



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Facultad de Ciencias

DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LA  
MASTOFAUNA MARINA EN EL OCÉANO  
PACÍFICO MEXICANO Y AGUAS  
ADYACENTES

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

P R E S E N T A

HIRAM ROSALES NANDUCA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: Dr. Luis Medrano González

COMITÉ TUTOR: Dra. María Ana Fernández Álamo  
Dr. Enrique Martínez Meyer

TUTOR INVITADO: Dr. Héctor Takeshi Arita Watanabe

MÉXICO, D.F. Junio de 2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO FCIE/DEP/296/11

ASUNTO: Oficio de Jurado

**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 **17 de enero de 2011**, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **DOCTOR EN CIENCIAS** del (la) alumno (a) **ROSALES NANDUCA HIRAM** con número de cuenta **94389199** con la tesis titulada: "**Diversidad y distribución de la mastofauna marina en el Océano Pacífico Mexicano y aguas adyacentes**", realizada bajo la dirección del (la) **DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ**:

Presidente:	DR. VÍCTOR SÁNCHEZ-CORDERO DÁVILA
Vocal:	DRA. ELLA GLORIA VÁZQUEZ DOMÍNGUEZ
Vocal:	DRA. LIVIA SOCORRO LEÓN PANIAGUA
Vocal:	DRA. MARÍA ANA FERNÁNDEZ ÁLAMO
Secretario:	DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ
Suplente:	DR. EDUARDO MORALES GUILLAUMIN
Suplente	DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MEYER

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

**Atentamente**  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F. a 24 de mayo de 2011

*M. del Coro Arizmendi*  
Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga  
Coordinadora del Programa



MCAA/MJFM/ASR/ipp

## AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de Doctorado dentro de su programa de estudios. También reconozco y agradezco el financiamiento que el Posgrado me brindó para asistir a diversas reuniones académicas como fueron la 16<sup>th</sup> y 17<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals y la Primera Reunión Internacional sobre el estudio de los mamíferos acuáticos (SOMEMMA-SOLAMAC).

Agradezco también al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado y a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) por el complemento de beca otorgado durante dos años.

Quiero agradecer de manera especial a todos los miembros de mi Comité Tutorial que estuvieron conmigo en este proceso, y que fueron parte fundamental para que esta tesis se haya concluido:

Dr. Luis Medrano González (Tutor principal)

Dr. Enrique Martínez Meyer (Miembro del Comité Tutorial)

Dra. María Ana Fernández Álamo (Miembro del Comité Tutorial)

Dr. Héctor Arita Watanabe (Miembro del Comité Tutorial)

También agradezco a los miembros del Jurado por todos sus comentarios y por haber tenido la paciencia y la buena disposición de lidiar con mis continuas visitas y por haber revisado el presente trabajo:

Dra. Ella Gloria Vázquez Domínguez

Dr. Eduardo Morales Guillaumin

Dra. Livia Socorro León Paniagua

Dr. Víctor Sánchez-Cordero Dávila

No quiero desaprovechar esta oportunidad para agradecer a todas las personas que de alguna manera u otra colaboraron con alguna idea, algún dato, algún comentario, algún trámite, algún apoyo económico, alguna palmada, alguna sonrisa, alguna lágrima. En fin, no quiero dejar de mencionar a un número aún no determinado de personas que en algún momento y por distintas circunstancias se vieron involucradas en la realización de este proyecto. A manera de descargo y sin pretender cometer ninguna omisión, ofrezco de antemano mis más sentidas disculpas a todos aquellos que por deficiencias de mi memoria no aparezcan mencionados en los siguientes renglones, insistiendo que es única y exclusivamente por incapacidad de recordar en este momento y no por ningún tipo de ingratitud. Así que sin más quiero agradecer a las siguientes personas u organizaciones por todo su apoyo:

A Anidia, porque durante todo este proceso estuvo siempre conmigo y nunca dudo de que este proyecto llegaría a buen término. A ella que siempre me apoyó y me brindó su cariño y que por lo tanto se volvió mi mejor soporte. Gracias Ani por no perder nunca la fe en mí e impulsarme a mirar siempre para adelante, por apoyarme y recordarme que si siento una gran pasión por lo que hago no la debo dejar por muy complicado que luzca el panorama. Gracias porque me ayudaste a soportar momentos complicados y te mantuviste ahí.

A mi familia la cual siempre me ha apoyado y la cual aún a la fecha sigue sin entender que es lo que hago, pero no por eso dejan de alegrarse por mí. A mi mamá que es el mejor ejemplo de sencillez y trabajo con el que pude haber crecido y a mi papá que siempre estuvo dispuesto a apoyarme. Gracias papás porque siempre se alegran si me ven alegre y se preocupan si me ven triste. A mis hermanos que siempre me preguntan únicamente por lo que ellos consideran aventuras y a mis sobrinos por alegrarme con sus risas de niño y recordarme que eso es lo que no debería cambiar nunca en una persona. Gracias niños por recordarme que nunca se debe perder la capacidad de ser niño, de reír y de disfrutar lo simple, por mucho que uno se vuelva adulto y lo envuelvan preocupaciones de adulto.

A Luis Medrano, gracias Luis por haberme aceptado hace ya más de 10 años cuando inicie el servicio social en el laboratorio y por todo el tiempo y conocimiento compartidos hasta ahora incluida la oportunidad de participar en los proyectos del laboratorio y por supuesto por haber dirigido esta tesis.

A todo el personal del Posgrado en Ciencias Biológicas sobre todo a los de ventanillas y a los de la coordinación, por todaaaassss las veces que les fui a quitar el tiempo con mis preguntas repetitivas y mis dudas de la inscripción, de los apoyos, de los trámites, y hasta dudas existenciales, etc, etc. Particularmente quiero agradecer a Juan Núñez, Lilia Espinosa (Lilia), Lilia Jiménez (Lilia becas), María de Jesús (Mari), Dení Rodríguez, y a todos aquellos que aunque no recuerdo sus nombres ahorita los tengo presentes por todas las ocasiones en que me atendieron. Gracias a todos ustedes por todo su apoyo.

A todos mis amigos del Grupo de Mastozoología Marina. Gracias a todos por compartir esas miradas de admiración en el campo, por compartir risas y lecturas en el laboratorio, por esos momentos inolvidables en los congresos y por ayudarme y ayudarnos a saber que las cosas se pueden hacer. Gracias también porque en el transcurso de estos años nos ha tocado compartir alegrías enormes y tristezas profundas, y porque justo en los momentos que escribo esto no puedo hacer sino recordar todo lo que compartimos durante nuestra estancia en el laboratorio. Así que sin más y para no fallar mejor los menciono por orden alfabético: Axa, Carlos, Elia, Lorena, María José, Maricela, Miriam, Sandi Smith, Sandra Pompa, Sergio, Xochitl, gracias a todos y cada uno de ustedes por todo lo que ustedes ya saben.

A la familia Blanco-Jarvio, la cual siempre y sin ninguna necesidad estuvo al pendiente de mí, en los momentos buenos y en los malos, a todos ellos gracias por su apoyo y cariño.

A la familia Smith-Aguilar-Aguilar Smith, gracias a estas tres mujeres (Anita, María y Sandi), las que no sé por qué motivo ni por qué razón terminaron aceptándome como parte de su vida, jeje. Gracias a las tres por todo y sobre todo por ser ustedes y por estar pendientes de mí.

