

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Facultad de Ingeniería

TESIS

“Distribución potencial actual del dorado (*Coryphaena hippurus*) en el ecosistema pelágico de la costa del Pacífico Mexicano”

Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos

Presenta:

Manuel Alejandro Ruiz Mayorga

DIRECTORA

DRA. TAMARA M. RIOJA PARADELA
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

CO-DIRECTOR

DR. ARTURO CARRILLO REYES
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

Asesores

Leonel Santizo López
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

Francisco Javier López Rasgado
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Enero de 2024



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Facultad de Ingeniería

TESIS

“Distribución potencial actual del dorado (*Coryphaena hippurus*) en el ecosistema pelágico de la costa del Pacífico Mexicano”

Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos

Presenta:

Manuel Alejandro Ruiz Mayorga

DIRECTORA

DRA. TAMARA M. RIOJA PARADELA
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

CO-DIRECTOR

DR. ARTURO CARRILLO REYES
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

Asesores Internos

M.C Leonel Santizo López
DR. Francisco Javier López Rasgado

Asesores Externos

DRA. María Elena Torres Olave
DR. Eduardo Estanislao Espinoza
Medinilla



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Enero de 2024



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 15 de enero de 2024
Oficio No. SA/DIP/0032/2024
Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Manuel Alejandro Ruiz Mayorga
CVU: 1189803
Candidato al Grado de Maestro en Ciencias en
Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos
Facultad de Ingeniería
UNICACH
Presente

Con fundamento en la opinión favorable emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado *Distribución potencial del dorado (Coryphaena hippurus)* en el ecosistema pelágico de la costa del Pacífico Mexicano cuya Directora de tesis es la Dra. Tamara Mila Rioja Paradelá (CVU: 101119) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo autoriza la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento impreso, así como realizar la entrega en esta Dirección de un ejemplar empastado.

Atentamente
"Por la Cultura de mi Raza"

Dra. Carolina Orantes García
Directora



C.c.p. Ing. Mónica Catalina Cisneros Ramos, Directora de la Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Dr. Arturo Carrillo Reyes, Coordinador del Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Archivo/minutario.

RJAG/COG/igp/gr

2024 Año de Felipe Carrillo Puerto
BENEMÉRITO DEL PROLETARIADO,
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL MAYAB.



Dirección de Investigación y Posgrado
Libramiento Norte Poniente 1550 C.P. 29039
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Teléfono: (961) 61 70440 Ext: 4360
investigacionyposgrado@unicach.mx

DEDICATORIA

Este trabajo tiene muchas dedicatorias y agradecimientos, pero va especialmente dedicado a seres que, aunque ya no estén conmigo, sé que estarían contentos y orgullosos por lo que he logrado.

Este trabajo está dedicado especialmente a Gaspar Mayorga Ruiz y Flor de María Chanona Trujillo (abuelitos) y para Peluche (mi perrijo). Gracias por formar parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis papás Miguel Ángel Ruiz Espinosa y Julia María de Lourdes Mayorga Chanona, por apoyarme en todos los aspectos en todas las etapas de mi vida, que en esta no fue la excepción. También les agradezco por dejarme estudiar lo que más me gustaba, que, desde mis 4 años por un viaje al acuario de Veracruz, me iba a enamorar de la Biología Marina. Realmente no sé si me alcanzará una vida para poder agradecerles todo lo que han hecho por mí.

Es un agradecimiento especial a Don Gas (mi abuelito), fueron 6 años que te pude disfrutar, y todavía puedo recordar los maravillosos momentos que tuve contigo. A la fecha de hoy sé que sigues viendo los pasos que voy dando, y siempre vivirás en mis recuerdos y eso te hará eterno para mí. Gracias por ser mi abuelito.

Agradecimiento especial a Doña Flor (mi abuelita), ya no me pudiste ver titulado de la maestría, pero sé que me dirías que estás muy feliz por mí. Me hubiera encantado haber celebrado con el cochito guisado que tanto me encantaba que preparabas. Gracias por darme unos centavitos para lo que se me antojara comprar en la universidad. Gracias por haber sido la primera persona en escucharme como me fue en mi servicio social. Gracias por ser mi abuelita.

Agradecimiento especial para Peluche (mi perrijo). Todavía me acuerdo la primera vez que entraste a la casa, no supe si eras mío o no, pero cuando me dijeron es tuyo y me preguntaron, ¿cómo lo vas a llamar?, ni lo pensé dos veces en llamarte así, eras un cachorrito y parecías uno. Has sido el mejor regalo que me han dado en toda mi vida, y puede que, a los 11 años, no tenía la madurez para poder cuidarte, pero desde la primera vez que te vi, te amé (lo sigo haciendo). Gracias por desvelarte conmigo cuando tenía que entregar proyecto de la dra. Tamara para el siguiente día. Gracias por ser mi perrijo.

Agradezco a mis hermanos Miguel Ángel y Mario Andrés por haber cuidado y protegido en el momento que ustedes pudieron, pero les agradezco más por haber compartido varios momentos maravillosos juntos. A veces me avergüenza decirlo, pero gracias por ser mis hermanos.

Agradezco a mi novia Jennifer Alejandra Sáez Cruz por estar en este proceso de mi vida, gracias por haber estado en los días más difíciles para apoyarme y animarme. Gracias por demostrarme que vas a estar en cualquier momento de mi vida ya sean buenos o malos, y por seguirme demostrando ese amor que me tienes. Gracias por ser mi novia.

!!!!GRACIAS TOTALES!!!!

RESUMEN

Las actividades antropogénicas, sin respeto hacia las demás especies, han derivado en un acelerado calentamiento global, que según las estimaciones está elevando la temperatura media de la atmósfera terrestre y de los océanos. Las temperaturas de la superficie del planeta aumentan a gran ritmo. Ello, junto con el mal manejo de las actividades productivas, tales como la sobrepesca, y la contaminación de los océanos a partir de plásticos y combustibles, han afectado negativamente la distribución y dinámicas poblacionales de muchas especies de peces marinos. Una de las especies importantes en el ecosistema pelágico mexicano es el Dorado (*C. hippurus*), ya que es uno de los principales depredadores, controlando la población de peces herbívoros en este ecosistema y manteniendo en equilibrio a la trama alimenticia; la eliminación de este pez puede producir un desequilibrio de tipo “top-down”. La presente investigación modeló por primera vez la distribución potencial actual del Dorado (*C. hippurus*) a lo largo de toda la costa del Pacífico Mexicano. Para ello se utilizó el algoritmo de MaxEnt (Máxima Entropía), contrastando los factores ecológicos y climáticos con las presencias de la especie, a partir de los registros dados por bases de datos científicas como SNIB-CONABIO y Gbif. Los resultados sugieren que el Dorado (*C. hippurus*) se distribuye a lo largo de toda la costa del Pacífico Mexicano, ampliando el área de distribución anteriormente reportada en la literatura científica. Las tres variables que más contribuyeron a explicar el modelo de distribución potencial del Dorado (*C. hippurus*) fueron la temperatura máxima a mínima rofundidad, la temperatura mínima a media profundidad, y el nitrato con un rango a máxima profundidad.

Palabras clave: manejo sustentable, modelado, peces, sistema de información geográfica.

ABSTRACT

The anthropogenic activities, being unrespectful to other species, have been making global warming increase rapidly, and thus average temperature atmosphere and oceans are highly presented, according to some estimations. The surface's temperature of Earth is rising surprisingly. Moreover, nationwide domestic activities such as overfishing, tourism, and pollution by plastic and combustible substances, have been afflicting, in negative way, the distribution and population dynamic of many fishes as well. One of the important species from the sea ecosystem is the dolphinfish or mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*), main predator that controls herbivorous fish population, and keeps the ecological balance of the food chain. The disappearing of the dolphinfish might generate a top-down class instability. The current research pretends to scan the ongoing population of dolphinfish (*C. hippurus*) all along the coast of the Mexican Pacific Ocean. The MaxEnt (Maximum Entropy) algorithm will be used for that exploration, contrasting ecological and climatic factors, based on previous data collected from scientific information of SNIB-CONABIO (Nationwide Information System on Biodiversity - National Committee for Use and Knowledge of Biodiversity) and GBIF. The results suggest that the Dorado (*C. hippurus*) is distributed along the entire Mexican Pacific Coast, expanding the area of distribution previously reported in the scientific literature. The three variables that contributed the most to explain the potential distribution model of the Dorado (*C. hippurus*) were the maximum temperature at minimum depth, the minimum temperature at medium depth, and nitrate with a range at maximum depth.

