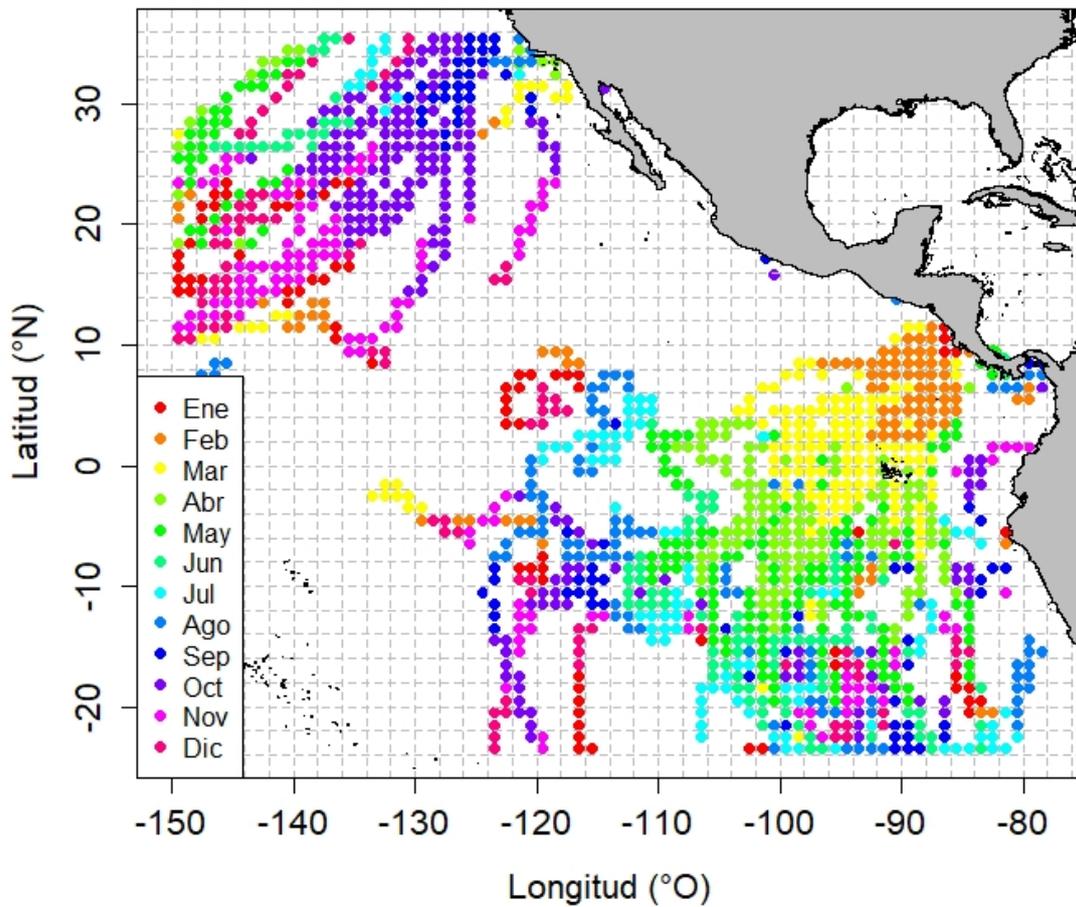


Figura 3. Mapa que muestra las ocurrencias mensuales en el área de estudio. La variación de colores corresponde a los meses del año en que se realizó el registro.

Tabla 2. Se muestra en número de ocurrencia correspondiente para cada mes del año.

MES	No. de observaciones
Enero	77
Febrero	92
Marzo	141
Abril	137
Mayo	170
Junio	101
Julio	111
Agosto	112
Septiembre	76
Octubre	195

Noviembre	130
Diciembre	95

En términos generales, se puede observar que durante el mes de octubre es cuando se observa el mayor número de ocurrencias (n= 195 en total) y durante el mes de septiembre el menor número de ocurrencias (n= 76).

8.2 Datos ambientales y derivados

Después de los análisis descriptivos, se calcularon valores promedio para las variables ambientales, utilizando el promedio anual de los 13 años (2003-2015). Cada variable fue justificada para ser incluidas en el modelo (Tabla 3).

Tabla 3. Muestra las variables utilizadas para alimentar el modelo, y del lado derecho la justificación de su utilización.

VARIABLE	JUSTIFICACIÓN
Temperatura	Metabolismo
Clorofila-a	Productividad primaria y surgencias
Anomalías del nivel del mar	Surgencias y zonas de convergencia
Distancias a Islas Guadalupe y Galápagos, y a la costa.	Preferencia por la cercanía a las Islas, buceo, alimentación, efecto Isla y relación con la anidación.

8.2.1 Variables ambientales

Los rangos de los registros de la TSM reportados para área de estudio osciló entre 14.08°C, en las zonas más alejadas del ecuador, hasta las temperaturas más cálidas de 29.76°C que se observaron en la región ecuatorial. El valor promedio de la TSM fue de 24.67°C (Figura 4-A).

Los valores más altos de clorofila a (Chl-a) fueron registrados cerca de la línea de costa de 25.95 mg/m³, principalmente sobre las costas del centro de México y Perú, disminuyendo al alejarse de la costa con 0.022 mg/m³ (Figura 4-B).

Los valores de las anomalías del nivel del mar (ANM) más elevados son observados sobre toda la corriente ecuatorial, con valores máximos de 40.4 centímetros, mientras que los valores mínimos con 1.2 centímetros se encuentran fuera del ecuador (Figura 4-C).

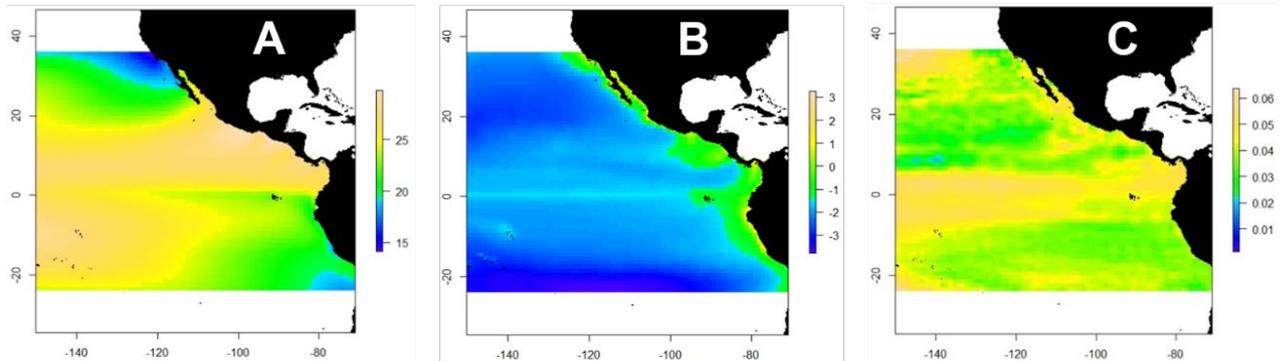


Figura 4. Mapas de variables ambientales: **A** Temperatura superficial del mar, **B** Concentración de clorofila-a y **C** Anomalia del nivel del mar.

8.2.2 Variables derivadas

Para la distancia a Isla Guadalupe (Figura 5-A) los valores van de 54.39 km a, y máximo de 7,692.84 km, con un promedio de 3,843.98 km.

La distancia a Islas Galápagos está en el rango de 30.10 km a 7,265.02km con un valor promedio de 3,631.67 km (Figura 5-B).

Para la variable de distancia a la costa se proyecta la Figura 5-C, se aprecia una clara afinidad de los datos a la costa. El valor mínimo de la distancia a la costa que se reportó es de 6.70 km, se puede observar en la Figura 5-C. El valor más lejano a la línea de costa reportado fue de 4,223.65 (en el cuadrante 0°-20°N, 125°-150°O).

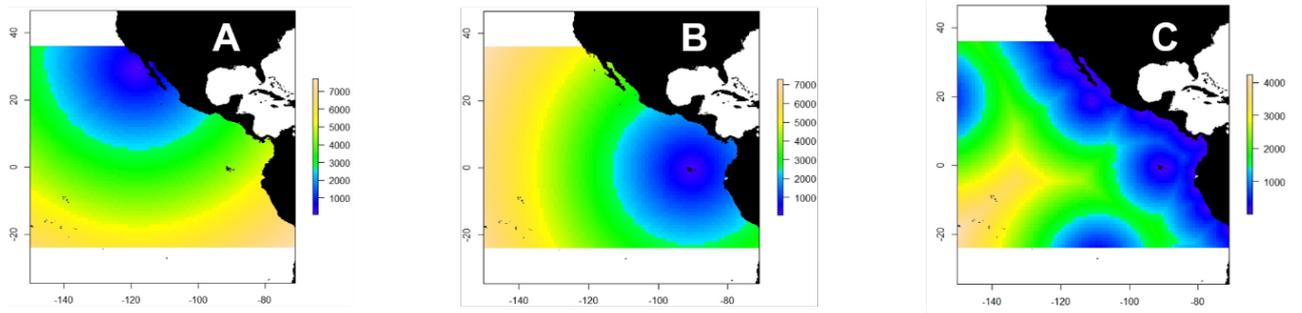


Figura 5. Mapas de variables derivadas: **A** Distancia a Isla Guadalupe, **B** Distancia a Islas Galápagos y **C** Distancia a la línea de costa.

