



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Facultad de Ciencias

“Distribución de la orca (*Orcinus orca*), la orca falsa (*Pseudorca crassidens*) y el delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*) en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México”

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

ELIA DEL CARMEN SALAZAR BERNAL

DIRECTOR DE TESIS: DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ

MÉXICO, D.F.

SEPTIEMBRE, 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 23 de Junio de 2008, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** de la alumna **ELIA DEL CARMEN SALAZAR BERNAL** con número de cuenta **96212181** con la tesis titulada "**Distribución de la orca (*Orcinus orca*), la orca falsa (*Pseudorca crassidens*) y el delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*) en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México**", realizada bajo la dirección del **DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ**:

Presidente: DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MEYER  
Vocal: DRA. LIVIA SOCORRO LEÓN PANIAGUA  
Secretario: DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ  
Suplente: DR. EDUARDO MORALES GUILLAUMIN  
Suplente: DR. RAÚL AGUIRRE GÓMEZ

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**Atentamente**  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 1º de Septiembre de 2008.

  
Dr. Juan Muñoz Farfán  
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente de la interesada.

## AGRADECIMIENTOS

---



Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM por haberme brindado la oportunidad de realizar la Maestría en Ciencias Biológicas con orientación en Biología Ambiental. De igual modo, les agradezco todo el financiamiento brindado para la asistencia a la 1ª Reunión Internacional sobre el Estudio de los Mamíferos Acuáticos (Mérida, México).

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

Finalmente agradezco a los miembros de mi Comité Tutorial y Jurado por haber dirigido y revisado el presente trabajo:

Dr. Luis Medrano González (Tutor principal)

Dr. Enrique Martínez Meyer (Miembro del Comité Tutorial)

Dr. Raúl Aguirre Gómez (Miembro del Comité Tutorial)

Dra. Livia Socorro León Paniagua (Miembro del Jurado)

Dr. Eduardo Morales Guillaumin (Miembro del Jurado)



*A mis ángeles  
en el cielo y en  
la tierra*

E,C,JC,L

*Cada mañana en África, una gacela despierta,  
sabe que debe correr más rápido que el león más rápido o morirá.*

*Cada mañana en África, un león despierta,  
sabe que debe alcanzar a la gacela más lenta o morirá de hambre.*

*No importa si eres un león o una gacela,  
cuando sale el sol debes empezar a correr!!*

*Proverbio africano*

## CONTENIDO



Resumen . . . . .	1
Abstract . . . . .	2
Introducción . . . . .	3
Antecedentes . . . . .	7
Biología de la orca . . . . .	7
Biología de la orca falsa . . . . .	12
Biología del delfín de dientes rugosos . . . . .	16
La distribución de los cetáceos y las variables oceanográficas	19
Modelado de las áreas de distribución . . . . .	21
Área de estudio . . . . .	26
Pacífico Oriental Tropical . . . . .	26
Golfo de México . . . . .	29
Planteamiento de la investigación . . . . .	33
Objetivos . . . . .	34
Métodos . . . . .	35
Resultados . . . . .	40
Discusión . . . . .	56
Conclusiones . . . . .	66
Referencias . . . . .	68
Agradecimientos . . . . .	78



Una parte importante del conocimiento biológico de las especies es conocer sus patrones de distribución. La distribución temporal y espacial de los cetáceos está definida por factores físicos, químicos y biológicos. En pocos cetáceos se conoce cuales son los factores que determinan su distribución. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron: modelar la distribución potencial de la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos en el Pacífico Oriental Tropical (POT) y Golfo de México (GM), así como determinar qué variables oceanográficas influyen en su distribución.

Se utilizaron avistamientos georreferenciados de los cetáceos, además de bases de datos de variables oceanográficas (batimetría, temperatura, salinidad, clorofila, oxígeno, nitratos, fosfatos y silicatos). La información de los avistamientos así como de las variables corresponde al año 1998. Con dicha información se generaron los mapas de distribución potencial utilizando el método de GARP.

De acuerdo al modelo realizado con GARP, la distribución potencial de la orca abarca de manera casi homogénea la costa del Pacífico, desde Baja California hasta Perú y desde el continente hasta Hawai. Para la orca falsa, el modelo predijo un área de distribución potencial desde Baja California hasta Ecuador. En esta especie se aprecia que las zonas con mayor soporte están en la parte oceánica del POT y las de menor soporte a lo largo de la zona costera. La distribución potencial del delfín de dientes rugosos va desde Baja California hasta Ecuador, y está se encuentra reducida a la zona tropical del POT delimitada por dos grandes masas de agua.

Los mapas de distribución potencial para los tres cetáceos en el GM en general son limitados. Sin embargo, los tres mapas presentan predicción en la zona norte del golfo, la cual se caracteriza por ser una zona con complejas características fisiográficas y oceanográficas. La limitada predicción en la zona sur del golfo coincide de manera muy puntual con los avistamientos conocidos de estos cetáceos.

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para conocer qué variables oceanográficas influyen en la distribución de estos cetáceos. La distribución de la orca parece estar relacionada con la batimetría y la concentración de clorofila, sin embargo, su presencia no se relaciona directamente con las variables oceanográficas utilizadas. En la orca falsa, las variables que más influyen en su distribución son la batimetría y la temperatura. Por último, la distribución del delfín de dientes rugosos está definida por la temperatura, la salinidad y la batimetría y su presencia parece depender directamente de las variables oceanográficas. En estos cetáceos la variable en común es la batimetría. Esta variable puede estar influyendo en la distribución de estas especies debido a que se considera como un factor importante asociado con la disponibilidad de alimento.

## ABSTRACT

---



An important part of the biological knowledge of species involves their distribution patterns. Temporal and spatial distribution of cetaceans is defined by physical, chemical and biological factors. The particular factors that determine these distributions are only known for few cetacean species. Therefore, the aims of this study were to model the potential distribution of the killer whale, false killer whale and the rough toothed dolphin in the Eastern Tropical Pacific (ETP) and Gulf of Mexico (GM), as well as to determine what oceanographic variables influence their distribution.

We used sighting databases for these three cetaceans, along with databases of 8 oceanographic variables (bathymetry, temperature, salinity, chlorophyll, oxygen, nitrates, phosphates and silicates). The information in the databases (sightings and variable) corresponds to the year 1998 and was used to generate potential distribution maps using GARP.

According to the model obtained with GARP, the potential distribution of the killer whale includes, in an almost homogeneous way, the Pacific coast from Baja California to Peru and from the mainland to Hawaii. For the false killer whale, the model predicted a potential distribution that extends from Baja California to Ecuador. For this species the areas with greater support are found in the oceanic part of the ETP and the areas with lower support correspond to the coastal zone. The potential distribution of the rough toothed dolphin occurs from Baja California to Ecuador and is limited to the tropical zone of the ETP enclosed by two large masses of water.

The potential distribution maps for the three cetacean species in the GM are limited. However, all three maps presented a prediction in the northern Gulf, which is an area with complex physiographic and oceanographic features. The limited prediction in the southern Gulf coincides very specifically with the known sightings of these cetaceans.

A principal component analysis (PCA) was used to determine what oceanographic variables influence the distribution of these cetaceans. The distribution of the killer whale seems to be related to the bathymetry and the concentration of chlorophyll, however, their presence was not directly related to the oceanographic variables used. For the false killer whale, the variables that affect its distribution are bathymetry and temperature. Finally, the distribution of the rough toothed dolphin is defined by temperature, salinity and bathymetry and their presence does seem to depend directly on the oceanographic variables. It appears that for all three species, the distribution is related to the bathymetry. This may be explained by the fact that bathymetry is directly associated with food availability.



En el planeta Tierra se puede encontrar una superficie de tierras emergidas cubiertas por una diversidad de comunidades naturales; una mezcla de plantas y animales que le dan al paisaje un aspecto único y característico. México es un punto de referencia donde la biodiversidad es notoria y de gran magnitud. Esta gran biodiversidad se debe principalmente a que se encuentra situado entre dos grandes regiones biogeográficas, la región Neártica (que incluye las áreas áridas subtropicales del norte del país) y la región Neotropical (que incluye áreas tropicales húmedas y subhúmedas del sur del país). Esta característica, junto con la topografía y la variedad de climas, contribuyen a formar un mosaico de condiciones ambientales que dan origen a una gran variedad de comunidades naturales (Flores Villela y Gerez 1994; Morrone 2004; Vázquez Yanez y Orozco Segovia 1996).

Esta biodiversidad no es exclusiva del ambiente terrestre, los mares y océanos que rodean al país también albergan una gran riqueza de especies marinas debido a la contrastante diversidad de condiciones oceanográficas. Dos de los océanos más grandes del mundo lo rodean, el Pacífico y el Atlántico. En el primero se da una mezcla de diferentes masas de aguas; las aguas frías provenientes del Pacífico norte a través de la Corriente de California y las cálidas provenientes del Pacífico central a través de la Corriente de Costa Rica. En el segundo, la mezcla de diferentes masas se realiza por la combinación de un complejo sistema de corrientes cálidas que entran al Golfo de México junto con los vientos dominantes del noreste. La interacción de estas características oceanográficas, junto con los procesos geológicos y atmosféricos favorecen un mosaico heterogéneo y dinámico de ambientes propiciando que exista una enorme riqueza de flora y fauna marina tropical y de zonas templadas cuyo conocimiento y manejo son indispensable para su conservación (De la Lanza Espino 1991).

Dentro de la biodiversidad de especies marinas encontramos al grupo de los mamíferos que incluye a especies pertenecientes a tres órdenes: Cetácea (ballenas, cachalotes, zifios, delfines y marsopas), Carnívora (focas, lobos marinos, morsas y nutrias) y Sirenia (manatíes y dugongos). México posee una gran riqueza de cetáceos, en sus aguas viven 41 de las 86 especies conocidas a nivel mundial (Reeves *et al.* 2003). En el Pacífico Oriental Tropical se han registrado 30 especies de cetáceos (Medrano González 2006), mientras que en el Golfo de México se registran 28 especies (Jefferson y Schiro 1997). De acuerdo con Medrano González (2006), la mayor riqueza de especies que habitan en las aguas de nuestro país se presenta en el Pacífico Norte mexicano y el Golfo de California.

En el Océano Pacífico podemos encontrar especies de origen tropical asociadas a las corrientes Norecuatorial y costera de Costa Rica, así como de aguas frías y templadas asociadas a la Corriente de California, mientras que en el Golfo de México y el Mar Caribe habitan cetáceos fundamentalmente de aguas tropicales y subtropicales asociados a las corrientes del Golfo y de las Antillas (Aguayo *et al.* 1986; Ceballos *et al.* 2005; Torres *et al.* 1995).

Las aguas tropicales constituyen casi la mitad de todos los océanos del mundo y aproximadamente la mitad de las especies de cetáceos conocidas hasta el momento se distribuyen en estas aguas. Sin embargo, se conoce relativamente poco sobre la ecología de las comunidades oceánicas tropicales de cetáceos en muchas partes del mundo (Mullin y Fulling 2004). El Pacífico Oriental Tropical es una zona que ha sido intensamente estudiada debido a que es un importante sitio de mortalidad principalmente de delfines del género *Stenella* relacionados con la pesca del atún aleta amarilla (Au y Perryman 1985).

El Golfo de México también es una zona ampliamente estudiada en diversos aspectos de la mastofauna marina (Mullin y Hansen 1999; Baumgartner 1997). Sin embargo, el esfuerzo de investigación se ha enfocado a la parte norte del Golfo de México, área que pertenece a la zona económica exclusiva de los Estados Unidos de América. El importante impulso por la investigación de estos animales en esta

zona se debe al interés que tiene este país por la legislación en materia de protección ambiental sobre la mastofauna marina que se distribuye en sus aguas (Würsig *et al.* 2000).

Por otro lado, tanto en el Pacífico Oriental Tropical como en el Golfo de México el esfuerzo de investigación sobre la mastofauna marina se ha enfocado a especies como el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*), el delfín moteado (*Stenella attenuata*), el delfín común (*Delphinus delphis*), el cachalote (*Physeter macrocephalus*), la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), así como la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) que durante el invierno utilizan las aguas del Pacífico mexicano como zonas de reproducción. (Acevedo 1991; Au y Perryman 1985; Gendron 1993; Gómez-Gallardo *et al.* 2002; Guerrero Ruiz *et al.* 2006; Jaquet y Gendron 2002; Ladrón de Guevara 1995; Vázquez Castán *et al.* 2007). Sin embargo, la investigación en otras especies es escasa debido en gran medida a que se observan en raras ocasiones. Por mencionar sólo algunas, encontramos a las especies de la Familia Ziphiidae, los cachalotes enano y pigmeo (*Kogia sima* y *K. breviceps* respectivamente), el delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*), la orca falsa (*Pseudorca crassidens*) y la orca (*Orcinus orca*).

Hasta hace algunos años, la información científica sobre algunas especies era muy escasa; y la poca información existente se limitaba a reportes eventuales de avistamientos. Recientemente se han iniciado estudios sobre la orca, los cuales se han enfocado a determinar su abundancia, interacciones ecológicas y movimientos en el Pacífico Tropical Mexicano (Salazar Bernal 2005) y en el Golfo de California (Guerrero Ruiz *et al.* 1998) y sobre el delfín de dientes rugosos y el cachalote enano para determinar la distribución y abundancia en la Bahía Banderas, México (Pompa Mansilla 2006). Desafortunadamente, para muchas otras especies la información existente en nuestro país se basa en reportes esporádicos de avistamientos y varamientos.

Entre las especies poco estudiadas y cuya información científica se encuentra en desarrollo están la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos. El interés por conocer más acerca de estas especies se debe a ciertas características en común cómo son que se encuentran distribuidas en la región tropical y subtropical del Océano Pacífico y Golfo de México (Heyning y Dahlheim 1988, Stacey *et al.* 1994, Würsig *et al.* 2000), presentan hábitos oceánicos y su presencia se registra con poca frecuencia, por lo que se conoce poco sobre ellas. Finalmente, debido a que estos cetáceos tienen gran variedad de hábitos alimentarios, se ubican en diferentes niveles tróficos, de tal manera que los factores que delimitan o afectan su distribución pueden ser diferentes y/o exclusivos para cada una de estas especies.

Parte fundamental del conocimiento biológico de las especies es conocer sus patrones de distribución. Entre los cetáceos se pueden encontrar especies con distribución costera, oceánica, tropical, antitropical, cosmopolita, endémica, migratoria y/o residente (Martin y Reeves 2002). Sin embargo, los patrones de distribución temporal y espacial de los cetáceos, así como su abundancia están definidos por un gran número de factores físicos, químicos y biológicos del ambiente. Pocas especies de cetáceos se han estudiado con tal detalle que ha permitido desarrollar hipótesis específicas acerca de los procesos ecológicos que determinan su distribución (Croll *et al.* 1998; Redfern *et al.* 2006, ver Antecedentes).

Con lo anterior, el objetivo de este estudio es definir la distribución potencial de la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México, así como determinar que variables oceanográficas pueden influir en la distribución de estos tres cetáceos.



### **BIOLOGÍA DE LA ORCA**

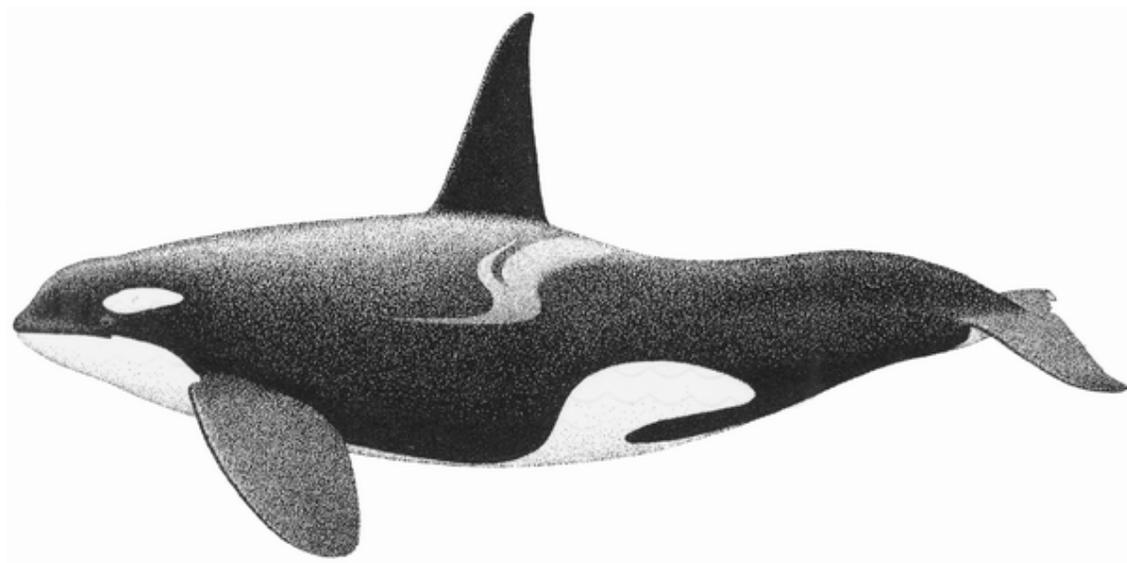
La orca pertenece a la familia de los delfines siendo la especie de mayor tamaño en este taxón. Las orcas tienen un cuerpo robusto y presentan dimorfismo sexual. Los machos alcanzan una longitud de hasta 9.5 m mientras que las hembras rara vez miden más de 7 m (Leatherwod *et al.* 1988). Existen registros que van de las 4 hasta las 8 toneladas de peso para los machos y de 3 hasta 4 toneladas para las hembras (Hoyt 1981; Leatherwod *et al.* 1988).

Una característica notable en estos animales es la aleta dorsal colocada en la mitad del dorso. En los machos adultos ésta es triangular y puede medir hasta 2 m de altura. Las hembras y los jóvenes tienen una aleta dorsal más pequeña alcanzando una altura máxima de 1 m siendo con frecuencia falcada (Heyning y Dahlheim 1988; Leatherwod *et al.* 1988).

La cabeza es roma con hocico poco aparente. Las grandes aletas pectorales están situadas a una cuarta parte de la cabeza hacia atrás (Heyning y Dahlheim 1988) y tienen forma de remos redondeados y anchos con una coloración negra por ambos lados (Leatherwod *et al.* 1988).

La coloración de las orcas es muy distintiva. El dorso es todo negro y la región ventral es blanca y ambas están bien demarcadas. La región blanca se extiende desde la mandíbula hacia la parte posterior cubriendo toda la región gular, continuando a lo largo de la línea ventral y estrechándose entre las aletas pectorales (Leatherwod *et al.* 1988). Las orcas presentan un parche blanco y oval a ambos lados de la cabeza, justamente arriba y detrás de los ojos y también una mancha blanquecina llamada “silla de montar” situada en el tronco inmediatamente detrás de la aleta dorsal por ambos costados (Figura 1).

La orca tiene una distribución cosmopolita. Existen registros de su presencia en aguas tropicales pero son más abundantes en regiones frías de ambos hemisferios con una mayor ocurrencia dentro de los 800 Km a partir de la costa (Dahlheim *et al.* 1982; Heyning y Dahlheim 1988; Figura 2).



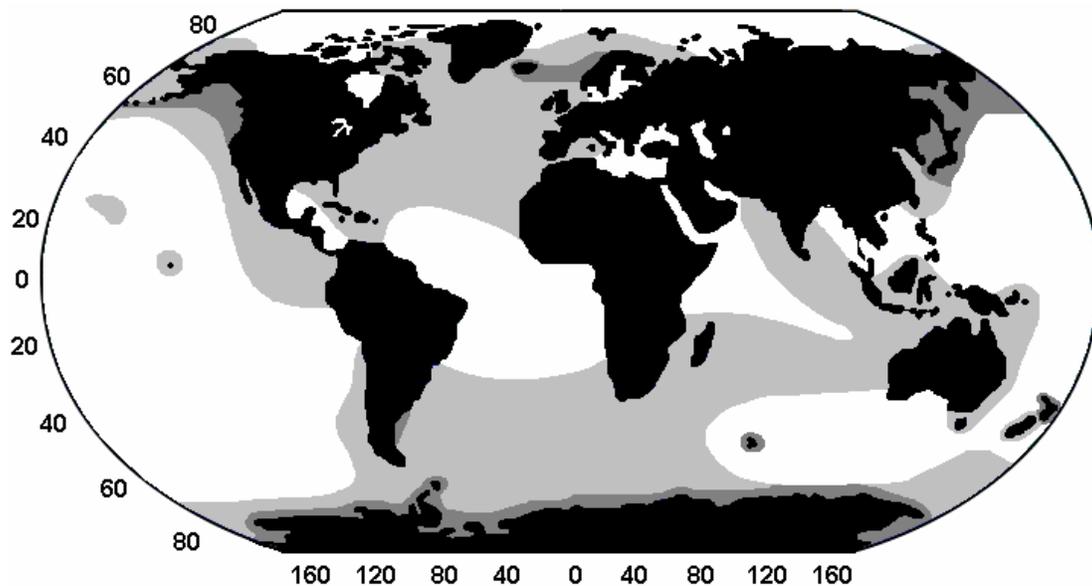
**Figura 1.** Orca (*Orcinus orca*). Ilustración de P. Folkens.

### ***Distribución mundial***

En algunas áreas, las orcas pueden encontrarse esporádicamente mientras que en otras áreas aparentemente se encuentran durante todo el año (Perrin 1982). Los movimientos de las orcas parecen relacionados a los movimientos de sus presas. Sergeant y Fisher (1957) suponen que los movimientos de las orcas en las costas Orientales de Canadá están asociados con las migraciones de las focas y rorcuales. Jonsgard y Lyshoel (1970) concluyen que la distribución y la migración de las orcas en el Atlántico Nororiental depende de la migración del arenque (Heyning y Dahlheim 1988).

En el Atlántico Boreal, las orcas se han observado frecuentemente en Groenlandia, Islandia, Irlanda y en los mares de Barents y White. Una frecuencia regular de su presencia se ha documentado en Noruega, Gran Bretaña, Francia y Canadá. Las orcas también se han registrado en las costas noroccidentales de Estados Unidos (Heyning y Dahlheim 1988).

En el Pacífico Norte, las orcas se observan con frecuencia en el Mar de Bering y en los mares de Chukchi y Beaufort. También se ha registrado su presencia en Alaska. Una población de orcas se observa todo el año en las aguas interiores de la Columbia Británica y el Estado de Washington con presencia esporádica frente a la costa de Oregon y California. Las orcas se observan con poca frecuencia cerca de la costa pacífica americana desde los 35° N hasta los 5° S. La mayoría de estos registros están dentro de los 600 Km. a partir del continente. En el Golfo de California, existen registros esporádicos (Dahlheim *et al.* 1982).



**Figura 2.** Distribución de la orca. El gris oscuro indica zonas de abundancia alta y regular. El gris claro indica zonas de baja abundancia con registros esporádicos. Modificado de Dahlheim y Heining 1999.

A pesar de los numerosos reportes de *Orcinus orca* en el Hemisferio Sur, su distribución, movimientos y abundancia no se conocen en forma completa ni detallada (Heyning y Dahlheim 1988). En el Pacífico Austral, las orcas se han documentado en Australia, Nueva Zelanda y las Islas Galápagos (Dahlheim *et al.* 1982; Heyning y Dahlheim 1988; Perrin 1982). En la Antártica, las orcas se han registrado alrededor de todo este continente incluyendo el Mar de Ross y el Mar de Weddell (Heyning y Dahlheim 1988).

### ***Distribución en México***

Esta especie se observa frecuentemente en las costas de Baja California, principalmente en las cercanías de las islas con loberas de *Zalophus californianus*. Con base en los informes de los barcos atuneros, a las orcas se les ha encontrado desde Cabo San Lucas hasta el Ecuador (Dahlheim *et al.* 1982; Leatherwood *et al.* 1988).

Acevedo y Fleischer (1987) reportan la presencia de ésta especie en localidades como: Islas San Benito, Loreto, región sureste de la Isla Tiburón y el Golfo de California. Urbán y Aguayo (1985) informan de avistamientos de orcas en aguas de la costa occidental de Baja California, al norte de la Isla San Jerónimo.