Key words: sustainable management, modeling, fishes, geographic information systems.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
JUSTIFICACIÓN	17
MARCO TEÓRICO	18
Conservación Biológica	18
Ecosistema pelágico	20
Pez Dorado (<i>C. hippurus</i>)	21
Nicho Ecológico	24
Distribución	25
Sistemas de Información Geográfica (SIG)	26
MAXENT	27
Ámbito hogareño	27
ANTECEDENTES	29
Internacional	29
Nacional	30
OBJETIVO GENERAL	32
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
HIPÓTESIS	32
MÉTODOS	33
Área de estudio	33
Base de Datos	34
Distribución Potencial	35
RESULTADOS	37
DISCUSIÓN	38
CONCLUSIÓN	43
LITERATURA CITADA	44

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1 DORADO (C. HIPPURUS) MACHO	21
ILUSTRACIÓN 2 DORADO (C. HIPPURUS) HEMBRA	23
ILUSTRACIÓN 3 ÁREA DE DISTRIBUCIÓN DEL DORADO (C. HIPPURUS) EN LA COSTA DEL PACIFICO MEXICANO	33
ILUSTRACIÓN 4 DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL DEL DORADO (C. HIPPURUS), EN EL ECOSISTEMA PELÁGICO DE LA COSTA DEL PACÍFICO MEXICANO.	37

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 VARIABLES QUE CONTRIBUYERON A EXPLICAR EL MODELO DE DISTRIBUCIÓN DEL DORADO (C. HIPPURUS), EN EL ECOSISTEMA PELÁGICO DE LA COSTA DEL PACÍFICO MEXICANO.	38
---	----

I. INTRODUCCIÓN

El océano es cuna de la vida de nuestro planeta y representa, además, el hábitat más extenso de la biósfera. Los océanos los conforman una gran diversidad de organismos que viven en el agua salada de los mares y océanos, así como en el agua salobre de los estuarios costeros (Duarte et al. 2006). En un nivel fundamental, la vida marina ayuda a determinar la naturaleza misma del planeta, ya que los organismos marinos producen gran parte del oxígeno que respiramos. Las costas, están en parte, conformadas y protegidas por la vida marina (Pérez, I. 2020).

Las actividades antropogénicas, sin respeto hacia las demás especies, han derivado en un acelerado calentamiento global, que según las estimaciones está elevando la temperatura media de la atmósfera terrestre y de los océanos. Las temperaturas de la superficie del planeta aumentan a gran ritmo (Pérez, Isabel et al 2020). En los últimos 100 años, la temperatura media global ha aumentado 0.76 °C. 11 de los 12 años más calurosos desde 1850 se concentran entre 1995 y 2006. En Europa ese calentamiento ha sido de 1.5 °C. En el Ártico, hasta 5 °C. Este aumento de la temperatura media de la Tierra es el calentamiento global (Agustín, M. 2023). Aunado a ello, las actividades productivas como la sobrepesca, las actividades turísticas, la contaminación por parte de verter basura, plásticos y combustibles a los mares, han afectado negativamente la distribución y dinámicas poblacionales de muchas especies de peces (Yoshida, H. 2016).

El Dorado (*C. hippurus*) es uno de los peces marinos que funge como uno de los principales depredadores de su ecosistema, controlando la población de peces herbívoros en el mismo y con ello, manteniendo en equilibrio a la trama alimenticia. Aunado a ello, es de vital importancia señalar el papel importante que tiene esta especie para la pesca comercial y sobre todo deportiva a lo largo de la Costa del Pacífico en América del Norte; es una especie muy

consumida en México y forma parte de la oferta deportiva y turística del país, a través de la pesca recreativa o deportiva (DOF, 1995. NOM-017-PESC- 1994)

El objetivo de este proyecto fue determinar la distribución potencial del pez Dorado en el ecosistema pelágico del Pacífico Mexicano, a partir del uso del algoritmo de MaxEnt (Máxima Entropía), contrastando los factores ecológicos y climáticos y relacionándolos con las ocurrencias (registros) de la especie (Guisan & Thuiller, 2005).

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia de la humanidad, las actividades antropogénicas han resultado en cambios drásticos en los ecosistemas marinos y en la composición y distribución de su biodiversidad. Por ejemplo, la actividad antropogénica ha contribuido al cambio climático, el cual es capaz de modificar el patrón de las corrientes, así como alterar el movimiento de las masas de agua del fondo hacia la superficie, haciendo que organismos como el plancton, donde habitan larvas de peces e invertebrados (camarones, cangrejos, caracoles), así como los pelágicos menores (sardinas y otros peces que forman grandes cardúmenes), cambien sus patrones de distribución, de comportamiento y de vida (Duarte et al. 2006; Pérez et al. 2020). Durante los últimos 40 años, los océanos se han calentado a tasas promedio de > 0.1 ° C por década en los 75 m superiores (IPCC 2013), induciendo cambios en la distribución geográfica de muchas especies marinas, empujándolas hacia los polos, además de generar cambios en los patrones de migración y de reproducción (Beaugrand et al. 2009; Salvadeo et al. 2010; Péron et al. 2012; Poloczanska et al. 2013).

Otro fenómeno antropogénico que ha afectado negativamente a la fauna marina y a su distribución es la sobrepesca, ya sea con fines de exportación o deportivo. Un ejemplo son los arrecifes de coral, ya que son particularmente vulnerables a la sobrepesca. Los peces herbívoros mantienen estos ecosistemas en equilibrio al comer algas y mantener los corales limpios y saludables para que puedan prosperar. La pesca excesiva de herbívoros (ya sea a propósito o accidental como consecuencia de la pesca de otras especies) puede debilitar los arrecifes de coral y hacerlos vulnerables a los fenómenos meteorológicos extremos y al cambio climático (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2022).

Una de las especies importantes en el ecosistema pelágico es el Dorado (*C. hippurus*), ya que al ser uno de los principales depredadores, controla la población de peces herbívoros en este ecosistema y por lo tanto mantiene en equilibrio a la trama alimenticia; la eliminación de este pez puede producir un desequilibrio de tipo “top-down” (el depredador de la cúspide de la cadena alimenticia, determina la abundancia de todas las demás poblaciones) por falta de presión por depredación, pudiendo desencadenar un efecto negativo en la cascada trófica (Richardson et al. 1998; Verheye et al. 1998).

Aunada a su importancia ecológica, el Dorado es una especie importante en la pesca comercial y deportiva de la Costa del Pacífico; es una especie muy consumida en México y forma parte de la oferta turística del país, a través de la pesca recreativa o deportiva en las distintas competencias de talla nacional e internacional por toda la costa del Pacífico Mexicano (DOF 1995).

Se recolecta en un rango periódico para el consumo humano. Puede estar disponible localmente, de rápido crecimiento, ya que posee una maduración temprana y de corta duración. Puede haber alguna disminución local en las capturas sobrepesca. Es una especie actualmente catalogada como de preocupación menor (Collette et al. 2011).

No obstante, la importancia ecológica y económica del Dorado (*C. hippurus*), actualmente no existe ningún estudio sobre la distribución potencial actual de esta especie en el Pacífico Mexicano, información que sería relevante para establecer programas adecuados de conservación y manejo sustentable de la misma, así como futuros estudios sobre el efecto del cambio climático en su distribución potencial futura.

III. JUSTIFICACIÓN

La especie *C. hippurus* se encuentra en la lista de especies que nada más pueden ser pescadas de forma recreativa, generando ganancias y fortaleciendo económicamente a algunos centros turísticos del país (DOF 1995). En la región del Pacífico mexicano esta especie es importante como actividad recreativa y económica, a su vez es aprovechada como pesca artesanal incidental (toda especie capturada en el aparejo o arte de pesca que no es la especie objetivo) por pescadores ribereños, su presencia provee de ejemplares durante todo el año, dependiendo de los estados que salen beneficiados de esta especie, tienen un incremento en su captura en la temporada del año en que estén (primavera, verano, otoño e invierno). Lo que contribuye a la permanencia y práctica de estas actividades y por consiguiente la entrada de recursos económicos para la región (Aguilar-Palomino et al. 1998). La pesca incidental es uno de los factores para causar un efecto negativo a la población de la especie, teniendo una baja considerada en su población. Sin embargo, para conocer con detalle el estado actual de la especie y posteriormente proponer estrategias de conservación o de manejo sustentable no sólo de la especie, sino de su hábitat (Tellería et al. 2012), es indispensable contar con información básica sobre el estado actual de su población, desde su densidad poblacional hasta su distribución potencial actual.