9 Modelado de la distribución potencial

9.1 Contribución de las variables

Parte de la calibración del modelo es analizar los resultados y ver si las variables tienen una contribución porcentual importante en la predicción resultante. En la figura 6 se presenta la contribución de cada variable para el modelo. El esquema de los porcentajes de contribución indica que la variable con mayor contribución al modelo es la distancia a la costa, con un porcentaje de 35.6%. En la figura 6 se observa que la temperatura superficial del mar con 23.8% es la segunda variable con mayor contribución al modelo. La tercera y cuarta variable que contribuyen al modelo son las distancias a Islas Galápagos y la distancia a Isla Guadalupe con 20.6% y 11.9% respectivamente. La contribución de la clorofila-a es un porcentaje de 5.2 y finalmente con un 2.9% de contribución al modelo es la anomalía del nivel del mar (Fig. 6).

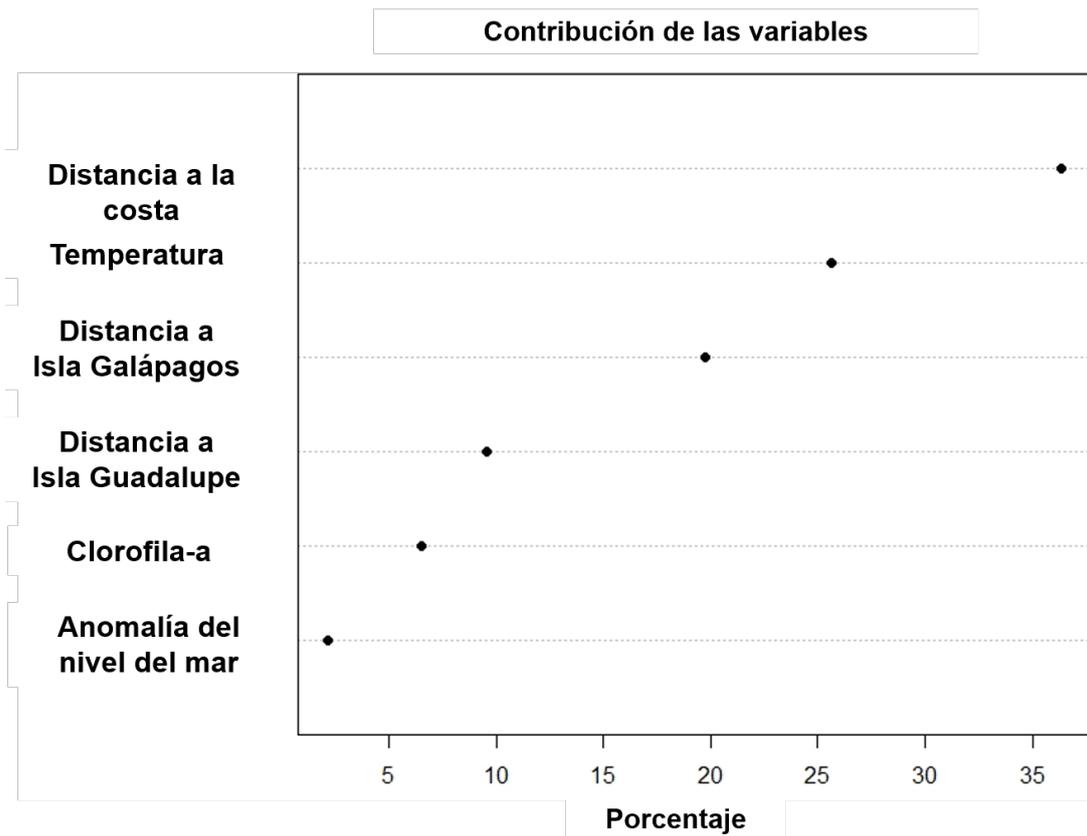


Figura 6. Contribución al modelo de las variables en porcentaje

9.2 Curvas de respuesta

Las curvas de respuesta describen la probabilidad de presencia de la tortuga laúd. La TSM describe una mayor probabilidad de ocurrencia de la tortuga a temperaturas que van entre 14° y 20°C, seguido de un descenso a los 24°C, en donde se observa que a pesar de ser menor la probabilidad de presencia, existe una estabilidad a los 26° y a partir de ahí, el valor de predicción decae (Fig. 7-A).

La curva de predicción de hábitat en relación con la concentración de Chl-a muestra que la tortuga laúd *Dermochelys coriacea* prefiere zonas con una moderada concentración de clorofila-a (Fig. 7-B).

En cuanto a las ANM la respuesta de la tortuga laúd muestra unos picos irregulares, de 0 a 50 cm de altura se aprecia una respuesta relativamente equilibrada, y a partir de los 50 cm comienza a descender la curva de respuesta (Fig. 7-C).

La distancia a Isla Guadalupe muestra que la tortuga prefiere aguas ligeramente retiradas de esta isla entre los 3,500 y 4,000 km de distancia. En la figura 7-D se aprecia que a medida que la distancia aumenta, de igual manera lo hace el valor de predicción, mostrando un pico entre 3,000 y 5,000 km, teniendo su máximo en los 4000 km; pasados los 5,000 km el valor de predicción disminuye.

Respecto a la distancia a Islas Galápagos muestra un resultado contrario, ya que se muestra más afinidad con la cercanía a estas Islas, teniendo el pico de 100 a 2000 km de distancia. A partir de ahí comienza un descenso de probabilidad de presencia.

La curva de respuesta la variable de la distancia a la costa (Fig. 7-F) muestra una preferencia de la tortuga laúd a distancias cercanas a la costa los primeros 100 km. Sin embargo, se aprecia que además de una preferente cercanía, también existe un valor importante de predicción a los 1,800 km de distancia a la costa.