Aguayo (1985), así como Pérez Bouchez y Gordillo Morales (2002), informan sobre la presencia de esta especie en aguas del Golfo de Tehuantepec y en el corredor turístico Huatulco–Puerto Escondido, Oaxaca. Sarti *et al.* (1994) reportan el avistamiento de una orca frente a la costa de Mexiquillo, Michoacán. Salinas Zacarías y Bourillón Moreno (1988) así como Esquivel *et al.* (1993) y personal del Grupo de Mastozoología Marina de la Facultad de Ciencias, UNAM han registrado avistamientos de orcas en la Bahía Banderas, Nayarit-Jalisco desde los 1980. Salinas Zacarías y Ladrón de Guevara Porras (1993) y personal del Grupo de Mastozoología Marina (GMM) de la Facultad de Ciencias, UNAM mencionan la presencia de orcas en la región de las Islas Revillagigedo.

En el Golfo de México, Ortega Ortiz (2002b) realizó un estudio sobre la distribución de cetáceos en el cual reportó el avistamiento de una orca en la Bahía de Campeche. Antochiw Alonso y Membrillo Venegas (1998) registraron tres varamientos al norte de la Península de Yucatán; dos en Dzilam de Bravo y uno en El Cuyo (Ortega Ortiz 2002b).

### *Alimentación*

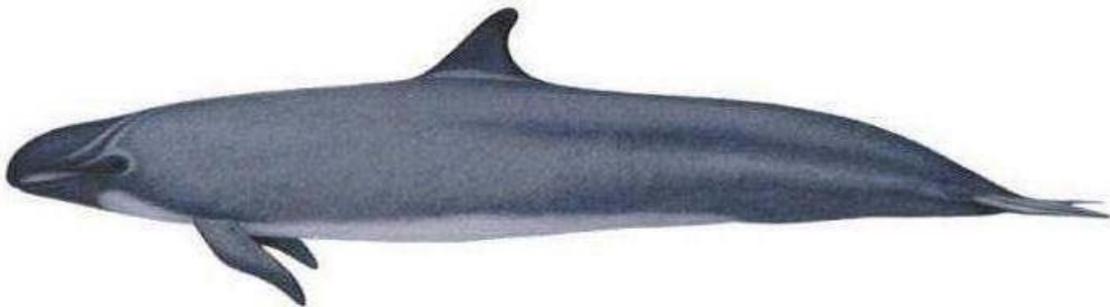
Las orcas son los depredadores marinos de mayor nivel trófico y el conocimiento de su dieta proviene de la observación directa en actividades de depredación y de los restos estomacales de animales varados (Ford y Ellis 1999). Las orcas se alimentan de una gran variedad de presas en las que se incluyen calamares, pulpos, peces óseos, elasmobranquios, tortugas y aves marinas. Todas las familias de mamíferos marinos, exceptuando a los delfines de río y manatíes, se han reportado como presas de orcas. (Baird 2000a; Castello 1977; Esquivel *et al.* 1993; Fertl *et al.* 1996; Heyning y Dahlheim 1988; Jefferson *et al.* 1991; Morton 1990; Visser 1999). Jefferson *et al.* (1991) mencionan que las conductas de depredación de las orcas se han observado sobre 20 especies de cetáceos, 14 especies de pinnípedos así como sobre nutrias marinas y dugongos.

## **BIOLOGÍA DE LA ORCA FALSA**

La orca falsa es uno de los miembros más grandes de la familia Delphinidae. Esta especie es uno de los cetáceos más propensos a vararse. Las regiones donde se han documentado varamientos masivos son en Europa, Sudáfrica, Australia, Argentina y el Golfo de México, así como en Florida y California (Caldwell *et al.* 1970; Mitchell 1965; Würsig *et al.* 2000).

### ***Morfología***

Las orcas falsas presentan un ligero dimorfismo sexual, caracterizado por el prominente melón en los machos. Los machos alcanzan una longitud máxima de 6 m mientras que las hembras llegan a medir hasta 5 m (Baird 2000b; Perrin y Reilly 1984). Los individuos adultos pueden pesar entre las 1.5 hasta las 2.5 toneladas de peso (Stacey *et al.* 1994; Würsig *et al.* 2000; Figura 3). Existen registros que van de las 4 hasta las 8 toneladas de peso para los machos y de 3 hasta 4 toneladas para las hembras (Hoyt 1981; Leatherwood *et al.* 1988).



**Figura 3.** Orca falsa (*Pseudorca crassidens*). Ilustración de Martin Camm.

Las orcas falsas tienen un cuerpo largo y esbelto con una cabeza relativamente pequeña y redonda sin una clara diferencia entre el melón y el rostro (Leatherwood *et al.* 1988; Stacey *et al.* 1994). La aleta dorsal está situada en la mitad

del dorso siendo ésta alta y falcada con el ápice redondeado. Las aletas pectorales son pequeñas alcanzando alrededor del 10% de la longitud total y están muy por delante en los costados; éstas tienen una notable curvatura en el margen anterior en forma de "S" y ésta es una característica diagnóstica de la especie (Leatherwood *et al.* 1988; Stacey *et al.* 1994).

La coloración puede ir desde un gris oscuro a negro; presenta un parche en forma de ancla entre las aletas pectorales y algunas partes grises en ambos lados de la cabeza y el vientre (Baird 2000; Leatherwood *et al.* 1988).

### ***Distribución mundial***

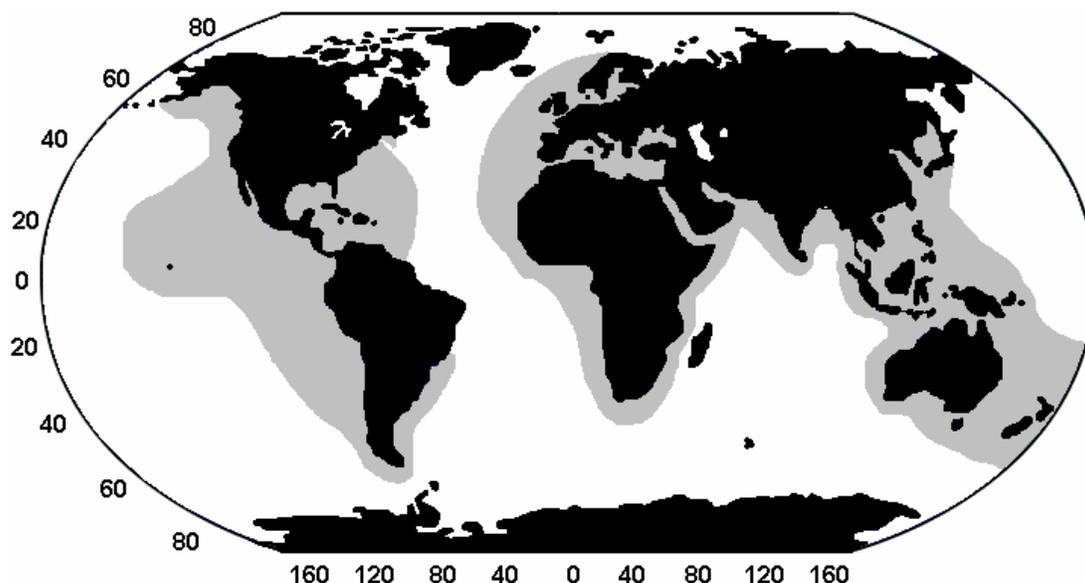
La orca falsa está ampliamente distribuida aunque no es abundante en ninguna zona. Esta especie habita frecuentemente en ambientes pelágicos de regiones tropicales, subtropicales y templadas de todo el mundo y existen escasos registros de su presencia en aguas polares (Stacey *et al.* 1994). Su distribución se encuentra entre los 50° N y 50° S (Jefferson *et al.* 1993, Figura 4).

Las orcas falsas se han observado desde Prince William Sound, Alaska (Leatherwood *et al.* 1982) hasta el sur de Chile (Brown *et al.* 1966; Flores *et al.* 2003; Mitchel 1965;). También se ha registrado su presencia en las islas de Hawai y Galápagos (Baird *et al.* 1989; Leatherwood *et al.* 1988; Tomich 1986). En el Pacífico occidental se han observado en los mares de Japón, China, Australia, Tasmania y Nueva Zelanda (Leatherwood y Reeves 1983).

En el Atlántico occidental, las orcas falsas se han observado desde Carolina del Norte hasta el Estrecho de Magallanes (Brimley 1937; Caldwell 1937), mientras que en el Atlántico oriental las orcas falsas se han observado desde Gran Bretaña, Dinamarca, Holanda, Portugal y Sudáfrica (Fraser 1936).

Aunque su presencia se considera como inusual, también se han observado orcas falsas en el Océano Índico, Mar Mediterráneo y Mar Rojo (Mitchell 1975 en Stacey y Baird 1991). Tomilin (1957) sugiere que pueden existir movimientos

cercanos a la costa asociados a la presencia de alimento (p.ej. calamares) (Stacey *et al.* 1994).



**Figura 4.** Distribución de la orca falsa. Modificado de Odell y McClune 1999.

### *Distribución en México*

La poca información existente sobre la distribución de la orca falsa en los mares mexicanos proviene principalmente de registros sobre varamientos así como de reportes de avistamientos. Los varamientos de orcas falsas se han registrado en las costas de la Isla Espíritu Santo, Isla San José y El Mogote en Baja California Sur (Mitchel 1965; Rizo 1990; Vidal 1991); en Zipolite, Oaxaca (Meraz y Becerril Morales 2004), en Cancún, Quintana Roo (De la Parra *et al.* 2000; Delgado Estrella *et al.* 2004), en Celestún (Antochiw-Alonso 2001 en Ortega-Ortiz 2002b), en El Cuyo (Antochiw-Alonso 2001) y en el Arrecife Alacranes, Yucatán (Antochiw-Alonso y Membrillo-Venegas 1998) así como en las costas de Veracruz (Jefferson 1995 en Ortega-Ortiz 2002b).

En las aguas del Pacífico mexicano, Urbán y Aguayo (1985) registraron la presencia de orcas falsas en las costas de Cabo San Lucas; mientras que Aguayo *et al.* (1986) reportan esta especie en el Golfo de California. El GMM mencionan la presencia de orcas falsas en la región de las Islas Revillagigedo así como en la Bahía Banderas, Nayarit-Jalisco. En el Golfo de México, Ortega Ortiz (2002b) y De la Parra (2000) reportan la presencia de esta especie en los alrededores de la Península de Yucatán.

### *Alimentación*

Las orcas falsas se alimentan de una gran variedad de presas principalmente de peces y cefalópodos (Alonso *et al.* 1999; Stacey *et al.* 1994).

Mucha de la información acerca de la alimentación de las orcas falsas proviene principalmente de contenidos estomacales de animales varados. Entre las presas que podemos encontrar están diversas especies de peces como el salmón (*Oncorhynchus* sp.), el bonito (*Sarda* sp.), el dorado (*Coryphaena hippurus*), el atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*), la perca japonesa (*Lateolabrax japonicus*), entre otras; así como diversas especies de calamares (p.ej. *Berryteuthis magister*, *Gonatopsis borealis*, *Martialia hyadesi*). (Alonso *et al.* 1999; Baird *et al.* 1989; Baird *et al.* 2008; Odell y McClune 1999; Stacey y Baird 1991; Stacey *et al.* 1994).

En ciertas ocasiones, las orcas falsas también se pueden alimentar de algunas especies de cetáceos (Jefferson *et al.* 1993). Perryman y Foster (1980) mencionan que durante la pesca de atún en el Pacífico Tropical se han observado ataques de orcas falsas a delfines de los géneros *Stenella* y *Delphinus*. Palacios y Mate (1996) reportan un ataque de orcas falsas a cachalotes en las Islas Galápagos. Por otro lado, Hoyt (1983) hace referencia a un ataque de orcas falsas a una cría de ballena jorobada en Hawái, mientras que Flórez-González *et al.* (1994) y personal del GMM (2008) registraron el acoso de un grupo de orcas falsas a una ballena jorobada en Colombia y Bahía de Banderas, México, respectivamente.

## BIOLOGÍA DEL DELFÍN DE DIENTES RUGOSOS

### *Morfología*

El nombre de esta especie deriva de las finas estrías verticales presentes en los dientes que le dan una textura característica (Reeves 2002).

El delfín de dientes rugosos es una de las especies más pequeñas de delfines. Los machos alcanzan una longitud máxima de 2.7 m, mientras que las hembras llegan a medir aproximadamente 2.3 m. El peso máximo se encuentra entre los 90 a 155 Kg (Miyazaki y Perrin 1994; Würsig *et al.* 2000; Figura 5). Este delfín se distingue de otras especies por el rostro que se une con el melón sin una separación marcada dando a la cabeza una apariencia larga y casi cónica. Su cuerpo es relativamente robusto para ser una de las especies de menor talla.



**Figura 5.** Delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*). Tomado de [www.whale.org.tw](http://www.whale.org.tw)

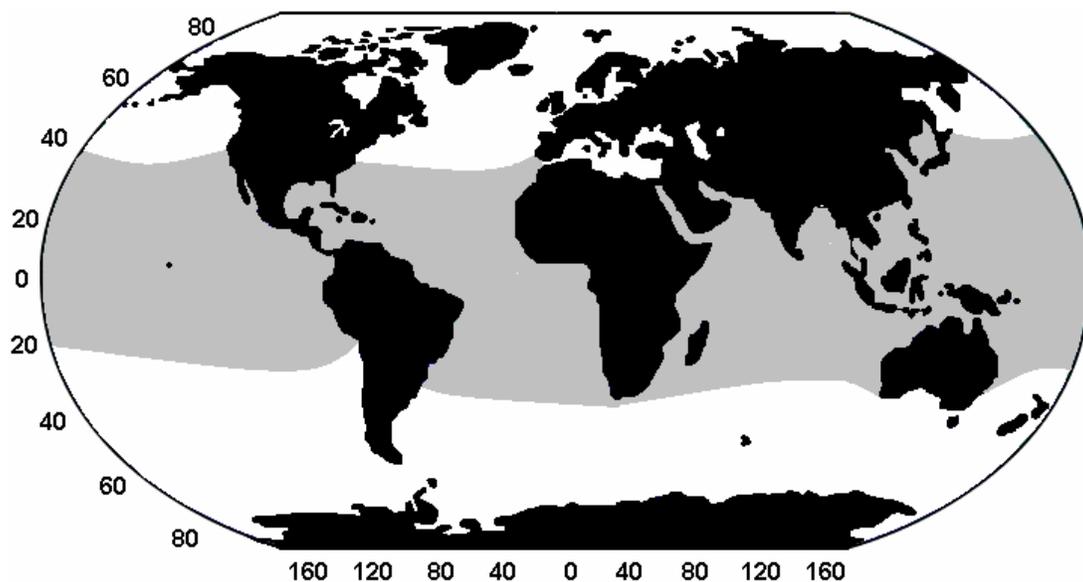
La aleta dorsal es alta y erguida y está situada detrás de la parte media del dorso; las aletas pectorales son largas. La coloración es variable, la parte dorsal del cuerpo es predominantemente gris, mientras que la parte ventral y gran parte de la mandíbula inferior es de color blanco o rosado (Würsig *et al.* 2000). Otra característica de esta especie es la presencia de una mancha blanca-rosada a lo largo de los “labios” y que da el aspecto de una mancha de leche (Reeves 2002).

### *Distribución mundial*

El delfín de dientes rugosos se distribuye en aguas tropicales y subtropicales de todo el mundo (Würsig *et al.* 2000). Su distribución se conoce poco y los registros de avistamientos indican que esta especie no es común en ningún área (Gannier y West 2005; Figura 6).

Los registros de su presencia en el Hemisferio Norte se ha observado en Holanda, Golfo de Aden, Mar Arábigo, Bahía Bengal, Mar de China. En las costas del Pacífico Tropical se han registrado desde las islas de Hawai así como en las costas de Oregon, Washington y Baja California Sur, México (Ferrero *et al.* 1994; Perrin y Walter 1975; Rice 1998). Existen registros de avistamientos en el Golfo de México, Mar Caribe y Mar Mediterráneo (Jefferson 2000).

En el Hemisferio Sur, el delfín de dientes rugosos se ha observado en Río Grande, Brasil, en el Mar Timor, Natal y Coral así como en Nueva Zelanda y el norte de Chile (Ott y Danilewicz 1996; Rice 1998).



**Figura 6.** Distribución del delfín de dientes rugosos. Modificado de Jefferson 2002.

## *Distribución en México*

Antochiw-Alonso y Membrillo Venegas (2000) reportan el varamiento de un delfín de dientes rugosos en las costas de Celestún, Yucatán, mientras que Delgado Estrella *et al.* (2002) en la costa noroeste de Quintana Roo.

Delgado Estrella (1994), así como López Hernández y Delgado Estrella (2000) reportan la presencia del delfín de dientes rugosos en las costas del Estado de Tabasco. De la Parra *et al.* (2000) registran la presencia de esta especie en aguas adyacentes a Cancún e Isla Mujeres. Ortega Ortiz (2000a) reporta la presencia de diversas especies de mamíferos marinos, entre las que se incluye al delfín de dientes rugosos en el sur del Golfo de México, sin especificar localidad alguna. Por otro lado Aguayo *et al.* (1986), junto con el GMM ha reportado la presencia de esta especie en la Bahía Banderas, Nayarit – Jalisco.

## *Alimentación*

El alimento principal del delfín de dientes rugosos consta de una gran variedad de peces, calamares y pulpos. Entre las especies de cefalópodos que se han registrado en los contenidos estomacales de animales varados se incluyen *Teuthowenia* sp., el pulpo malta (*Tremoctopus violaceus*) y el calamar rojo (*Ommastrephes bartramii*), entre otros. Entre los peces que se han registrado se encuentran los charales (*Pranesus insularum*), la paparda o peces pelágicos (*Cololabis adocetus*), el agujón (*Tylosurus crocodilus*), el dorado (*Coryphaena bippurus*) y el pejerrey (*Atherinops affinis*) (Clarke 1986; Ferrero *et al.* 1994; Layne 1965; Pitman y Stinchcomb 2002; Shallenberger 1981). En una gran cantidad de animales varados se ha encontrado una especie de alga (*Sargassum filipéndula*). Hasta el momento se desconoce la importancia de este fenómeno (Layne 1965).

## **LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CETÁCEOS Y LAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS**

La distribución de los organismos tanto en ambientes terrestres como en ambientes marinos no es azarosa. Cada especie tiene requerimientos específicos bajo los cuales sus poblaciones se mantienen y desarrollan adecuadamente (Myers y Giller 1988). A pesar de que los cetáceos se consideran como uno de los grupos marinos con mayor capacidad de movimiento y que el ambiente marino aparenta ser un hábitat continuo, existen factores que limitan la distribución de estos animales (Aguilar Aguilar y Contreras Medina 2003.).

La distribución temporal y espacial de los cetáceos, así como su abundancia está definida por diversos factores históricos y ecológicos. Los factores históricos generalmente se basan en procesos que tratan de explicar la distribución de los organismos como la dispersión, centros de origen y vicarianza. Los factores ecológicos están relacionados con los parámetros físico-químicos del ambiente, como son la temperatura, salinidad, profundidad y también se encuentran las interacciones bióticas, como competencia, depredación, la distribución de presas, entre otras. Cada uno de estos factores influye en la distribución de los cetáceos y es su combinación la que define los patrones de distribución que presentan las especies (Rosen 1988).

Actualmente se ha visto que la distribución de los cetáceos se relaciona con diversas variables oceanográficas, y aunque las relaciones entre éstas y los patrones de distribución son dinámicas, se ha logrado establecer alguna relación entre la distribución de las especies y algunas variables, tales como la temperatura superficial del mar (Baumgartner *et al.* 2001; Forney 2000; Hamazaki 2002; Selzer y Payne 1988), salinidad (Forney 2000; Selzer y Payne 1988; Tynan *et al.* 2005), concentraciones de clorofila (Smith *et al.* 1986), zooplancton (Davis *et al.* 2002; Griffin 1997), batimetría (Baumgartner 1997; Davis *et al.* 1998; Gowans y Whitehead 1995; Ross *et al.* 1987;), características del fondo marino (Baumgartner 1997; Davis

*et al.* 1998; Gowans y Whitehead 1995; Selzer y Payne 1988) y zonas de surgencias (Tynan *et al.* 2005).

Au y Perryman (1985) describieron las preferencias de hábitat de las especies de los géneros *Stenella* y *Delphinus* en el Pacífico Oriental Tropical. Estos autores reconocen la existencia de dos comunidades de delfines que están separadas por dos grandes masas de agua. La primera es una comunidad conformada por delfines moteados (*Stenella attenuata*) y delfines tornillos (*Stenella longirostris*) los cuales se distribuyen en aguas templadas con temperaturas mayores a los 25°C y con bajas concentraciones de salinidad (34‰). Estas características oceanográficas son típicas del Agua Superficial Tropical. La segunda comunidad esta conformada por delfines comunes y delfines listados, que son más abundantes en regiones donde hay surgencias, aguas con temperaturas menores a los 25°C y altas concentraciones de salinidad (34.5‰). Esta comunidad se distribuye básicamente en Aguas Ecuatoriales incluidas las aguas tropicales que están cerca de Centroamérica y las Aguas Subtropicales del Golfo de California, Perú y las Islas Galápagos.

Tynan *et al.* (2005) correlacionan la distribución de la ballena jorobada, la marsopa común (*Phocoena phocoena*), la marsopa de Dall (*Phocoenoides dalli*) y el delfín de costados blancos del Pacífico (*Lagenorhynchus obliquidens*) con diversas variables oceanográficas frente a las costas de California. En el caso de la ballena jorobada, los autores determinaron que la temperatura superficial del mar y la profundidad fueron las variables más importantes durante junio, mientras que la salinidad y la profundidad fueron las más importantes durante el mes de agosto. Para la marsopa común y la marsopa de Dall su distribución se relaciona con altas concentraciones de salinidad y clorofila, respectivamente. Para el delfín de costados blancos del Pacífico su distribución se relaciona principalmente con la profundidad y tiene preferencia por aguas con bajas concentraciones de salinidad.

La distribución de los cetáceos en el Golfo de México ha sido descrita por Davis *et al.* (2002). Estos autores determinaron que la distribución de nueve

especies de cetáceos está relacionada con características oceanográficas, como giros ciclónicos y anticiclones, así como con la biomasa de zooplancton y micronecton. Por otro lado, Baumgartner *et al.* (2001) mencionan que la distribución del cachalote y el delfín moteado se distribuyen de manera similar sobre el talud inferior a profundidades menores a las 1000 m, mientras que las dos especies del género *Kogia* se observaron con mayor frecuencia en aguas de la parte superior del talud continental donde se presentan altas concentraciones de zooplancton.

Los estudios que correlacionan las variables ambientales, junto con datos de avistamientos y distribución de alimento potencial pueden ayudar a conocer más acerca de la ecología de los cetáceos y describir con mayor precisión su hábitat (Griffin 1997).

### **MODELADO DE LAS ÁREAS DE DISTRIBUCIÓN**

Para la ecología y la biogeografía, uno de los temas de mayor interés es conocer el área de distribución de las especies. El área de distribución es el espacio geográfico que ocupan todas las poblaciones de una especie (Brown *et al.* 1996).

Tradicionalmente, los análisis de distribuciones geográficas se realizaban utilizando los puntos de colecta como base para proyectar en un mapa la presencia de los individuos, al unir los puntos extremos se circunscribe un área que representa la distribución geográfica de la especie. Sin embargo, este método puede subestimar o sobrestimar el área de distribución y está basado en la experiencia del científico (Rapoport 1975).

Debido al interés por conocer con mayor precisión la distribución geográfica de las especies, se han desarrollado métodos que relacionan los datos de presencia junto con las características ambientales de las localidades de colecta para predecir las condiciones en las cuales es posible encontrar a las especies y poder delinear la distribución de éstas. Al considerar los factores bióticos y abióticos para determinar el área de distribución de una especie, el concepto de área de

distribución se modifica hacia el concepto de nicho ecológico. Utilizar métodos que incluyen factores ambientales para modelar el área de distribución de una especie, lo que realmente se modela es el nicho fundamental de la especie (Hutchinson 1957)<sup>1</sup>.