Dada la importancia ecológica del dorado como un depredador tope en el ecosistema pelágico (Varghese et al. 2013), su relevancia como recurso pesquero y desconocimiento a su distribución de la población, la presente investigación propone, por primera vez, determinar la distribución potencial actual del Dorado en toda la costa del Pacífico Mexicano, y contribuir así a proporcionar información básica sobre su ecología para futuros planes de conservación.

IV. MARCO TEÓRICO

Conservación Biológica

La conservación biológica se refiere al uso sostenible y la organización de las especies existentes, permitiéndoles existir indefinidamente y continuamente en un espacio y tiempo determinado. Es un concepto que debe transmitirse de generación en generación y tiene sus bases en la ética y la naturaleza. Asegurar su protección, además del necesario mantenimiento de los ecosistemas en los que se integran, protege su estirpe genética. La clasificación y los estudios sobre distribución y dinámica poblacional de la flora y la fauna silvestre permiten evaluar el estado de conservación de la diversidad biológica. Lo atractivo de este enfoque es la capacidad de integrar, el interés para conservar conjuntamente los procesos ecológicos y evolutivos, como forma de proteger los diferentes niveles en los que la biodiversidad está organizada (Tellería et al. 2012).

La gestión ecosistémica es una estrategia que está dirigida al manejo interactivo estructural y funcional de los sistemas ecológicos de acuerdo a sus particulares tendencias de cambio y vulnerabilidad a las perturbaciones. Esta estrategia de gestión del mundo natural tiene considerado aspectos económicos y sociológicos con relación a las necesidades humanas (Grumbine. 1994.). Esta gestión contribuye a evitar su extinción, permitiendo priorizar recursos y esfuerzos en aquellas especies con mayores problemas (Squeo FA. et al., Arancio G et al., Gutiérrez JR et al. 2008).

Conservación Marina

La conservación marina es la protección y preservación de los ecosistemas en los océanos y mares. Se centra en limitar los daños causados por los seres humanos a los ecosistemas marinos, restaurar los ecosistemas marinos dañados y preservar las especies vulnerables de la vida marina. Es una respuesta a cuestiones biológicas como la extinción y el cambio de hábitats marinos (Carson, R. 1965).

La conservación marina es el estudio de la conservación de los recursos marinos físicos y biológicos y de las funciones del ecosistema. Los conservacionistas marinos se basan en una combinación de principios científicos derivados de la biología marina, la oceanografía y la ciencia pesquera, así como en factores humanos como la demanda de recursos marinos y el derecho marítimo, la economía y las políticas para determinar cómo proteger y conservar mejor los recursos marinos. Especies y ecosistemas. La conservación marina puede considerarse como una subdisciplina de la biología de la conservación (Carson, R. 1965).

Las estrategias y técnicas para la conservación marina tienden a combinar disciplinas teóricas, como la biología de poblaciones, con estrategias prácticas de conservación, como la creación de áreas protegidas, como con áreas marinas protegidas (AMPs) o Áreas de Conservación Marina Voluntarias. Otras técnicas incluyen el desarrollo de la pesca sostenible y el restablecimiento de las poblaciones de especies amenazadas a través de medios artificiales. Otro enfoque de los conservacionistas consiste en restringir las actividades humanas que son perjudiciales para los ecosistemas marinos o las especies mediante políticas, técnicas tales como cuotas de pesca, como las establecidas por la Organización Pesquera del Noroeste del Atlántico, o leyes como las que se enumeran a continuación. Es clave reconocer la economía que interviene en el uso humano de los ecosistemas marinos, al igual que la educación del público sobre los temas de conservación (Bardach, J. 1968).

Ecosistema pelágico

El término "pelágico" deriva de la palabra griega "*pelagos*", que significa océano. La zona pelágica es la columna de agua que está sobre el fondo marino. En sentido horizontal, incluye a la zona nerítica, ubicada sobre la plataforma continental y cuya profundidad máxima es de 200 metros; y a la zona oceánica, que se extiende desde el borde la plataforma continental hacia mar afuera, teniendo un máximo de 100 km (SEMARNAT, 2018).

La temperatura oscila entre 0 y 6 °C y es relativamente uniforme cerca de la superficie. A medida que aumenta la profundidad, la temperatura desciende gradualmente hasta que se produce un cambio notable en la termoclina cerca de los 150 m de profundidad. El ambiente pelágico se caracteriza por una alta variabilidad de parámetros fisicoquímicos y biológicos. El oxígeno disuelto está más presente durante los primeros metros y el oxígeno va disminuyendo cada metro que se avance, luego comienza a subir de nuevo a partir de 200 metros de profundidad. La presión aumenta con la profundidad a razón de una atmósfera cada 10 metros (Urciaga 2009).

Dorado (*C. hippurus*)

Taxonomía



Ilustración 1 Dorado (*C. hippurus*) macho

Phylum Chordata

Subphylum Vertebrata

Superclase Gnathostomata

Clase Osteichthyes

Subclase Actinopterygii

Orden Perciformes

Suborden Percoidei

Familia Coryphaenidae

Genero Coryphaena

El Dorado (*C. hippurus*) es un depredador pelágico migratorio que se distribuye alrededor del mundo, tanto en aguas tropicales como subtropicales, asociado a una temperatura superficial del mar >19 °C (Farrel et al., 2014). El dorado se caracteriza por tener un crecimiento acelerado de 1.43 a 4.71 mm de crecimiento diario, una madurez temprana siendo activo a la reproducción antes de alcanzar el primer año de vida y teniendo un ciclo de vida corto, de aproximadamente dos años (Oxenford, 1999). Presenta un dimorfismo sexual muy marcado en los organismos mayores de 60 cm de longitud furcal, a partir de la cual los machos empiezan a desarrollar en la frente una cresta pronunciada, que se diferencia de las hembras (Palko et al., 1982).

C. hippurus se caracteriza por tener un cuerpo alargado y comprimido lateralmente, aleta dorsal simple (55-65 radios) originada en la nuca y extendiéndose a la caudal, aleta anal alargada a la mitad de la extensión del cuerpo; aletas pélvicas dispuestas dentro de un surco en el cuerpo; aleta caudal profundamente bifurcada. Cuando está vivo tiene un color usualmente verde brillante en el dorso, amarillo o dorado matizado en los costados (Uchiyama et al., 1986). Esta especie es un desovador múltiple con una prolongada temporada de reproducción, con migraciones pre-desove y un comportamiento de agregación durante el evento (Alejo-Plata et al. 2011b). Se caracteriza por tener un rápido crecimiento (Alejo-Plata et al. 2011a). Se tiene reportes de tallas máximas de captura de 192 cm y 30 kg para la región de la boca del Golfo de California (Madrid, Beltrán-Pimienta 2001).

C. hippurus se encuentra distribuido en aguas tropicales como subtropicales, tanto en aguas costeras como en mar abierto (Palko et al. 1982). En el Atlántico Occidental los límites de

su distribución se han reportado al norte hasta Nueva Escocia y al sur hasta Brasil. Raramente son encontrados arriba de los 41 °N y son generalmente restringidos a la isoterma de los 20 °C (Gibbs, Collete 1959).

La especie del Dorado es importante en México, ya que representa una de las especies importantes comerciales, ya sea para consumo humano o para pesca deportiva, por eso han surgido varias investigaciones de diferentes perspectivas para su estudio (Yosgida, H. 2015). La Carta Nacional Pesquera considera al *C. hippurus* como un recurso con potencial de desarrollo, por lo que supone que podría soportar una pesquería comercial en la zona costera la elaboración de un plan de manejo adecuado. Para tener dicho plan de manejo se necesita estar sustentado en un conocimiento de la biología y dinámica de la especie.



Ilustración 2 Dorado (*C. hippurus*) hembra

Nicho Ecológico

Todas las especies se encuentran en interacción directa con los factores ambientales (temperatura, humedad, presión atmosférica, etc.). Cada organismo posee para un determinado factor un margen de tolerancia fisiológica (López et al. 2007). Entonces, a través de las múltiples adaptaciones a diferentes rangos de tolerancia se forman áreas multidimensionales en las cuales los organismos realizan su desarrollo, se reproducen y permiten la preservación de la especie.

El Nicho Ecológico es definido como la suma de todos los factores ambientales o ecológicas, que actúan sobre los organismos, que dependen de ello las distintas especies que comparten un espacio ecológico para poder sobrevivir. El nicho es una región sobre un espacio multidimensional, donde cada dimensión representa la respuesta de una especie a la variación de una determinada variable (Hutchinson. et al. 1957).