A Sandi, no sólo por las molestias con el inglés, por las platicas de los bichos, por compartir tantas cosas juntos, sino también porque en el transcurso de estos años se volvió la hermana que nunca tuve.

A Sergio, por todo su apoyo y por todo lo que ya hemos compartido, navegado, platicado, trabajado, aprendido, etc, etc.

A Lore y Pablito, porque siempre estuvieron pendientes del desarrollo de esta tesis y sobre todo por ser amigos.

A Justino y Margarita, Margarita y Justino, y a toda la familia Nieblas González (Juanita, Gerardo, Felix, las niñas y los niños alías Brad y Brandon), con quienes compartí muchos momentos, muchos sándwiches, muchos tacos y sobre todo muchas sonrisas.

A todos los amigos que gracias a mis necesidades de aprender de estos animales o por otros motivos he ido conociendo en el camino y que de una u otra manera han estado pendientes de cómo voy, gracias a ustedes: Alejandro, Alex, Alma, Anaid, Carlos, Erandi, Dani, Jeff, Jessica, Jorge, Manuel, Marianita, Martí, Mauricio, Pablito, Pamela,

Tabata, Steven. También a todos mis amigos los vaguitos, que siguen preguntándome que para cuando la fiesta, jeje. Espero que todo salga bien y haya fiesta. De nuevo espero no olvidar a nadie y si lo hice por favor discúlpenme no fue con dolo, es mi cabeza que nomás de repente no responde jeje. De todos modos mi más sincero agradecimiento a todos esos que quiero, todos saben quiénes son, gracias por todo.

A mis amigos del LSIESP, gracias por todo su apoyo y por echarme siempre porras y hacerme sentir cómodo con todos ustedes, gracias por todo. A Steven por todo su apoyo y comprensión y por todos sus buenos consejos, a Taba y Jess por sus “Ya seee” que me hicieron reír mucho, al Serch por todo el apoyo y las cosas compartidas, a Anaíd por siempre estar al pendiente y por ponerse contenta con cada paso que daba en esta tesis y particularmente a Eranduati Alcirita por todas las sonrisas y buenos ratos.

A Enrique y María Ana, no sólo por su apoyo académico sino por todo el apoyo fuera de la academia, gracias a ustedes dos porque además del aspecto académico siempre tuvieron un ratito para mí en el que pudiera desahogar mis sueños, inquietudes, frustraciones o banalidades, gracias por todo su apoyo y su tiempo. Ustedes son parte fundamental para que esta tesis este viendo la luz al final del túnel.

A Verónica con quién ya no compartí laboratorio pero si cuestiones de bases de datos y sobre todo inquietudes de investigación y pláticas de pasillo.

A Héctor Arita, que aunque no era miembro del Comité tutor original, acepto ser parte del mismo. Gracias Héctor por que tus comentarios y sugerencias ayudaron mucho a que este proyecto mejorara.

A todos los miembros de mi Jurado de Candidatura, Dr. Eduardo Morales, Dr. Enrique Martínez, Dr. Gerardo Ceballos, Dr. Héctor Arita y Dr. Jesús Estrada, quienes con sus valiosos comentarios durante el examen de candidatura contribuyeron de manera significativa a que este proyecto ampliara sus alcances y mejorara de manera significativa. Además de que con sus comentarios contribuyeron de manera importante a mi formación profesional.

Al Dr. Raúl Aguirre y a la M en U Olivia Salmerón, por todo el apoyo brindado durante la estancia de investigación que realicé en el Laboratorio de Análisis Geoespacial del Instituto de Geografía de la UNAM.

A todas y cada una de las personas que participaron en la toma de datos en la mar, en la captura de datos en el escritorio o en el arreglo de bases de datos. Este proyecto integra avistamientos de mamíferos marinos desde 1981 hasta 2008. Un número incontable de personas participó y a todos ellos les estoy agradecido. Aunque no tuve el gusto de conocer a muchas de ellas no puedo dejar de mencionar que sin su participación y colaboración este proyecto no habría sido posible. Particularmente agradezco a todo el personal de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el Programa de Investigación de Mamíferos Marinos de la Universidad Autónoma de Baja California Sur y a todos y cada uno de los integrantes del Grupo de

Mastozoología Marina de la Universidad Nacional Autónoma de México, que participaron tanto en los cruceros oceanográficos como en la captura de datos de avistamientos de mamíferos marinos, realizados en aguas del Océano Pacífico Mexicano entre 1981 a 2008.

Al Dr. Tim Gerrodette por haberme facilitado los datos de cruceros oceanográficos realizados por la NOAA en aguas del Pacífico Mexicano, realizados entre 1986 - 2006. También por haber participado activamente en esta investigación.

Al Dr. Jorge Urbán Ramírez, por haberme recibido en una estancia en su laboratorio durante el año 2008 y por haberme facilitado las bases de datos de su grupo de trabajo. Gracias por todo Jorge.

A la Universidad Internacional Menéndez Pelayo por el apoyo económico para haber asistido al Séptimo Seminario Europeo sobre Mamíferos Marinos, realizado en Valencia España. A la Cetacean Society International, particularmente al Dr. Bill Rossiter por todo el apoyo económico.

Al Departamento de Cómputo de la Facultad de Ciencias de la UNAM, particularmente a Baldo, porque en más de una ocasión recurrí al uso de las computadoras o impresoras de dicho departamento.

Al proyecto OBIS SEAMAP, gracias al cual este proyecto creció mucho más allá de lo que había sido considerado originalmente y también gracias por toda esa cantidad de datos disponibles.

A la tripulación del Buque Oceanográfico El Puma, en el cual tuve la oportunidad de realizar observaciones de mamíferos marinos que fueron incluidas en esta tesis, así como a la H. Armada de México y a las tripulaciones de los diversos barcos en los que tuve la oportunidad de navegar y realizar observaciones.

Al Dr. Lorenzo Rojas, por permitirme y permitirnos el acceso a las bases de datos de mamíferos marinos realizados por la NOAA colectados bajo permiso del gobierno Mexicano.

Al Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por todos los permisos y apoyos brindados en las distintas etapas de este proyecto.

A todos aquellos que de alguna manera aportaron su granito de arena para que este proyecto fuera posible. Gracias a todos, los que mencione u olvide, porque sin su apoyo, en muchos sentidos, esta tesis no hubiera sido posible.

A la UNAM, que es más que un hogar para mí y la cual es responsable en gran medida de todo lo bueno que me ha pasado en la vida. Gracias por dejarme ser parte de tu comunidad y decir orgullosamente: HECHO EN C.U.



Dedico este trabajo con todo mi cariño a Anidia  
porque estuvo conmigo en todo el proceso  
desde la concepción de mis ideas de querer estudiar un doctorado,  
hasta cuando por diversas razones considere que quizás no terminaría  
Gracias por todo Ani, no hay más que palabras de gratitud para ti.

También quiero dedicar este trabajo a todas y cada una de las personas  
que de una manera u otra, han trabajado para que el conocimiento  
de los mamíferos marinos en nuestro país sea un conocimiento sólido,  
que ayude a fundamentar un entendimiento, un manejo y una  
conservación adecuados para este grupo de animales.