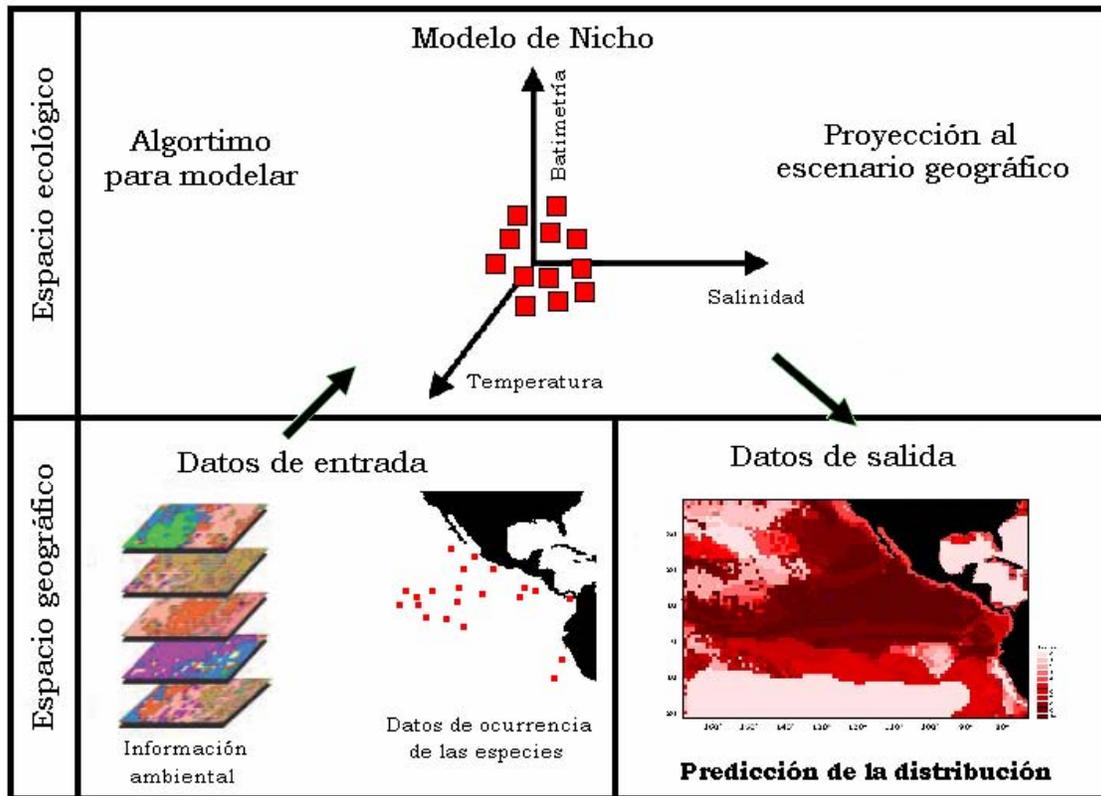
Con base en esto, el proceso de modelado consiste en caracterizar el nicho ecológico de la especie y proyectar el modelo de nicho a un espacio geográfico que permita identificar áreas potenciales de distribución (Sánchez-Cordero *et al.* 2001).

Existe gran variedad de métodos que permiten modelar la distribución de las especies basado en su nicho ecológico, entre estos encontramos: GLM's (modelos lineales generalizados) y GAM's (modelos aditivos generalizados), los cuales utilizan datos de presencia y ausencia de las especies (Guisan *et al.* 2002); espacio bioclimático BIOCLIM (Nix 1986), DOMAIN (Carpenter *et al.* 1993), MaxEnt (Phillips *et al.* 2004), ENFA (Ecological Niche Factor Analysis; Hirzel *et al.* 2002) y GARP (Genetic Algorithms for Rule-set Prediction; Stockwell y Peters 1999), entre otros.

Un avance significativo en el modelado de la distribución fue el utilizar la inteligencia artificial con base en algoritmos computacionales múltiples en un ambiente de "aprendizaje" (Navarro *et al.* 2003). Un algoritmo de este tipo es el Algoritmo Genético para la Producción de Conjuntos de Reglas (GARP por sus siglas en inglés, Stockwell 1999). Este método utiliza dos tipos de información: 1) las localidades de colecta de las especies y 2) las variables ambientales (p.ej. temperatura, topografía); con base en esta información, GARP relaciona las características ecológicas de los puntos de ocurrencia a un conjunto de variables ambientales con la finalidad de producir una lista de reglas condicionales que predicen presencia o ausencia de la especie a través del escenario geográfico que se está analizando (Navarro *et al.* 2003, Figura 7).

---

<sup>1</sup> Hutchinson (1957) define el nicho como la expresión de todos los factores bióticos y abióticos que determinan la presencia y persistencia de una especie, y que por lo tanto, explican su distribución y abundancia. Por lo tanto, el nicho corresponde a un hiperespacio de n-dimensiones, donde las poblaciones de una especie pueden subsistir indefinidamente, donde n representa todos los factores ambientales.



**Figura 7.** Diagrama del proceso de modelado de nicho ecológico. Modificado de Martínez Meyer (2005).

Este método se ha utilizado en distintas áreas y aplicaciones, por ejemplo, en el ámbito teórico (Stockwell 1995, 1997; Stockwell y Peters 1999; Anderson *et al.* 2003; Soberon y Peterson 2005), distribuciones y patrones biogeográficos (Peterson 2001; Anderson *et al.* 2002a; Peterson *et al.* 2002), migraciones (Nakazawa *et al.* 2004), competencia (Anderson *et al.* 2002b) evolución del nicho ecológico (Peterson *et al.* 1999), predicción de especies invasoras o plagas (Peterson y Vieglais 2001; Peterson *et al.* 2003), escenarios de cambio climático global (Peterson *et al.* 2001; Peterson *et al.* 2004; Martínez Meyer *et al.* 2004), análisis de biogeografía histórica (Rojas-Soto *et al.* 2003), transmisión de enfermedades infecciosas (Peterson *et al.* 2003), conservación (Peterson *et al.* 2002; Peterson y Robins 2003).

Sin embargo, todos estos estudios se han aplicado en ambientes terrestres, principalmente a especies de plantas, aves y mamíferos, dejando de lado todas aplicaciones potenciales que se pueden tener en ambientes acuáticos y marinos.

Una de las pocas aplicaciones del uso de GARP en ambiente marino lo realizaron Wiley *et al.* (2003). Estos autores generan la distribución geográfica de diversas especies de peces marinos en el Golfo de México utilizando diez variables oceanográficas distintas. Estos autores concluyen que GARP es una herramienta de gran utilidad para la proyección de modelos de distribución en espacios geográficos grandes. Sugiriendo que GARP es una herramienta con un gran potencial para su uso en comunidades marinas.

Pero en otros grupos de vertebrados marinos como los cetáceos, el modelado de la distribución y hábitat aún es un campo poco explotado. El modelado de la distribución de estos animales se vuelve complicado básicamente porque los registros de presencia de las especies son muy escasos debido en parte por los patrones conductuales y movimiento que presentan estos animales (Redfern *et al.* 2006). Por otro lado, los mapas de distribución general de los cetáceos, los cuales se basan sólo en algunos puntos de presencia, pueden estar reflejando más los diferentes esfuerzos de observación empleados que la distribución real de los animales en diferentes áreas (Kaschner *et al.* 2006).

Para reducir la falta de información precisa, así como la falta de homogeneidad en el esfuerzo de observación, se han desarrollado modelos predictivos como los antes mencionados, éstos ayudan a estimar la distribución de las especies y junto con el uso de algunas herramientas estadísticas es posible conocer de manera más precisa las relaciones existentes entre la distribución de los cetáceos y las características físicas y biológicas que la determinan (Redfern *et al.* 2006).

Entre los pocos estudios que utilizan modelos para predecir la distribución de los cetáceos puede citarse el trabajo de Mandleberg (2004). Esta autora comparó la capacidad de predicción de cuatro métodos para modelar la distribución de la

marsopa común (*Phocoena phocoena*) en la costa este de Escocia. La autora concluye que todos los métodos empleados pueden modelar adecuadamente la distribución de los cetáceos con relación a ciertas variables oceanográficas. De igual forma ella menciona que los modelos ayudan a la correcta identificación de áreas importantes para la conservación.

Los modelos para predecir la distribución de los cetáceos aún se encuentran en desarrollo (Mandleber 2004; Craig 2004), pero estas técnicas tienen gran potencial para modelar la distribución de estos animales y junto con diversos métodos estadísticos pueden ayudar a entender qué factores influyen en las distribuciones. En consecuencia, los modelos de distribución pueden ser un importante instrumento para delimitar áreas de protección, así como para prevenir y reducir los impactos antropogénicos sobre estos animales, muchos de los cuales están en peligro de extinción (Redfern *et al.* 2006).



### ***PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL***

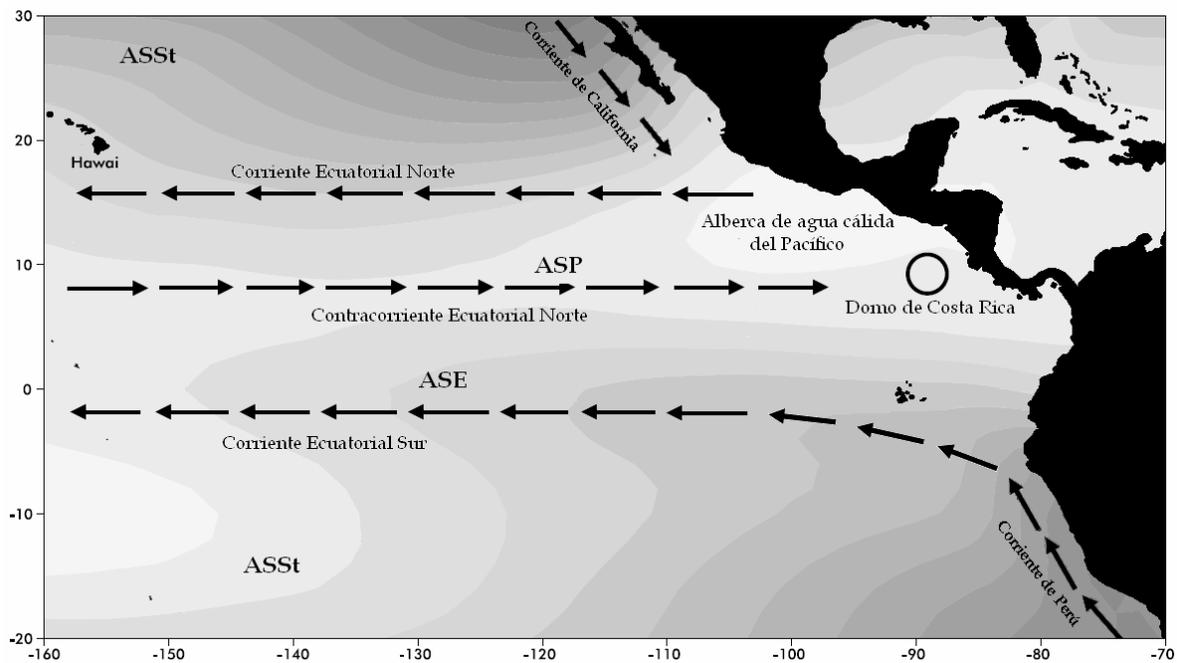
El Océano Pacífico es el más grande del mundo con un área aproximada de 166 millones de Km<sup>2</sup>. Es además el más profundo, con un promedio de 4,188 m (Menard y Smith 1966). Según el meridiano que atraviese, el Océano Pacífico se ha dividido en tres regiones: Pacífico Occidental, Pacífico Central y Pacífico Oriental. En cuanto a la latitud, se pueden reconocer dos subregiones: el Pacífico Septentrional o Norte y el Meridional o Sur (Clute 1963; Figura 8).

El Pacífico Oriental Tropical (POT) está limitado al este por la línea de costa del Continente Americano, que comprende en su extremo norte a la Península de Baja California-México y en el extremo sur a la parte norte de Chile, alejándose hasta la parte oeste de Hawai. La Corriente de California al norte y la Corriente de Perú al sur, son importantes características oceanográficas que definen la región del POT (Fieldler y Lavin 2006).

De manera general, la estructura térmica del POT se caracteriza por una capa de mezcla donde la temperatura es casi constante (Tchernia 1980). La variación anual de la temperatura superficial fluctúa entre los 26° y 28° C (Weare *et al.* 1981). La intrusión de agua superficial subtropical proporciona cambios anuales de 5° C o más en el área cercana a Cabo Corrientes, mientras que en el Golfo de Tehuantepec oscila entre 3° C y 4° C. En las costas de Guerrero la temperatura superficial en invierno es de 28° C, mientras que en primavera aumenta a 28.5° C (Gallegos *et al.* 1984 en Aguirre Gomes).

En el POT se distinguen varios tipos de masas de aguas superficiales y dos subsuperficiales. El agua superficial tropical se caracteriza por tener alta temperatura y baja salinidad. Esta está definida por áreas donde la temperatura es generalmente mayor a los 25° C y la salinidad menor a los 34‰. El agua superficial subtropical posee alta salinidad y temperatura variable (Roden y Groves 1959). El

agua superficial de la Corriente de California tiene su origen en latitudes altas y son aguas frías con temperaturas de aproximadamente de entre los 10° C a 20° C y salinidades bajas (aproximadamente 34.6‰). Su dirección es hacia el sur para formar parte de la Corriente Norecuatorial. El agua superficial de la Corriente Norecuatorial se forma del incremento en la temperatura y salinidad del agua de la Corriente de California y el agua superficial tropical del Pacífico. El agua subsuperficial subtropical se desarrolla en el Pacífico Sur, pero puede llegar hasta los 20° N del Pacífico Tropical a un nivel superficial, con salinidad máxima y bajas temperaturas que la imperante en la región (Wyrtky 1965).



**Figura 8.** Esquema de las masas de agua superficiales y las principales corrientes marinas en el Pacífico Oriental Tropical. ASSt (Agua Superficial Subtropical), ASP (Agua Superficial Tropical), ASE (Agua Superficial Ecuatorial). Las franjas sombreadas representan el promedio de la temperatura superficial del mar (color oscuro representa temperaturas frías). Modificado de Shea *et al.* (1992) en Fieldler y Talley (2006).

La circulación de la superficie en el POT está sometida por la variación en respuesta al cambio del sistema de vientos principales. El patrón de circulación se

encuentra dominado por la parte oriental y ecuatorial de los movimientos giratorios anticiclónicos del Pacífico Norte, y éstos están constituidos por la Corriente de California y la Corriente Norecuatorial (Wyrtky 1965). La Corriente de California, que viaja desde el Pacífico Norte hacia el sur, como la Corriente de Perú, que se dirige al norte desde el Pacífico Sur giran hacia el oeste formando la Corriente Norecuatorial y Surecuatorial respectivamente, ambas dirigiéndose al Pacífico Central hasta llegar a aguas del Pacífico Occidental. Entre ella y en sentido contrario (es decir, dirección oeste -este) se mueve la Contracorriente Ecuatorial (Au *et al.* 1979).

De manera general, las concentraciones de oxígeno disuelto en el POT son muy bajas, alrededor de 1 ml O<sub>2</sub>/L. La profundidad de la capa mínima de oxígeno varía de acuerdo a la localidad, obedeciendo un patrón. En aguas costeras se hace evidente en profundidades menores a los 100 m, mientras que en las aguas oceánicas es más de 100 m. Latitudinalmente, se observa un comportamiento de distribución de sur a norte. El contenido de oxígeno disuelto varía tanto local como estacionalmente (De la Lanza Espino 1991).

Las concentraciones de nutrientes en las aguas superficiales del POT son generalmente altas en las aguas de las corrientes superficiales ecuatoriales y del este. Los elevados nutrientes y los reducidos niveles de oxígeno en las aguas superficiales del POT se deben al rápido cambio en la densidad del agua causada por la entrada de aguas ecuatoriales y surgencias costeras. Las concentraciones de nutrientes son inferiores en el agua Tropical Superficial, aunque el fosfato y nitrato son elevados en el Domo de Costa Rica debido a los movimientos del agua causada por los vientos. La concentración de nutrientes es menor en los giros ciclónicos subtropicales hacia el noroeste y suroeste del Pacífico Oriental Tropical (Fielder y Talley 2006).

Se ha observado que existe un patrón en la distribución vertical de los nutrientes. Las concentraciones de nitratos y fosfatos aumentan conforme la profundidad se va incrementando hasta encontrar su límite entre los 500 a 1500 m,

mientras que el aumento en las concentraciones de silicatos ocurre sin un límite definido por la profundidad (Jiang *et al.* 2003 en Fiedler y Talley 2006).

## **GOLFO DE MÉXICO**

El Golfo de México está ubicado en la zona subtropical y es una cuenca semicerrada que se une con el Mar Caribe y el Océano Atlántico a través del Canal de Yucatán y del Estrecho de Florida, respectivamente (Monreal-Gómez *et al.* 2004). La cuenca del Golfo de México tiene una longitud de 1,600 Km. de este a oeste, 1,300 Km de norte a sur y 900 Km. en la porción central y oriental (De Lanza Espino y Gómez Rojas 2004). Cuenta con 1.6 millones de km<sup>2</sup> de superficie y un volumen aproximado de 2.3 millones de km<sup>3</sup> (Secretaría de Marina 2002, Figura 9).

La porción norte del Golfo de México pertenece a la zona económica de Estados Unidos, donde la plataforma continental posee un ancho promedio de 80 a.m. y unos 200 m de profundidad (Foucault y Raoult 1985). La plataforma continental es muy extensa sobre todo en la Península de Florida; mientras que la porción sur, pertenece al territorio mexicano y cuenta con una plataforma continental muy estrecha de apenas 2 Km. con excepción de la Península de Yucatán, donde se presenta un ancho de 250 Km. (Monreal-Gómez *et al.* 2004).

En el Golfo de México confluyen diferentes masas de agua, las cuales entran a diferentes profundidades. El Agua Subtropical Subsuperficial al Caribe (AStScC) que se encuentra en la capa superior, el Agua Intermedia Atlántica (AIA) que se encuentra a mayor profundidad y en la capa de fondo se encuentra el Agua Profunda Noratlántica (APNA). No obstante, el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (ASstScC) puede transformarse y dar origen a dos nuevas masas de agua; el Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México (AStSsGM) y el Agua Común del Golfo (ACGM) (Monreal-Gómez *et al.* 2004).

El AStSsC tiene valores de temperatura y salinidad alrededor de 22.5° C y 36.60 ‰, respectivamente (Monreal-Gómez *et al.* 2004) y se caracteriza por

presentar un contenido bajo de oxígeno (De la Lanza Espino 1991). Esta masa de agua va desde las capas superiores hasta los 250 m de profundidad. Ésta entra al Golfo de México por el Canal de Yucatán para formar la Corriente de Lazo de la cual se desprende un giro anticiclónico (Nowlin 1972).

El ACGM presenta una salinidad y temperatura alrededor de 36.40 ‰ y 22.5° C respectivamente y conforma el 4.83% de agua en el Golfo de México (Monreal-Gómez *et al.* 2004). Esta masa de agua se localiza generalmente en la capa superior de los 250 m (Monreal-Gómez y Salas de León 1997).

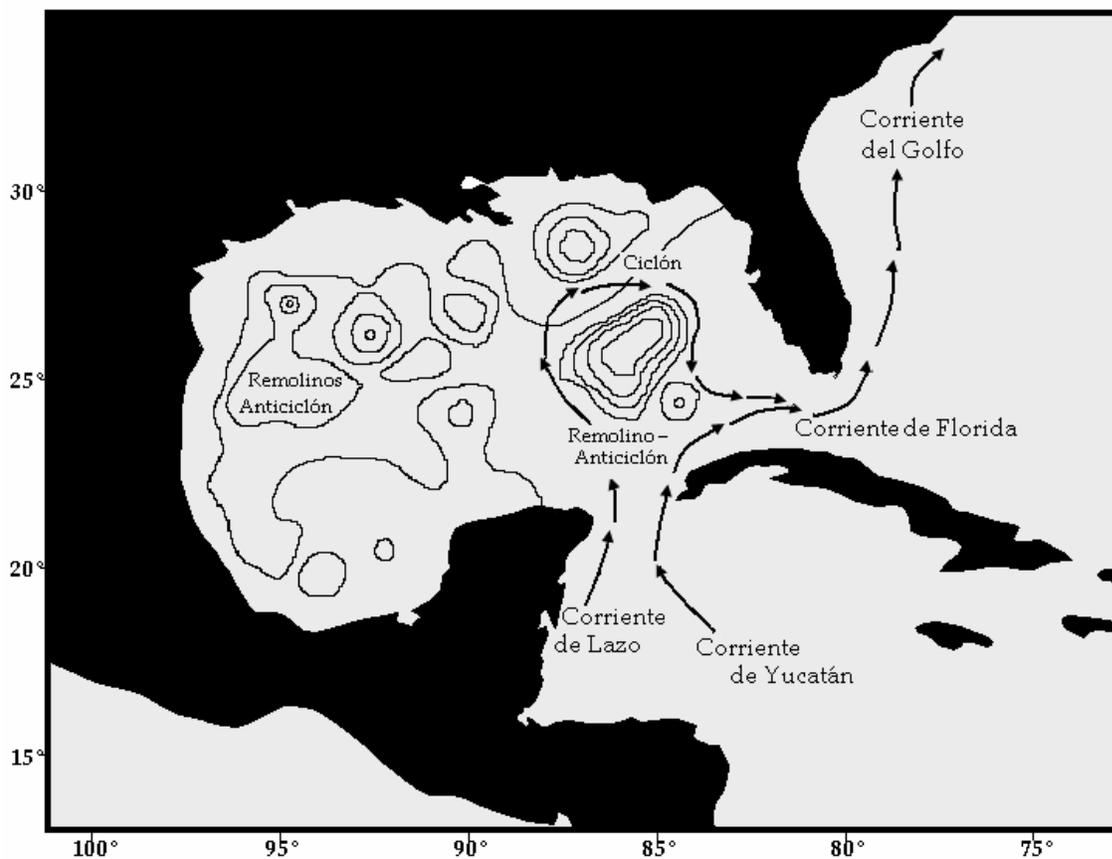
El AIA se origina en el límite entre los frentes polares antárticos; después de formarse viaja hacia el norte cerca del talud continental del Atlántico occidental. Esta masa de agua se identifica por el mínimo de salinidad en el Golfo, con temperaturas de 6.1 a 6.3° C y salinidades entre 34.86 ‰ y 34.89 ‰ y se localiza entre los 250 y 900 m de profundidad. El volumen del AIA conforma el 73.71% del agua del Golfo de México (Monreal-Gómez *et al.* 2004). La formación del APNA tiene lugar principalmente en latitudes altas, donde el agua de alta densidad se hunde y llena las cuencas con aguas frías. Esta masa de agua se encuentra a profundidades superiores a 900 m y presenta valores de temperaturas de 4° C y de salinidad de 34.96 ‰ (De la Lanza Espino 1991; Monreal-Gómez *et al.* 2004).

La circulación del Golfo de México está relacionada con la influencia de las aguas cálidas y salinas que penetran al Golfo a través del Estrecho de Yucatán y salen por el Estrecho de Florida (Pica y Pineda 1991).

Las principales corrientes en el Golfo de México son la Corriente de Lazo, el gran giro anticiclónico del oeste y giros ciclónicos sobre la plataforma continental de Texas-Luisiana, en la plataforma oeste de Florida, en la Bahía de Campeche y en la periferia de la Corriente de Lazo (Monreal-Gómez y Salas de León 1997). Las corrientes en el Golfo de México son dominadas por la Corriente de Lazo que proviene del Mar Caribe pasando luego al Golfo de México y finalmente salir por la superficie al Océano Atlántico. Dentro del golfo, la Corriente de Lazo forma diferentes giros superficiales a su paso, que se mueven hacia el oeste impulsando

parcialmente la circulación profunda en casi todo el Golfo de México (Sturges *et al.* 2005).

En el Golfo de México se presentan zonas de surgencias causadas por el aporte de diferentes masas de aguas que pueden incrementar el contenido de nutrientes a través de giros ciclónicos con el ascenso de agua de mayor profundidad y la surgencia dinámica que ocurre una a través de la costa oeste de Florida y otra cerca de la península de Yucatán (De la Lanza Espino y Gómez Rojas 2004). Estos fenómenos de afloramiento de nutrientes ocurren durante el invierno y la primavera. Entre las masas de agua que aportan mayores contenidos en nutrientes son el Agua Intermedia Antártica y la Subsuperficial Subtropical (Ruiz 1979 en De la Lanza Espino 1991).