Curvas de respuestas de las variables

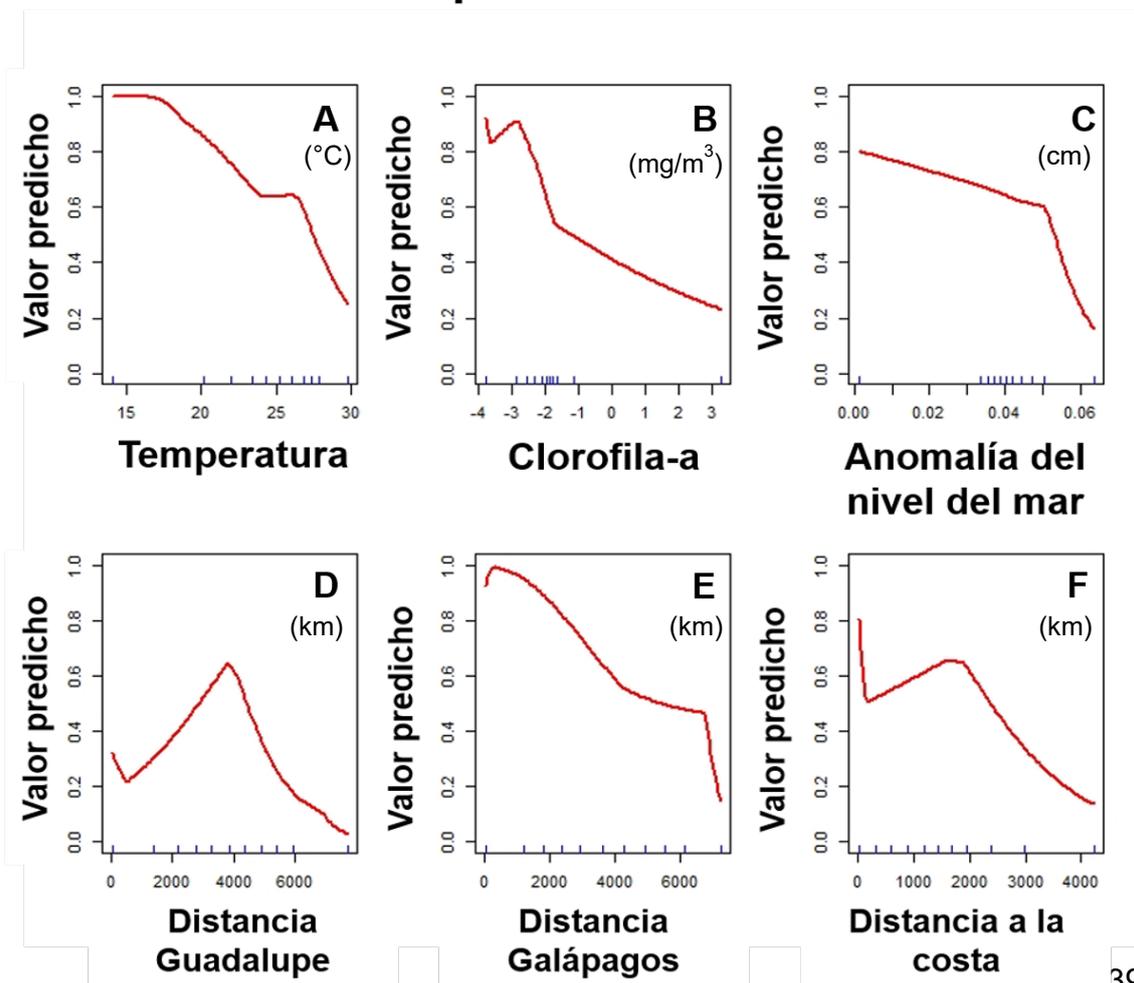
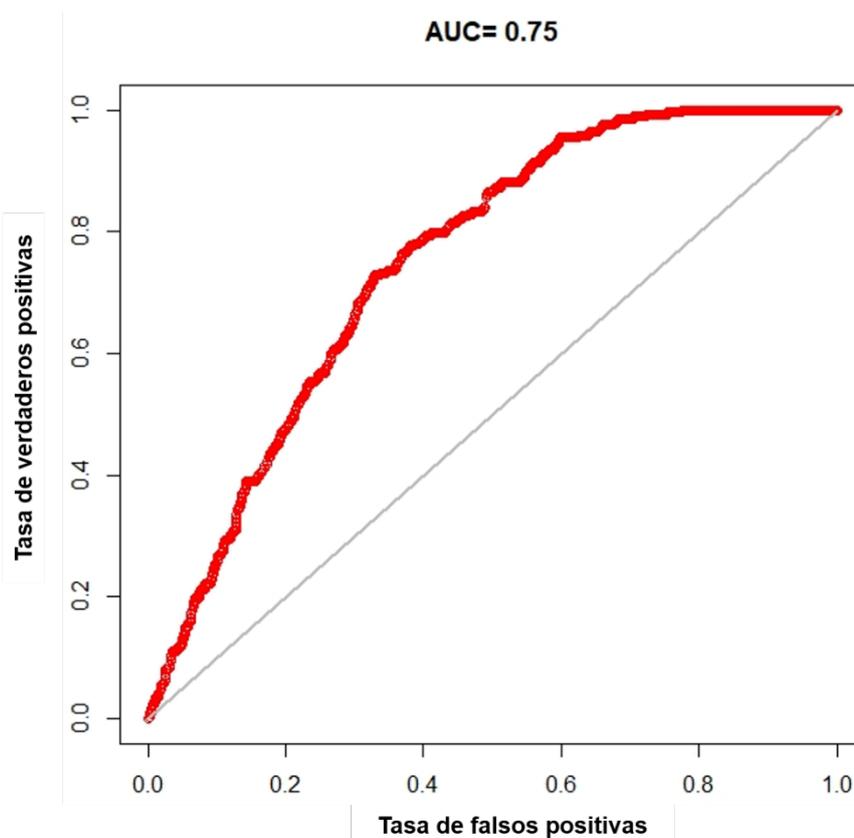


Figura 7. Curvas de respuesta obtenidas del modelo MaxEnt: En el panel **A**, temperatura superficial del mar, **B** concentración superficial de Clorofila-a, **C** Anomalía del nivel del mar, **D** Distancia a Isla Guadalupe, **E** Distancia a Isla Galápagos y **F** Distancia a la línea de costa.

9.3 Curva AUROC

Se realizó la evaluación del modelo mediante la curva AUROC, además del sometimiento a un *bootstrap* para los valores del AUC (con un total de 100 repeticiones). El resultado del AUC para la tortuga laúd fue de 0.750, lo que representa un valor aceptable (Fig. 8).

Finalmente se hizo una prueba t, donde la hipótesis nula es que la media del AUC es distinta a 0.5 (el valor de 0.5 significa que el modelo no es adecuado), dando como resultado que se rechaza la hipótesis de que el AUC es igual a 0.5. Por tanto, el modelo es aceptable.



9.4 Mapa del hábitat potencial de tortuga laúd

El resultado final construido con el modelo MaxEnt es la obtención de un mapa del hábitat potencial promedio de la tortuga laúd para el OPO (Fig. 9), en el que se observan dos zonas importantes, en la parte norte del área de estudio aproximadamente entre 20°-35°N y 120°-140°O se encontró una de las zonas potencialmente importante para la tortuga laúd, mientras que en la parte sur se aprecia un cuadrante entre los 5°N-10°S y los 90°-100°O, cerca de las Islas Galápagos, que es otra zona importante para la presencia de tortuga laúd. Se aprecia que el hábitat potencial en la zona norte es más cercana a la costa mientras que en la parte sur el hábitat potencial se presenta menos costero.

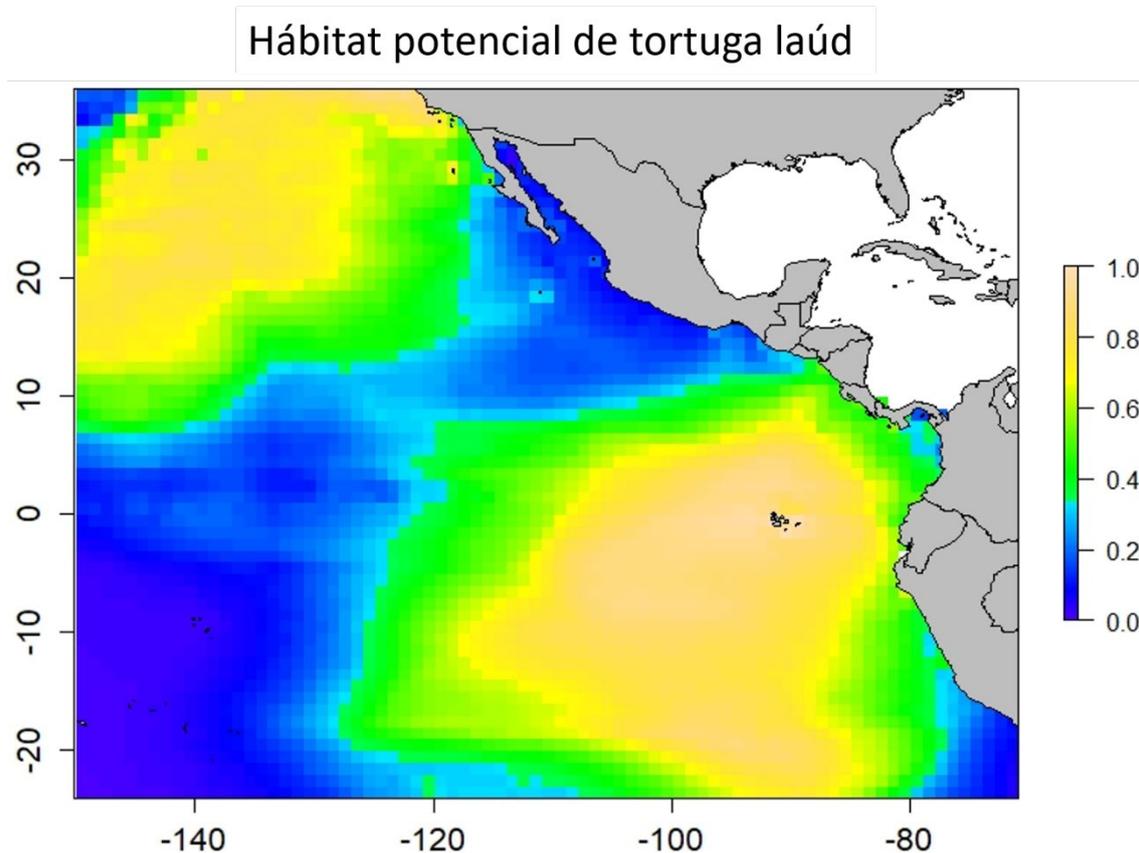


Figura 9. Mapa del hábitat potencial promedio de la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*).

9.5 Hábitat potencial mensual

La Figura 10 muestra el hábitat potencial mensual para la tortuga laúd, mediante el gradiente de probabilidad de ocurrencia, se observan movimientos

estacionales de la tortuga laúd a lo largo del año. Durante el mes de septiembre se observó que la probabilidad de ocurrencia de la tortuga laúd está dividida en dos zonas, una al norte de los 20°N, y otra al sur de los 10°S. La probabilidad de ocurrencia se encuentra alejada de la costa. Para el mes de octubre se aprecia un movimiento importante, lo que parece un desplazamiento y unión entre estas dos zonas, disminuyendo el valor de probabilidad de ocurrencia en el hemisferio norte y mientras que la zona en el hemisferio sur con mayor probabilidad de ocurrencia en zonas cercanas a la costa, incluyendo el área de Islas Galápagos.