Hay solamente dos formas de vivir tu vida.  
Una es como si nada fuera un milagro.  
La otra es como si todo es un milagro.  
**(Albert Einstein)**

Cuando el barco se movía,  
nos sentábamos horas enteras  
contemplando las pálidas y calcinadas montañas.  
Un pez espada jugueteón,  
girando y saltando,  
nos absorbía por completo.  
Teníamos tiempo para observar  
las tremendas pequeñeces del mar.  
**(John Steinbeck)**

...le envuelve a uno en general una paz sublime,  
y mientras el buque cabecea, indolente  
y soplan los soñolientos alisios,  
todo invita a la languidez.  
No se oye noticia alguna, ni se leen periódicos;  
no suscitan premuras innecesarias  
hojas extraordinarias con sorprendentes relatos de vaguedades;  
no se entera uno de ninguna calamidad nacional:  
valores que bajaron ni sociedades que quebraron;  
no preocupa lo más mínimo lo que se tendrá para comer...

La gente de tierra ignora hasta tal punto las maravillas más notorias del mundo  
**(Herman Melville)**

# CONTENIDO

## *CAPÍTULO I*

Introducción General: mastofauna marina mexicana, ¿Porqué estudiarla?.....	1
El Océano Pacífico Mexicano (OPM).....	6
Planteamiento de la Investigación.....	12
Objetivos.....	13

## *CAPÍTULO II*

Patrones de distribución de la mastofauna marina en el Océano Pacífico Mexicano.....	14
Antecedentes.....	16
Métodos.....	16
Resultados.....	18
Discusión. ....	38

## *CAPÍTULO III*

Abundancia relativa, biomasa y consumo de la mastofauna marina en el Océano Pacífico Mexicano.....	46
Antecedentes.....	46
Métodos.....	51
Resultados.....	55
Discusión. ....	66

#### *CAPÍTULO IV*

Macroecology of marine mammal species in the Mexican Pacific Ocean: diversity and distribution.....	77
Abstract.....	78
Introduction.....	79
Methods.....	80
Results.....	83
Discussion.....	86
Literature cited.....	92

#### *CAPÍTULO V*

Conclusiones generales.....	110
Referencias.....	115

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Regiones Oceanográficas de los mares mexicanos (modificada de Medrano González, 2006).....	2
Figura 2. Análisis de la composición funcional de la mastofauna marina mexicana, tomada de Medrano González, 2006.....	4
Figura 3. a) Zona Económica Exclusiva y Mar territorial de México y b) Regiones ecológicas de la Zona Económica Exclusiva del OPM (tomada y modificada de Lara-Lara <i>et al.</i> , 2008).....	9
Figura 4. Principales corrientes marinas en el POT. El sombreado representa el promedio de la temperatura superficial del mar (oscuro = frío). Se muestra el Pacífico Tropical Mexicano (PTM) y el POT (tomada y modificada de Fiedler y Talley, 2006).....	10
Figura 5. Cobertura de las especies y de los grupos (superior e inferior respectivamente), de mamíferos marinos en el OPM, documentadas entre 1981 - 2008. Las especies se indican con la primera letra del género y las tres primeras letras del nombre específico.....	20
Figura 6. Distribuciones registradas, para cada grupo de mamíferos marinos en el OPM entre 1981-2008.....	24
Figura 7. Distribuciones registradas de las especies de ballenas en el OPM, entre 1981-2008.....	25
Figura 8. Distribuciones registradas de las especies de cachalotes en el OPM, entre 1981-2008.....	26
Figura 9. Distribuciones registradas de las especies de delfines en el OPM, entre 1981-2008.....	27

Figura 10. Distribución registrada de las especies de marsopas en el OPM, entre 1981-2008.....	29
Figura 11. Distribuciones registradas de las especies de zífidos en el OPM, entre 1981-2008.....	30
Figura 12. Distribuciones registradas de las especies de pinnípedos en el OPM, entre 1981-2008.....	37
Figura 13. Clasificación de la mastofauna marina del OPM de acuerdo con su distribución geográfica, se indican los cuatro grupos de cobertura en rojo (distribución Océano Pacífico Mexicano), en verde (distribución Norte-Golfo California-Transición), en azul (distribución Corriente de California) y en amarillo (distribución rara) y su cobertura en cuadrantes. En la fracción de cobertura de los cuadrantes se indica con color a qué grupo pertenecen las especies: en azul las ballenas, en rosa los cachalotes, los delfines en verde, las marsopas en blanco, los zífidos en amarillo y los pinnípedos en rojo.....	32
Figura 14. Distribuciones de los cuatro grupos de mamíferos marinos con relación a la clasificación hecha para la cobertura de cuadrantes.....	33
Figura 15. Distribuciones de los cinco subgrupos de mamíferos marinos con el tipo de distribución Norte-GC-Transición, en el OPM, con base en la clasificación hecha para la cobertura de cuadrantes.....	34
Figura 16. Distribuciones de los cuatro subgrupos de mamíferos marinos con el tipo de distribución OPM, en el OPM, con base en la clasificación hecha para la cobertura de cuadrantes.....	35
Figura 17. Número de especies registradas por cuadrante con relación al total de registros o avistamientos (superior, $r^2 = 0.80$ ; $b = 0.31$ ) y con relación al esfuerzo de búsqueda en kilómetros (inferior, $r^2 = 0.57$ ; $b = 0.42$ ). El número de los cuadrantes se indica dentro del área de la gráfica.....	36
Figura 18. Distribución del esfuerzo de navegación (kilómetros navegados con esfuerzo de búsqueda) por cuadrante en el OPM, realizados entre 1981 - 2008).....	37

- Figura 19. A) Número de especies amenazadas de acuerdo a las categorías de la IUCN descritas en la tabla 1 (Vu, En o CE); B) con categoría de datos insuficientes (DD); C) con mortalidad accidental y D) con riesgo por contaminación. Tomada y modificada de Schipper *et al.*, 2008..... 49
- Figura 20. Área de estudio: a) cuadrantes; b) avistamientos de mamíferos marinos y c) transectos de navegación..... 54
- Figura 21. Abundancia relativa (individuos por kilometro) de los mamíferos marinos en el OPM, superior en cuadrantes de 2° x 2°, e inferior cuadrantes 4° x 4°..... 56
- Figura 22. Relación entre la abundancia relativa (individuos / Km), el consumo (Watts / Km) y la cobertura de los mamíferos marinos en el Océano Pacífico Mexicano. La identidad de las especies se indica con la primera letra del género y las tres primeras letras del nombre específico. Las líneas punteadas indican las regresiones lineales. En el panel a se muestran encerrados los grupos de abundancia. Panel a  $r^2 = 0.61$  y b  $r^2 = 0.62$ ..... 61
- Figura 23. Relación entre la abundancia relativa (individuos / Km) y la biomasa con la cobertura, de los mamíferos marinos en el Océano Pacífico Mexicano. La identidad de las especies se indica con la primera letra del género y las tres primeras letras del nombre específico. Las líneas punteadas indican las regresiones lineales. Panel a y b  $r^2 = 0.96$  ..... 62
- Figura 24. Relación entre el consumo y la biomasa (panel a) y los residuales del consumo-biomasa con relación al tamaño (panel b), entre los cuadrantes. La línea continua indica la regresión, con los intervalos de confianza al 95% (líneas punteadas). Panel a y b  $r^2 = 0.86$ ..... 63
- Figura 25. Distribución del tamaño corporal, consumo y biomasa de los mamíferos marinos en el Océano Pacífico Mexicano..... 64
- Figura 26. Distribución del consumo por grupo de mamíferos marinos: ballenas, cachalotes, delfines, marsopas, zífidos y pinnípedos, en el Océano Pacífico Mexicano..... 65