El nicho ecológico es restringido por las variables ambientales que puedan existir en el planeta. Por lo tanto, es como surgen las siguientes definiciones. El nicho fundamental engloba toda potencialidad de vida para una especie sin considerar los efectos de las interacciones físico-químicas que limitan su existencia. Sería el intervalo multidimensional cuyo resultado da unas probabilidades entre $0\% \geq 100\%$ de que tal especie pudiera habitar un ambiente en concreto si se dieran las circunstancias (López et al. 2010). Además, está la definición del nicho realizado, quiere decir, se refiere a las condiciones reales (presentes o pasadas) que disponen la situación de una especie en la biosfera. Por definición, el nicho realizado presenta unos límites más estrechos dentro del nicho fundamental.

Distribución

La presencia de una especie depende de factores abióticos (temperatura, salinidad, humedad, productividad primaria, oxígeno disuelto) y de factores bióticos (alimento, depredadores, canibalismo, competición, nutrición). Las especies van a depender mucho de dichos factores, acondicionarán la ausencia y la presencia de estos (Gámez, Roberto. et al. 2010). En los animales, es más difícil de determinar la distribución potencial, debido a los procesos tales como la migración o el hecho de que algunas especies ocupan diferentes ambientes para reproducirse o alimentarse, hace complicada la definición de los límites ambientales en los que se desarrolla (Gámez, Roberto. et al. 2010).

Cuando se habla de distribución deben distinguirse dos categorías diferentes: la real (también llamada ocurrencia) y la potencial. La distribución real se refiere a los sitios en los que se han observado o colectado individuos y la potencial hace alusión a las áreas que tienen condiciones ambientales muy similares a los sitios donde se encuentran las especies y que tienen muy altas probabilidades de estar ocupadas por estas mismas (Gámez, Roberto. et al. 2010).

El modelado de la distribución potencial y actual de las especies se ha convertido en un área de investigación muy activa; generalmente se basa en el concepto de nicho ecológico y se apoya en el uso de programas de cómputo. Este modelado es muy relevante, determina cómo las especies van cambiando su distribución a causas del cambio climático. Este estudio no está especializado sólo para el área terrestre o marino. Trata de cómo las especies van buscando sus variables ambientales necesarias para poder existir y sobrevivir (Gámez, Roberto. et al. 2010).

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas que permiten relacionar cualquier información de datos con una localización geográfica de la tierra. Entendemos por Sistema de Información (SI) a la fusión de información y herramientas informáticas (software o software) para el análisis. Es usado para manipular consultas, modificarlas y visualizarlas. Al incluir el término 'geografía', se indica que esta información es espacialmente clara. Por lo tanto, un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema de hardware, software, datos, personas, organización y arreglos institucionales que permite la recolección, el almacenamiento, el análisis y la distribución de información sobre las especies del territorio del planeta (Lantada, N. et al. 2002).

La importancia de los SIG tiene que ver con el “dónde”, ya que es vital conocer donde ocurre un fenómeno por si es necesario llegar hasta él o bien sólo obtener información del lugar de los hechos. Esta es la principal razón del crecimiento de los Sistemas de Información Geográfica lo que ha provocado que el precio de los software y hardware disminuya. Además de la razón sumada a la creciente conciencia de la causa. que las operaciones hacen decidir tener una dimensión espacial; la fácil mejora de interacción del usuario utilizando el ambiente de trabajo estándar; mejora la tecnología de asistencia aplicación, especialmente sobre conceptualizar y gestionar el análisis de datos y relación con otro software; más datos digitales, georreferencias y experiencia acumulada de aplicación en cada trabajo (Pérez, A. et al. 2011).

MaxEnt

MaxEnt es un programa/algorithmo para modelar distribuciones de especies a partir de solo registros de presencia de una especie (flora o fauna). Este modelado describe MaxEnt desde una perspectiva estadística, haciendo vínculos explícitos entre la estructura del modelo, las decisiones requeridas para producir una distribución modelada, y conocimiento sobre la especie y los datos que podrían afectar esas decisiones, como las variantes climatológicas del presente o futuras (Elith, J. et al. 2011).

Algunas de las ventajas de MaxEnt incluyen:

- 1) Requiere solo datos de presencia, pero puede usar datos de ausencia, y en ambos casos en conjunto con variables ambientales.
- 2) Puede usar tanto datos continuos como categóricos y puede incorporar interacciones entre distintas variables.
- 3) Utiliza eficientes algoritmos que han sido desarrollados para garantizar convergencia en una óptima (entropía máxima) distribución probabilística.
- 4) La distribución probabilística de MaxEnt tiene una definición matemática concisa.

Ámbito hogareño

Se entiende por ámbito hogareño (AH) el área de actividad que ocupan los animales, donde llevan a cabo todas sus funciones que permiten su supervivencia como: alimentación, descanso, reproducción, protección. Conocer el ámbito hogareño es indispensable para entender la

distribución de una especie, ya que si no entendemos el área de actividad de la especie, difícilmente conoceremos su área de distribución.

El tamaño del ámbito hogareño depende de diferentes factores: por un lado, de las características propias de la especie en cuanto a su tamaño (especies grandes generalmente tienen áreas de actividad más grandes), su capacidad de desplazamiento, sus hábitos alimentarios (si son depredadores dependerán de la presencia de sus presas, ocupando áreas de mayor extensión, que si son herbívoros que dependen de las especies de plantas), el sexo (generalmente los machos tienen ámbitos hogareños más grandes que las hembras) (Gallina, S. 2023). La especie puede tener una vida de forma gregaria (en comunidad), donde necesitan áreas grandes a diferencia de los solitarios, su ciclo de vida (en época reproductiva son más pequeños los AH), entre otros, y, por otro lado, estas áreas dependen de las características del hábitat o sea del lugar donde viven, como el tipo de vegetación, la estructura y composición de la vegetación, disponibilidad de alimento y fuentes de agua, topografía, cambios estacionales, competidores entre otros. Es importante conocer la extensión que necesitan las poblaciones de la especie para diseñar estrategias de conservación (Gallina, S. 2023).

ANTECEDENTES

Internacional

Norton (1999) determinó que la expansión del hábitat del dorado es debida a la recesión de la parte sur de la Corriente de California y al desplazamiento a altas latitudes de la isoterma de los 19 o 20 °C. La extensión del hábitat hacia los polos se mide por la disponibilidad de dorado para los pescadores de buques pesqueros comerciales de pasajeros (CPFV siglas en inglés) del sur de California. Antes de 1972, la captura anual de dorado del CPFV durante la temporada de pesca de julio a octubre rara vez excedía unos pocos cientos de peces. A partir de entonces, se capturaron más de 103 dorados en 23 de las siguientes 25 temporadas.

Herrera et al. (2008) llevaron a cabo un estudio sobre la pesca exploratoria del Dorado (*C. hippurus*) frente a la costa ecuatoriana, durante el cual se efectuaron 10 lances de pesca empleando un palangre de superficie doradero. En los lances realizados frente a Esmeraldas y Manabí, se registraron las mayores capturas, con especímenes con mayor talla y peso promedio, con una temperatura superficial promedio de 27 °C y termoclina ubicada entre los 10 y 50 m de profundidad con la isoterma de 20 °C, próxima a la profundidad de la línea de pesca.

En el Atlántico Occidental, Kleisner (2009) por medio del análisis de componentes principales, encontró una relación negativa entre las capturas de dorado y la distancia de los frentes térmicos, así como una preferencia por el lado cálido de los mismos.

Furakawa et al. (2011), con el uso de marcas archivadoras, encontraron en el mar de China que, aunque el dorado se mantenía un 43.4 % del tiempo en profundidades de 0-5 m, estos

realizaban incursiones a profundidades de 50.1 a 95.4 m, evitando los cambios rápidos de temperatura que se presentan pasando la termoclina.

Salvadeo et al. (2020) llevaron a cabo un estudio sobre el efecto del cambio climático en la distribución potencial la distribución potencial del Dorado (*C. hippurus*) a lo largo de la costa templada de América del Norte. En este estudio se especifica que existe una expansión en su distribución potencial hacia los polos del planeta, ello debido a su afinidad por las aguas cálidas.

Nacional

Sánchez et al. (2008) llevaron a cabo un estudio sobre la distribución de larvas de Dorado (*C. hippurus*) en el pacífico oriental mexicano. En dicho estudio se determinó que la madurez sexual de esta especie se presenta a los 4 o 5 meses de edad tanto en machos como en hembras, presentando dos picos de desove, uno en el invierno y otro en el verano. También se determinó que la abundancia de *C. hippurus* en la fase cálida no es homogénea, ya que mostró diferencias significativas en esta etapa ($p < 0.05$). La determinación de los diferentes estadios de desarrollo larval, mostraron mayor abundancia en el estadio de preflexión, corroborándose así que el área de muestreo es una zona de desove para *C. hippurus*.