Para noviembre la zona de probabilidad de ocurrencia se desplaza, es similar a la zona de probabilidad de ocurrencia de octubre, sin embargo, se aprecia un movimiento de manera clara, pues el valor de ocurrencia disminuye claramente en el hemisferio norte y aumenta en la zona sur cerca a la costa. El mes de diciembre existe un incremento en el valor de probabilidad de ocurrencia en la costa (>0.8).

El mes de enero sigue el mismo patrón de probabilidad de presencia en la parte sur, aunque se observa una separación de zonas, pero en la parte norte el valor de probabilidad de presencia disminuye considerablemente (<0.5). Para febrero la probabilidad de ocurrencia en la parte norte, disminuye mientras que en la parte sur surge un incremento, ampliando la zona de hábitat potencial de laúd incluyendo la costa norte de Perú y la costa sur de Ecuador. En el mes de marzo la probabilidad de ocurrencia en la parte norte baja (<0.5) mientras que la parte sur la probabilidad de ocurrencia se encuentra en las costas de Ecuador y Perú. Abril se mantiene semejante a marzo, ligeramente se aprecia un cambio en la separación de estas dos zonas, además de que Costa Rica y las Islas Galápagos siguen con valor de probabilidad de ocurrencia alto.

En el mes de mayo comienza un incremento de la probabilidad de ocurrencia en la zona norte, en la parte central comienza a incrementar la separación de las zonas. Para junio la separación de estas dos zonas es evidente, un aumento de probabilidad de ocurrencia de la tortuga en la parte norte, para la parte sur la probabilidad de ocurrencia de la tortuga en las costas de Perú permanece y además un incremento en la probabilidad (>0.8) evidente en la zona muy cercana a Islas Galápagos. Julio permite apreciar un cambio, en la zona norte aumenta

la probabilidad (>0.8) mientras que para la parte sur se aprecia un decremento además de la probabilidad de ocurrencia pareciera alejarse de la costa.

En agosto se mostró un ligero decremento en la zona norte, mientras que el movimiento de la zona de probabilidad de presencia de la tortuga laúd en la parte sur está presente en zonas costeras.

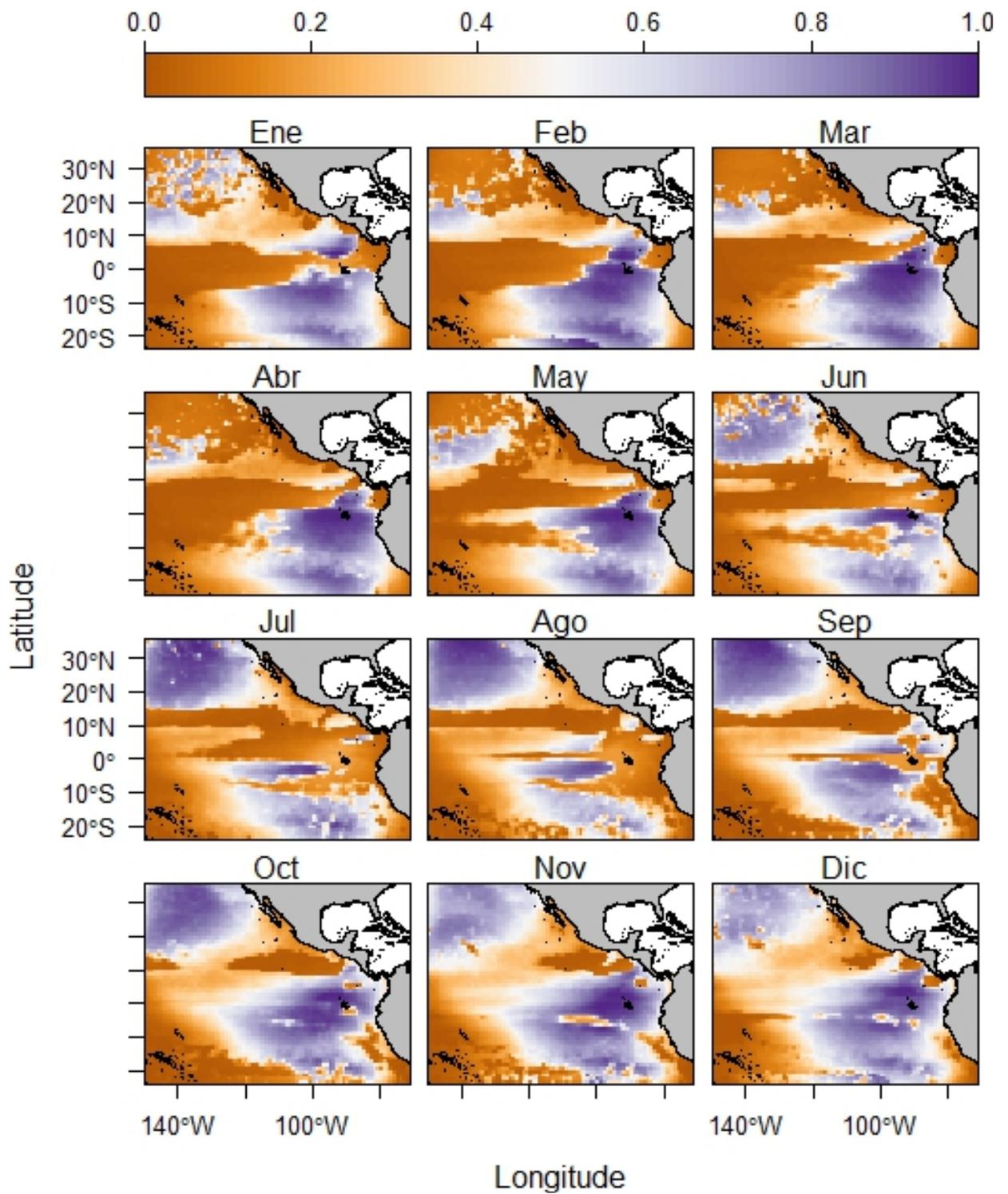


Figura 10. Mapas mensuales del hábitat potencial de la tortuga laúd. El gradiente del valor de predicción que va 0 a 1 con su respectivo color que va de un color café a azul.

10 Discusión

Con este ejercicio se logró enriquecer el conocimiento sobre la distribución de la tortuga laúd y tratar de llenar el gran vacío de información que existe con relación a la presencia de las tortugas marinas. Además, puede ser un parteaguas para proponer el uso de los MDE para futuras investigaciones en especies marinas, principalmente en aquellas que se encuentren en alguna situación crítica, cómo lo es el caso de la tortuga laúd que es la especie que se encuentra en un estado crítico en su extinción-conservación, ya que es uno de los primeros trabajos en los que se utilizan los MDE aplicados a la investigación de tortugas marinas en el OPO.

10.1 Ocurrencias de tortugas marinas

Esta información busca hacer más robusto el conocimiento existente sobre la distribución real. Apoyando las diferentes metodologías que intentan hacer la descripción de ésta y que se han llevado a cabo mediante estudios que están basados en sitios de anidación la cual se basa principalmente en los monitoreos sistemáticos y estandarizados de la abundancia en playas de anidación de la costa del OPO, al igual que análisis de stocks genéticos mitocondrial (mtDNA), stocks genéticos nuclear (nDNA), y las unidades de manejo regional (UMR) (Dutton *et al.*, 1999; Shillinger *et al.*, 2008). Con el apoyo del respaldo bibliográfico se buscó hacer que los MDE se conviertan en una herramienta para contribuir en los esfuerzos de conservación.

En la base de datos de las ocurrencias de tortuga laúd se aprecia una segmentación de los datos, teniendo dos grupos para toda la zona de estudio. Una primera parte concentrada entre 10° y 30° N y 120°-150°O y un segundo parche de datos concentrados entre 5°-25°N y 80°-120°O. En la parte central de la zona de estudio se mostró una zona sin ocurrencias de tortuga laúd.

Con solo los registros de presencia sería arriesgado decir que la CEN, que se encuentra presente en esta segmentación de los datos, sea la que produce algún efecto oceánico que influya en la distribución de la tortuga laúd, porque es conocido que existen movimientos de tortugas que atraviesan la CEN a lo largo del ciclo migratorio en busca de recursos o en algún momento de su etapa

migratoria (Shillinger *et al.*, 2008; 2011; Bailey *et al.*, 2012). Es por ello que los datos de las variables fueron útiles a la hora de construir el modelo y conocer si efectivamente existen condiciones que impidan este movimiento.

10.2 Medio ambiente

Para especies como la tortuga laúd, en la cual su migración abarca amplias áreas geográficas, las variaciones del hábitat son de suma importancia, así como los ligeros cambios de las variables ambientales, probablemente influyan en la distribución de la tortuga laúd. Debido a que el conocer rutas, implica considerar la supervivencia o cumplir con sus necesidades energéticas (IUCN-SSC, 2012; Wallace *et al.*, 2018).