Tabla 1. Diferencia en el porcentaje de cobertura registrado para ocho especies de mamíferos marinos en el OPM, con relación a la base de datos de NOAA y a la base de datos conjunta, NOAA-UABCS-UNAM..... 23

Tabla 2. Especies de mamíferos (terrestres y marinos) con categoría de riesgo en el Libro Rojo de la IUCN. Las categorías por sus siglas en inglés son: EX, extinta; EW, Extinta en la Naturaleza; CR, Críticamente Amenazada; EN, Amenazada; VU, Vulnerable; NT, Cerca de estar amenazada; LC, Preocupación Menor; DD, Datos Insuficientes. NA, significa no aplica porque no existen datos. Tomada y modificada de Schipper *et al.*, 2008..... 48

Tabla 3. Abundancia, biomasa y consumo, por grupo de mamíferos marinos identificados en el Océano Pacífico Mexicano en los 105 cuadrantes. Todas las medidas se calcularon utilizando el número total de individuos de cada grupo entre el total de kilómetros navegados dentro del área de estudio..... 60

## RESUMEN

El Océano Pacífico Mexicano presenta una riqueza de especies de mamíferos marinos alta ca. 44 especies, y en él hay también una zona de transición oceanográfica en la que distintos procesos de cambio en la estructura de las poblaciones y las comunidades ocurren. Para caracterizar diferentes atributos de esta fauna con aplicaciones en la conservación, se compilaron datos de 11,145 avistamientos de mamíferos marinos colectados en el Océano Pacífico Mexicano entre 1981 y 2008, por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y se definió una matriz geográfica de 105 cuadrantes de dos grados de latitud y longitud. Se registraron un total de 38 especies de mamíferos marinos (considerando a *Mesoplodon spA* como una especie). Con un modelo de saturación hiperbólica se estimó un total de 42 especies, con un máximo local de 31 especies alrededor de la Península de Baja California, desde donde la riqueza de especies decrece con la distancia. El grado global del estado de riesgo de las especies es mayor en el Alto Golfo de California pero especies amenazadas ocurren también en forma importante alrededor de toda la Península de Baja California y en las costas entre Jalisco y Guerrero. Las áreas de distribución de varias especies tuvieron pocas coincidencias con las distribuciones supuestas. La diversidad beta es espacialmente heterogénea y sugiere una regionalización difusa. Las zonas con mayor riqueza y biomasa fueron también las zonas con mayores valores de consumo. El espacio localizado entre el Archipiélago de Revillagigedo y la región de Los Cabos en Baja California Sur, parece ser importante para la alimentación y dispersión de los pinnípedos. Del total de especies registradas siete aportaron el 95% del total de la abundancia y se distribuyeron en toda el área de estudio. Siete especies que se considera se distribuyen en el Pacífico Mexicano no fueron registradas en este trabajo, todas ellas relacionadas con las aguas frías de la corriente de California. La tropicalidad de las especies aumento paralela a la distancia a la Península de Baja California y parece limitada en la Corriente de California y el Golfo de California. El análisis de recurrencia indica que la distribución de las especies y sus límites geográficos son dinámicos, y que las especies se mueven entre grandes distancias particularmente al sur de la Península de Baja California. La mastofauna marina del Océano Pacífico Mexicano parece haberse conformado por expansión postglacial de especies tropicales pelágicas y la retención de hábitats costeros subtropicales con surgencias por especies antitropicales. La diversidad de los mamíferos marinos del Golfo de California sugiere que su estructura e historia faunística es compleja, singular y de gran relevancia para la conservación en la escala total examinada.

## ABSTRACT

The Mexican Pacific Ocean hosts ca. 44 marine mammal species and it also encloses an oceanographic transition zone in which different processes of change in community and population structures take place. In order to characterize different attributes of this fauna with applications to conservation, we compiled data of 11,145 marine mammal sightings collected by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) and Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), and was defined a base geographic matrix with 105 cells of two degrees of latitude and longitude. Was recorded 38 marine mammal species (with *Mesoplodon spA* like one specie). With an hyperbolic saturation model, estimated 42 species with a local maximum of 31 around the Baja California Peninsula and from which species richness fades along distance. The global degree of species risk is higher in the Upper Gulf but threatened species occur importantly also around the whole Baja California Peninsula as well as in the coasts between Jalisco and Guerrero. The ranges of many species had little overlap with the assumed distributions. Beta diversity is spatially heterogeneous and suggests a diffuse regionalization. Areas with greater richness and biomass were also areas with higher values of consumption. Space located between Revillagigedo Islands and Los Cabos Baja California Sur, looks to be important for feeding and dispersion of pinnipeds. Seven species accounted for 95% of the total abundance and these species were distributed throughout the study area. Seven species that are considered to be distributed in the Mexican Pacific were not recorded in this paper, all of them related to the cold waters of the California Current. Species tropicality increases in parallel to the distance to Baja California Peninsula and seems bound by the California Current and the Gulf of California. Analysis of commonness indicates that species distributions and thus biogeographic boundaries are dynamic, since marine mammals transit large distances, especially around southern Baja California. Marine mammal fauna in the Mexican Pacific seems thus conformed by the postglacial expansion of pelagic tropical species and the retention of subtropical upwell-rich and coastal habitats by antitropical species. The diversity of marine mammals in the Gulf of California suggests that their faunal history and structure are complex, very singular and of large relevance for conservation in the full examined scale.

## CAPÍTULO I.

### INTRODUCCIÓN GENERAL: Mastofauna Marina Mexicana, ¿Porqué estudiarla?

El planeta que habitamos alberga una diversidad de formas de vida extraordinaria. No obstante en el caso de la diversidad marina, incluidos los grupos mejor muestreados, aún hace falta mucho por conocer acerca de patrones básicos de su biología (Witman y Roy, 2009). Ejemplo de lo anterior es que los sitios de mayor diversidad o hotspots, que representan prioridades de conservación en el ambiente terrestre, han sido muy poco estudiados en los hábitats marinos (Worm *et al.*, 2003). A su vez, una gran cantidad de poblaciones de depredadores de alto nivel trófico están declinando de manera alarmante (Heithaus *et al.*, 2008).

Los mamíferos marinos son un grupo de especies que han despertado pasiones y sentimientos diversos en los humanos y actualmente son uno de los grupos más carismáticos y mejor identificados por las poblaciones humanas. Se han descrito aspectos básicos de su ecología, como son patrones básicos de distribuciones y abundancias hasta filogenias. Ejemplo de esto son algunos géneros del grupo de los Odontocetos, los cuales muestran patrones de distribución que son el resultado de eventos de especiación alopátrica. Así muchas de las especies parecen haberse adaptado a requerimientos reproductivos y de alimentación particulares, ya que no todas las subpoblaciones parecen tener la misma tolerancia a los cambios, por lo que pueden ocurrir distintos patrones migratorios o de movimiento (Gaskin, 1982; Lipps y Mitchel, 1976).