**Figura 9.** Esquema de las principales corrientes marinas en el Golfo de México. Modificado de <http://www.csc.noaa.gov>

El oxígeno disuelto superficial es homogéneo durante el año. Debido a que la Corriente del Lazo, representa más del 50 % del agua que entra a la cuenca del Golfo de México, el contenido de oxígeno en el Golfo es uniforme en la capa superficial (De la Lanza Espino 1991).

En las aguas superficiales del mar Caribe y Golfo de México la concentración de nitritos es casi indetectable. Los giros ciclónicos y anticiclónicos definen la distribución vertical y horizontal de este nutriente, como en la región oeste del Golfo, donde se han registrado contenidos máximos en los giros ciclónicos a la altura de la Laguna Madre (Secretaría de Marina 1980).

El contenido de silicatos en las aguas de la Corriente de Yucatán, que constituyen a las del Lazo y del Golfo de México, es bajo y hasta puede llegar a ser indetectable (Froelich *et al.* 1978). La distribución vertical depende de los giros; incrementa hacia la superficie en los ciclónicos por ascensión en aguas ricas en este nutriente y disminuye en los anticiclones por hundimiento de la capa superficial pobre en silicatos (De la Lanza Espino y Gómez Rojas 2004).

De manera general, se observa que la distribución espacial de los nutrientes en el Golfo de México está determinada por el campo de circulación barométrica. La vorticidad de los giros y su interacción acoplada generan un sistema natural de bombeo dentro del Golfo, pues transfieren movimientos verticales ascendentes y descendentes de las masas de agua que se ubican dentro de sus zonas de influencia (Vidal *et al.* 1990).



Los cetáceos se ubican en los niveles superiores de la red alimenticia marina (Pauly *et al.* 1998) y se ha sugerido que algunas especies al ser depredadores pueden influir de alguna manera en la estructura de los ecosistemas, así como en las interacciones entre especies y en la estructura de las comunidades (Merrick 1997) pero aún existe poca evidencia que confirme estos hechos (ver Bowen 1997).

Estudios previos han demostrado que los depredadores marinos con alto nivel trófico se asocian con procesos y características biológicas y físicas específicas del ecosistema así como en diferentes escalas temporales y espaciales (Hyrenbach y Veit 2003; Jaquet y Whitehead 1996;). Desafortunadamente, la predictibilidad de las asociaciones entre los cetáceos y su hábitat así como las funciones ecológicas siguen siendo en su mayoría poco conocidas (Yen *et al.* 2004).

Parte importante del estudio de las especies es conocer y entender los procesos y factores que determinan la distribución de sus poblaciones, sin embargo, para lograr esto se requiere que exista continuidad en la obtención de datos así como en la cantidad y calidad de éstos. Lamentablemente, para el ambiente marino, y en específico para los cetáceos, la información disponible es en ocasiones limitada y sesgada, ya que mucho del esfuerzo de investigación se enfoca a ciertas especies en particular y zonas específicas. Sin embargo, esta falta de homogeneidad en la información se puede compensar mediante el uso de nuevas herramientas que permitan estimar las áreas de distribución de las especies.

Estas nuevas herramientas incluyen técnicas de modelado para estimar la distribución potencial de las especies. Estos modelos ayudan a determinar dónde se encuentran las condiciones ambientales más adecuadas para que la especie prospere (Anderson *et al.* 2003). Una herramienta efectiva y en la que hay mucha experiencia para la predicción de distribuciones potenciales es el GARP (Genetic

Algorithm for Rule-Set Prediction; Stockwell y Peters 1999). Este método se basa en la aplicación de métodos que predicen puntos donde las condiciones ambientales son semejantes a los puntos de colecta en un espacio geográfico específico.

La importancia de conocer con más detalle la distribución de los cetáceos y los factores que la determinan, nos permitirá identificar patrones de distribución y ubicación de áreas de alta riqueza de especies. Debido a que los cetáceos en general tienen un alto nivel trófico, el estado de sus poblaciones nos refleja el estado general de su hábitat, nos permitirá detectar cambios drásticos que ocurran en el hábitat y predecir el estado general de los ecosistemas marinos. De forma general, debido a que las poblaciones de cetáceos se distribuyen en regiones que abarcan varios países, la conservación de estas poblaciones tienen la potencialidad de proteger en su totalidad a los ecosistemas marinos (Medrano González 2006).

Con todo lo anterior, el objetivo general de este trabajo es obtener modelos de distribución potencial de la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos para definir su distribución geográfica en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México mediante el uso del método de GARP. El interés por conocer la distribución de estos cetáceos en particular se basa principalmente en que son depredadores con diferente nivel trófico y de distribución poco conocida en detalle.

## **OBJETIVOS**

- Generar modelos de distribución potencial de la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México con base en el método de GARP
- Determinar qué variables oceanográficas definen la distribución de la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México.



### MODELADO DE NICHO ECOLÓGICO

#### Base de datos de avistamientos

Se compiló una base de datos de los avistamientos georreferenciados para la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos. La base de datos se obtuvo de los reportes de campo del GMM correspondientes a los años de 2003 a 2006 y de los reportes técnicos de los cruceros de observación de mamíferos marinos *McArthur* y *David Star Jordan* en el Pacífico Oriental Tropical correspondientes a los años de 1987, 1988, 1989, 1990, 1992 y 1993, así como de los reportes de cruceros realizados por el Southeast Fisheries Science Center en el Golfo de México, que corresponden a los años de 1993, 1994, 1996, 1997, 1999, 2000 y 2001. Las últimas referencias<sup>2</sup> pertenecen al National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA; <http://www.noaa.gov>).

#### Base de datos de variables oceanográficas

Se utilizaron bases de datos de las variables oceanográficas de batimetría, temperatura, salinidad, oxígeno, clorofila, nitratos, silicatos y fosfatos en dos profundidades diferentes: superficial y a 10 metros. Todas las bases de datos de las variables se tomaron del National Oceanographic Data Center (NODC-NOAA; <http://www.nodc.noaa.gov>), excepto la variable de batimetría, cuya base de datos se tomó del Geophysical Data System (GEODAS-NOAA; <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geodas/geodas.html>). Todas las bases de datos están organizadas en un conjunto de datos tridimensional ( $x, y, z$ ), en donde el

---

<sup>2</sup> Referencias tomadas del proyecto OBIS-SEAMPAP (Ocean Biogeographic Information System-Spatial Ecological Analysis of Megavertebrate Populations). <http://seamap.env.duke.edu>

valor de  $z$  (p.ej. temperatura) está dado en intervalos equidistantemente de  $x$  (longitud) y de  $y$  (latitud). Las bases de datos tienen una resolución espacial (ó tamaño de celda) de  $1^\circ \times 1^\circ$ , equivalente a 110 Km x 110 Km en la latitud del área de estudio.

Estas bases de datos se importaron al sistema de información geográfica ArcView 3.2 para ser transformadas a imágenes de trama (o formato raster), a las que se les denomina capas digitales y que fueron utilizadas para hacer los modelos de distribución potencial. Debido a que estas bases contienen información oceanográfica mundial, se cortaron las capas digitales al área delimitada entre la latitud  $-21.50^\circ$ ;  $38.50^\circ$  y la longitud  $-168.50^\circ$ ;  $-73.50^\circ$ . Con excepción de la variable de batimetría, todas las bases de datos contienen información oceanográfica correspondiente al año de 1998.

### **Modelado de la distribución**

Con las bases de avistamientos de la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos y las 15 capas digitales correspondientes a las variables oceanográficas se realizó el modelo de distribución potencial de estos cetáceos con base en su nicho ecológico utilizando el programa Desktop GARP versión 1.1.6<sup>3</sup> (Scachetti-Pereira 2003). El programa GARP permite determinar los parámetros con los cuáles se realizan los modelos de predicción de las áreas de distribución potencial. Para obtener los modelos de distribución se determinó que el programa GARP realizara 100 modelos (define el número de veces que se realizará la tarea dentro del proceso, lo que permite seleccionar los más exactos) para cada especie con un límite de convergencia de 0.01 (establece el punto para detener las interacciones dentro del algoritmo, entre más se aproxime el valor a cero el algoritmo se detendrá sólo cuando el número máximo de interacciones sea alcanzado) y 1000 iteraciones como máximo para delimitarlas (establece un límite para el algoritmo debido a que

---

<sup>3</sup> <http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp>

obliga a detener la optimización en la iteración específica cuando el límite de convergencia todavía no se ha alcanzado; entre mayor sea el número de iteraciones los resultados son más estables). Los registros de presencia de la especie se dividieron en dos; el 50% de los registros se utilizaron como datos de entrenamiento (que sirven para construir los modelos) y el otro 50% de los registros como datos de verificación de los modelos (Figura 10).

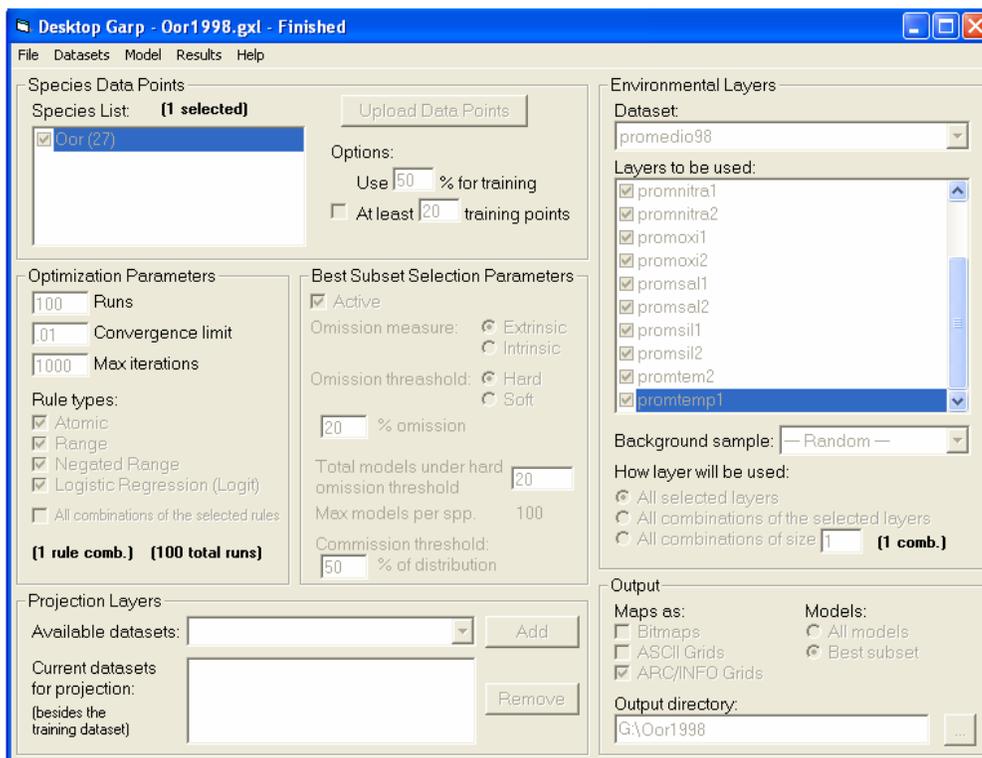


FIGURA 10. Interfase de Desktop GARP que muestra los parámetros utilizados en la construcción de los modelos de distribución potencial.

Con los 100 modelos que generó GARP, se determinaron los parámetros para que este programa eligiera los 20 mejores modelos con un error de omisión máximo del 20%. De estos 20 modelos se escogió el 50% de los modelos más cercanos a la mediana del área de distribución predicha para obtener finalmente los 10 mejores modelos que predicen la distribución geográfica potencial de la especie (Anderson *et al.* 2003). Estos 10 modelos generados por GARP son los que

mejor explican la distribución de las especies con base en los criterios de mínimo error de omisión (predice que la especie esta ausente en sitios donde sí habita) y comisión (predice que la especie si esta presente en áreas donde no habita).

Los 10 mejores modelos resultantes se sumaron en el programa ArcView 3.2 para obtener un mapa final que indica el consenso de los modelos. De esta forma el mapa final tiene valores de 0 a 10, en donde los valores de 0 indican áreas en donde los modelos coinciden en que la especie está ausente y 10 indica que todos los modelos coinciden en la presencia de la especie.

## **ANÁLISIS DE DATOS**

Posteriormente al mapa consenso final de cada especie, se le sobrepuso una cuadrícula de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  para determinar para cada cuadro del mapa el valor de cada una de las variables oceanográficas que se usaron para determinar la distribución de la especie (p.ej. temperatura, salinidad, batimetría). A cada cuadro también se le asignó su valor de consenso de GARP que va de 0 a 10 (es decir, el valor de cada cuadro representa el número de modelos que predicen la presencia de la especie en ese cuadro). De acuerdo al valor de consenso de GARP se definió el nivel de soporte, el cual se refiere a la relación que tienen los cuadros donde se predice presencia de la especie con las variables oceanográficas utilizadas. Los valores de 0 a 4 se consideran como zonas de menor soporte (zonas donde no se reproducen las mismas condiciones de los puntos de presencia) y los valores de 5 a 10 como zonas de mayor soporte (zonas donde se reproducen las mismas condiciones de los puntos de presencia). Finalmente, cada cuadro contiene información sobre cada uno de los valores de las variables oceanográficas antes mencionadas, así como del nivel de soporte

Con la base de datos que contiene los valores de las variables oceanográficas determinadas para cada cuadro se realizó un análisis de correlación simple (matriz de correlación) con la finalidad de agrupar a las variables de acuerdo con su grado

de asociación, utilizando para esto el programa STATISTICA ver. 7. Con la matriz de correlación simple obtenida, se hizo un análisis de agrupación de variables mediante el método de ligamiento por promedios ponderados (WPGMA) para el agrupamiento de las variables oceanográficas; esta agrupación se visualizó mediante un árbol o dendograma.

Debido a que los valores de las variables resultantes están medidos en unidades diferentes estas se normalizaron para posteriormente realizar un análisis componentes principales (ACP), el cual se utilizó para determinar cuales son las variables oceanográficas que están más asociadas a las diferentes zonas de soporte, y que por lo tanto, nos da la información para conocer cuáles son las variables que pueden estar definiendo la distribución de estos tres cetáceos. Para realizar el ACP se utilizó el programa STATISTICA ver. 7.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es un método estadístico que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas llamadas componentes principales (García de León Loza 1988).

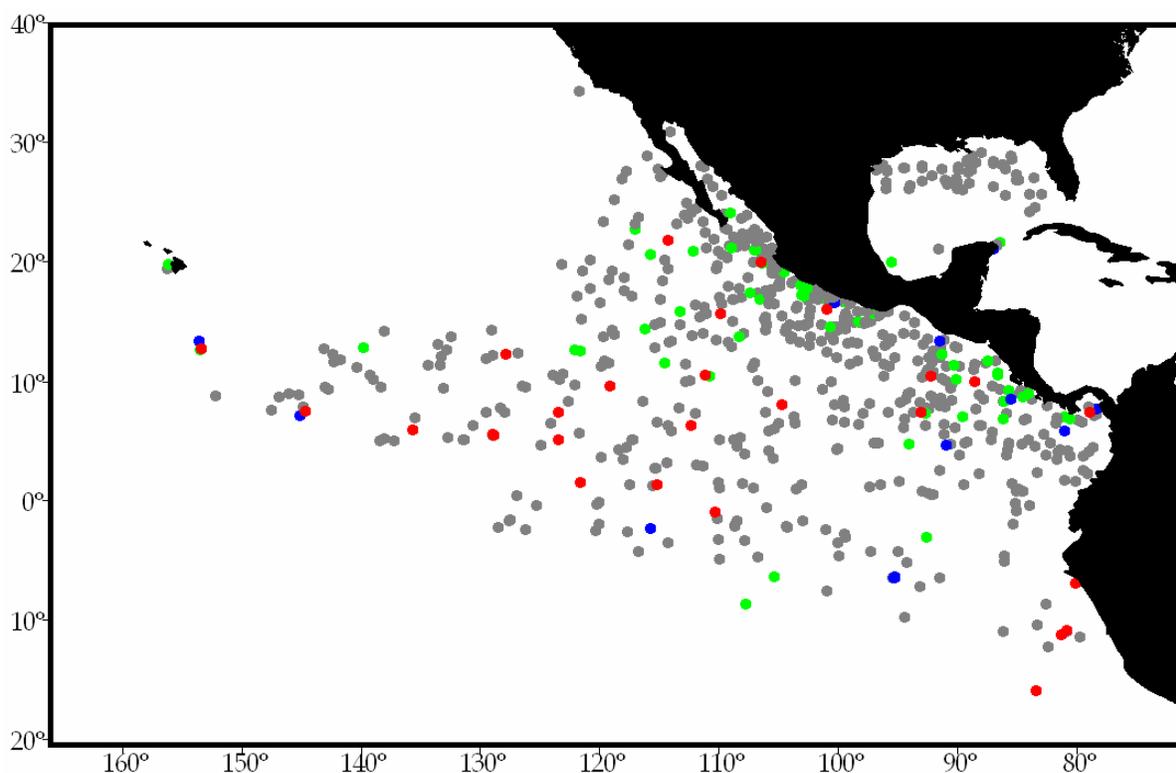
Un análisis de componentes principales tiene sentido si existen altas correlaciones entre las variables, ya que esto es indicativo de que existe información redundante y, por lo tanto, pocos factores explicarán gran parte de la variabilidad total (Terrádez Gurrea 2002).

La selección de los factores se realiza de tal forma que el primero recoja la mayor proporción posible de la variabilidad original; el segundo factor debe recoger la mayor variabilidad posible no recogida por el primero, y así sucesivamente. Del total de factores se elegirán aquéllos que recojan el porcentaje de variabilidad que se considere suficiente. A éstos se les denominará componentes principales. Para que un componente sea fácilmente interpretable debe tener las siguientes características: a) los coeficientes factoriales deben ser próximos a 1; b) una variable debe tener coeficientes elevados sólo con un factor y c) no deben existir componentes con coeficientes similares (Terrádez Gurrea 2002).

## RESULTADOS



Se obtuvo una base de datos con un total de 752 avistamientos georreferenciados de 1986 a 2006 para la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México. Esta base de datos se depuró para obtener sólo los avistamientos que correspondieran al año de 1998, esto se hizo con el objetivo de que todos los datos utilizados (variables oceanográficas y avistamientos) para el modelado correspondieran exactamente en tiempo. Se obtuvo una base de datos con un total de 104 avistamientos correspondientes al año de 1998 (Figura 11).



**Figura 11.** Total de avistamientos compilados de 1986 a 2006. En gris se muestran el total de avistamientos (752). En color se muestran los avistamientos que corresponden a 1998. En rojo, los avistamientos de orca (27); en azul, los de orca falsa (14) y en verde, los del delfín de dientes rugosos (63).

Con el total de avistamientos correspondientes al año de 1998 se realizaron los modelos de distribución potencial para la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos. Los mapas finales están representados por una gama de color indicando el valor de coincidencia de los diez mejores mapas, de tal manera que el color más claro indica la ausencia de la especie en los diez modelos y el color más oscuro indica la presencia de la especie en los diez modelos.

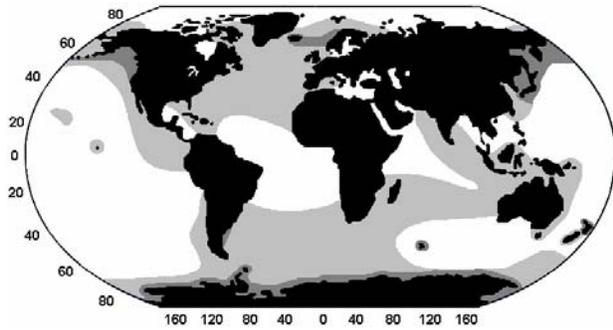
### **Modelo de distribución potencial para la orca**

Se obtuvo el modelo de distribución potencial para la orca (Figura 12c) usando los 27 avistamientos correspondientes al año de 1998 (Figura 12b). Todos los avistamientos utilizados se encuentran dentro del área de distribución potencial. El modelo predijo un área de distribución potencial para toda la costa del Pacífico, desde Baja California hasta Perú y desde el continente hasta Hawai.

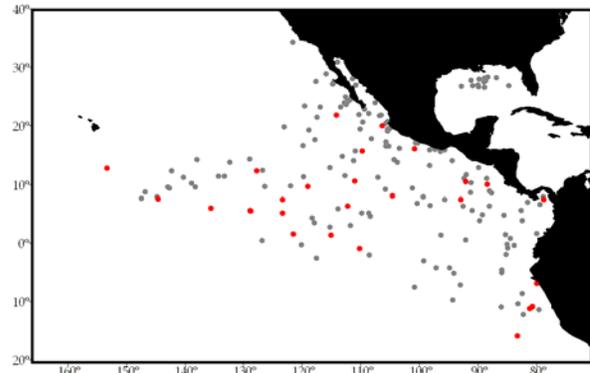
Debido a que el mapa de distribución conocida propuesta por Dahlheim y Heining (1999, Figura 12a) y el modelo de distribución potencial realizado en este estudio fueron hechos con métodos diferentes y están en diferentes escalas no es posible realizar una comparación cuantitativa, sin embargo si se pueden observar algunas diferencias como es que el modelo predice una distribución potencial hacia la región oceánica del POT.

En el Golfo de México, la predicción de distribución potencial fue limitada debido básicamente por que no se obtuvieron avistamientos de la orca para 1998. No obstante, se pueden observar áreas de distribución potencial principalmente en la zona norte del Golfo de México así como en los alrededores de Cuba y Jamaica. Es importante mencionar que estas zonas que se predicen como áreas de distribución potencial coinciden con los avistamientos registrados para en otros años (Figura 12b). De igual manera, al observar detenidamente el modelo de distribución potencial (Figura 12c), ciertas áreas presentan predicción específicamente en las costas de los Estados de Veracruz, Campeche y Quintana

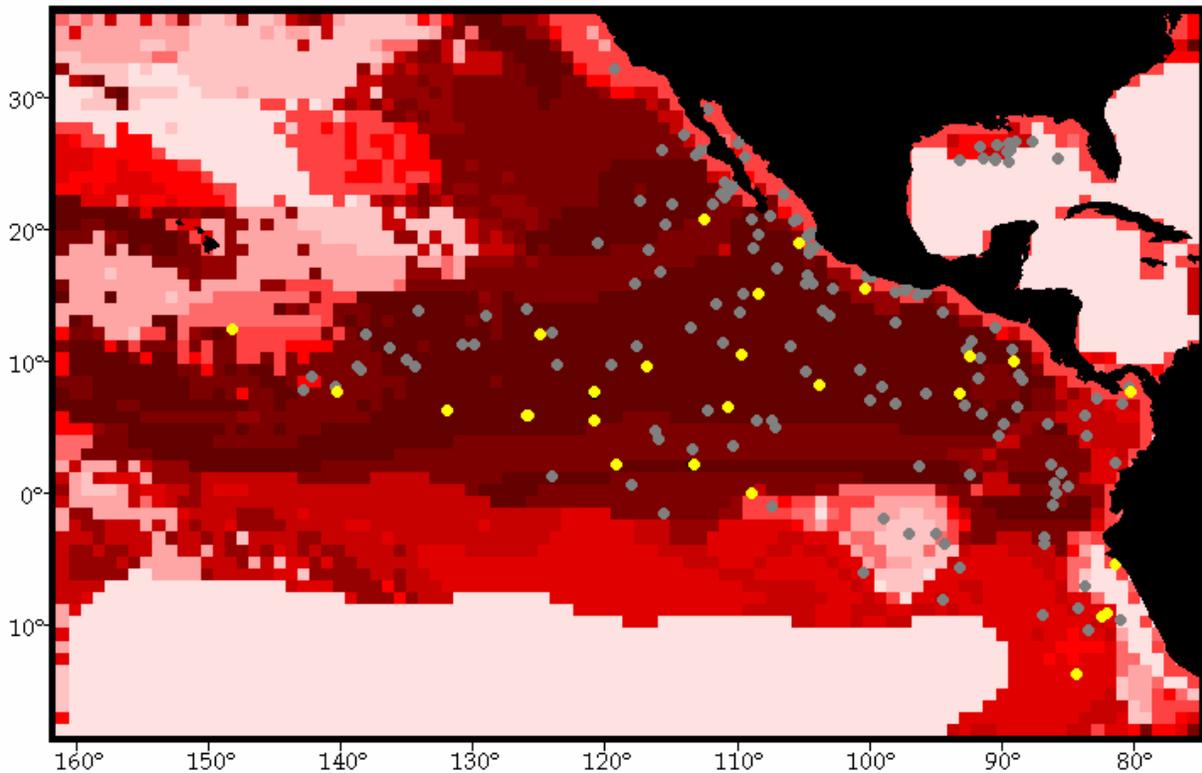
Roo, lo cual coinciden de manera puntual con los registros de presencia y varamientos que han reportado Ortega Ortiz (2002) y Antochiw Alonso y Membrillo Venegas (1998) para esta zona. Estos registros no se incluyeron debido a que la información no incluía referencia geográfica.