Por su parte, Zuñiga et al. (2009) realizaron un estudio de dinámica poblacional del Dorado en Baja California Sur, en México, cuyo objetivo principal fue el de abordar aspectos de su biología reproductiva, edad, crecimiento y mortalidad de la especie, donde se obtuvo como resultado que la edad de 497 individuos (246 ♂ y 251 ♀), definiendo que las marcas de crecimiento se forman anualmente durante los meses de octubre y noviembre, lo que coincide con el ciclo reproductivo y la variación de la temperatura superficial del mar.

Con información de la captura incidental de la flota atunera mexicana, Martínez-Rincón et al. (2009) determinaron dos zonas de capturas altas, la primera entre las latitudes 0° y 10° N, y la segunda entre los 15° y 25° N. Si bien encontraron diferencias significativas en la variabilidad interanual y estacional, no se estableció ningún patrón en la distribución espacial. Por otra parte, aunque no encontraron una relación directa entre las capturas incidentales y la TSM, éstas fueron mayores entre los 25 y 28 °C.

Yoshidah et al. (2015) evaluaron la variabilidad ambiental y su efecto en la distribución espacio-temporal de las tasas de captura de Dorado en la región de los Cabos B.C.S., México. Mediante el uso de modelos aditivos generalizados (GAMs) analizó el efecto de algunas variables ambientales en la distribución espacio-temporal de las tasas de captura (TC) del Dorado en Los Cabos B.C.S., México.

Briones et al. (2017) llevaron a cabo un estudio sobre la ecología trófica del Dorado (*C. hippurus*) en la costa de Jalisco, México, a partir del análisis de isótopos estables y contenido estomacal. Durante 2013 se obtuvieron dorados de la flota artesanal en Jalisco y se analizaron 300 estómagos, de los cuales 197 presentaron contenido. El espectro trófico incluye 60 especies presa, de las cuales de acuerdo al %PSIRI (índice de importancia relativa de presa específico, siglas en inglés), *Argonauta spp.* (24%), *Portunus xantusii* (11%), *Dosidicus gigas* (7%) y *Selar crumenophthalmus* (7%) fueron las más importantes en la dieta.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la distribución potencial actual del dorado (*C. hippurus*) en el ecosistema pelágico de la costa del Pacífico Mexicano.

HIPÓTESIS

La distribución potencial actual del dorado (*C. hippurus*) incluye toda la costa del Pacífico mexicano.

MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio comprendió toda la costa del Pacífico Mexicano, localizada entre las coordenadas extremas 14° 33' 15" N, 92° 15' 37" E y 32° 28' 48" N, 117° 06' 20" E (Fig. 1). Esta región está conformada por once de las treinta y dos entidades federativas del país: Baja California, Baja California Sur, Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán de Ocampo, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa y Sonora. Concentra 1,131 municipios que representan 46% del total de nuestro país. En conjunto ésta suma una superficie de 804,000 km², que representan 41% del territorio nacional, y posee una línea de costa de 7,828 km del océano Pacífico, que constituye 70% del total del litoral mexicano (López. et al. 2015).

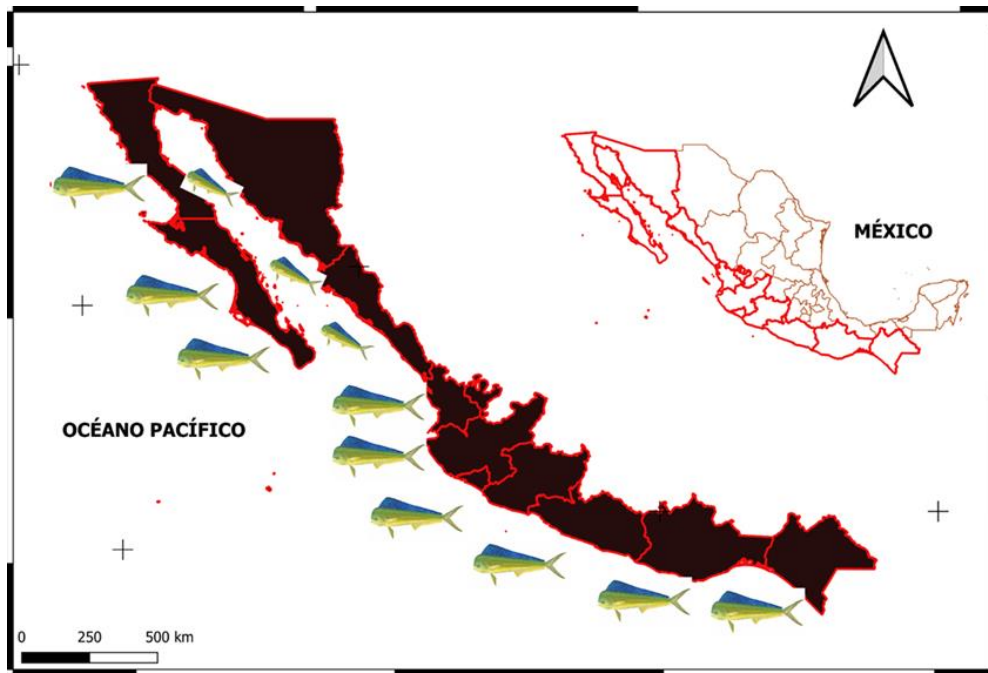


Ilustración 3 Área de distribución del Dorado (*C. hippurus*) en la costa del Pacífico mexicano

En los 7,000 km de litoral mexicano en el Pacífico bañan sus aguas hacia el oeste y sur, ubicándose el 80% del potencial pesquero mexicano, ahí se realiza la mayor actividad pesquera en México, ya que localizan especies masivas y de alto valor comercial como son el camarón, el ostión, la sardina, la langosta, la anchoveta, atún, abulón y sargazo. La Región del Pacífico es considerada como de las más importantes en cuanto a puertos pesqueros; que están integrada por los Estados de Baja California, el cual cuenta con las siguientes terminales pesqueras: Ensenada, El Sauzal, Isla Cedros y San Felipe. Baja California Sur, San Carlos, Bahía Tortugas, Pichilingue, Loreto, Santa Rosalía y La Paz. Sonora, Golfo de Santa Clara, Guaymas, Puerto Peñasco y Yavaros, Sinaloa, La reforma, Mazatlán y Topolobampo, y por último en el estado de Chiapas, el Puerto Madero (Poo et al. SF).

La temperatura va variando dependiendo del Estado. Se han registrado temperaturas mínimas de 16 °C en el Estado de Baja California y sube la temperatura a 17 °C en el Estado de Baja California Sur, En los Estados de Jalisco, Colima y Michoacán presentan temperaturas de 26 ° - 27 °C, y al sur de Michoacán se encuentra un área muy amplia cuya temperatura es mayor a 28 °C. Los Estados de Guerrero y de Oaxaca comparten temperaturas que superan los 28 °C, también en la costa de Chiapas alcanzan temperaturas mayores de 28 °C, y esas temperaturas abarcan desde Puerto Arista, hasta la frontera con Guatemala (López. et al. 2015)

Base de Datos

Los datos de presencia de la especie se descargaron de las bases de datos científicas SNIB-CONABIO (CONABIO. 2008), además de Gbif (GBIF, 2022). Sólo se utilizaron registros que tuvieran registros con coordenadas. Después de descargar y depurar, se dejaron los registros a

partir del año 2000 a la fecha, obteniendo 18,728 presencias de *C. hippurus*. Posteriormente se eliminó todo aquel registro que estaba en el litoral continental y/o a menos de 500 m de este. Este procedimiento se realizó con el programa de Qgis Versión 3.30.0 (QGIS, 2022). Se hizo una segunda limpieza o adelgazamiento de los datos, a fin de reducir la autocorrelación espacial. Se tomó en cuenta el ámbito hogareño de la especie, que consta de 40 km/día en movimientos horizontales (Merten, 2014a). Este proceso se realizó con los programas R 4.3.2 (R Core Team, 2022) y RStudio (RStudio, 2022), utilizando el paquete spThin (Muller, K. 2020). Finalmente, la base de datos estuvo formada por un total de 726 registros de *C. hippurus*. Posteriormente, se descargaron los datos ambientales marinos utilizados para el modelado que se obtuvieron de la página web Bio-ORACLE v2.0 (Tyberghein, L. et al. 2012), que ofrece una gran variedad de variables, donde solo se ocuparon 18 variables (nitratos, productividad primaria, temperatura, concentración de clorofila, velocidad del agua) tomando en cuenta máximos, mínimos, medias y rangos, dando un total de 76 capas bioclimáticas, todo esto, en una resolución espacial de 9 km que incluya toda la superficie del pacífico que corresponde a México.