La distribución y diversidad de la mastofauna marina mexicana es heterogénea con elementos de afinidades biogeográficas diversos. Esta heterogeneidad se deriva de la mezcla de especies tanto de origen tropical como de aguas frías y templadas (Torres *et al.*, 1995). En el Golfo de México y Mar Caribe se encuentran especies de tipo tropical y subtropical, las cuales están asociadas a la corriente del Golfo y de las Antillas, mientras que en el Océano Pacífico Mexicano encontramos especies de origen tropical, asociadas con las corrientes Norecuatorial y de Costa Rica, así como de aguas frías y templadas asociadas a la corriente de California. Como consecuencia, la diversidad de mamíferos

marinos en México puede explicarse por la historia oceanográfica, en la cual las glaciaciones han definido mucho de la abundancia, distribución y estructura geográfica actual de las poblaciones (Medrano González, 2006).

Se ha documentado que existen diferencias en la riqueza de la mastofauna marina mexicana, dentro de las distintas regiones oceanográficas: (Aguayo *et al.*, 1992; Medrano González, 2006; Figura 1).

- 1) Pacífico Norte (PN): 36-39 especies
- 2) Golfo de California (GC): 33-34 especies
- 3) Pacífico Sur o tropical (PT): 28-30 especies
- 4) Golfo de México (GM): 28 especies
- 5) Mar Caribe (MC): 22 especies

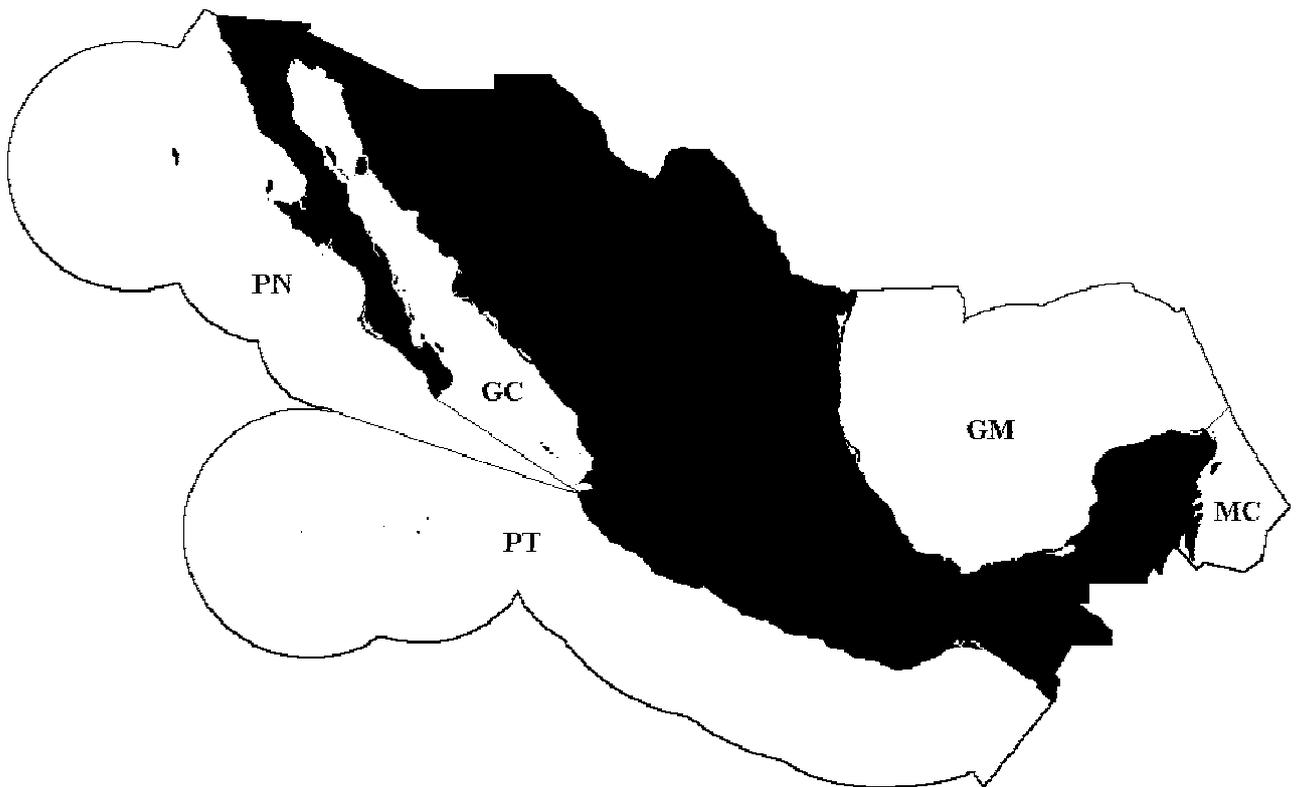


Figura 1. Regiones Oceanográficas de los mares mexicanos (modificada de Medrano González, 2006).

En últimas fechas, los patrones de distribución de los mamíferos marinos han mostrado estar relacionados con diversas características oceanográficas: termoclinas, zonas de surgencia, temperatura, productividad y presas. Pero al intentar interpretar los patrones actuales de distribución de los cetáceos se han encontrado diversos problemas, principalmente por la falta de información (Berta y Sumich, 1999; Piatt y Methaven, 1992; Thiele *et al.*, 2000).

México es un país con una gran riqueza de mamíferos marinos. De las 525 especies nativas de mamíferos que se han registrado en nuestro país, 49 pertenecen al grupo de los mamíferos marinos. Este grupo, junto con los roedores, murciélagos y carnívoros, son de los mamíferos con mayor riqueza en nuestro país. En conjunto los cuatro grupos representan el 86% de la diversidad total de especies de mamíferos registradas en México (Ceballos *et al.*, 2005, Medrano González, 2006).

Durante los últimos años se ha descubierto una gran riqueza de mamíferos marinos en México (entre 45-49 spp), los cuales representan tres órdenes, doce familias y 32 géneros, es decir el 60% y 40% respectivamente del total mundial de familias y especies, de los cuales el orden Cetacea es el mejor representado con 41 spp, (Aguayo-Lobo, 1989; Auriolles Gamboa, 1993; Medrano González, 2006; Salinas y Ladrón de Guevara, 1993; Torres *et al.*, 1995). Considerando que estos animales enfrentaron una explotación intensa, que provocó una disminución y fragmentación en muchas de las poblaciones y extinción en otras (Leatherwood *et al.*, 1983), se vuelve importante entender los procesos que determinan los patrones de distribución y abundancia de los mamíferos marinos en México.

Medrano González (2006) analizó la composición regional de la mastofauna marina mexicana con base en algunas características ecológicas, y encontró una diversidad mayor en el Océano Pacífico Mexicano (OPM) en comparación con el Atlántico (Figura 2). El análisis anterior indica una similitud y una distinción entre el Océano Pacífico tropical (OPT), el Golfo de California (GC) y el Pacífico nororiental. Esto indica un flujo histórico de especies entre estas regiones (Ceballos *et al.*, 2005; Medrano González,

2006). En el caso del Océano Pacífico Norte se observa una tendencia de las especies tropicales a irrumpir en zonas de aguas frías, lo que sugiere un desplazamiento boreal de las especies paralelo al cambio climático interglacial (Medrano González, 2006).