A) Distribución de la orca (Dahlheim y Heining 1999).



B) Avistamientos recopilados. En rojo se muestran los avistamientos para 1998.



C) Modelado de la distribución potencial generada por GARP.

**Figura 12.** Distribución conocida y potencial de la orca en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México.

La falta de predicción de distribución potencial de la orca en la parte central y sur del Golfo de México puede ser resultado de la falta de esfuerzo de observación en la zona más que una ausencia real en su distribución potencial, por lo que es importante realizar modelos que cuenten con información más completa y homogénea de modo que reflejen la distribución potencial de la especie y no la falta de esfuerzo de observación en la zona.

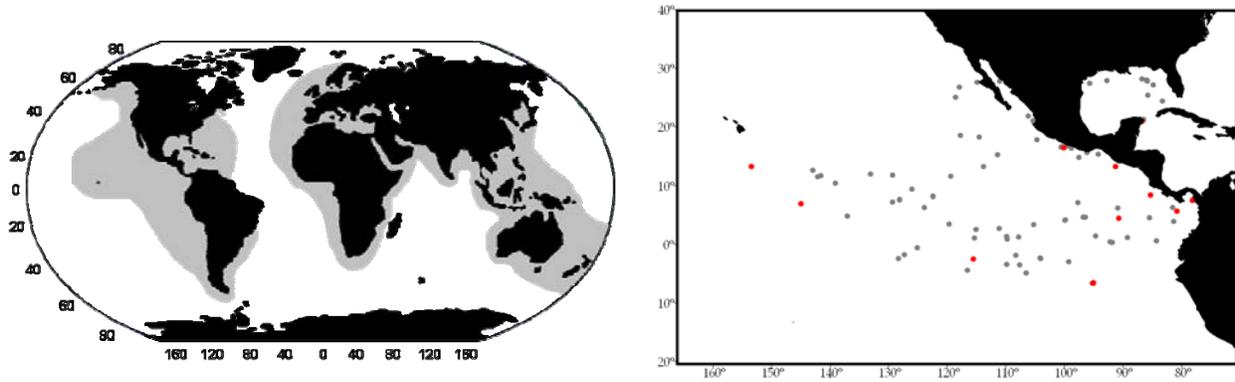
### **Modelo de distribución potencial para la orca falsa**

Se obtuvo el modelo de distribución potencial para la orca falsa (Figura 13c) usando los 14 avistamientos correspondientes al año de 1998 (Figura 13b). Todos los avistamientos utilizados se encuentran dentro del área de distribución potencial. El modelo predijo un área de distribución potencial que abarca desde Baja California hasta Ecuador.

Específicamente en el Pacífico mexicano, Salinas y Ladrón de Guevara (1993) mencionan que la orca falsa se puede observar en los estados de Baja California, Baja California Sur, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Sonora y Colima y como se puede observar en el modelo de distribución potencial (Figura 13c) la distribución potencial incluye todos los estados de la costa del Pacífico desde Baja California hasta Chiapas. Asimismo también se puede apreciar que las zonas con mayor soporte (es decir, los tonos oscuros) se encuentran hacia la parte oceánica del POT y las de menor soporte (es decir, tonos más claros) a lo largo de la zona costera. De manera general, la distribución potencial de la orca falsa es amplia y se concentra en las zonas tropicales y cálido-templadas del Pacífico Oriental Tropical.

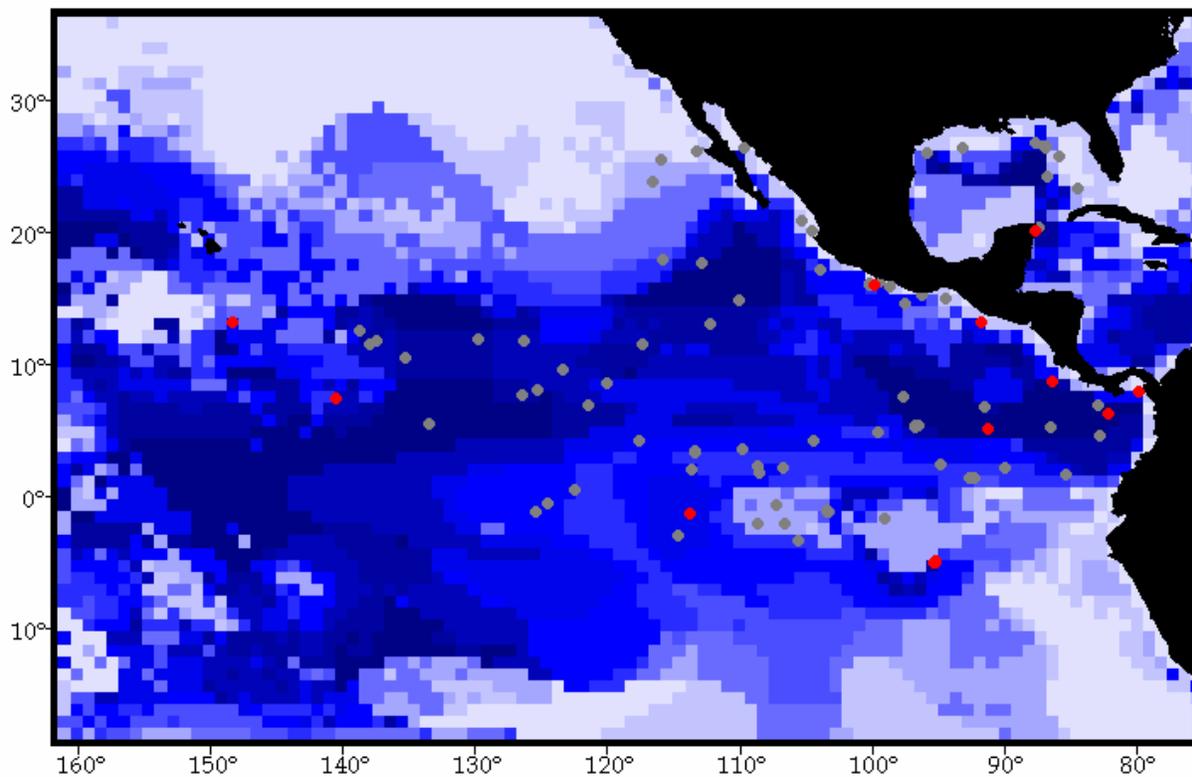
Las áreas de distribución potencial para la orca falsa generadas con GARP incluyen áreas en las cuales hasta el momento no se tienen reportes de la presencia de estas especies, como ocurre en el Golfo de México, donde no se obtuvieron registros de avistamientos para 1998, sin embargo, se obtuvo predicción de distribución potencial en esta zona. De acuerdo con esto, se observan zonas de

mayor soporte en la parte norte del Golfo y el Mar Caribe (Figura 13c), lo cual coincide con los avistamientos registrados para otros años.



A) Distribución de la orca (Odell y McClune 1999).

B) Avistamientos recopilados. En rojo se muestran los avistamientos para 1998.



C) Modelado de la distribución potencial generada por GARP.

**Figura 13.** Distribución conocida y potencial de la orca falsa en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México.

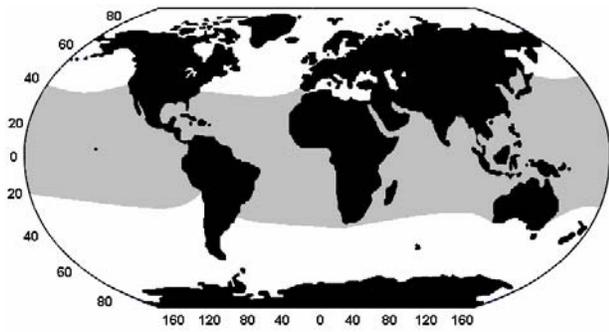
## **Modelo de distribución potencial para el delfín de dientes rugosos**

Se obtuvo el modelo de distribución potencial (Figura 14c) para el delfín de dientes rugosos usando los 63 avistamientos correspondientes a 1998 (Figura 14b). Todos los avistamientos se ubicaron dentro del área de distribución potencial. El modelo predijo un área de distribución potencial desde Baja California hasta Ecuador. La distribución potencial de la especie incluye el Golfo de California, sin embargo en esta zona no se cuenta con ningún registro de avistamiento. El patrón de distribución que presenta el delfín de dientes rugosos de acuerdo al modelo generado por GARP presenta similitudes con la distribución típicamente tropical (Figura 14a).

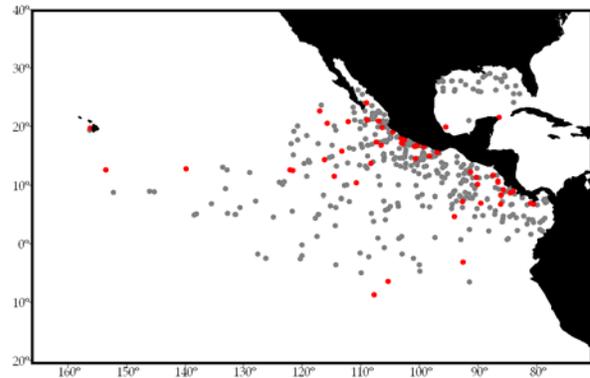
La diferencia entre los mapas de distribución potencial y conocida en el delfín de dientes rugosos radica en que la distribución potencial varía longitudinalmente, disminuyendo conforme se acerca a la zona oceánica del Pacífico Oriental Tropical, incrementándose en las aguas aledañas a Hawai.

Debido a que no registraron avistamientos para 1998 en el Golfo de México no se logró una buena predicción del área de distribución potencial. En la figura 14c se pueden observar que la predicción existente se concentra en la zona costera del norte del Golfo específicamente en el estado de Florida, la parte sur de Cuba y Jamaica. En gran parte del Golfo de México existe no hay predicción, con excepción de algunas zonas en los estados de Campeche, Tabasco y Veracruz, que coincide puntualmente con los registros de avistamiento reportados por Delgado Estrella (1994).

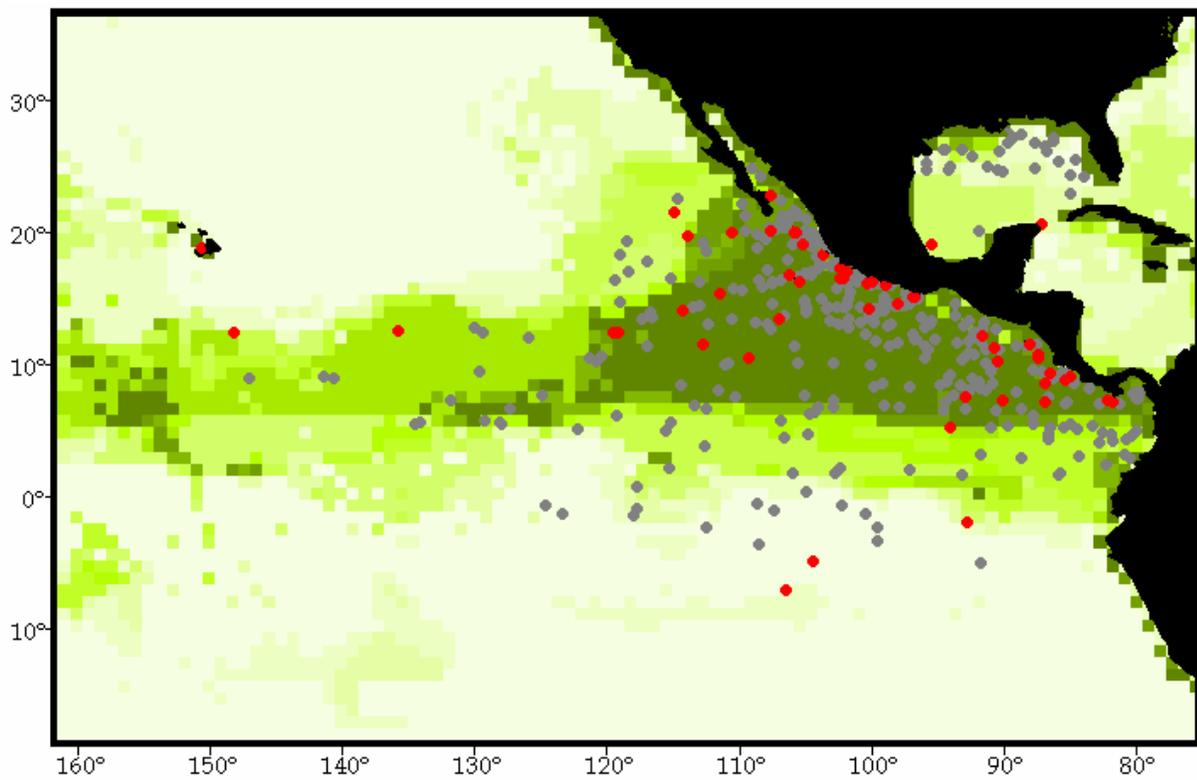
De acuerdo con Leatherwood *et al.* (1988), el delfín de dientes rugosos se observa con poca frecuencia y en bajas densidades en varias partes del mundo, sin embargo, el registro de numerosos avistamientos en las aguas cálidas del Pacífico mexicano reafirma su afinidad por aguas tropicales y cálidas.



A) Distribución del delfín de dientes rugosos (Jefferson 2002).



B) Avistamientos recopilados. En rojo se muestran los avistamientos para 1998.



C) Modelado de la distribución potencial generada por GARP.

**Figura 14.** Distribución conocida y potencial del delfín de dientes rugosos en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México.

Las áreas de distribución potencial de estos cetáceos incluyen zonas donde no se han registrado hasta la fecha. De manera general, la distribución potencial que se obtienen con el método de GARP resulta muy similar a la distribución ya

definida que tienen estos cetáceos (Figura 12a, 13a, 14a). De igual modo y de acuerdo a los modelos, la distribución potencial de la orca y orca falsa se superponen debido a que ambas distribuciones son muy amplias y preferentemente oceánicas; siendo esta última característica más marcada para la orca falsa, lo cual coincide de manera muy específica con el típico patrón de distribución oceánica de esta especie; mientras que para el delfín de dientes rugosos se predice una distribución restringida principalmente a la zona tropical.

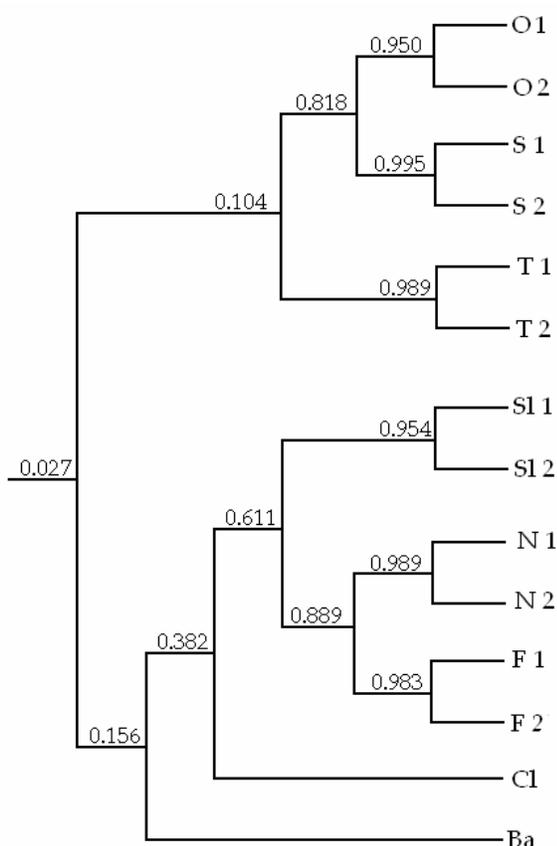
Los modelos de distribución potencial de la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos (Figura 12c, 13c, 14c, respectivamente) tienen una característica en común importante, los tres mapas presentan alta predicción en el área conocida como Domo de Costa Rica. El Domo de Costa Rica es una zona oceánica de afloramiento o surgencia permanente frente al Pacífico Norte de Costa Rica. Esta zona se caracteriza por presentar una termoclina muy superficial, altas concentraciones de nutrientes y alta productividad, además que es la única concentración masiva de plancton conocida en el Pacífico Oriental Tropical (Brenes *et al.* 1995; Fiedler *et al.* 1991; Gaviria 1983; Hofmann *et al.* 1981; Wade y Friedrichsen 1979; Wyrski 1964, 1967).

### **Correlación de variables oceanográficas**

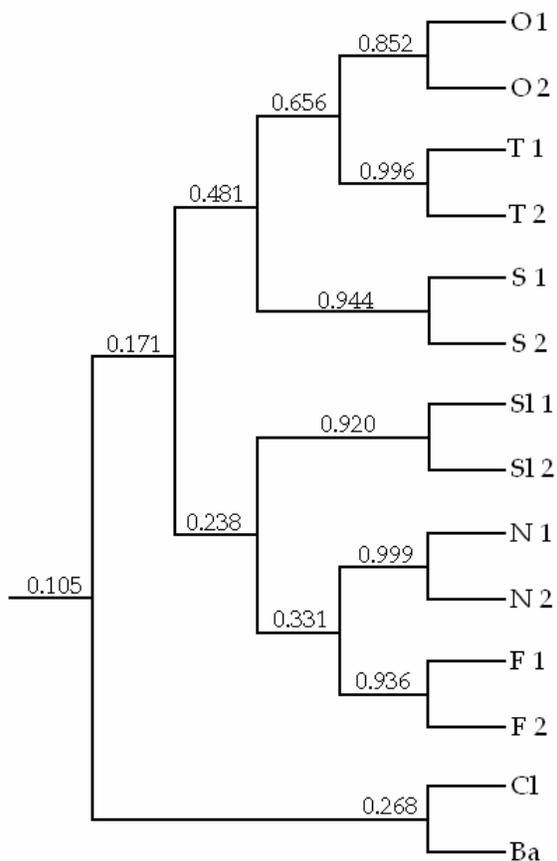
Para cada zona de estudio se obtuvo una matriz de correlación simple a partir de la cual se generó un árbol de agrupación de variables oceanográficas de acuerdo a la relación entre ellas (Figura 15). De forma general en ambas zonas de estudio, se pueden observar dos grupos, uno de estos grupos define a las variables físicas, mientras que el otro agrupa a las variables químicas. Con base en los valores de asociación entre las variables, se determinó eliminar las variables de oxígeno y fosfatos por sus valores de asociación con la salinidad y nitratos respectivamente en el Pacífico Oriental Tropical, mientras que para el Golfo de

México se eliminaron las mismas variables pero por sus valores de asociación con la temperatura y los nitratos.

### PACIFICO ORIENTAL TROPICAL



### GOLFO DE MÉXICO



**Figura 15.** Árboles de agrupación de las variables oceanográficas de acuerdo al análisis de ligamiento por promedios ponderados (WPGMA) que muestran los valores de asociación entre las variables utilizadas en el Pacífico Oriental Tropical y Golfo de México. El número 1 corresponde a valores a profundidad superficial, mientras que el 2 corresponde a valores a profundidad de 10 metros. N (nitratos), F (fosfatos), SI (silicatos), Cl (clorofila), Ba (batimetría), S (salinidad), O (oxígeno), T (temperatura).

De igual modo se eliminaron todas las variables correspondientes a los 10 metros de profundidad, debido a los altos valores de asociación con respecto a los valores

de las variables superficiales. Estas variables se eliminaron ya que el valor de asociación entre ellas era cercano a 1, por lo tanto, conociendo una sola variable se puede conocer la segunda con un margen de error mínimo, por consiguiente, incluir esta segunda variable apenas aportaría información nueva e importante al análisis estadístico. Con esto se obtuvo un total de seis variables oceanográficas (batimetría, temperatura, salinidad, log(Clorofila), nitratos y silicatos) con las cuales se realizó el análisis de componentes principales (ACP).

### Análisis de Componentes Principales

**ORCA.** El ACP que se realizó para el Pacífico Oriental Tropical redujo el número de variables a dos componentes principales que explican el 74% de la varianza de los datos. El primer componente (CP1) explica el 41.11% de la variación de los datos y se encuentra dominado por la concentración de silicatos. El segundo (CP2) explica el 33.12% de la varianza y se encuentra correlacionado con la batimetría y la clorofila (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Contribución de cada variable oceanográfica a los componentes principales para la orca.

	Pacífico Oriental Tropical		Golfo de México	
	Componente 1	Componente 2	Componente 1	Componente 2
Batimetría	-0.5147	<b>0.8014</b>	-0.4728	<b>-0.8392</b>
Temperatura	0.7248	-0.4451	<b>0.9491</b>	-0.1047
Salinidad	0.0193	-0.0258	0.7360	-0.5360
Log(Clorofila)	-0.4996	<b>-0.8521</b>	<b>-0.8942</b>	0.4006
Nitratos	-0.7540	-0.6244	-0.7203	-0.4529
Silicatos	<b>-0.9262</b>	0.1736	<b>-0.9099</b>	-0.1419
Autovalor	2.4669	1.9873	3.8126	1.3885
<b>% de varianza</b>	<b>41.115</b>	<b>33.1232</b>	<b>63.5449</b>	<b>23.142</b>

Para el Golfo de México, el ACP también redujo el número de variables a dos componentes principales que explican el 86% de la variación de los datos. El primer componente (CP1) explica el 63% de la varianza y está dominado por la temperatura, los silicatos y la clorofila, mientras que el segundo componente (CP2) explica el 23% de la varianza y está correlacionado con la batimetría (Cuadro 1).

**ORCA FALSA.** El ACP que se realizó para el Pacífico Oriental Tropical redujo el número de variables a dos componentes principales que explican el 74% de la varianza de los datos. El primer componente (CP1) explica el 41.98% de la variación de los datos y se encuentra dominado por la batimetría y temperatura. El segundo (CP2) explica el 32.55% de la varianza y se encuentra correlacionado con los silicatos (Cuadro 2).

Para el Golfo de México, el ACP se redujo el número de variables a dos componentes principales que explican el 86% de la variación de los datos. El primer componente (CP1) explica el 63.54% de la varianza y está dominado por la temperatura, mientras que el segundo componente (CP2) explica el 23.14% de la varianza y está correlacionado con los nitratos (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Contribución de cada variable oceanográfica a los componentes para la orca falsa.

	Pacífico Oriental Tropical		Golfo de México	
	Componente 1	Componente 2	Componente 1	Componente 2
Batimetría	<b>-0.8883</b>	0.0169	0.0296	-0.6310
Temperatura	<b>0.8387</b>	0.4715	<b>0.8979</b>	0.2045
Salinidad	-0.4743	-0.4776	0.6538	-0.3006
Log(Clorofila)	0.6661	-0.4762	-0.7076	-0.0055
Nitratos	0.5891	-0.6510	0.2166	<b>-0.8183</b>
Silicatos	-0.1016	<b>-0.9228</b>	-0.7670	-0.2671
Autovalor	2.5188	1.9532	3.8126	1.3885
<b>Autovalor (%)</b>	<b>41.9812</b>	<b>32.5540</b>	<b>63.5449</b>	<b>23.1421</b>

**DELFIN DE DIENTES RUGOSOS.** El ACP que se realizó para el Pacífico Oriental Tropical redujo el número de variables a dos componentes principales que explican el 89% de la varianza de los datos. El primer componente (CP1) explica el 70.64% de la variación de los datos y se encuentra dominado por la temperatura, la salinidad, los nitratos y silicatos. El segundo (CP2) explica el 19% de la varianza y se encuentra correlacionado con la batimetría (Cuadro 3).