Distribución Potencial

Se utilizó el modelo MaxEnt (Máxima Entropía) para predecir la distribución potencial de *C. hippurus* en la costa del Pacífico mexicano.

MaxEnt realizó un contraste entre los factores ecológicos y climáticos y los relacionó con las ocurrencias (registros) de la especie (Guisan & Thuiller, 2005). Una vez listos los insumos (registros de la especie y capas climáticas y bioclimáticas) se corrió el modelo Maxent utilizando los atributos por defecto para la configuración del modelo. Se corrieron 10 réplicas del mismo, se evaluó el porcentaje (30%) de aporte del resto de variables no correlacionadas según un análisis

Jackknife en la etapa de calibración del modelo; luego fueron combinadas para obtener el modelo de distribución potencial actual de la especie. Por último, se seleccionaron las variables con mayor contribución al modelo y con mayor aporte biológico relevante según otros trabajos (Zuñiga-Flores et al. 2008).

RESULTADOS

Distribución Potencial Actual

El resultado del modelo indica que el Dorado (*C. hippurus*) se distribuye a lo largo de toda la costa del Pacífico Mexicano, teniendo una mayor probabilidad de presencia (0.88) en las áreas cercanas a las costas de los estados de parte baja de Sonora, Sinaloa, Baja California, Baja California Sur, Nayarit y Chiapas (Fig. 2).

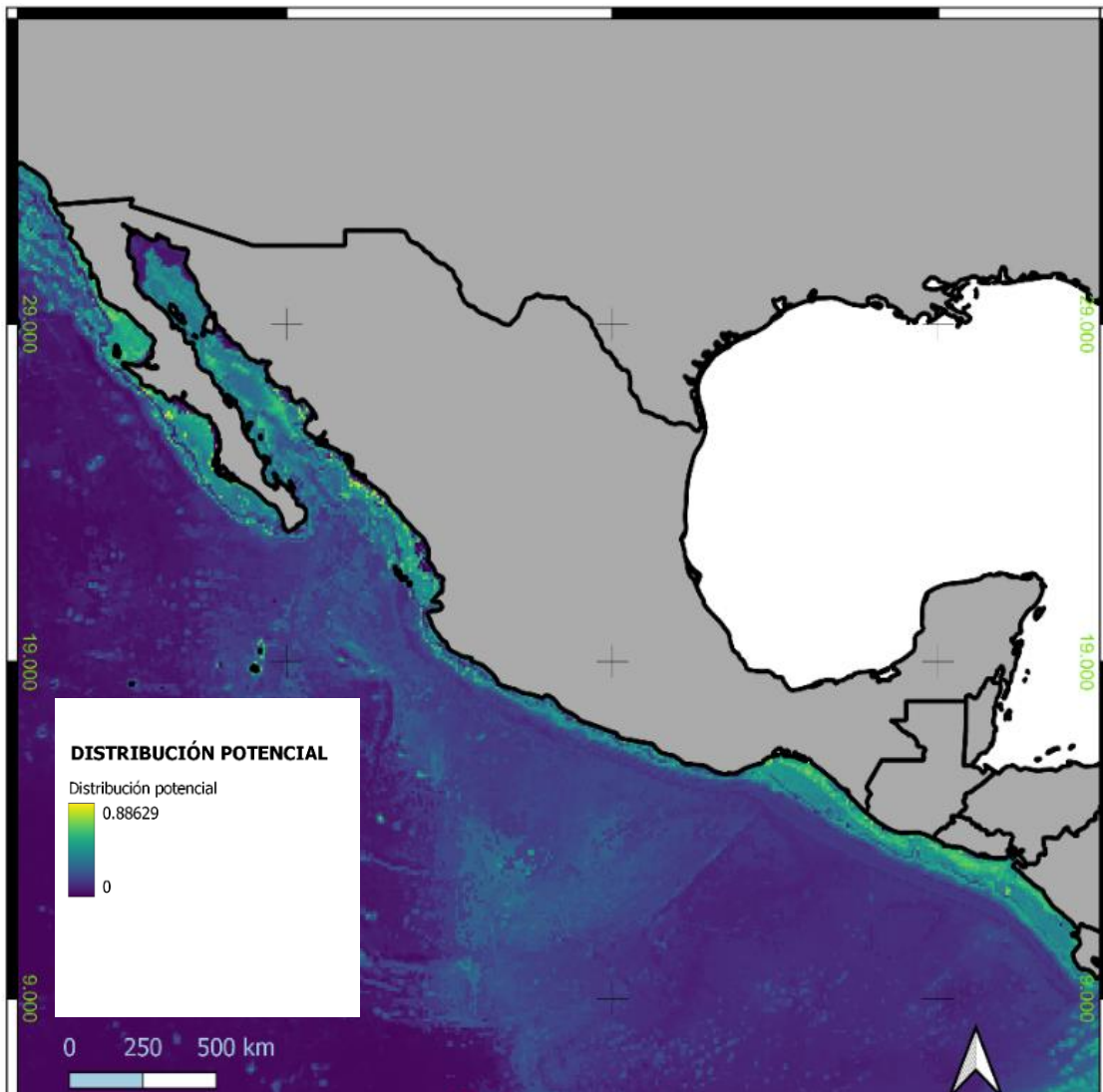


Ilustración 4 Distribución potencial actual del Dorado (*C. hippurus*), en el ecosistema pelágico de la costa del Pacífico Mexicano.

Variables que explican el Modelo

Un total de nueve variables contribuyeron con un 80% de probabilidad para explicar el modelo de distribución de la especie. Las variables que más contribuyeron fueron la Temperatura máxima a mínima de profundidad, la Temperatura mínima a media profundidad y el Nitrato con un rango a

Variables	Porcentaje de contribución (%)
1. Temperatura máxima a mínima profundidad	39.2
2. Temperatura mínima a media profundidad	10.4
3. Nitrato con un rango a máxima profundidad	6.6
4. Temperatura máxima a máxima profundidad	5.8
5. Concentración de clorofila máxima a máxima profundidad	5.1
6. Velocidad del agua con un rango a máxima profundidad	4
7. Temperatura mínima a mínima profundidad	3.9
8. Temperatura con un rango a media de profundidad	3.6
9. Nitratos mínima a media profundidad	3.3

má
xim
a
pro
fun
did
ad
(Ta
bla
1).

**DI
SC
US
IÓN**

Tabla I Variables que contribuyeron a explicar el modelo de distribución del dorado (*C. hippurus*), en el ecosistema pelágico de la costa del Pacífico Mexicano.

El modelo de distribución potencial actual deja en claro que las condiciones ambientales adecuadas para la presencia del Dorado (*C. hippurus*) se localizan a lo largo de toda la costa del Pacífico Mexicano, desde la costa de Baja California Norte y Sur, hasta el sur del país, coincidiendo con lo reportado por Salvadeo et al. (2020) en su estudio para la zona norte del Pacífico, hasta la costa de Chiapas. Nuestro resultado también coincide con la distribución histórica de la especie reportada por Palko et al. (1982) quienes afirman que esta especie se distribuye en aguas tropicales y subtropicales, tanto en aguas costeras como en mar abierto, ya que el modelo indicó que existen también áreas adecuadas para la presencia del Dorado (*C. hippurus*) en zonas de mar abierto cercanas a las islas Revillagigedo y otros islotes del Pacífico Mexicano.

Es probable que, a lo largo de toda la costa del Pacífico Mexicano, así como en las zonas cercanas a las islas, el Dorado (*C. hippurus*) encuentre los factores abióticos (temperatura, salinidad, Ph, etc.) y bióticos (productividad primaria, alimento, etc.) necesarios para llevar a cabo su alimentación y reproducción, ya que de acuerdo con Jonsen et al. (2003), la distribución de los organismos en los océanos está determinada por interacciones complejas en el ambiente, tanto de factores bióticos como abióticos necesarios para el buen fitness de las especies. Hernández (2015) afirma que en la costa de Baja California Sur, los movimientos horizontales (distancia a la costa) y verticales del Dorado (*C. hippurus*) están relacionados con sus hábitos alimenticios y se ven influidos también por variables oceanográficas y geográficas (termoclima-profundidad), llegando a alejarse de la costa hasta un promedio de 38 km y haciendo inmersiones más profundas durante la noche para cazar sus presas. Por su parte Gibbs y Collete (1959) señalan que las condiciones adecuadas para la presencia de este pez se localizan en isotermas de 20°C.