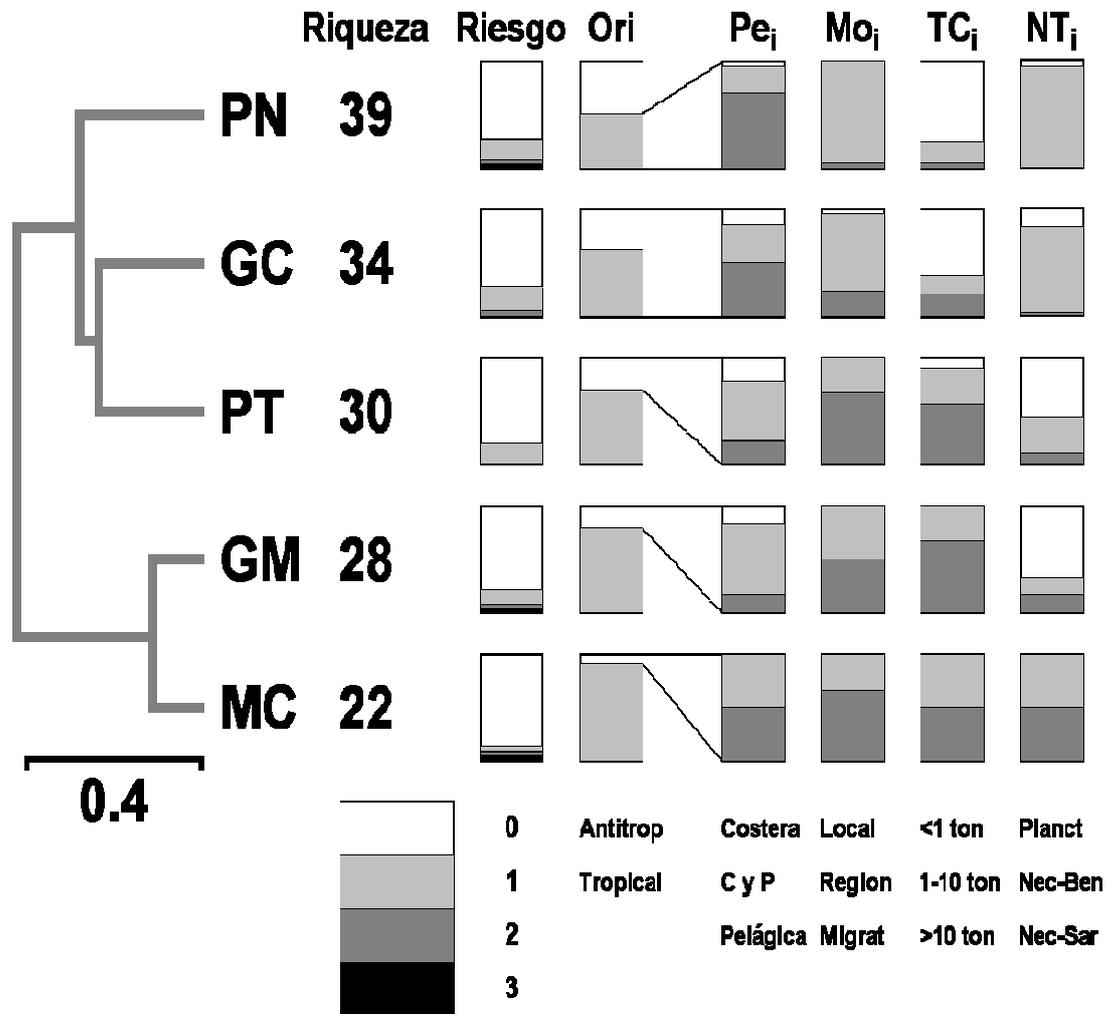


Figura 2. Análisis de la composición funcional de la mastofauna marina mexicana, tomado de Medrano González, 2006.

Las especies irruptoras que se observan en las aguas del Océano Pacífico Norte de México en su mayoría son de hábitos pelágicos, de tamaño menor a una tonelada, de alimentación nectófaga y de movimientos estacionales. Básicamente cetáceos pequeños. Mientras que las especies irruptoras en las regiones tropicales son primordialmente de

hábitos costeros y pelágicos combinados, migratorias, de tamaño grande y de hábitos planctófagos o sarcófagos (Ceballos *et al.*, 2005; Medrano González 2006). En la actualidad se observan expansiones y contracciones en la distribución de las especies relacionadas con el cambio climático, lo que sugiere que la presencia de especies irruputoras se relaciona con cambios en el clima (MacLeod, 2009; Whitehead *et al.*, 2008).

Las aguas circundantes al Archipiélago de las Islas Revillagigedo son una zona de transición oceánica tal como ocurre con los invertebrados marinos, se observan mamíferos marinos de las regiones nororiental y tropical (Bautista-Romero *et al.*, 1994; Ceballos *et al.*, 2005). Esto sugiere que esta zona puede ser un área importante para el intercambio de especies entre regiones. Un ejemplo actual de esto son los movimientos observados durante los eventos de El Niño y la Niña (Medrano González, 2006).

En la actualidad se sabe que algunos de los efectos directos del cambio climático a largo plazo sobre los mamíferos marinos son la pérdida de hábitat, aumento en la mortalidad de animales maduros y crías como consecuencia de cambios en la disponibilidad de presas, cambios en los patrones migratorios y diferencias en la distribución y número de algunas especies (Aguayo Lobo *et al.*, 1998; Gardner y Chávez Rosales, 2000; Trillmich *et al.*, 1991; Tynan y de Master, 1997).

Las especies que por sus características son más susceptibles de ser usadas para sensibilizar a los tomadores de decisiones acerca de la necesidad de conservar la biodiversidad y sus procesos, son especies en las que debemos dirigir nuestra atención inmediata. Por lo anterior es no sólo una necesidad sino una obligación el contar con información que nos permita determinar los efectos que los cambios antropogénicos tienen o tendrán sobre la biodiversidad de nuestro planeta.

El creciente interés por la conservación de las especies en particular y de los ecosistemas en general, es una cuestión que va más allá de una mera moda pasajera. Esta necesidad no podrá ser atendida de manera eficiente sin un conocimiento adecuado del

funcionamiento de las comunidades biológicas. En este sentido, el conocimiento que se tenga de la ecología de las especies formará una parte fundamental del éxito o fracaso de las estrategias de conservación que podamos diseñar. Así, será fundamental que este conocimiento y que las decisiones que tomemos con relación a la conservación de las especies, estén basadas en un conocimiento científico sólido. La macroecología en su esencia tiene como objetivo el entendimiento de los patrones de distribución abundancia de los organismos en diferentes escalas (Gaston y Blackburn, 1999).

## EL OCÉANO PACÍFICO MEXICANO

No obstante que el territorio mexicano tiene una extensión oceánica de 3,149, 920 km<sup>2</sup> de zona económica exclusiva y 231,813 km<sup>2</sup> del mar territorial, en comparación con los 1, 964,375 km<sup>2</sup> de superficie terrestre (de los cuales 5,127 km<sup>2</sup> son superficie insular), y que contamos con un litoral continental con una extensión de 11,122 km, del cual 68% corresponde a las costas e islas del Océano Pacífico y del Golfo de California (Figura, 3a), la investigación oceanográfica de los ecosistemas marinos de México es muy reciente (Lara-Lara, 2008).