La extensión del OPO es una gran masa de agua, mostrando variaciones interanuales poco drásticas. Esta variación fue comprobada estadísticamente para cada una de las variables ambientales, es por ello que la escala temporal de las capas de los factores ambientales utilizadas fue la integración de una muestra de 13 años, de los cuales se utilizó el promedio anual para llevar a cabo uno de los objetivos del trabajo de investigación.

El OPO tiene presentes masas de agua que son importantes para comprender la distribución de la especie, sin embargo, los efectos causados por montículos terrestres como islas son de gran importancia ya que, al entrar en contacto con las grandes masas de agua, el efecto y cambios en el hábitat son prolíferas para muchas especies, incluyendo la tortuga laúd.

De manera general se cuenta con una descripción ambiental adecuada para el área de estudio, mediante las variables consideradas en el área de estudio, además de ser respaldada por la literatura disponible.

Los valores de temperatura van desde los 14.08 °C para la parte más alejada del ecuador, en la parte norte del área de estudio incluida la costa de E.U.A. y paralelo a la costa de la Península de Baja California, las masas de agua llegan al ecuador en donde la temperatura se comienza a elevar (Godínez Lavín, & Kurczyn, 2010; Kurczyn *et al.*, 2012). El Ecuador es una zona en donde los giros y surgencias de agua provocan un cambio de temperatura con valores más

variados (Sloyan *et al.*, 2003; Kessler, 2006), sin embargo, se mantiene en temperaturas anuales promedio alrededor de los 24°C, (Fiedler & Talley, 2006).

Los promedios anuales de Chl-a y los de las anomalías del nivel del mar presentaron los valores más altos en todo lo largo de la costa del continente americano. Estas dos variables son asociadas zonas de alta concentración de productividad primaria.

Probablemente debido al área de territorio tan grande que se manejó para el proyecto, no es posible determinar variación específica de valores altos o zonas en las que se cuenta con una distinción de valores. Sin embargo, es posible apreciar que los valores más altos de la Chl-a están presentes en zonas determinadas de alimentación de laúd (Shillinger *et al.*, 2010, Degenford *et al.*, 2020), como son las costas de Perú y las costas de California en E.U.A., y aunque con pocos registros también se han reportado organismos en la costa de la Península de Baja California en México.

Con respecto a los valores de las ANM, el valor del promedio anual de los datos da como resultado un área muy cambiante, los valores menores se encuentran las zonas alejadas de la costa y alejadas del ecuador. Por el contrario, las zonas cercanas a la costa e islas oceánicas están asociadas a valores de ANM mayores, esta diferenciación sucede gracias a que en zonas donde se cuenta con los valores de la ANM, existen fenómenos como las surgencias de agua, presencia de giros de meso-escala y al movimiento de corrientes.

10.3 Modelación

Además de contribuir al conocimiento de la distribución de las especies, los resultados de los MDE abren la puerta a más investigaciones y a más enfoques alrededor de esta metodología. Y en los últimos años los MDE han sido implementados para diferentes especies marinas, provocando que estos sean más utilizados y ampliar el conocimiento de las especies marinas (Ferrier & Guisan 2006; Mateo, 2008).

La migración de la tortuga laúd no es del todo comprendida y existen muchas interrogantes en ese proceso, aunque es bien conocido que en todo el mundo realizan migraciones de miles de kilómetros. La falta de conocimiento existe

principalmente en cuestiones biológicas respecto a los machos de la especie o factores ambientales asociados a estas migraciones como, corrientes o algún otro indicador ambiental. Morreale *et al.* (1996) describieron los movimientos de las tortugas laúd del Océano Pacífico Oriental-Tropical, e identificaron un corredor migratorio persistente hacia el Sur desde el Parque Nacional Marino Ballena (PNMB) hacia las Islas Galápagos. Trabajos adicionales de marcado en una playa de anidación en Mexiquillo, México, a unos 965 km al norte de Costa Rica, revelaron que las tortugas laúd viajaban por rutas que compartían el mismo rumbo direccional y hábitats generales de alta mar en el Pacífico Suroriental que los recorridos por las tortugas costarricenses (Eckert & Sarti, 1997).

Estos corredores son reconocidos en la migración o patrones de movimientos posteriores a la anidación. Sin embargo, se desconocen el uso de hábitat de la especie en zonas de anidación, zonas de reproducción o zonas esenciales en sus movimientos migratorios, y son espacios que ocupa la especie, por lo que el conocimiento de estos es esencial para la conservación de esta población.

Los primeros resultados de esta investigación muestran el mapa del hábitat potencial promedio para el OPO, en donde se aprecia cerca de las Islas Galápagos una zona importante para la presencia de tortuga laúd. Información importante que complementa estudios anteriores de que es una zona prioritaria de conservación para esta especie, ya que cumple con características ambientales adecuadas a lo largo de todo el año. Las islas Galápagos está ubicado en la región de la corriente ecuatorial. La interacción que existe entre las islas con la CEC, además de subcorrientes de esta misma y de la CES tiene como resultado efectos ambientales, como las surgencias de agua. Estos efectos ambientales son conocidos como “efecto isla” y son generadores de ambientes únicos, ricos en alta productividad primaria y que se convierte en un hábitat idóneo para distintos organismos de zooplancton gelatinoso, que son las principales presas de la tortuga laúd. Estas características ambientales idóneas para la especie ayudan a proyectar zonas habitables o zonas de transición durante los miles de kilómetros que recorre la tortuga durante sus largas migraciones. Para la parte norte del área de estudio presenta una zona con las condiciones potencialmente idóneas entre los 20°-35°N y los 120°-140°O. Por la parte central, alejados de la costa, se aprecia que hay una zona que se puede

considerar de transición entre estas dos zonas de probabilidad de ocurrencia, y que puede representar una ruta migratoria que constantemente se encuentra con barreras naturales (corrientes, masas de agua, cambios irregulares ambientales), pero en los meses de octubre, noviembre y diciembre se pudiera tener las condiciones ideales para el paso de tortugas marinas.

La distancia a la costa es la variable con mayor influencia para la especie, hecho que se puede relacionar con diferentes factores, el más importante es atribuirle a que los datos de presencia representan en gran parte a tortugas hembras en movimientos postanidatorios. Degenford *et al.* (2020) reportan que la distribución de tortuga laúd es más costera en temporada de anidación. Con el presente estudio se confirmó que el hábitat potencial para la tortuga laúd, se encuentra relacionado con distancias desde los 100 km a la costa, aunque también se observa un pico de probabilidad de ocurrencia en aguas un poco más alejadas alrededor de 2000km; quizá esto se deba a que la base de datos incluye, probablemente hembras en etapa de anidación (cerca de la costa) y machos (lejos de la costa).

La TSM, ANM y Chl-a, son buenos indicadores de la distribución de la tortuga laúd (Schick *et al.*, 2013), la incorporación de otras variables sirve para mejorar el poder explicativo del modelo. En este experimento la distancia a la costa y distancia a islas oceánicas apoyaron para generar resultados más robustos, los efectos en las condiciones ambientales que generan las islas debido al choque de las grandes masas de agua.

Se encontró que el hábitat potencial idóneo de la tortuga laúd está asociado a temperaturas entre los 14 y 20° C, además, con una tolerancia hasta los 26° C, esto es justificable debido a la capacidad relativa que tiene para regular la temperatura corporal y tolerar bajas temperaturas del agua que se relaciona con el metabolismo de este reptil (Pritchard & Trebbau, 1984). Estas temperaturas se encuentran principalmente presentes estacionalmente en el área de estudio, en la zona cercana a Islas Galápagos, donde existe una mezcla de corrientes que llegan a través del giro del Pacífico Sur con la corriente de Perú. La distribución espacial de las hembras adultas está ligada con la isoterma de 15°C aproximadamente, en los últimos 17 años y como consecuencia del

calentamiento global, se ha observado un desplazamiento de esta isoterma, lo cual probablemente influya en el rango de distribución de la especie (McMahon y Hays, 2006).

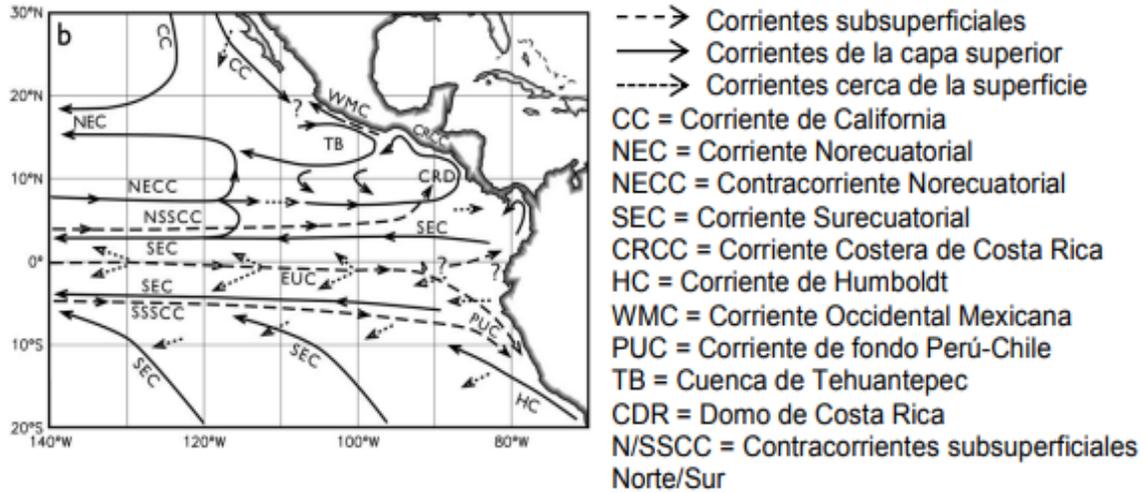


Figura 11. Muestra la circulación de las masas de agua en el OPO. Tomado de Kessler (2006).