Para el Golfo de México, el ACP se redujo el número de variables a dos componentes principales que explican casi el 71% de la variación de los datos. El primer componente (CP1) explica el 40.12% de la varianza y está relacionado con la salinidad y la clorofila, mientras que el segundo componente (CP2) explica el 30.64% de la varianza y está correlacionado con los nitratos y silicatos (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Contribución de cada variable oceanográfica a los componentes para el delfín de dientes rugosos.

	Pacífico Oriental Tropical		Golfo de México	
	Componente 1	Componente 2	Componente 1	Componente 2
Batimetría	-0.6735	<b>0.6783</b>	0.6694	-0.4375
Temperatura	<b>0.9015</b>	0.2244	0.6731	-0.0504
Salinidad	<b>-0.9312</b>	-0.0082	<b>0.8711</b>	0.3155
Log(Clorofila)	0.7482	-0.5778	<b>-0.8004</b>	-0.3449
Nitratos	<b>-0.8672</b>	-0.3930	-0.0574	<b>-0.8407</b>
Silicatos	<b>-0.8905</b>	-0.3799	0.3211	<b>-0.8481</b>
Autovalor	4.2386	1.1433	2.4072	1.8387
<b>Autovalor (%)</b>	<b>70.6434</b>	<b>19.0562</b>	<b>40.1205</b>	<b>30.645</b>

### **Relación del nivel de soporte de los modelos de distribución potencial con las variables oceanográficas**

En el Cuadro 4 se muestra la relación del componente 1 (CP1) del ACP con respecto al nivel de soporte para cada especie junto con sus respectivos valores del

coeficiente de determinación ( $r^2$ ). En este estudio el valor de  $r^2$  representa la relación entre el nivel de soporte y las variables ambientales (CP1). Coeficientes ( $r^2$ ) cercanos a uno indican que hay una relación entre el nivel de soporte y las variables oceanográficas. Por el contrario, coeficientes cercanos a cero indican que existe no existe relación entre el nivel de soporte y las variables oceanográficas.

Se puede observar que el valor de correlación entre nivel de soporte y el CP1 en el caso de la orca es muy bajo ( $r^2 = 0.066$ ). Por el contrario, el valor de correlación para el delfín de dientes rugosos es muy alto ( $r^2 = 0.938$ ). Para la orca falsa, la correlación entre los factores presenta valores intermedios ( $r^2 = 0.670$ ) con respecto a las otras dos especies. En la figura 16 se observa de manera gráfica esta relación, en donde el nivel de soporte de cada modelo de distribución potencial para cada especie se relaciona con las variables oceanográficas, las cuales están representadas por los seis componentes principales.

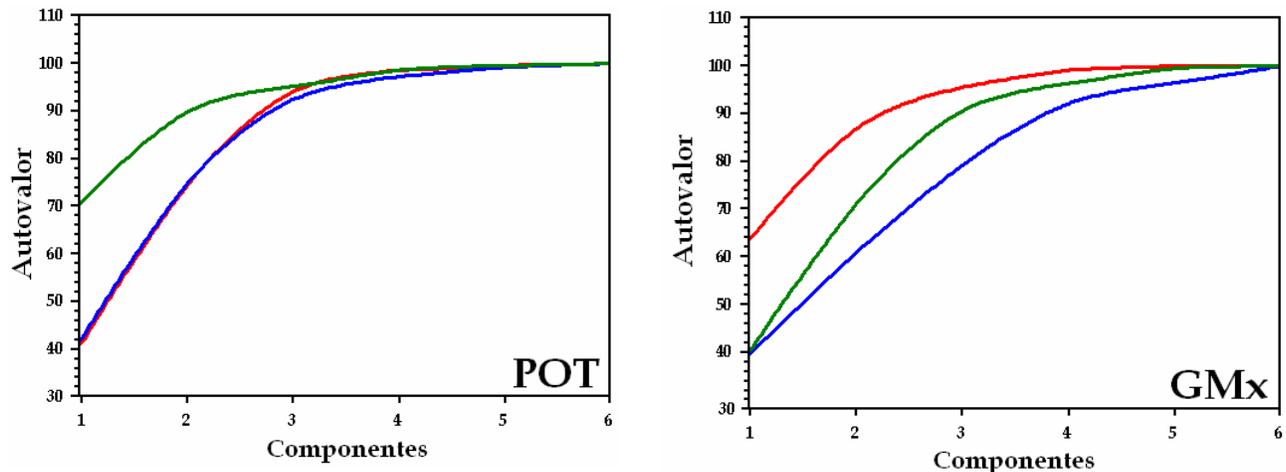
**Cuadro 4.** Relación del nivel de soporte con respecto al CP1 (variables oceanográficas) del análisis de componentes principales. Se muestra el valor de  $r^2$

Nivel de soporte	Pacífico Oriental Tropical			Golfo de México		
	Componente 1			Componente 1		
	Oor*	Pcr*	Sbr*	Oor*	Pcr*	Sbr*
0	2.3931	-2.7445	-2.9812	2.2223	-3.5324	0.2344
1	-1.2114	-1.0901	-1.9200	--	-1.3892	0.0174
2	-0.4443	-0.2210	-2.0862	--	-0.1978	0.9709
3	-2.5731	-1.8022	-1.7308	1.9700	0.4198	0.4290
4	-0.3722	-1.6625	-1.1544	-0.8451	1.0932	0.9915
5	0.7365	1.7546	1.0194	-0.7689	0.9011	1.2142
6	-1.8362	1.0243	0.9487	-0.8372	1.3228	--
7	-0.5691	0.7958	0.8835	1.4244	1.4483	-1.6148
8	1.0378	1.1642	1.2111	--	1.1333	-3.4122
9	0.6540	0.9319	2.7245	--	0.1831	--
10	2.1850	1.8495	3.0855	-3.1655	-1.3825	1.16938
$r^2$	<b>0.0663</b>	<b>0.6704</b>	<b>0.9381</b>	<b>0.5721</b>	<b>0.2085</b>	<b>0.1043</b>

\*Oor = Orca; Pcr = Orca falsa; Sbr = Delfín de dientes rugosos

De acuerdo a estos resultados, se puede decir que la presencia de la orca en el Pacífico Oriental Tropical no se relaciona directamente con las variables físicas utilizadas en el presente estudio, mientras que la distribución del delfín de dientes rugosos se encuentra más estrechamente relacionada con las condiciones físicas del ambiente marino.

En el Golfo de México la relación entre el nivel de soporte y el CP1 cambia de forma interesante. Para la orca el valor de correlación es de  $r^2=0.572$ , para la orca falsa es de  $r^2=0.2085$  y para el delfín de dientes rugosos el valor es  $r^2=0.104$ . (Cuadro 4). De acuerdo con estos resultados la presencia de la orca en el Golfo de México depende de las condiciones físicas del ambiente, mientras que la presencia del delfín de dientes rugosos no se asocia de manera evidente a las características oceanográficas. (Figura 16).



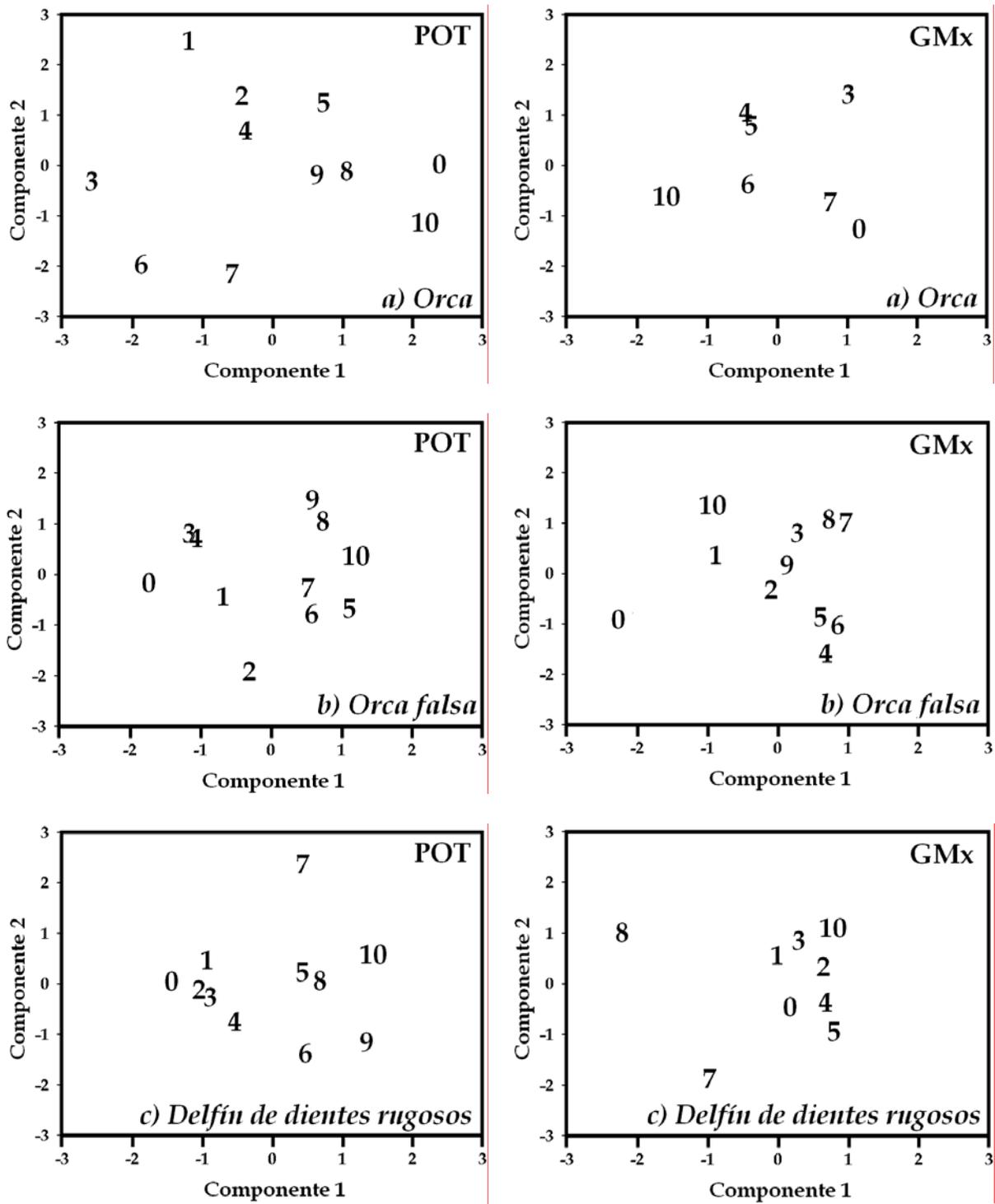
**Figura 16.** Relación de los componentes principales con respecto a los autovalores acumulados de las variables oceanográficas que determinan la distribución de la orca (rojo), orca falsa (azul) y delfín de dientes rugosos (verde) en el Pacífico Oriental Tropical (POT) y Golfo de México (GMx).

Este cambio en los valores de  $r^2$  que presentan la orca y el delfín de dientes rugosos se debe básicamente a la información incompleta que se tiene de estas dos especies, específicamente de la orca, debido a que la predicción de distribución de

estos dos cetáceos en el Golfo de México fue muy limitada. Por lo tanto, el número de cuadros que contenían información fue menor de lo que se obtuvo para el Pacífico Oriental Tropical. Por consiguiente, estos resultados pueden no estar reflejando de manera precisa la correlación que existe entre las zonas de soporte y las características oceanográficas de la zona.

En la figura 17 se presenta el nivel de soporte de los mapas de distribución potencial de la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos respecto a los dos primeros componentes (CP1 y CP2). En el Pacífico Oriental Tropical (Figura 17 panel izquierdo) para la orca falsa y el delfín de dientes rugosos puede observarse que el primer componente (CP1) separa casi perfectamente el nivel de soporte en dos grupos distintos. El primer grupo separa a la zona de menor soporte (que corresponde de los valores de 0 a 4), mientras que el segundo grupo agrupa a la zona de mayor soporte (que corresponden a los valores de 5 a 10). El primer componente explica el 70% de variabilidad. El segundo componente (CP2) no parece reflejar ningún efecto sobre el nivel de soporte. En el caso de la orca, el ACP revela que no puede distinguirse grupos distintos utilizando el nivel de soporte. Cuando se grafica el nivel de soporte con respecto a los valores del CP1 contra el CP2, se observa un arreglo homogéneo, es decir, que el nivel de soporte de la orca está asociado de igual forma a los dos componentes principales (CP1 y CP2). Esto podría corroborar que la distribución de la orca no está delimitada por una(s) variable(s) oceanográfica específica (Cuadro 1).

En el Golfo de México (Figura 17 panel derecho) para los tres cetáceos se pueden observar básicamente dos grupos distintos respecto al nivel de soporte, sin embargo, estos grupos no definen claramente las zonas de menor y mayor soporte como ocurre en el POT.



**Figura 17.** Relación del CP1 y CP2 con respecto al nivel de soporte de los modelos de distribución potencial de la orca, orca falsa y delfín de dientes rugosos en el Pacífico Oriental Tropical (POT) y Golfo de México (GMx).



Uno de los objetivos de este trabajo fue definir los patrones de distribución de la orca, orca falsa y del delfín de dientes rugosos y predecir su distribución potencial a partir del modelado de su nicho ecológico.

El área de distribución potencial de la orca abarca la región costera y oceánica del Pacífico Oriental Tropical (POT). El patrón de distribución tropical descrito por Dahlheim *et al.* (1982) para esta especie en el POT es similar al modelo de distribución potencial predicho por GARP. Con base en la distribución de los registros de avistamientos se aprecia que la orca presenta hábitos pelágicos, pero que también se le puede observar cerca de la costa. La distribución costera en el POT se podría explicar con base en un aprovechamiento de presas potenciales que se distribuyen en la zona, como los pinnípedos en las costas de Baja California (Dahlheim *et al.* 1982; Leatherwood *et al.* 1988) y otros cetáceos en la Bahía de Banderas (Salazar Bernal 2005).

El área de distribución potencial de la orca falsa abarca una extensa área que va desde Baja California hasta Ecuador, incluyendo tanto la zona costera como la zona oceánica del POT. Por otro lado, esta especie no se considera como abundante en ninguna zona (Stacey *et al.* 1994), situación que se ve reflejada en el bajo número de avistamientos, sin embargo y tomando en consideración los pocos registros se puede observar que esta especie es principalmente de hábitos pelágicos (Stacey *et al.* 1994), aunque también se le puede observar cerca de las costas.

El área de distribución potencial del delfín de dientes rugosos abarca toda la región costera del POT, lo cual coincide con la distribución de los avistamientos conocidos (Figura 14b); sin embargo, es interesante notar que su distribución potencial está reducida y confinada a la zona tropical del Pacífico Oriental Tropical. El patrón de distribución de este delfín parece estar delimitado por dos grandes masas de agua, el Agua Superficial Subtropical y el Agua Superficial

Ecuatorial así como por la Corriente Ecuatorial Norte y la Contracorriente Ecuatorial Norte (Figura 8). Asimismo, su distribución también parece estar asociada a las condiciones oceanográficas de la Alberca Cálida del Pacífico, lo cual se puede justificar debido a la aparente preferencia de esta especie por aguas con temperaturas de entre 25°C y 28°C, así como en salinidades de  $\sim 35\%$  (Davis *et al.* 1998, Jefferson y Linn 1994, Pitman y Stinchcomb 2002).

En general para las tres especies, la predicción en el Domo de Costa Rica se debe principalmente a las características del área. En esta zona ocurren diversos fenómenos oceanográficos (p.ej. surgencias y termoclina somera) que propician que la zona sea especialmente rica en nutrientes, ocasionando que esta zona sea un hábitat potencial para muchas especies de cetáceos, entre ellos la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos (Ballance *et al.* 2006, Rodríguez Fonseca 2001).

El presente estudio fue una aproximación que tiene la aplicación del método GARP para predecir distribuciones potenciales en especies marinas, campo que hasta la fecha ha sido poco explotado. Pero, sin importar en que ambiente o en que especies se utilice el modelado de áreas potenciales de distribución, es importante tener una visión objetiva sobre las ventajas, desventajas y limitaciones que ofrece este método.

La ventaja que presentan los modelos de distribución potencial respecto a los mapas de distribución conocida es que los primeros muestran de manera más detallada la distribución potencial de las especies, debido a que sólo se consideran las áreas que tienen similitud con las características ecológicas de las zonas donde se han tenido registro de presencia de la especie. Al estar basados en el concepto de nicho fundamental (Hutchinson 1957), presentan la ventaja que las áreas de distribución potencial son predichas a partir de un conjunto de variables que permiten evaluar a las especies no sólo de manera geográfica sino ecológica (Nakazawa *et al.* 2004)

Entre otras ventajas podemos encontrar es que el uso de modelos predictivos permite homogeneizar el esfuerzo de muestreo, debido a que los sitios

de mayor esfuerzo se concentran en las zonas de fácil acceso (p.ej. zonas costeras), causando muestreos poco representativos de la distribución real de las especies. Con base en esto, el uso de modelos predictivos es una herramienta poderosa ya que permite inferir la distribución de las especies en áreas en donde el número de registros encontrados es muy bajo o nulo (Peterson *et al.* 2004).

Sin embargo, a pesar de que estos métodos se consideran como una buena opción para modelar distribuciones potenciales hay que tener ciertas consideraciones importantes. La principal desventaja al utilizar este tipo de métodos es que siempre existe un grado de subjetividad en la obtención de las áreas de distribución de las especies.

Como se mencionó en la introducción, existen diversos métodos que modelan la distribución de las especies, existiendo entre ellos grandes diferencias técnicas. En general, diversas investigaciones apuntan a que los métodos que utilizan datos de presencia-ausencia son los de mayor precisión (p.ej GLM, Brotons *et al.* 2004). Sin embargo, es habitual que en los muestreos no se registren las ausencias o que estos sean difícil de obtenerse, especialmente para los cetáceos, debido a que existe una alta posibilidad de que en un lugar determinado una especie pueda ser considerada como “ausente” simplemente por que no se registró cuando se realizaba el muestreo (Hirzel *et al.* 2002), por lo tanto, es recomendable trabajar con métodos basados en información que utilice sólo datos de presencia. De acuerdo con Stockwell (1995) y Sánchez-Cordero *et al.* (2001), GARP resulta una buena opción para modelar distribuciones potenciales de especies a partir únicamente de datos de presencia.

GARP es un método que genera un modelo de nicho ecológico (Peterson *et al.* 2001) cuya proyección en el espacio geográfico produce distribuciones potenciales de las especies, indicando las regiones de posible presencia de la especies, en zonas donde no hay registros (Anderson *et al.* 2003, Stockwell y Peters 1999). Esta distribución está limitada por el conjunto de variables ambientales

utilizadas. En realidad, lo que GARP modela es la distribución de las condiciones del nicho de la especie y no la distribución de la especie *per se*.

Aunque el método GARP no requiere específicamente de un número mínimo de puntos para construir el modelo de distribución potencial de una especie, Hernandez *et al.* (2006) consideran que se puede obtener una buena predicción con una muestra de alrededor de 25 puntos de presencia, considerando que un porcentaje de dichos puntos se emplea para verificar el modelo, así entre menor cantidad de puntos, la confiabilidad de los modelos disminuye. Con base en esto, y como era de esperarse, los modelos que presentan un patrón de distribución potencial más continuo, fueron lo que se obtuvieron para aquellas especies que presentaban como mínimo 20 localidades de recolecta, como fue el caso de la orca y el delfín de dientes rugosos en el POT, en los cuales se utilizaron 27 y 63 avistamientos respectivamente.

Debido a que GARP no incorpora interacciones biológicas ni barreras ecológicas (Anderson *et al.* 2003, Feria y Peterson 2002, Peterson *et al.* 1999) las cuales afectan directamente o indirectamente a la especie se producen los errores de omisión y de comisión (Anderson *et al.* 2003). El error de comisión, se refiere a las áreas con sobrepredicción, es decir, que son áreas generadas con las mismas características ecológicas que las áreas donde habita la especie pero en las cuales no esta presente por algún motivo biológico, ecológico y/o evolutivo (Anderson *et al.* 2003). Las áreas de distribución potencial de la orca, orca falsa y el delfín de dientes rugosos generadas con GARP incluyen áreas en la cuales no se tienen reportes de avistamientos de estos cetáceos. Este tipo de error se puede deber por: 1) el algoritmo efectivamente produjo un modelo de nicho que considera combinaciones ambientales que la especie no ocupa (Pearson *et al.* 2006) y 2) el modelo de nicho es adecuado, pero la ausencia de la especie obedece a factores ajenos al contexto abiótico, como las interacciones bióticas o simplemente que históricamente la especie nunca ha habitado ese sitio (Soberon y Peterson 2005).

Ambas casos son posibles y sin un estudio comparativo con diversos algoritmos es difícil separar las causas de la sobrepredicción (Elith *et al.* 2006).

Por otro lado, el error de omisión, ocurre cuando el modelo predice la ausencia de la especie en una localidad cuando efectivamente se tiene registro de ésta (Anderson *et al.* 2003). Esta situación podría estar ocurriendo con los mapas de distribución potencial de la orca falsa y el delfín de dientes rugosos en gran parte del Golfo de México. Sin embargo, esta falla se pudo haber generado por el escaso número de avistamientos que se usaron para generar los modelos (sólo un avistamiento para la orca falsa y dos para el delfín de dientes rugosos) (Sánchez-Cordero *et al.* 2001, Navarro *et al.* 2003). Sin embargo, es precisamente en estos casos cuando el conocimiento previo sobre la ecología de las especies, permite aceptar o rechazar estos resultados, ya que aunque no se contó con un recomendable número de avistamientos para generar y comprobar correctamente el modelo, existen registros documentados que confirman la presencia de estas especies en la zona (Ortega Ortiz 2002b; De la Parra 2000; Delgado Estrella 1994, López Hernández y Delgado Estrella 2000; De la Parra *et al.* 2000; Ortega Ortiz 2000a).

Además de las limitaciones antes mencionadas, se suman otras, entre ellas, la resolución espaciotemporal de las proyecciones climáticas, así como el tipo y calidad de las variables ambientales utilizadas. En este estudio se utilizaron capas digitales que podrían ser consideradas de baja resolución (resolución de aprox. de 110km), sin embargo, en muchas ocasiones está es la única información disponible. Aunque se pudieron haber elegido otras opciones, como las imágenes de satélite que pueden tener una resolución muy fina (de pocos kilómetros), esta información sólo esta disponible para pocas variables climáticas, como la temperatura y el color del mar (clorofila), lo que hubiera reducido importantemente el número de variables utilizadas y que pueden aportar información relevante como la batimetría y la salinidad.

Estudios experimentales han demostrado que algunas variables pueden ser más informativas que otras, como la temperatura, la cual coinciden con la tolerancia fisiológica, así como las variables topográficas que pueden modificar los regímenes climáticos de plantas y animales (Martínez Meyer 2005). En el caso de los cetáceos, una variable relevante, que parece influir en la distribución de estos cetáceos fue la batimetría. De acuerdo con Baumgartner (1997), las características topográficas del fondo marino influyen importantemente en la distribución y disponibilidad de presas potenciales, junto con otras variables oceanográficas tales como la temperatura superficial del mar, la salinidad y la concentración de clorofila. Con base en esto sería interesante realizar modelos de distribución potencial que incluyeran variables topográficas como profundidad, el gradiente de profundidad y la pendiente.

Las comparaciones relativas entre la distribución espacial de los sitios de avistamientos de estos tres cetáceos y las zonas de consenso de presencia predichos por GARP muestran patrones que reflejan la calidad de los datos de registros y variables utilizadas. En los tres casos se observó una correspondencia entre los avistamientos y las variables oceanográficas utilizadas en la generación de los modelos, en los cuales se refleja la influencia de la ubicación espacial y número de registros y la asociación con las coberturas.

En cualquier método para generar distribuciones potenciales es bueno contar con la mayor cantidad de variables ambientales que expliquen la distribución de las especies, así como un grueso número de registros para que la tendencia sea obtener modelos más exactos (Peterson y Cohon 1999). No obstante, no hay que olvidar que el resultado final es un modelo estático y que existen probabilidades de que la realidad no se ajuste por completo al modelo creado, ya que la presencia de una especie depende de su historia evolutiva, de diversos factores biológicos que afectan las poblaciones y finalmente del tiempo y condiciones del ambiente (Guisan y Zimmerman 2000).