El OPM pertenece en su mayoría a lo que se conoce como Pacífico Oriental Tropical (POT), el cual está limitado en su extremo norte por la Península de Baja California, México (Fiedler y Lavin, 2006). Se considera que el Pacífico Tropical Mexicano (PTM) se extiende desde la entrada del Golfo de California hasta la frontera sur de México (Trasviña *et al.*, 1999). En el OPM se reconocen tres provincias marinas: 1) provincia Baja California-Pacífico; 2) provincia Golfo de California y 3) provincia de la Región Panámica del Océano Pacífico (Lara-Lara *et al.*, 2008). Investigaciones recientes basadas en diferencias en características tales como temperatura la circulación de masas de agua y grandes corrientes, a nivel de ecosistemas, dividen el OPM en cinco regiones ecológicas: Pacífico Centroamericano; Pacífico transicional Mexicano; Golfo de

California; Pacífico sudcaliforniano y Pacífico transicional de Monterrey (Lara-Lara *et al.*, 2008; Figura, 3b).

El PTM presenta alternancia entre zonas de aguas frías en invierno y calientes en verano. Ejemplo de esto es el Golfo de Tehuantepec en el que se localiza una “franja de agua fría”, así como una “alberca de agua caliente”, que presentan variaciones estacionales e interanuales, moduladas por el ciclo anual de las corrientes y de la insolación. En los años del Niño la lengua de agua fría desaparece y crece la alberca de agua caliente. En años de la Niña, sucede lo contrario (Trasviña *et al.*, 1999; Figura 5). La circulación de gran escala del POT fue descrita por Wyrтки (1965) y por Meehl (1982). En el POT se encuentran las Corrientes de California, Surecuatorial, Contracorriente Ecuatorial y Corriente Costera de Costa Rica (Figura 4).

Sistemas de surgencias costeras dentro del OPM se localizan en la Península de Baja California, durante los meses de primavera y verano. Surgencias ocasionales se presentan en las costas de Sonora y Sinaloa durante invierno y primavera, frente a Cabo Corrientes, Jalisco, y en la zona del Golfo de Tehuantepec, producto de la mezcla vertical producida por los vientos tehuanos en la región. En estas regiones no solo se observa una alta producción biológica, sino también una fuerte actividad asociada a pesquerías importantes. Esto las convierte en lugares de gran interés desde el punto de vista ecológico y económico, y de ahí la necesidad de estudiarlos mejor (Lara-Lara *et al.*, 2008).

El Golfo de Tehuantepec se encuentra en la parte sur del OPM frente a las costas de Oaxaca, y tiene un área aproximada de 125,000 km<sup>2</sup>. Se caracteriza por la presencia de aguas provenientes de la Corriente Costera de Costa Rica. Tiene una dinámica única debida a los intensos Nortes (vientos tehuantepecanos) que mezclan las aguas de la capa oceánica superior. Estos vientos que atraviesan el istmo, desde el Golfo de México hacia el Golfo de Tehuantepec, producen un arrastre del agua hacia el sur que determina importantes surgencias. Estudios de la dinámica y la hidrografía del Golfo de Tehuantepec revelan una termoclina excepcionalmente somera, entre los 20 y 50 m.

El enfriamiento superficial del agua que producen los Nortes en el Golfo de Tehuantepec en conjunto con una termoclina somera, son en gran medida los responsables de la alta productividad de la región (Pennington *et al.*, 2006; Trasviña *et al.*, 1999).

La región del POT dentro del OPM se caracteriza por la convergencia de dos sistemas de corrientes (Badan Dangon, 1998). La Corriente Costera de Costa Rica y la Corriente de California, que al unirse forman parte de la Corriente Norecuatorial (Badan Dangon, 1997). Kessler (2006) propone el nombre de Corriente del Oeste de México para un flujo adyacente a la costa del OPM, con dirección al polo que se encuentra por debajo de la termoclina a partir del Golfo de Tehuantepec. Hasta ahora la región menos estudiada en lo relacionado con la productividad primaria es el Pacífico central Mexicano (Trasviña *et al.*, 1999).

El Golfo de California (GC) es una cuenca de evaporación (Roden, 1964) de aproximadamente 1,000 km de longitud y 150 km de ancho (en promedio). En general se divide en dos regiones: región norte, al norte de las islas Ángel de la Guarda y Tiburón; y región sur, desde la boca hasta las islas mencionadas (Álvarez-Borrego, 1983). El GC presenta una productividad alta y ha sido comparado con regiones tan productivas como son la Corriente de Benguela y zonas de surgencia de Perú y California (Zeitzchel, 1969). En distintas revisiones de Álvarez-Borrego (1983), Álvarez-Borrego y Lara-Lara (1991) y Lara-Lara *et al.* (2003), se ha observado que la productividad se incrementa de la boca a la región central, disminuye en las islas y tiene un ligero incremento en la región norte. También se observa una variabilidad estacional con mayores valores durante invierno-primavera (Lara-Lara *et al.*, 2008).