Las tres variables que más contribuyeron a explicar el modelo de distribución potencial del Dorado (*C. hippurus*) fueron la Temperatura Máxima a Mínima Profundidad, la Temperatura Mínima a Media Profundidad, y el Nitrato con un Rango a Máxima Profundidad. Estos resultados coinciden con otras especies de peces depredadores epipelagicos, incluso en diferentes partes del mundo con regiones oceanográficas y estructuras termales similares y diferentes a las del Dorado (*C. hippurus*), los cuales han mostrado una similitud en su preferencia por temperaturas superficiales y medias cálidas (Chiang et al. 2011). Claros ejemplos de esto lo tenemos con el Marlín Azul (*Makaira nigricans*) en Hawái, el cual invierte mucho de su tiempo en profundidades de no más de 10 m con aguas cálidas que oscilan entre los 26° C y los 27°C (Block et al.1992), o con los juveniles de Atún de Aleta Azul (*Thunnus thynnus*) en el occidente del Atlántico Norte, que prefieren pasar la mayor parte de su tiempo en aguas arriba de los 15 mts, con temperaturas de 20° C (Brill et al. 2002). Para el Dorado (*C. hippurus*), al ser un depredador pelágico, la temperatura superficial y la temperatura a profundidad media son muy importantes, ya que como señala Hernández (2015), este pez se mueve durante el día en la superficie, pero realiza inmersiones a mayores profundidades durante la noche para poder conseguir su alimento. Merten et al. (2014) explican que hay una relación directa entre los factores abióticos como la temperatura y los posibles movimientos de las presas de peces, ya que Lasso y Zapata (1999) afirman que las presas de peces pelágicos como el Dorado (*C. hippurus*), están compuestas de especies epipelagicas, pero que también hay registros de especies meso pelágicas que se distribuyen a profundidades medias. Por otra parte, Zuñiga et al. (2009) y Farrel et al. (2014) sugieren que la temperatura superficial y media del mar juega un papel clave en el ciclo reproductivo del pez, ya que señalan que la actividad reproductiva del Dorado (*C. hippurus*) tiene lugar en un rango de temperatura que va de los 21 °C a los 30 °C, con una actividad máxima en hembras y machos reproductivos a partir de los 25 °C que se intensifica conforme

aumenta dicha temperatura. Esto es confirmado por García-Melgar (1995), que señala que la costa de Baja California Norte y Baja California Sur, corresponde a un área importante de reproducción, refugio y alimentación para el Dorado (*C. hippurus*). A lo largo de toda la costa del Pacífico Mexicano, las temperaturas promedio superficiales del mar van de los 19 a temperaturas mayores de 28°C, por lo tanto, temperaturas óptimas para la alimentación y reproducción de esta especie (López et al. 2015).

En cuanto a la presencia de Nitrato como la tercera variable predictiva importante de la presencia del Dorado (*C. hippurus*) en la Costa del Pacífico Mexicano, es importante entender que la distribución espacio-temporal de este compuesto es clave para las tramas alimenticias en los océanos, ya que es un nutriente básico y fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas marinos (Paparazzo et al. 2013). El nitrato es un compuesto que está presente en el ambiente en forma natural como consecuencia del ciclo del nitrógeno (Moreno et al. 2015), y en los ambientes acuáticos, el proceso de absorción de nitrógeno es ejercido principalmente por el fitoplancton y bacterioplancton (productores primarios) en la capa eufótica, por lo que la conversión de nitrógeno inorgánico a orgánico es uno de los procesos biogeoquímicos más relevantes del ambiente asociados a estos grupos (Cabrita et al. 1999). Al ser un pez depredador top en su ecosistema, el Dorado (*C. hippurus*) se alimenta principalmente de peces hervíboros (Briones et al. 2017), mismos que a su vez se alimentan de ese fitoplancton, por lo que la existencia de nitrato en la costa del Pacífico Mexicano es un excelente indicador de que la trama alimenticia de la que forma parte el Dorado (*C. hippurus*) funciona bien, es decir, de que existen no sólo productores primarios, sino las propias presas del Dorado (*C. hippurus*).

Nuestros resultados determinan por primera vez la distribución potencial actual del Dorado (*C. hippurus*) en la costa del Pacífico Mexicano, lo que cobra gran relevancia no sólo

porque es una especie de gran importancia ecológica (Varghese et al. 2003), sino económica, al estar reservada para la pesca deportiva en México (DOF 1995). Esta información permitirá contar con datos para un futuro plan de manejo sustentable de la especie y su hábitat, ya que permitirá

Esta información permitirá contar con datos para un futuro plan de manejo sustentable de la especie y su hábitat, ya que permitirá evitar una extinción, priorizando recursos y esfuerzos para que se haga un manejo adecuado de la especie.

CONCLUSIONES

Se acepta la hipótesis propuesta que afirma que toda la Costa del Pacífico Mexicano cuenta con las condiciones ambientales adecuadas para la distribución potencial actual del Dorado (*C. hippurus*).

Las tres variables que más contribuyeron a explicar el modelo de distribución potencial del Dorado (*C. hippurus*) fueron la Temperatura Máxima a Mínima Profundidad, la Temperatura Mínima a Media Profundidad, y el Nitrato con un Rango a Máxima Profundidad. Estas variables ambientales son excelentes indicadores de las condiciones adecuadas para la alimentación y reproducción del Dorado.

LITERATURA CITADA

- Alejo-Plata, C., J.L. Gómez-Márquez, I.H. Salgado-Ugarte. 2011a. Edad y crecimiento del dorado *Coryphaena hippurus*, en el Golfo de Tehuantepec, México. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 46(2):125-134.
- Alejo-Plata, C., P. Díaz-Jaimes, I.H. Salgado-Ugarte. 2011b. Sex ratios, size at sexual maturity, and spawning seasonality of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) captured in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. 110:207-216.
- Agustín, M. (2023). El cambio climático. Portal de Aragon. <https://www.aragon.es/-/el-cambio-climatico>
- Anderson, R., Gómez-Laverde, M. & Peterson, A. (2002). Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: insights from predictive models. Global Ecology Biology, 11(2), 131- 141.
- Araújo, M. B. & Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modeling. 33(10), 1677- 1688.
- Assis, J., Tyberghein, L., Bosh, S., Verbruggen, H., Serrão, EA y De Clerck, O. (2017). Bio-ORACLE v2.0: Ampliación de capas de datos marinos para modelización bioclimática. Ecología global y biogeografía.
- BARDACH, J. 1968. Harvest of the Sea. Harper and Row, New York. 301 p.
- Block, B.A., D.T. Booth, F.G. Carey. 1992. Depth and temperature of the blue marlin, *Makaira nigricans*, observed by acoustic telemetry. Mar Biol. 114:175- 183.
- Brill, R.W., M. Lutcavage, G. Metzger, P. Bushnell, M. A. Jon Lucy, C. Watson. D. Foley. 2002. Horizontal and vertical movements of juvenile bluefin tuna (*Thunnus thynnus*), in relation

to oceanographic conditions or the western North Atlantic, determined with ultrasonic telemetry. *Fish. Bull.* 100:155-167.

Briones, S. 2017. Ecología trófica del dorado (*Coryphaena hippurus*) de la costa de Jalisco, México, a partir del análisis de isótopos estables y contenido estomacal. Maestría en Manejo de Recursos Marinos Thesis, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México, 66 h

Buehler, E.C. & Ungar, L.H. 2001. Maximum Entropy Methods for Biological Sequence Modeling. *BIOKDD*, 60–64.

Carson, R. *El mar que nos rodea*. Nueva York, NY: Open Road Integrated Media, 2011.

Chiang, W-C, M.K. Musyl, C-l. Sun, S-Y. Chen, W-Y Chen, D-C . liu, W-C. Su, S-Z. Yeh, S-C. Fu, T-l. Huang. 2011. Vertical and horizontal movements of sailfish (*Istiophorus platypterus*) near Taiwan determined using pop-up satellite tags. *J exp Mar Biol ecol.* 397:129–135.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2008). *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Diario Oficial de la Federación, (DOF) 1995. Norma oficial mexicana NOM-017-PESC- 1994. Para regular las actividades de Pesca deportiva en las Aguas de Jurisdicción Federal de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo No. 15-19. México, D.F.

Duarte, C. *Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra*, 2006, Colección divulgación, 3. 167 p.

Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E. and Yates, C.J. (2011), A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17: 43.