Uno de los inconvenientes que tiene el método de GARP, es que no es un método muy útil si lo que se pretende es conocer cuáles son las causas de la presencia de una especie, ya que no proporciona pesos diferenciales entre las variables ambientales utilizadas para hacer el modelo. Pero esta limitante se puede compensar con el uso de técnicas de estadística multivariada. De acuerdo con Redfern *et al.* (2006), existen varias técnicas estadísticas que permiten inferir hasta cierto punto las relaciones que existen entre las especies y su ambiente; entre estos análisis se encuentra el análisis de componentes principales (ACP), la cual es una técnica que permite conocer la relación lineal entre la distribución de los cetáceos y las variables ambientales (Jaquet y Whitehead 1996, Keipper *et al.* 2005).

Las variables oceanográficas que determinan la distribución para cada especie en el POT son distintas. Por medio el ACP fue posible establecer que estos cetáceos se distribuyen de forma heterogénea, por lo que todas las variables afectan su distribución. Es interesante observar que la orca no muestra alguna dependencia por las condiciones físicas del ambiente (Figura 15, Cuadro 4) y aunado a su amplia distribución potencial (nicho ecológico) podría sugerir que ésta es una especie que puede tolerar diferentes condiciones ambientales, lo que favorece que tenga una mayor capacidad para ocupar diferentes ambientes, tanto en las zonas polares (Heyning y Dahlheim 1988) hasta las diferentes zonas tropicales del mundo (Dahlheim *et al.* 1982, Leatherwood *et al.* 1988). De igual modo, al tener un alto nivel trófico favorece que tenga una amplia variedad de fuentes alimenticias como calamares, pulpos, peces, elasmobranquios, tortugas, aves y mamíferos marinos (Baird 2000a; Castello 1977; Esquivel *et al.* 1993; Fertl *et al.* 1996; Heyning y Dahlheim 1988; Jefferson *et al.* 1991; Morton 1990; Visser 1999).

La orca falsa, en general parece no tener una fuerte dependencia por las variables oceanográficas (Figura 16, Cuadro 4), sin embargo su patrón de distribución sí parece estar relacionado con una variable específica, la temperatura. De acuerdo con Stacey y Baird (1991), este cetáceo tiene preferencia por aguas con determinadas temperaturas (9°C a 38°C), lo cual se coincide con estos resultados,

ya que aunque no se cuenta con los intervalos de la temperatura, sí podemos determinar que esta variable es la que más influye en su distribución (Cuadro 2).

De manera contraria, la distribución del delfín de dientes rugosos está estrechamente relacionada con las condiciones físicas del ambiente (Figura 16, Cuadro 4), lo que origina que sólo pueda habitar en condiciones ambientales muy específicas, como son las zonas tropicales y subtropical del mundo (Würsig *et al.* 2000). La distribución del delfín de dientes rugosos parece estar asociada a las condiciones oceanográficas de la alberca cálida del Pacífico cuyas aguas se caracterizan por tener temperaturas superficiales iguales o superiores a los 28°C y con altas concentraciones de clorofila, así como termoclinas superficiales (Ballance *et al.* 2006).

Es interesante notar que la distribución de estas especies parece estar relacionada con una misma variable, la batimetría (Cuadro 1, 2 y 3). Estudios previos han demostrado que la batimetría es una variable determinante en los patrones de distribución de diversas especies de cetáceos (Selzer y Payne 1988; Baumgartner 1997; Raum-Suryan y Harvey 1998; Yen *et al.* 2004). Aunque estos estudios difieren en algunos detalles, todos concluyen que la batimetría es una variable importante en la disponibilidad de presa. El efecto puede ser directo en presas bentónicas para las cuales su distribución puede estar a menudo relacionada con parámetros batimétricos como la profundidad y la pendiente. Para las presas pelágicas tales como peces o cefalópodos, los parámetros batimétricos podrían actuar indirectamente induciendo circulaciones verticales (tales como afloramientos de nutrientes) y horizontales (como corrientes marinas) que pueden causar la producción primaria y secundaria, pero también podría actuar directamente en la distribución de las presas a través de efectos de transporte y condensación (Baumgartner 1997; Croll *et al.* 1998; Davis *et al.* 1998; Cañadas *et al.* 2002; Yen *et al.* 2004).

La caracterización de las áreas de distribución de especies que tienen una amplia distribución, como ocurre con algunos cetáceos, se vuelve complicada

debido a que las variables que tienen mayor influencia en la distribución son escasas y en realidad, lo que determina su distribución es un conjunto de factores físicos y biológicos. Además de que las áreas que aparentemente están ocupadas por una especie en particular, en realidad están siendo ocupadas por otras especies con requerimientos estrechamente relacionados (Anderson *et al.* 2002a).

Finamente, es importante mencionar que los modelos de distribución potencial se realizaron con base en información oceanográfica de 1998. Durante 1998 ocurrió el evento conocido como El Niño, el cual es un fenómeno atmosférico-oceanográfico que varía en intensidad y duración y que se caracteriza por un comportamiento anómalo debido a las variaciones en los cambios de temperatura y la circulación de las corrientes oceánicas. Los efectos característicos de este fenómeno son los cambios en el patrón de lluvias, intensificación de huracanes y sequías, y a su vez también se presentan efectos directos sobre las comunidades marinas (Wolter y Timlin 1998). En la mastofauna marina, los efectos del fenómeno El Niño se pueden ver a corto plazo, con la redistribución horizontal y vertical de alimento potencial, y a largo plazo, con los cambios en la abundancia y composición de presas potenciales; que a su vez afectan la ocurrencia de los cetáceos (Hayward *et al.* 1999; Lenarz *et al.* 1995).

Uno de los estudios realizados sobre los efectos de El Niño en la mastofauna marina lo realizó Benson *et al.* (2002). Estos autores informan que este fenómeno produce cambios en la estructura de las comunidades de odontocetos que se distribuyen en la Bahía de Monterey, California. Asimismo, los autores también determinaron que la diversidad y abundancia de algunas especies de odontocetos se incrementa, debido a la afluencia de especies que tienen preferencia por aguas cálidas y templadas, como el delfín común.

Por lo tanto, debido a que los mapas presentados en este estudio fueron hechos con información anómala, sería importante comparar estos resultados con modelos hechos con información de años “normales” para poder determinar, los cambios en la distribución de las especies, y asimismo determinar cuáles son las

variables que influyen en su distribución. De ser posible esto, se contarían con escenarios comparables de los efectos del fenómeno El Niño en la mastofauna marina con relación a sus patrones de distribución.

## CONCLUSIONES

---



Los resultados obtenidos en este trabajo son un primer acercamiento al modelado de la distribución potencial en ambiente marino utilizando el método de GARP. El área de distribución potencial de estos cetáceos abarca la zona tropical del Pacífico Oriental Tropical, prediciendo distribución incluso en zonas donde no se han observado directamente a las especies. En el Golfo de México, el área de distribución potencial incluye básicamente la parte norte del Golfo, mientras que en la parte sur sólo hay predicción de distribución potencial en zonas muy específicas de la zona, las cuales coinciden de manera muy puntal con los registros de avistamientos conocidos de estas especies.

El área de distribución potencial de la orca es la más extensa, y ésta cubre de manera homogénea toda la parte costera y oceánica del área de estudio. Su distribución parece estar relacionada con la batimetría y la concentración de clorofila, sin embargo, la presencia de la orca parece no depender directamente de las condiciones oceanográficas utilizadas en este estudio.

El área de distribución potencial de la orca falsa abarca las zonas costeras desde California hasta Perú, pero su distribución se concentra básicamente en las zonas oceánicas. Las variables que más influyen en su distribución son la batimetría y la temperatura.

Finalmente, el área de distribución potencial del delfín de dientes rugosos se restringe principalmente a las zonas tropicales y subtropicales. Su distribución está definida por la temperatura, la salinidad y la batimetría. La presencia de este delfín parece depender directamente de las condiciones oceanográficas del ambiente.

Además de las características oceanográficas del ambiente, entre los factores que también influyen en la distribución de los organismos, se encuentra el nivel trófico de la especie. Esta característica parecen establecer cierta relación que se ve reflejada en los patrones de distribución de las especies, es decir, que cuando la

especie presenta un alto nivel trófico tiene una menor dependencia por las condiciones oceanográficas originando que su distribución se haga más extensa. Un claro ejemplo ocurre con la orca; este cetáceo es el depredador marino de mayor nivel trófico y de acuerdo a los resultados de este trabajo, su distribución es muy amplia y parece tener poca o casi ninguna dependencia por las condiciones físicas del ambiente. Caso contrario ocurre con el delfín de dientes rugosos, el cual se encuentra entre los cetáceos con menor nivel trófico y presenta una fuerte dependencia por las condiciones oceanográficas, lo cual se ve reflejado en su delimitada distribución.

Aunque la distribución de cada especie parece estar definida específicamente por ciertas variables oceanográficas, es importante hacer énfasis que la distribución de los tres cetáceos se relaciona con una variable en común; la batimetría. La cual es una característica que influye en la distribución debido a que es un factor que se asocia directamente con la disponibilidad de alimento.

## REFERENCIAS

---



- Acevedo A. 1991. Behaviour and movements of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in the entrance to Ensenada de la Paz, Mexico. *Aquatic Mammals*, 17(3): 137-147.
- Acevedo A. y Fleischer L. 1987. La orca en el Pacífico mexicano; resultados preliminares. XII Reunión Internacional de Investigación sobre los Mamíferos Marinos de México. La Paz, B.C.S.
- Aguayo L.A., Urbán R.J., Sánchez R.T., Rojas L.B. 1986. Diversidad y distribución de los cetáceos en el Golfo de California, México. XI Reunión Internacional de Mamíferos Marinos. Guaymas, Sonora. 3-1 de abril de 1986.
- Aguilar Aguilar, R. y Contreras Medina R. 2003. La distribución de los mamíferos marinos de México: Un enfoque banbiogeográfico. En: Llorente J. y Morrone J. Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Aguirre Gomes, R. 2002. Los mares mexicanos a través de la percepción remota. III Métodos y técnicas para el estudio del territorio. Temas selectos de Geografía de México. Editorial Plaza y Valdes. México, D.F.
- Alonso M.K., Pedraza S.N., Schiavini A.C.M., Goodal R.N. y Crespo E.A. 1999. Stomach contents of false killer whales (*Pseudorca crassidens*) stranded on the coasts of the Strait of Magelliwn, Tierra del Fuego. *Marine Mammal Science*, 15(3): 712-724.
- Anderson R.P., Laverde M. y Peterson A.T. 2002a. Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: insights form predictive models. *Global Ecology and Biogeography*, 11: 131-141.
- Anderson R.P., Laverde M. y Peterson A.T. 2002b. Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. *Oikos*, 93: 3-16.
- Anderson R.P., Lew D. y Peterson A.T. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162: 211-232.
- Antochiw-Alonso D.M. 2001. Varamiento masivo de orca falsa *Pseudorca crassidens* en El Cuyo, Yucatán, México. XXVI Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. Ensenada Baja California. 6-10 de mayo de 2001.
- Au D.W. y Perryman W.L. 1985. Dolphin habitats in the eastern tropical Pacific. *Fisheries Bulletin*, 83(4): 623-643.
- Au D.W., Perryman W.L. y Perrin W.F. 1979. Dolphin distribution and the relationships to environmental features in the Eastern Tropical Pacific. NOAA-Tech. Rep. Mem. NMFS-SWFS Admon Rep. LJ-79-43.
- Baird R.W. 2000a. The killer whale. Foraging specializations and group hunting. En: Mann J., Connor R.C., Tyack P.T., y Whitehead H. (eds). *Cetacean Societies*. The University of Chicago Press. Chicago, EUA.
- Baird R.W. 2000b. False killer whale, *Pseudorca crassidens*. En: Perrin W., Wursig B. y Thewissen (eds). *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press. San Diego California, EUA.
- Baird R.W., Gorgona A.M., McSweeney, D.J., Webster, D.L., Salden, D.R., Deakos M.H., Ligon A.D., Schorr G.S., Barlow J. y Mahaffy, S.D. 2008. False killer whales (*Pseudorca crassidens*) around the main Hawaiian Islands: long-term site fidelity, inter-island movements and association patterns. *Marine Mammal Science*, 24(3): 591-612.
- Baird R.W., Langelier K.M. y Stacey P.J. 1989. First records of false killer whale, *Pseudorca crassidens*, in Canada. *The Canadian Field-Naturalist*, 103: 368-371.
- Baird R.W., Langelir K.M. y Stacey P.J. 1989. First records of false killer whales, *Pseudorca crassidens*, in Canada. *Canadian Field-Naturalist*, 103(3): 368-371.

- Ballance L.T., Pitman R.L. y Fiedler P. 2006. Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69: 360-390.
- Baumgartner M.F. 1997. The distribution of risso's dolphins (*Grampus griseus*) with respect to the physiography of the northern Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*, 13:614-638.
- Baumgartner M.F., Mullin K.D., May L.N. y Leming T.D. 2001. Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. *Fisheries Bulletin*, 99: 219-239.
- Benson S.R., Croll D.A., Marinovic B.B., Chavéz F.P. y Harvey J.T. 2002. Changes in the cetacean assemblage of coastal upwelling ecosystem during El Niño 1997-98 and La Niña 1999. *Progress in Oceanography*, 54: 279-291.
- Bowen W.D. 1997. Role of marine mammals in aquatic ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 158: 267-274.
- Brenes R., Kwiecinski B., D'Croz L. y Chavez C. 1995. Características oceanográficas de la plataforma Pacífica de América Central y aguas oceánicas adyacentes. Programa Regional de Apoyo al Desarrollo de la Pesca en el Istmo Centroamericano (PRADEPESCA). Convenio ALA/90/09/UE/OLDEPESCA. 75p.
- Brimley H.H. 1937. The false killer whale on the north Carolina coast. *Journal of Mammalogy*, 18(1): 71-73.
- Brotans L., Thuiller, W., Araújo M.B. y Hirzel A. H. 2004. Presence-absence versus presence only modeling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography* 27:437-448.
- Brown D.H., Caldwell D.K. y Cadwell M.C. 1966. Observations of behavior of wild and captive false killer whales, with notes on associated behavior of other genera of captive delphinids. *Los Angeles County Museum Contribution Science*, 95:1-32.
- Brown J.H., Stevens G.C. y Kaufman D.M. 1996. The geographic range: size, shape, boundaries, and internal structure. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27: 597-623.
- Caldwell D., Caldwell M.C. y Walter C.M. 1970. Mass and individual strandings of false killer whales, *Pseudorca crassidens*, in Florida. *Journal of Mammalogy*, 51(3): 634 -636.
- Carpenter G., Gillison A.N. y Winter J. 1993. DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation*, 2:667-680.
- Castello H.P. 1977. Food of a killer whale: Tagle swing ray *Myliobatis* found in the stomach of a stranded *Orcinus orca*. *Scientific Report of the Whales Research Institute*, 29: 107-111.
- Ceballos G., Arroyo-Cabrales J., Medellín R.A., Medrano González L. y Oliva, G. 2005. Diversidad y conservación de los mamíferos de México. En: Ceballos G. y Oliva G. Los mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Clarke M.R. 1986. Cephalopods in the diet of odontocetes. En: Bryden y Harrison, R.J. (eds). *Research on dolphins*. Clarendon Press. Oxford.
- Clute J.W. 1963. *Atlas Internacional*. Cia. Internacional de Publicidad México, D.F. Hammond & Co. Maplewood, New York.
- Craig C.R. 2004. Predicting key habitat and potential distribution of northern bottlenose whales (*Hyperoodon ampullatus*) in the northwest Atlantic Ocean. Tesis de Maestría. University of Plymouth, Reino Unido.
- Croll D.A., Tershy B.R., Hewitt R.P., Demer D.A., Fiedler P.C., Smith S.E., Armstrong W., Popp J.M., Kickhefer R., Lopez V.R., Urbán J. y Gendron D. 1998. An integrated approach to the foraging ecology of marine birds and mammals. *Deep- Sea Research II*, 45: 1353-1371.
- Dahlheim M.E., Leatherwood S. y Perrin W. 1982. Distribution of killer whales in the warm temperate and tropical eastern pacific. *Reports of the International Whaling Commission*, 647-653.
- Davis R.W., Fargion G.S., May N., Leming T.D., Baumgartner M., Evans W.E., Hansen L.J. y Mullin K. 1998. Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north, central and western Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*, 14: 490-507.

- Davis R.W., Ortega-Ortiz J., Ribie C.A., Evans W., Biggs D.C., Ressler P.H., Cady R.B., Leben R.R., Mullin K.D. y Wursig B. 2002. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research I*, 49: 121-142.
- De la Lanza Espino G. 1991. Oceanografía de mares mexicanos. AGT Editor, S.A. México, D.F.
- De la Parra R., García Rivas M.C. y Olivares S. 2000. Actividades realizadas por la red de varamientos de mamíferos marinos del Caribe Mexicano durante 1999 y 2000. XXV Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. 7-11 de mayo de 2000.
- De Lanza Espino G. y Gómez Rojas J.C. 2004. Características físicas y químicas del Golfo de México. En: Caso M., Pisanty I. y Ezcurra E. (compiladores). Diagnostico ambiental del Golfo de México. Vol. I Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México, D.F.
- Delgado Estrella A. 1994. Presencia del delfín de dientes rugosos o esteno (*Steno bredanensis*), en la costa de Tabasco, México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoológica*, 65(2): 303-305.
- Delgado Estrella A., Ibarra L., Romero-Tenorio A. y De la Torre A. 2004. Varamiento de una hembra de delfín clymne *Stenella clymene*, y una cría de falsa orca *Pseudorca crassidens*, en la costa de Quintana Roo, México: notas sobre la biología reproductiva y salud. XXIX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, BCS. 2-5 de mayo de 2004.
- Delgado Estrella A., Romero Tenorio A., Ibarra Vargas L. y Torres Salcedo R. 2002. Rescate y rehabilitación de una hembra de delfín de dientes rugosos, *Steno bredanensis*, varada en la costa de Cancún, México. XXVII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. 12-15 de mayo de 2002.
- Elith J., Graham C. H., Anderson R.P., Dudík M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R.J., Huettmann F., Leathwick J.R., Lehmann A., Li J., Lohmann L.G., Loiselle B.A., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., Overton J.M., Peterson A.T., Phillips S.J., Richardson K., Scachetti-Pereira R., Schapire R.E., Soberón J., Williams S., Wisz M.S. y Zimmermann N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129-151.
- Esquivel C., Sarti L. y Fuentes I. 1993. Primera observación directa documentada sobre la depredación de la tortuga marinas *Lepidochelys olivacea* por *Orcinus orca*. *Cuadernos Mexicanos de Zoología*, 1(2): 96-98.
- Feria T.P. y Peterson A.T. 2002. Using point ocurrence data and inferential algorithms to predict local communities of birds. *Diversity and Distribution*, 8: 49-56.
- Ferrero R.C., Hodder J. y Cesarone J. 1994. Recent strandings of rouge-toothed dolphins (*Steno bredanensis*) on the Oregon and Washington coasts. *Marine Mammals Science*, 10(1):114-116.
- Fertl D., Acevedo-Gutiérrez A. y Darby F.L. 1996. A Report of killer whales (*Orcinus orca*) feeding on a carcharhinid shark in Costa Rica. *Marine Mammal Science*, 12(4): 606-611.
- Fiedler P.C. y Talley L.D. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69: 143-180.
- Fiedler P.C., Philbrick V. y Chavez F.P. 1991. Oceanic upwelling and productivity in the Eastern Tropical Pacific. *Limnology and Oceanography*, 36: 1834-1850.
- Flores M.A., Moraga R., Pérez M.A., Hanshing E. y Olavarría C. 2003. New sightings of false killer whales *Pseudorca crassidens* (Owen, 1846) in Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 38(2): 81-85.
- Flores Villela O. y Gerez P. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Flores-González L., Capella J., Rosenbaum H. 1994. Attack of killer whales (*Orcinus orca*) on humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on a south american pacific breeding ground. *Marine Mammal Science*, 10(2): 218-222.

- Ford J.K.B. y Ellis G.M. 1999. Transients. Mammal-hunting killer whales of British Columbia, Washington and southeastern Alaska. UBC Press. Vancouver, Canadá.
- Forney K.A. 2000. Environmental models of cetacean abundance: reducing uncertainty in population trends. *Conservation Biology*, 14: 1271-1286.
- Foucault A. y Raoult J.F. 1985. Diccionario de geología. Ed. Masson. París.
- Fraser F.C. 1936. Recent strandings of the false killer whale, *Pseudorca crassidens*, with special reference to those found at Donna Hook, Lincolnshire. *Scottish Naturalist* July-August, 1936: 105-114.
- Froelich N.P., Atwood K.D. y Giese G.S. 1978. Influence of Amazon River discharge on surface salinity and dissolved silicate concentration in the Caribbean. *Deep Sea Research*, 25: 735-744.
- Gannier A. y West K. I. 2005. Distribution of the Rough-Toothed Dolphin (*Steno bredanensis*) around the Winward Islands (French Polynesia). *Pacific Science*, 59: 7-24.
- García de León Loza A. 1988. Generalidades del análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales. Serie Divulgación Geográfica. No. 8. Instituto de Geografía. UNAM, México.
- Gavidia F.J. 1983. Circulación geográfica en la región del Domo de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias Marianas. México, D.F.
- Gendron D. 1993. Índice de avistamientos y distribución del género Balaenoptera en el Golfo de California, México durante febrero, marzo y abril 1998. *Revista de Investigación Científica* Vol. 1 (Número Especial) UABCS: 21- 30.
- Gómez-Gallardo U., Urbán, J. y Ludwig S. 2002. Abundancia, distribución y mortalidad de la ballena gris en la Laguna San Ignacio, B.C.S. Análisis histórico (1978-1985, 1996-2000). Resúmenes de la XXVIII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. Veracruz, México.
- Gowans S. y Whitehead H. 1995. Distribution and habitat partitioning by small odontocetes in the Gully, a submarine canyon on the Scotian shelf. *Canadian Journal of Zoology*, 73: 1599-1608.
- Griffin R.B. 1997. Relationships between odontocete distribution and zooplankton community structure along the southern Edge of Georges Bank. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 22: 27-36
- Guerrero Ruiz M., Gendron D. y Urbán J. 1998. Distribution, movements and communities of killer whales (*Orcinus orca*) in the Gulf of California, México. *Reports of the International Whaling Commission*, 48: 537-543.
- Guerrero Ruiz, M., Urbán Ramírez, J. y Rojas Bracho, L. 2006. Las ballenas del Golfo de California. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Guisan A. y Zimmermann N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135:147-186.
- Guisan A., Edwards T. C. y Hastie T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157:89-100.
- Hamazaki T. 2002. Spatiotemporal prediction models of cetacean habitats in the mid-western North Atlantic Ocean. *Marine Mammal Science*, 18: 920-939.
- Hayward T.L., Baumgartner McBride T., Checkley M.D., Durazo Arvizu R., Gaxiola Castro G., Mullin M., Murphree T., Schwing F.B., Smith P. y Schwing F.B. 1999. The state of the California current in 1998-1999: transition to cool-water conditions. California cooperative oceanic fisheries investigations. The California current, 1998-1999. *CalCOFI Rep.*, 40:29-62.
- Hernandez P.A., Graham C.H., Master L.L. y Albert D.L. Lawrence L. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29:773-785.