La asociación de la tortuga laúd respecto a la distancia a islas oceánicas, DIGU y DIGA, describe una preferencia sobre la zona de DIGA, probablemente a aspectos ambientales que se han venido describiendo en este documento, recordando que la especie es asociada a variables ambientales favorables para cumplir su ciclo de vida como lo son la temperatura y la alta productividad primaria.

La tortuga laúd demostró una afinidad por concentraciones moderadas de Chl-a, aunque el mayor afloramiento se encuentra cerca de la costa y los bajos niveles se encuentran lejanos del territorio costero (Saba *et al.*, 2008). Willis-Norton *et al.* (2015) asociaron a la tortuga laúd a concentraciones bajas de Chl-a debido a su movimiento hacia aguas oligotróficas dentro del giro subtropical del Pacífico Sur. De manera opuesta Degenford *et al.* (2020) asociaron la presencia de la especie a valores relativamente altos (1-11 mg/m³) y principalmente en zonas de fuertes afloramientos. En estas zonas los sedimentos son típicamente ricos en materia orgánica. Con nuestros resultados se corrobora la preferencia de la tortuga laúd por ambientes pelágicos (Wallace *et al.*, 2018) y sugieren que esta especie, si bien habita en aguas oceánicas,

puede presentar cierta afinidad por algunas estructuras oceánicas como frentes térmicos y remolinos, los cuales son capaces de concentrar algunas especies de zooplancton, el cual sirve como alimento a esta tortuga.

En cuanto a las ANM, la curva de respuesta describe que la preferencia de hábitat de la tortuga laúd se encuentra en aguas que van de 0 a 50 cm, es por ello que la probabilidad de encontrar individuos de laúd es mayor en aguas que van en ese rango, debido a que a partir de los 50 cm la respuesta comenzó a descender drásticamente. Las alturas del nivel del mar bajas están asociadas a la parte fría de una estructura oceánica (Zainuddin *et al.*, 2017), lo cual sugiere nuevamente que la tortuga laúd prefiere habitar en zonas de productividad moderada y aguas templadas.

10.4 Predicción mensual

La gran mayoría de patrones de movimientos de telemetría satelital muestran resultados restringidos a pequeñas zonas de interanidación costera discretas (Shillinguer *et al.*, 2010) durante periodos relativamente cortos, con máximos de algunos meses (diciembre y enero). Algunas otras zonas descritas para tortugas en el OPO son zonas pelágicas en el giro del Pacífico Sur, que se atribuyen a periodos de dispersión (migración y búsqueda de alimento) (Shillinguer *et al.*, 2011).

Con la modelación mensual es mucho más fácil apreciar el movimiento estacional en donde se encuentran las condiciones favorables, que se convierten en corredores migratorios de esta especie, esa migración es asociada a las condiciones idóneas, pero además a la productividad primaria y la distribución de recursos alimenticios.

De manera estacional la tortuga laúd cumple su etapa reproductiva y esta coincide con la estación cálida- húmeda de las distintas playas de anidación. El inicio de la temporada de anidación de las tortugas del OPO comienza entre septiembre y octubre. En estos meses la predicción del hábitat muestra que las condiciones favorables para la presencia de tortuga laúd se encuentran en zonas cercanas a la costa, lo que significa son condiciones adecuadas para el arribo a las playas de anidación y estancia internidada cercanas a la costa, movimiento

que coincide con el área geográfica de las playas índices (México, Nicaragua y Costa Rica) que son las playas que históricamente registran mayor número de nidos. Además, también coinciden con el inicio del otoño, es en esta época, en la parte sur del área de estudio, que encontramos la Corriente de California, transportando aguas frías y ricas en nutrientes y que fluye de norte a sur. Este movimiento de la corriente de California se extiende durante el invierno más allá de la Península de Baja California.

Los mapas de predicción de hábitat muestran la permanencia de condiciones ambientales idóneas de la especie en los sitios registrados como sitios de anidación desde octubre hasta febrero, que corresponde al periodo registrado como temporada de anidación con los mismos meses. De manera gradual desde Costa Rica hasta llegar los meses de invierno en los que se ve este desplazamiento del hábitat potencial hasta la costa del sur de México. Es en esta zona, en el Golfo de Tehuantepec que, durante los meses de octubre y abril, se presentan los eventos llamados tehuanos, cuando hay un transporte de aguas costeras hacia mar abierto generando una mezcla de propiedades oceánicas. También existe interacción de la corriente CNE que llega hasta el domo de Costa Rica. Los chorros de viento de Tehuantepec provocan surgencias en el norte del domo de Costa Rica lo que hace que su centro se amplíe, dando como resultado de su conexión con isotermas de 20° (Kessler, 2006; Trasviña *et al.*, 2003). Los picos de anidación están presentes en diciembre y enero y esta idoneidad de hábitat se mantiene cercana a la costa en estas mismas zonas en las que las playas índices están presentes. El mapa de hábitat potencial muestra un movimiento evidente de la probabilidad de presencia a partir de febrero. Está reportado que para los primeros meses del año esta conexión tiende a alargarse hacia el oeste, al cambiar las condiciones ambientales (Kessler, 2006).

El mapa de febrero muestra un movimiento de las condiciones ambientales idóneas alejándose de la costa, condiciones acopladas con la finalización de la época de anidación en la costa del OPO. Los mapas de marzo, abril y mayo muestran las condiciones idóneas en el sur del área de estudio alrededor de las Islas Galápagos y las costas de Perú en donde se tiene registrado que es una zona de presencias frecuentes debido a que es un área de alimentación de la tortuga laúd. La variación de la temperatura en el agua tiene un impacto en la dinámica

del océano en la zona del domo de Costa Rica y el golfo de Tehuantepec, para los meses de marzo (primavera-verano), las temperaturas son más cálidas que en septiembre (otoño-invierno). Esta variación también tiene implicaciones en cuanto a la precipitación de la zona, además cuando está comenzando un cambio en condiciones con un valor medio, se ve reflejado en la predicción de la probabilidad de presencia de la tortuga laúd.

Degenford *et al.* (2020) reportaron una distribución de laúd en latitudes del ecuador hasta aguas que colindan con México para los meses de diciembre a febrero. Esto coincidiendo con los rangos de temperatura de las masas de agua favorables para la especie en el domo de Costa Rica y el Golfo de Tehuantepec. Mientras que en los meses de julio a agosto hacen predicciones de presencia de tortuga laúd en la cordillera del ecuador. Mencionan que en la parte costera, desde Ecuador a Perú, hay zonas con alto pronóstico de presencia de tortuga laúd. Nuestro estudio demuestra que existe evidencia contrastante de mayor probabilidad de presencia en zonas costeras en comparación con información previamente registrada de movimientos mayormente oceánicos (Morreale *et al.*, 1996; Kessler, 2006; Schick *et al.*, 2013; Shillinger *et al.*, 2008; Shillinger *et al.*, 2011).

Para los meses de junio, julio y agosto se aprecia un movimiento hacia una separación de dos zonas en donde encontramos el hábitat potencial promedio, existiendo dos zonas importantes con un aumento de probabilidad de ocurrencia de la tortuga laúd para el área de estudio, lo que podría evidenciar que durante estos meses las tortugas estén realizando movimientos a lo largo del OPO. Sin embargo, existe una separación debido a condiciones ambientales no favorables para la especie. Finalmente hay que reiterar cómo el mapa, para el mes de agosto parece cerrar y al mismo tiempo abrir nuevamente el ciclo, existiendo un ligero decremento en la zona norte, mientras que el movimiento de la zona sur parece moverse a la costa, a las zonas importantes para la anidación de la tortuga laúd de México hasta Costa Rica.

El área de estudio es una zona donde se encuentran presentes las rutas migratorias de esta especie, que dependen de distintas características oceanográficas y con variaciones espacio-temporales. Las corrientes de

California, Norecuatorial, Surecuatorial y la de Perú tienen una gran importancia en esta ruta migratoria.