- Farrel E.R., Boustany A.M., Halpin P.N. y Hammond D.L. 2014. Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) distribution in relation to biophysical ocean conditions in the northwest Atlantic. *Fisheries Research* 151: 177 – 190.
- Furukawa, S., Y. Tsuda, G. N. Nishihara, K. Fujioka, S. Ohshimo, S. Tomoe, y R. Kawabe, 2014. Vertical movements of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) and dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) relative to the thermocline in the northern East China Sea. *Fish. Res.*, 149: 86-91.
- Gómez, R. (2010). Guía para la elaboración de mapas de distribución potencial. Universidad Veracruzana, facultad de ciencias Biológicas y Agropecuarias. México. 38pp
- Gallina, S. 2023. México. ¿Qué es el “ámbito hogareño” de los animales y cómo se puede conocer. Crónica y el Portal Comunicación Veracruzana. INECOL. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/2033-que-es-el-ambito-hogareno-de-los-animales-y-como-se-puede-conocer#:~:text=Es%20importante%20conocer%20que%20%20C3%A1rea,%20descanso%20reproducci%C3%B3n%20protecci%C3%B3n>.
- Garrote, G., Gil-Sánchez, J.M., McCain, E.B. et al. The effect of attractant lures in camera trapping: a case study of population estimates for the Iberian lynx (*Lynx pardinus*). *Eur J Wildl Res* 58, 881–884 (2012).
- García Melgar, C.G. 1995. Ciclo de reproducción del dorado *Coryphaena hippurus* Linnaeus 1758. Pistes: *Coryphaenidae*) en el área de los Cabos, B.C.S., México. Tesis Licenciatura. UABCS, 62p.
- Gibbs, R.H. y B.B. Collette. 1959. On the identification, distribution and biology of the dolphinfish, *Coryphaena hippurus* and *C.equiselis*. *Bull. Mar. Sci. Gulf Carib.* 9, 117–152.

GBIF.org (13 September 2022) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.ucpnn9>

Guisan, A. & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol. Letters*, 8(9), 993-1009.

Herrera, M., Coello, D, Peralta, M, Cajas, J., Castro, R., Elías E., Chavarria, J. 2008. Pesca exploratoria del recurso dorado (*C. hippurus*) frente a la costa ecuatoriana. *Boletín Científico y Técnico*, 20 (10), p. 29-51

Hutchinson, G.E. 1957. Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symp.Quant.Biol.*, 22,415-427.

Jonsen, I.D., R.A. Myers, J.M. Flemming 2003. Meta-analysis of animal movement using state-space models. *Ecology* 84: 3055-3063.

Kleisner, K.M., 2009. A Spatio-Temporal Analysis of Dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, Abundance in the Western Atlantic: Implications for Stock Assessment of a Data-Limited Pelagic Resource. University of Miami, Tesis de doctorado.

Lantada, N., Núñez, M. (2002). *Sistemas de Información Geográfica. Prácticas con ArcView*. Ediciones UPC. España.

López. A. 2010. Nicho ecológico: fundamental y realizado. <https://derechosanimalesya.org/nicho-ecologico-fundamental-y-realizado/>

López J., José J. 2018: Desarrollo y Bienestar Social en los Estados del Pacífico Mexicano. En: *Desigualdad Regional, Pobreza y Migración*. México. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C

Madrid, J.V., Beltran-Pimienta, R., 2001. Length, weight and sex of the dolphin fish *Coryphaena hippurus* (Perciformes: Coryphaenidae), of the littoral of Sinaloa, Nayarit and Baja California Sur, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 49, 931–938.

- Martínez A., Josephraj. J .2021. Efectos del Cambio Climático en el Potencial de la Linterna (*Coryphaena hippurus*L.) Zona de Pesca en la Costa Pacífica Colombiana. Revista Internacional de Cambio Climático: Impactos y Respuestas, ISSN: 1835-7156, p.105 - 126, 2021,
- Martínez-Rincón, R.O., S. Ortega-García, J.G. Vaca-Rodriguez, 2009. Incidental catch of dolphinfish (*Coryphaena* spp.) reported by the Mexican tuna purse seiners in the eastern Pacific Ocean. Fish. Res., 96: 296–302.
- Merten, W., R. Appeldoorn, R. Rivera, D. Hammond. 2014a. Diel vertical movements of adult male dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic as determined by use of pop-up satellite archival transmitters. Mar. Biol. 161:1823-1834.
- Moreno B., Karen S., González D. 2015. El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular. Revista chilena de nutrición, 42(2), 199-205.
- Müller K (2020). *_here: A Simpler Way to Find Your Files_*. R package ## version 1.0.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=here>>.
- Norton, J.G., 1999. Apparent habitat extensions of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in response to climate transients in the California Current *. Sci. Mar., 63: 239–260.
- Oxenford H.A. 1999. Biology of the Dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in the western central Atlantic: a review. Scientia Marina 63: 277 – 301.
- Palko,B.J., G. L. Beardsley & W. J. Richards. 1982. Synopsis of biological data on dolphin-fishes *Coryphaena hippurus* linnaeus and *Coryphaena equiselis* linnaeus. U. S. Dep. Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS. Circ. 443,28 p.
- Paparazzo, F. E., Farías, L., Santinelli, N., Alder, V. A., & Esteves, J. (2013). Incorporación de nitrato por fitoplancton en dos ambientes marinos diferentes de la provincia de Chubut (42°-46°S, Argentina). Revista De Biología Marina Y Oceanografía, 48(3), 591-600.

- Pérez, A., Botella, A., Olivella, Muñoz, A., R., Olmedillas, J., Rodríguez, J. (2011). Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática. Editorial UOC. España.
- Pérez, I. 2020. Cambio climático, amenaza constante para especies marinas. ciencia.unam.mx/leer/1037/cambio-climatico-amenaza-constante-para-las-especies-marinas.
- Phillips, S.J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190:231–259.
- Poo, H., Ramírez, E., Marmol, Q. La pesca y los principales puertos pesqueros en México. Universidad de Colima. México
- QGIS.org, 2022. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Salvadeo, C., Auliz-Ortiz, D.M., Petatán-Ramírez, D. (2020). Potential poleward distribution shift of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) along the southern California Current System. *Environ Biol Fish* 103, 973–984.
- Sánchez, N. 2008. Distribución de larvas de dorado *coryphaena hippurus* (linnaeus, 1758) y *coryphaena equiselis* (linnaeus, 1758) en el pacífico oriental mexicano. Maestría en Manejo de Recursos Marinos Thesis, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S., México, vii, 90 h.
- SEMARNAT y Conanp. 2018. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Pacífico Mexicano Profundo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 1ª. Edición. México. 118 pp.

Squeo FA, G Arancio & JR Gutiérrez (2008) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.

Tyberghein L, Verbruggen H, Pauly K, Troupin C, Mineur F, De Clerck O (2012) Bio-ORACLE: A global Environmental Dataset for Marine Modelización de distribución de especies. *Ecología global y biogeografía*, 21, 272–281.

Uchiyama, J. H., R. K. Burch, & S. A. Kraul Jr. 1986. Growth of dolphins *Coryphaena hippurus* and *C. equisetis*, in Hawaiian waters as determined by daily increments on otoliths. *Fish. Bull.* 84 (1): 186-191.

Urciaga García, J. 2009. Los servicios de los ecosistemas en el desarrollo. J. Urciaga García, Luis F. Beltrán Morales, D. Lluch Belda (eds.). En: Recursos Marinos y Servicios Ambientales en el Desarrollo Regional. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S.

Varghese, S.P., V.S. Somvanshi, M.E. John, R. S. Dalvi. 2013. Diet and consumption rates of common dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in the Eastern Arabian Sea. *J. Appl. Ichthyol.* 29:1022-1029.

Verheye H.M., y Richardson A.J. 1998. Long-term increase in crustacean zooplankton abundance in the southern Benguela upwelling region (1951-1996): bottom-up or top-down control? *ICES Journal of Marine Science* 55: 803-807.

Yoshida, H. (2016). Variabilidad ambiental y su efecto en la distribución espacio-temporal de las tasas de captura de dorado *Coryphaena hippurus* en la región de Los Cabos B.C.S., México. 2015, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas La Paz, B. C. S., México p. x, 70 h

Zuñiga-Flores, M.S., 2004. "Variacion estacional e interanual de las tasas de captura del dorado (*Coryphaena hippurus*), en Cabo San Lucas B.C.S. México". Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, tesis de maestria.

Zuñiga, Marcela. 2009. dinámica poblacional del dorado (*C. hippurus*) en baja california sur, México: implicaciones para su manejo. Doctorado en Ciencias Marinas Thesis, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S., México, xx, 203 h.

Zuñiga, M., Lavayen, F. 2014. Estudio de biología reproductiva de (*C. hippurus*) durante el periodo comprendido de octubre 2008 – diciembre 2012. Colombia. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Primera Reunión técnica sobre el recurso Dorado, (*C. hippurus*).