- Heyning J. E. y Dahlheim M. E. 1988. *Orcinus orca*. Mammalian Species. The American Society of Mammalogists, 304: 1-9.
- Hirzel A.H., Hausser J. Chessel D. y Perrin N. 2002. Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*, 83: 2027-2036.
- Hofmann E.E., Busalacchi A.J. y O'Brien J.J. 1981. Wind generation of the Costa Rica Dome. *Science* 214: 552-554.
- Hoyt E. 1981. Orca. The whale called killer. Firefly Books. Canada.
- Hoyt E. 1983. Great winged whales: combat and courtship rites among humpback, the ocean's not-so-gentle giants. *Equinox* . 10: 25-47.
- Hutchinson 1957. Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 22:415-427.
- Hyrenbach K.D. y Veit R.R. 2003. Ocean warming and seabird assemblages of the California Current System (1997-1998): response at multiple temporal scales. *Deep-Sea Research II*, 50(14-16): 2537-2565.
- Jaquet N. y Gendron D. 2002. Distribution and relative abundante of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, Mexico. *Marine Biology*. 141: 591-601.
- Jaquet N. y Whitehead H. 1996. Scale-dependent correlation of sperm whale distributions with environmental features and productivity in the South Pacific. *Marine Ecology Processes Series*, 135:1-9.
- Jefferson T. A. y Schiro A. J. 1997. Distribution of cetaceans in the offshore Gulf of Mexico. *Mammal Review*, 27: 27-50
- Jefferson T., Leatherwood S. y Webber M. 1993. FAO Species Identification Guide. Marine Mammals of the World. Rome, FAO.
- Jefferson T.A. 2000. Rough-toothed dolphin, *Steno bredanensis*. En: Perrin W., Wursig B. y Thewissen (eds). *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press. San Diego California, EUA.
- Jefferson T.A. y Lynn S.K. 1994. Marine mammal sighting in the Caribbean sea and gulf of Mexico, Summer 1991. *Caribbean Journal of Science*, 30(1-2): 83-89.
- Jefferson T.A., Stacey P.J. y Baird R.W. 1991. A review of killer whale interactions with other marine mammals: predation to co-existence. *Mammal Review*, 21(4): 151-180.
- Kaschner K., Watson R., Trites A.W. y Pauly D. 2006. Mapping world-wide distributions of marine mammals species using a relative environmental suitability (RES) model. *Marine Ecology Progress Series*, 316:285-310.
- Keiper C.A., Ainley D.G., Allen S.G. y Harvey J.T. 2005. Marine mammal occurrence and ocean climate off central California, 1986 to 1994 and 1997 to 1999. *Marine Ecology Pgress Series*, 289:285-306.
- Ladrón de Guevara P. 1995. La ballena jorobada *Megaptera novaeangliae* (Borowski 1781) en la Bahía de BANDAS, Nayarit-Jalisco, México. (Cetacea: Balaenopteridae). Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Layne J.L. 1965. Observations on marine mammals in Florida waters. *Bulletin Florida State Museum (Biol. Sci.)*, 9:131-181.
- Leatherwood S. y Reeves R. 1983. *The Sierra Club Handbook of whales and dolphins*. Sierra Club Books, San Francisco.
- Leatherwood S., Reeves R., Perrin W. y Evans W. 1988. Ballenas, delfines y marsopas del Pacífico nororiental y de las aguas árticas adyacentes. Comisión Interamericana del atún tropical. Informe especial No 6 La Jolla, California.
- Lenarz W.H., Ventresca D., Graham W.H., Schwing F.B. y Chavez F. 1995. Explorations of the El Niño events and associated biological population dynamics off Central California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 36:106-118.
- López Hernández I. y Delgado Estrella A. 2000. Observaciones sobre grupos de delfines de dientes rugosos, *Steno bredanensis*, en la costa de Tabasco, México. XXV Reunión

- Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, BCS. 7-11 de mayo de 2000.
- Mandleberg L. 2004. A comparison of the predictive abilities of four approaches for modelling the distribution of cetaceans. Thesis of Mres. Marine and Fisheries Science. University of Aberdeen, Aberdeen, U.K.
- Martin A. R. y Reeves R. R. 2002. Diversity and zoogeography. En: Hoelzel A.R. (ed) Marine Mammal Biology. An evolutionary approach. Blackwell Publishing.
- Martínez-Meyer E. 2005. Climate change and biodiversity: some considerations in forecasting shifts in species' potential distributions. *Biodiversity Informatics*, 2:42-55.
- Martínez-Meyer E., Peterson A.T. y Hargrove W.W. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implication for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and biogeography*, 13: 305-314.
- Medrano González M. 2006. Hacia una dinámica de la mastofauna marina mexicana: análisis de composición funcional y de algunas estructuras genéticas poblacionales. En: Vázquez-Domínguez, E. y Hafner, D.J. (eds). *Genética y mamíferos mexicanos: presente y futuro*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin No. 32.
- Menard H.W. y Smith S.M. 1966. Hypsometry of ocean basin provinces. *Journal Geophysical Research*, 71(1): 4305-4325.
- Meraz J. y Becerril-Morales F. 2004. Registro de un ejemplar varado de *Pseudorca crassidens* en Zipolite, Oaxaca, México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología*, 75(1):229-235.
- Merrick R.L. 1997. Current and historical roles of apex predators in the Bering Sea ecosystem. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 22: 343-356.
- Mitchell G.S. 1965. Evidence for mass strandings of the false killer whale, (*Pseudorca crassidens*) in the eastern North Pacific Ocean. *Norsk Hvalfangst-Tidende*, 8:172-177.
- Miyazaki N. y Perrin W. 1994. Rough-toothed dolphin *Steno bredanensis* (Lesson, 1828). En: Ridgway S.H. y Harrison R. (eds). Academic Press, London.
- Monreal-Gómez M.A. y Salas de León D. 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En: Lavín, M.F. (ed). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Monografía no. 3. Unión Geofísica Mexicana. México, D.F.
- Monreal-Gómez M.A., Salas-de-León D. y Velasco Mendoza H. 2004. La hidrodinámica del Golfo de México. En: Caso M., Pisanty I. y Ezcurra E. (compiladores). *Diagnostico ambiental del Golfo de México*. Vol. I Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México, D.F.
- Morrone J.J. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomología*, 48(2):149-162.
- Morton A.B. 1990. A quantitative comparison of the behaviour of resident and transient forms of the killer whale off the central British Columbia coast. *Reports of the International Whaling Commission Special Issue*, 12: 245-248.
- Mullin K.D. y Fulling G.L. 2004. Abundance of cetaceans in the oceanic northern Gulf of Mexico, 1996-2001. *Marine Mammal Science*, 20(4): 787-807.
- Mullin K.D. y Hansen L.J. 1999. Marine mammals of the norther Gulf of Mexico. En: Kumpf H., Steidinger K. y Sherman K. (eds). *The Gulf of Mexico large marine ecosystems*. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Myers A.A. y Giller P.S. 1988. *Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions*. Ed. Chapman and Hall. Londres.
- Nakazawa Y., Peterson A.T., Martínez-Meyer E. y Navarro A.G. 2004. Seasonal niches of nearctic-neotropical migratory birds: implications for the evolution of migration. *Auk*, 121 (2): 610-618.
- Navarro A.G., Peterson A., Nakazaka Y.J. y Liebig-Fossas I. 2003. Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. En: Morrone J.J. y

- Llorente B.J. Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Nix H.A. 1986. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. En: Longmore, R. (ed). Atlas of elapid snakes of Australia. Australian Flora and Fauna Series Number 7. Australian Government Publishing Service: Canberra.
- Nowlin W.D. 1972. Winter circulation and property distributions. En: Capurro L.R. y Reis, J. (eds). Contributions on the physical oceanography of the Gulf of Mexico, Gulf Publ. Co., Houston, Texas.
- Odell D.K. y McClune K.M. 1999. *Pseudorca crassidens* (Owen 1846). En: Ridgway S.H. y Harrison S.R. (eds). Handbook of marine mammals. Vol. 6. Academic Press, New York.
- Ortega Ortiz J. 2000. Diversidad de cetáceos en el sur del Golfo de México. XXV Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, BCS. 7-11 de mayo de 2000.
- Ortega Ortiz J. 2002b. Multiscale analysis of cetacean distribution in the Gulf of Mexico. Tesis doctoral. Universidad de Texas, Estados Unidos de América.
- Ott P.E. y Danilewicz D. 1996. Southward range extension of *Steno bredanensis* in the Southwest Atlantic and new records of *Stenella coeruleoalba* for Brazilian waters. Aquatic mammals, 22(3): 185-189.
- Palacios D.M. y Mate B. 1996. Attack by false killer whales (*Pseudorca crassidens*) on sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the Galápagos Islands. Marine Mammal Science. 12(4): 582-587.
- Pauly D., Trites A.W., Capulli E. y Christense V. 1998. Diet composition and trophic levels of marine mammals. ICES Journal of Marine Science, 55:467-481.
- Pearson, R. G., Thuiller W., Araújo M.B., Martinez-Meyer E., Brotons L., McClean C., Miles L., Segurado P., Dawson T. P. y Lees D.C. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. Journal of Biogeography 33:1704-1711.
- Pérez Bouchez D. y Gordillo Morales G. 2002. Avistamientos y primeros registros de varamientos de mamíferos marinos en las costas de Oaxaca (Huatulco-Puerto Escondido) de febrero de 1998 a mayo de 1999. XXVII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. Veracruz, Ver. México.
- Perrin W. y Walker W.A. 1975. The rough-toothed porpoise, *Steno bredanensis*, in the eastern tropical Pacific. Journal of Mammalogy, 56(4):905-907.
- Perrin W.F. 1982. Report of the workshop on identity, structure and vital rates of killer whale populations. Reports of the International Whaling Commission, 32:617- 632.
- Perrin W.F. y Reilly S.B. 1984. Reproductive parameters of dolphins and smalls whales of the family Delphinidae. Reports of the International Whaling Commission. Special Issue, 6:97-133.
- Perryman W.L. y Foster T.C. 1980. Preliminary report on predation by small whales, mainly the false killer whale, *Pseudorca crassidens*, on dolphins (*Stenella* spp. and *Delphinus delphis*) in the eastern tropical Pacific. National Marine Fisheries Service Southwest Fisheries Center Administrative Report LJ-80-05.
- Peterson A.T. 2001. Predicting species'geographic distributions based on ecological niche modeling. Condor, 103:599-605.
- Peterson A.T. y Cohhon K.P. 1999. Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. Ecological Modelling, 117:159-164.
- Peterson A.T. y Robins C.R. 2003. Using ecological-niche modeling to predict barred owl invasions with implications for spotted owl conservation. Conservation Biology, 17(4):1161-1165.
- Peterson A.T. y Vieglais D.A. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. BioScience, 51 (5): 363-371.

- Peterson A.T., Ball L.G. y Cohoon K.P. 2002. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modeling methods. *Ibis* 144(on-line), E27-E32.
- Peterson A.T., Martínez-Meyer E., González-Salazar C. y Hal P.W. 2004. Modeled climate change effects on distributions of Canadian butterfly species. *Canadian Journal of Zoology*, 82: 851-858.
- Peterson A.T., Sánchez-Cordero V., Soberon J., Bartley J., Buddemeir R.H. y Navarro-Sigüenza A. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of mexican cracidae. *Ecological Modelling*, 144. 21-30.
- Peterson A.T., Soberon J. y Sánchez-Cordero V. 1999. Conservatism of ecological niche in evolutionary time. *Science*, 285: 1265-1267.
- Peterson A.T., Soberón J. y Sánchez-Cordero V. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, 285: 1265-1267.
- Peterson A.T., Vieglais D.A. y Andreasen J.K. 2003. Migratory birds modeled as critical transport agents for west nile virus in North America. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 3(1): 27-37.
- Phillips S.J., Dudik M., Schapire R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modelling. *Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference on Machine Learning*, Banff, Canada.
- Pica Y. y Pineda R. 1991. Oceanografía Física. En: Lanza, E.G. (comp). *Oceanografía de Mares Mexicanos*. De la Editorial AGT Editor. México.
- Pitman R.L. y Stinchcomb C. 2002. Rough-toothed dolphins (*Steno bredanensis*) as predators of mahimahi (*Coryphaena bippurus*). *Pacific Science*, 56(4):447-450.
- Pompa Mansilla S. 2006. Distribución y abundancia de los géneros *Kogia* y *Steno* en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Rapoport E.H. 1975. Aerografía. Estrategias geográficas de las especies. *Obras de Ciencia y Tecnología*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Raum-Suryan K.L. and Harvey J.T. 1998. Distribution and abundance of and habitat use by harbor porpoise, *Phocoena phocoena*, off the northern San Juan Islands, Washington. *Fisheries Bulletin*, 96(4): 808-822.
- Redfern J.V., Ferguson M.C., Becker E.A., Hyrenbach K.D., Good C., Barlow J., Kaschner K., Baumgartner M.F., Forney K.A., Balance L.T., Fauchald P., Halpin P., Hamazaki T., Pershing A.J., Qian S.S., Read A., Reilly S.B., Torres L. y Werner F. 2006. Techniques for cetacean-habitat modelling. *Marine Ecology Progress Series*, 310:271-295.
- Reeves R. 2002. *Guide to marine mammals of the world*. National Audubon Society. Knoph edit. Nueva York.
- Rice D.W. 1998. *Marine mammals of the world: systematics and distribution*. Society for Marine Mammalogy. Special Publication No. 4. Lawrence, KS. USA.
- Rizo D.L.E. 1990. Análisis de algunos aspectos físicos y biológicos de los varamientos de cetáceos en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Roden G.I. y Groves G.W. 1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. *Journal Marine Research*, 18:1035.
- Rodríguez Fonseca J. 2001. Diversidad y distribución de los Cetáceos de Costa Rica (Cetacea: Delphinidae, Physeteridae, Ziphiidae y Balaenopteridae). *Revista de Biología Tropical*, 49 (2): 135-143.
- Rojas-Soto O.R., Alcántara-Ayala O. y Navarro S.A.G. 2003. Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, Mexico: a parsimony analysis of endemism and distributional modeling approach. *Journal of Biogeography*, 30:449-461.

- Rosen B.R. 1988. Process, pattern and scale in biogeography. En: Myers, A.A. y Giller, P.S. (eds). Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions. Chapman and Hall. Londres.
- Ross G.J.B., Cockcroft V.G. y Butterworth D.S. 1987. Offshore distribution of bottlenosed dolphins in Natal coastal waters and Angola Bay, Eastern Cape. South Africa Journal of Zoology, 22: 50-56.
- Salazar Bernal E. 2005. Ocurrencia de orcas (*Orcinus orca*) y de sus ataques a ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) en la Bahía Banderas, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Salinas Zacarías M. A. y Ladrón de Guevara P. 1993. Riqueza y diversidad de los mamíferos marinos. Ciencias No. Especial, 7: 85-93.
- Salinas Zacarías M.A. y Bourillón Moreno L.F. 1988. Taxonomía, diversidad y distribución de los cetáceos de la Bahía de Banderas, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México, DF.
- Sánchez-Cordero V., Peterson A.T. y Escalante-Pliego P. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández H.M., García A.A., Álvarez F. y Ulloa M. (compiladores). Enfoques contemporáneos para la estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F.
- Sarti M., Flores L.O. y Aguayo A.L. 1994. Evidencie of predation of killer whale (*Orcinus orca*) on a leatherback sea turtle (*Dermochelys coriacea*) in Michoacan, Mexico. Revista de Investigación Científica, 2: 23-26.
- Secretaria de Marina. 1980. Contribución al conocimiento de las características fisicoquímicas de las aguas del Caribe Mexicano. Química del océano.
- Secretaria de Marina. 2002. Atlas de dinámica costera de la República Mexicana. Secretaria de Marina-Armada de México.
- Selzer L.A. y Payne P.M. 1988. The distribution of white-sided (*Lagenorhynchus acutus*) and common dolphins (*Delphinus delphis*) vs. environmental features of the continental shelf of the northeastern United States. Marine Mammal Science, 4: 141-153.
- Shallenberger E.D. 1981. The status of Hawaiian cetaceans. U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service PB82-109398.
- Smith R.C., Dustan R., Au D., Baker K.S. y Dunlap E.A. 1986. Distribution of cetaceans and sea-surface chlorophyll concentrations in the California Current. Marine Biology, 91: 385-402.
- Soberón J. y Peterson A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distrutional areas. Biodiversity Informatics, 2:1-10.
- Stacey P.J. y Baird R.W. 1991. Status of the false killer whale, *Pseudorca crassidens*, in Canada. Canadian Fiedl-Naturalist, 105(2):189-197.
- Stacey P.J., Leatherwood S. y Baird R.W. 1994. *Pseudorca crassidens*. Mammalian Species, 456: 1-6.
- Stockwell D. 1995. Fundamental and inferencial modelling. <http://biodi.sdsc.edu>
- Stockwell D. 1997. Progress in biodiversity modelling using museum data in Australia. <http://biodi.sdcs.edu>
- Stockwell D. 1999. Genetic Algorithms II. Species distribution modelling. En: Fielding, A.H. (ed). Machine learning methods for ecological applications. Kluwer Academic Publishers. Boston, E.U.A.
- Stockwell D. y Peters D. 1999. The GARP modelling system: problems and solution to automated spatial prediction. International Journal of Geographic Information Science, 13 (2):143-158.
- Sturges W., Lugo-Fernández A., Shargel M.D. 2005. Introduction to circulation in the Gulf of México. En: Sturges W. y Lugo-Fernández A. (eds). Circulation in the Gulf of Mexico; observations and models. American Geophysical Union, 1-10.
- Tchernia P. 1980. Descriptive Regional Oceanography. Ed. Pergamon Press. New York, New York.

- Terrádez Gurrea M. 2002. Análisis de componentes principales. Proyecto e-Math. Dirección electrónica: [www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes\\_principales.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes_principales.pdf)
- Tomich P.Q. 1986. Mammals in Hawaii, 2nd ed. Bishop Museum Press, Honolulu, Hawaii. 375 pp.
- Torres A., Esquivel C. y Ceballos G. 1995. Diversidad y conservación de los mamíferos marinos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 1:22-43.
- Tyann C.T., Ainley D.G., Barth J.A., Cowles T.J., Pierce S.D. y Spear L.B. 2005. Cetacean distributions relative to ocean processes in the northern California Current System. *Deep-Sea Research II*, 52:145-167.
- Urbán Ramírez J. y Aguayo A.L. 1985. Cetáceos observados en la costa occidental de la Península de Baja California, México. X Reunión sobre mamíferos marinos. Marzo. 1985.
- Vázquez Castán L., Serrano Solís A., López Ortega M., Galindo J.A., Valdes Arellanes M.P. y Naval Ávila C. 2007. Caracterización del hábitat de dos poblaciones de tonina (*Tursiops truncatus*, Montagu 1821) en la costa norte del estado de Veracruz, México. *Revista UDO Agrícola*, 7 (1): 285-292.
- Vazquez Yanez C. y Orozco Segovia A. 1996. La destrucción de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México, D. F.
- Vidal O. 1991. Catalog of osteological collections of aquatic mammals from Mexico. NOAA Tech Rep. NMFS. 97.
- Vidal V.M.V., Vidal F.V. y Hernández O.A.F. 1990. Atlas Oceanográfico del Golfo de México, Volumen III. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Grupo de Estudios Oceanográficos, Cuernavaca, Morelos.
- Visser I. 1999. A summary of interactions between orca (*Orcinus orca*) and other cetaceans in New Zealand waters. *New Zealand Natural Sciences*, 24: 101-112.
- Wade, L.S. y Friedrichsen G.L.. 1979. Recent sightings of the blue whale, *Balaenoptera musculus*, in the Northeastern Tropical Pacific. *Fisheries Bulletin*. 76(4) 915-919.
- Weare B.C., Strub P.T. y Samuel M.D. 1981. Annual mean surface heat fluxes in the Tropical Pacific Ocean. *Journal Physics Oceanography*, 11(5):705-717.
- Wiley E.O., McNyset K.M., Peterson A.T., Robins C.R. y Stewart A.M. 2003. Niche modelling and geographic range predictions in the marine environment using a machine-learning algorithm. *Oceanography*, 16(3):120-127.
- Wolter K. y Timlin S. 1998. Measuring the strength of the ENSO events: How does 1997/98 rank? *Weather*, 53:315-324.
- Würsig B., Jefferson T.A. y Schmidly D.J. 2000. The marine mammals of the Gulf of Mexico. Texas A&M University Press, College Station, T.X.
- Wyrtsky K. 1965. Surface currents of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Bulletin InterAmerican Tropical Tuna Comisión*, Vol. IX (5):269-304.
- Yen P.P.W., Sydeman W.J. y Hyrenbach K.D. 2004. Marine bird and cetacean associations with bathymetric habitats and shallow-water topographies: implications for trophic transfer and conservation. *Journal of Marine Systems*, 50:79-99.

## AGRADECIMIENTOS

---



Esta es la oportunidad perfecta para agradecer a toda esa gente que permaneció, apareció y engrandeció este camino que ahora llega a su fin. Muchas gracias....

A Laura, mi hermanita, por que mucho de lo que ahora soy, es gracias a ella. Por que juntas seguimos caminando hombro con hombro y saliendo adelante. Gracias por haberme brindado la libertad y apoyo para continuar haciendo lo que me gusta. Gracias por que sin tu apoyo en todos los sentidos, este trabajo no hubiera sido posible. Espero algún día regresarte un poco de lo mucho que tu haz hecho por mi.

Al Dr. Luis Medrano por haber sido el director de esta tesis. A los miembros de mi comité tutorial, Dr. Enrique Martínez y Dr. Raúl Aguirre, por el interés en este trabajo, así como a los miembros del jurado, Dra. Livia León Paniagua y Dr. Eduardo Morales Guillaumin. Gracias a todos por sus valiosos comentarios, consejos y observaciones, los cuales ayudaron a la mejora de este trabajo. También agradezco al M. en C. Cesar Muñoz por haberse tomado el tiempo de revisar este trabajo y por cada atinado comentario.

A Ricardo, gracias por haber caminado a mi lado durante tanto tiempo. Gracias por todas las palabras de ánimo y esperanza para que este trabajo termina bien. Sencillamente gracias por todo el apoyo y cariño que me regalaste. Gracias por haber formado parte de este importante capitulo en mi vida.

A Blanca, gracias por el apoyo que siempre me has brindado, por siempre estar dispuesta a escuchar y por todas la palabras de aliento que me has dicho tanto en los buenos como en los malos momentos. Gracias por esta amistad que se ha mantenido y fortalecido con el paso del tiempo.

A Samanta y Maria Elena, gracias por seguir siendo parte de mi vida. Gracias por siempre estar dispuestas a ayudarme, por todo el cariño que me han regalado, por todas las palabras, apoyo, amor y amistad que me han brindado, el cual es 100% correspondido. Gracias por ser mi otra pequeña familia.

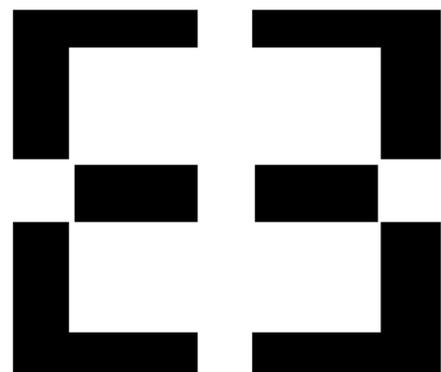
A inolvidables amig@s: Ricardo, Sandra Smith (Smithy), Sandra Pompa (Pompa), María José (Cheche), Miriam (Miri miri), Sergio, Hiram, Anidia, Lorena, Pablo. Gracias por que nuestro compañerismo se convirtió en una hermosa amistad, la cual ha crecido y se ha fortalecido enormemente. Muchas gracias por que a pesar de nuestras diferencias hemos logrado juntos muchas cosas que hubieran sido impensables. Gracias por permitirme cumplir muchos sueños a su lado.

A Susana, Emma, Paco, Gaby, Edward y Rafa, por que fueron la sal y la pimienta del curso en la hermosa Chamela, el cual se convirtió en una de las experiencias más inolvidables de mi vida. Gracias por que a su lado pase unos días llenos de risas, carcajadas, pláticas, huellas, coyotes, desayunos, comidas, cenas y demás. Gracias por que ese fue el inicio de una linda amistad, que espero continúe hasta que las patas de los murciélagos dejen de ser promiscuas.....

A Baldo, mil gracias por que una vez más salvaste a mi computadora de esos virus que nada más no me dejan en paz.

A la UNAM, por permitirme formar parte de la mejor universidad del mundo sin importar lo que diga el ranking mundial. Gracias por permitirme continuar con mis estudios de posgrado. Pero sobre todo gracias por brindarme la oportunidad de decir orgullosamente que soy de sangre azul y piel dorada.

**WOFORO DUA PA A**



«When you climb a good tree, you are given a push»