11 Conclusiones

- Este ejercicio logró aumentar el conocimiento en la distribución de la tortuga laúd en el OPO, demostrando los modelos de distribución de especies funcionan para predecir áreas idóneas de presencia de la tortuga laúd y, además, encontrando una variación mensual en esta distribución.
- El modelo MaxEnt mostró un rendimiento bueno para la identificación de los patrones migratorios de la tortuga laúd en OPO, a partir de las ocurrencias de la tortuga y los datos ambientales.
- La distancia a la línea de costa es una variable derivada con mucha influencia sobre la presencia de la tortuga laúd. La temperatura superficial del mar, la distancia a islas oceánicas, la anomalía del nivel del mar y la Clorofila-a resultaron ser variables adecuadas que contribuyen para la predicción de la presencia de la tortuga laúd.
- Las preferencias ambientales de la tortuga laúd son descritas con una temperatura de los 14° a 20°, la clorofila-a en concentraciones moderadas demuestra la presencia de la tortuga, con anomalías del nivel del mar que van de 0 a 50 cm. Mientras que las distancias nos muestran una preferencia cercana a la parte central del área de estudio cerca de las islas Galápagos con afinidad a esta zona entre 100 y 2,000 km. Por el contrario, se encontró una preferencia en aguas alejadas a Isla Guadalupe entre los 3,500, y 4000 km de distancia. El valor de predicción más alto de distancia a la costa fue para 1,800 km.
- La modelación anual promedio mostró una segmentación de la presencia de zonas importantes con alta probabilidad de presencia de tortuga laúd. Una en la costa del estado de California, E.U.A, y otra cerca de las Islas Galápagos.
- Los meses de octubre a marzo indican una mayor probabilidad de ocurrencia de la tortuga laúd bien definida en aguas oceánicas desde el sur de México hasta Perú. Mientras que de abril a septiembre la probabilidad de presencia de la tortuga laúd se encuentra en movimiento a lo largo del área de estudio hasta el punto de tener dos zonas que

cumplen con las características ambientales idóneas para contar con la presencia de la tortuga laúd.

- Las investigaciones que emplean los modelos de distribución de especies alimentados con datos de acceso libre son accesibles económicamente, por lo que este proyecto resalta la importancia de su utilización en el seguimiento de especies con estrategias migratorias, por lo que puede ser de gran utilidad y de gran soporte en futuras investigaciones que contribuyan al manejo y conservación de ésta y otras especies de tortugas marinas.

12 Recomendaciones

- Este trabajo de investigación demostró la capacidad significativa de predicción de áreas abióticamente idóneas para la tortuga laúd utilizando variables ambientales. Se recomienda adicionar variables para ayudar a aumentar el valor de predicción. Entre ellas las corrientes geográficas.
- Se recomienda buscar el apoyo con organizaciones dedicadas al seguimiento de tortugas mediante rastreadores satelitales, para el acceso a datos, ya que podría aumentar la robustez de los modelos de distribución de especies.
- Además, fomentar investigaciones interdisciplinarias para tener disponibilidad a bases de datos de mayor resolución espacial para llegar a obtener predicciones concentradas a distintas zonas dirigidas.

13 Bibliografía

- Alfaro-Shigueto, J., Dutton, P. H., Van Bresseem, M., & Mangel, J. (2007). Interactions between leatherback turtles and Peruvian artisanal fisheries. *Chelon. Conserv. Biol.*, 1: 129-134.
- Anonymous, 2002. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission 2000: 171 pp.
- Bell, B. A., Spotila, J., Paladino, F., & Reina, R. (2003). Low reproductive success of leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, is due to high embryonic mortality. *Biol. Conserv.*, 115: 131-138.
- Bjorndal, K. A. (1997) Foraging ecology and nutrition of sea turtles. In *The Biology of Sea Turtles*. Eds P. L. Lutz, J. A. Musick. Boca Raton, Florida, CRC Press. pp 199-231
- Bowen, B. W. & Karl, S. A. (2007). Population genetics and phylogeography of sea turtles. *Mol. Ecol.*, 16: 4886-4907.
- Casale, P., Nicolosi, P., Freggi, D., Turchetto, M., & Argano, R. (2003). Leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) in Italy and in the Mediterranean basin. *Herpetol. J.*, 13: 135-139.
- Chan, E. H. & Solomon, S. E. (1989). The structure and function of the eggshell of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) from Malaysia, with notes on attached fungal forms. *Anim. Technol.*, 40: 91-102.
- Cianfrani, C., Maiorano, L., Loy, A., Kranz, A., Lehmann, A., Maggini, R. & Guisan, A. (2013) There and back again? Combining habitat suitability modelling and connectivity analyses to assess a potential return of the otter to Switzerland. *Animal Conservation*, doi: 10.1111/acv.12033.
- Deraniyagala, P. E. P. (1930). Testudinate evolution. *Proc. Zool. Soc. Lond.* 68: 1057–1070.
- Dutton, P.H., Bowen, B.W., Owens, D.W., Barragan, A., & Davis, S.K. (1999). Global phylogeography of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*). *Journal of Zoology*, 248, 397-409.
- Dutton, P.H., Roden, S.E., Stewart, K.R., LaCasella, E., Tiwari, M., Formia, A., & Allman, P. (2013). Population stock structure of leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) in the Atlantic revealed using mtDNA and microsatellite markers. *Conservation Genetics*, 14, 625–636.

- Eckert, S. A. (1999). Global distribution of juvenile leatherback sea turtles. Hubbs-SeaWorld Research Institute Tech. Rept. 99-294:1-13.
- Eckert, S. A., K. L. Eckert, P. Ponganis & G. L. Kooyman. (1989). Diving and foraging behavior of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*). Canadian Journal of Zoology 67:2834-2840.
- Eckert, S.A., Bagley, D., Kubis, S., Ehrhart, L., Johnson, C., Stewart, K., DeFreese, D., (2006). Internesting and Postnesting movements and foraging habitats of leatherback Sea turtles (*Dermochelys coriacea*) nesting in Florida. Chelonian Conserv.
- Elith J., C.H. Graham, R.P. Anderson, M. Dudík, & S. Ferrier (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography 29: 129-151
- Elith, J. & Leathwick, J.R., (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 40: 677-697.
- Ferrier S. & A. Guisan (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. Journal of Applied Ecology 43: 393-404.
- Fiedler, P. C. & Talley, L. D. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. Progress in Oceanography, 69, 143–180. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.008>
- Foody G.M. (2008). GIS: Biodiversity applications. Progress in Physical Geography 32: 223-235.
- Franklin, J. (2009). Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Franklin, J. (2010). Mapping species distribution: spatial inference and prediction. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Franklin K. (1995) Predictive vegetation mapping: Geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. Progress in Physical Geography 19: 474-499.
- Godley, B. J., Thompson, D. R., Waldron, S., & Furness, R. W. (1998). The trophic status of marine turtles as determined by stable isotope analysis. Mar. Ecol. Prog. Ser., 166: 277-284.

- Godínez, V. M., Beier, E., Lavin, M. F., & Kurczyn, J. A. (2010). Circulation at the entrance of the Gulf of California from satellite altimeter and hydrographic data. *Journal of Geophysical Research*, 115(C04007), 1–15.
- Greer, A.E., Lazell, J.D., & Wright, R.M. (1973). Anatomical evidence for a counter-current heat exchanger in the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*). *Nature* 244, 181.
- Guisan A. & N.E. Zimmermail (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Hays, G. C., Houghton, J. D. R., & Myers, A. E. (2004). Endangered species - Pan-Atlantic leatherback turtle movements. *Nature*, 429: 522-522.
- Hawkes, L. A., A. C. Broderick, M. H. Godfrey, & B. J. Godley. (2009). Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research* 7: 137–154.
- Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick J. & Elith, J. (2017). Species Distribution Modeling. R package version 1.1-4. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>
- Houghton, J.D.R., Doyle, T.K., Wilson, M.W., Davenport, J., & Hays, G.C., (2006). Jellyfish aggregations and leatherback turtle foraging patterns in a temperate coastal environment. *Ecology* 87, 1967–1972.
- Houghton, J.D.R., T. K. Doyle, J. Davenport, R. P. Wilson, & G. C. Hays. (2008). The role of infrequent and extraordinary deep dives in leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*). *Journal of Experimental Biology* 211: 2566–2575.
- Hughes, G. R., Luschi, P, Mencacci, R., & Papi, F. (1998). The 7000-km oceanic journey of a leatherback turtle tracked by satellite. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 229: 209-217.
- James, M. C., Eckert, S. A., & Myers, R. A. (2005). Migratory and reproductive movements of male leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*). *Mar. Biol.*, 147: 845-853.
- James, M. C., Ottensmeyer, C. A., & Myers, R. A. (2005). Identification of high-use habitat and threats to leatherback sea turtles in northern waters: new directions for conservation. *Ecol. Lett.*, 8: 195-201.
- Jiménez-Valverde, A., Lobo, J. M., & Hortal, J. (2008). Not as good as they seem: The importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 14(6), 885–890. doi: 10.1111/j.1472- 4642.2008.00496.x

- Kessler, W.S., (2006). The circulation of the eastern tropical Pacific: a review. *Progress in Oceanography* 69 (2–4), 181–217.
- Kurczyn, J. A., Beier, E., Lavín, M. F., & Chaigneau, A. (2012). Meso-scale eddies in the northeastern Pacific tropical-subtropical transition zone: Statistical characterization from satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research*, 117(c10021), 17. <https://doi.org/10.1029/2012JC007970>
- Laird, N.P., (1971). Panama Basin deep-water: properties and circulation. *Journal of Marine Research* 29, 226–234
- López-Rivas, M. (2016). Ecología de la nidificación, conservación y amenazas de la tortuga laúd *Dermochelys coriacea*, en Pacuare Nature Reserve, Costa Rica.
- Marín-Togo, M. C., Monterrubio-Rico, T. C., Renton, K., Rubio-Rocha, Y., Macías-Caballero, C., OrtegaRodríguez, J. M. & Cancino-Murillo, R. (2012). Reduced current distribution of Psittacidae on the Mexican Pacific coast: potential impacts of habitat loss and capture for trade. *Biodiversity and Conservation*, 21, 451-473.
- Marín-Enríquez, E., Seoane, J., Muhlia-Melo, A. (2018). Environmental modeling of occurrence of dolphinfish (*Coryphaena spp.*) in the Pacific Ocean off Mexico reveals seasonality in abundance, hotspots and migration patterns. *Fish Ocean*. 27(1): 28 – 40.
- Mast, R. B. & Pritchard, P. C. H. (2006). The top ten burning issues in global sea turtle conservation. Pp. 12-13. En: *State of the World's Sea Turtles*, vol I. Washington, DC, USA. www.SeaTurtleStatus.org
- Mateo R.G. (2008). Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Mateo, R.G., Felicísimo A.M. & Muñoz J., (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología)*. Serie Ecología. 5 (1): 137-153
- McMahon, C. R., & Hays, G. C. (2006). Thermal niche, large-scale movements and implications of climate change for a critically endangered marine vertebrate. *Glob. Change Biol.*, 12: 1330- 1338.
- Morgan, P. J. (1989). Occurrence of leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) in the British Islands in 1988 with reference to a record specimen, p.119-

120. En: S. A. Eckert, K. L. Eckert, y T. H. Richardson (Compiladores), Proc. 9th Annual Conference on Sea Turtle Conservation and Biology. NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFC-232. U. S. Department of Commerce.
- Owens, H., Bentley, A. & Peterson, A.T. (2012) Predicting suitable environments and potential occurrences for coelacanths (*Latimeria spp.*). *Biodiversity Conservation*, 21: 577-587.
- Patino-Martínez, J., Marco, A., & Quiñones, L. (2008). The importance of the substrate quality for the embryonic development of leatherback eggs. En: *Proceedings of the 28th International Sea Turtle Symposium*, Loreto, Baja California Sur, Mexico.
- Patino-Martinez, J., Marco, A., Quiñones, L., & Hawkes, L. (2014). The potential future influence of sea level rise on leatherback turtle nests. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 461, 116e123.
- Phillips, S.J., R.P Anderson & R.E. Schapire. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231–259.
- Price, E.R., Wallace, B.P., Reina, R.D., Spotila, J.R., Paladino, F.V., Piedra, R., & Velez, E. (2006). Size, growth, and reproductive output of adult female leatherback turtles *Dermochelys coriacea*. *Endangered Species Research*, 1, 41-48.
- Pritchard, P. C. H. (1976). Post-nesting movements of marine turtles tagged. *Copeia* 1976: 749- 754.
- Pritchard, P. C. H. (1980). *Dermochelys coriacea*. *Catalog of American amphibians and reptiles* 238:1-4.
- Pritchard, P. C. H. & P. Trebbau. (1984). *The Turtles of Venezuela*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, *Contrib. Herpetol.* No. 2.
- R Core Team. (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria.
- Rhodin, A. G. J. & H. M. Smith. (1982). The original authorship and type specimen of *Dermochelys coriacea*. *J. Herpetol.* 16:316-317.
- Rushton S.P., S.J. Ormerod & G. Kerby. (2004). New paradigms for modelling species distributions? *Journal of Applied Ecology* 41: 193-200.
- Saba, V. S., Spotila, J. R., Chavez, F. P., & Musick, J. A. (2008). Bottom-up and climatic forcing on the worldwide population of leatherback turtles. *Ecology*, 89: 1414-1427.

- Santidrián-Tomillo, P., Vélz E., Reina R.D., Piedra R., & Paladino F.V. (2007) Reassessment of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) nesting 26 population at Parque Nacional Marino Las Baulas, Costa Rica: effects of conservation efforts. *Chelonian Conservation and Biology* 6:54-62.
- Sarti-Martínez, A. L. (2004). Situación actual de la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) en el Pacífico Mexicano y medidas para su recuperación y conservación. 17
- Sarti-Martínez, L. (2009). *Dermochelys coriacea*. En: IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1.
- Sarti-Martínez, L, Barragán A.R., Muñoz D.G., García N. & Huerta P. (2007) Conservation and biology of the leatherback turtle in the Mexican Pacific. *Chelonian Conservation and Biology* 6:70-78.
- Seminoff, J. A. & Shanker, K. (2008). Marine turtles and IUCN Red Listing: A review of the process, the pitfalls, and novel assessment approaches. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 356: 52-68.
- Soberón, J. & Peterson, A.T. (2005). Interpretation of models of fundamental Ecological niches and species 'distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1– 10.
- Sloyan, B.M., Johnson, G.C., & Kessler, W.S. (2003). The Pacific cold tongue: a pathway for interhemispheric exchange. *Journal of Physical Oceanography* 33, 1027–1043.
- Spotila, J. R., Dunham, A. E., Leslie, A. J., Steyermark, A. C., Plotkin, P. T., Paladino, F. V. (1996). Worldwide population decline of *Dermochelys coriacea*: Are Leatherback Turtles going extinct? *Chelon. Conserv. Biol.*, 2: 209-222.
- Spotila, J. R., Reina, R. D., Steyermark, A. C., Plotkin, P. T., & Paladino, F. V. (2000). Pacific leatherback turtles face extinction: Fisheries can help avert the alarming decline in population of these ancient reptiles. *Nature*, 405: 529-530.
- Stockwell D. & Peters D. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 13:143–58.
- Thuiller, W., Richardson, D.M., Pysek, P., Midgley, G.F., Hughes, G.O. and Rouget, M. (2005) Nichebased modelling as a tool for predicting the risk of

- alien plant invasions at a global scale. *Global Change Biology*, 11: 2234–2250.
- Turtle Expert Working Group (2007). An Assessment of the Leatherback Turtle Population in the Atlantic Ocean. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-555. 116 pp.
- Trasviña, A., & Barton, E. D. (2008). Summer circulation in the Mexican tropical Pacific. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55, 587–607. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2008.02.002>.
- Trasviña, A., Barton, E. D., Vélez, H. S., & Brown, J. (2003). Frontal subduction of a cool surface water mass in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica Internacional*, 42, 101–114.
- Troëng, S., Harrison, E., Evans, D., de Haro, A., & Vargas, E. (2007). Leatherback turtle nesting trends and threats at Tortuguero, Costa Rica. *Chelon. Conserv. Biol.*, 6: 117-122.
- Urcádiz, F. J., Cruz-Escalona, V. H., Peterson, M. S., Gonz, F., Martínez-flores, G., Aguilar-medrano, R., Pino-machado, A. Del, Hern, G. H., & Ortega-Rubio, A. (2021). Ecological niche modelling of endemic fish within La Paz Bay: Implications for conservation. 60 (February). <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.125981>
- Urteaga JR & Chacon D (2007) Nesting activity and conservation of leatherback (*Dermochelys coriacea*) sea turtles, in the Rio Escalante-Chacocente Wildlife Refuge, Pacific coast of Nicaragua. In: Mast, R.B., B.J. Hutchinson, A.H. Hutchinson (Comps.), *Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-567. pp.157-158.
- Wallace B, Lewison R, McDonald S, McDonald R, & Kot C., (2010) Global patterns of marine turtle bycatch. *Conservation Letters* 3:131-142.
- Wallace, B.P., Tiwari, M., & Girondot, M. (2013). *Dermochelys coriacea* (East Pacific Ocean Subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.1
- Webber, B.L., Yates, C.J., LeMaitre, D.C., Scott, J.K., Kriticos, D.J., Ota, N., McNeill, A., LeRoux, J.J. & Midgley, G. F. (2011) Modelling horses for novel climate courses: insights from projecting potential distributions of native and

alien Australian acacias with correlative and mechanistic models. *Diversity and Distributions*, 17: 97-1000.

Wilson K.A., M.I. Westphal, H.P. Possingham & J. Elith. (2005.) Sensitivity of conservation planning to different approaches to using predicted species distribution data. *Biological Conservation* 122: 99-112.

Wyrski, K., (1966). Oceanography of the eastern equatorial Pacific Ocean. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 4, 33–68.