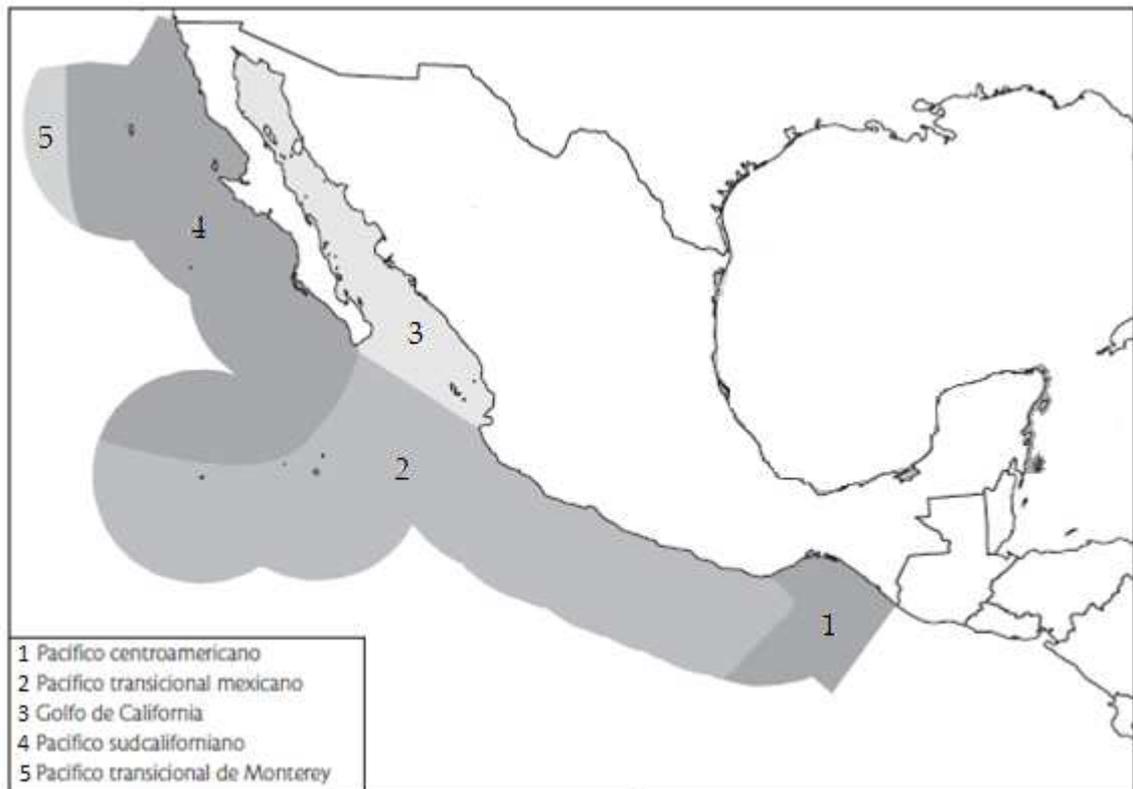
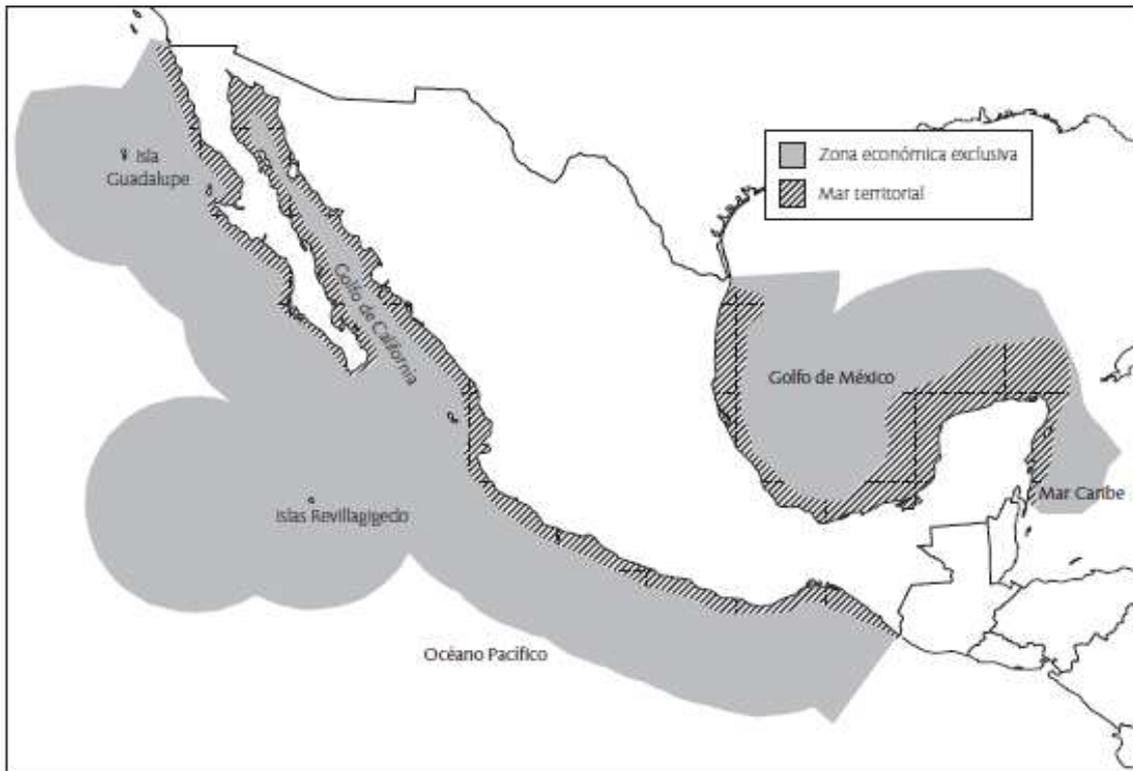


Figura 3. a) Zona Económica Exclusiva y Mar territorial de México y b) Regiones ecológicas de la Zona Económica Exclusiva del OPM (tomada y modificada de Lara-Lara *et al.*, 2008).

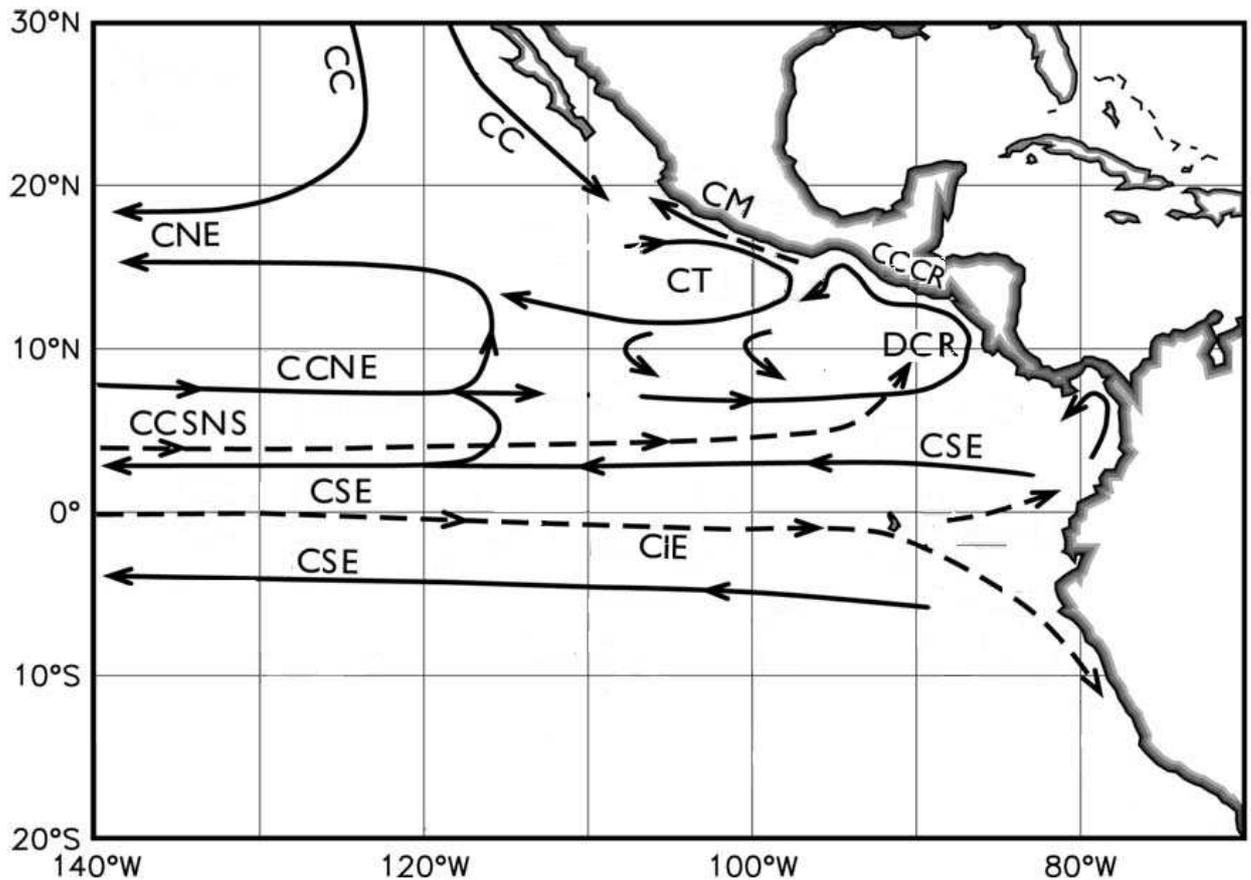


Figura 4. Principales corrientes marinas en el Océano Pacífico Mexicano y el Pacífico Oriental Tropical. CC (Corriente de California); CNE (Corriente Norecuatorial); CCNE (Contracorriente Norecuatorial); Corriente Surecuatorial (CSE); Corriente Costera de Costa Rica (CCCR); Corriente Mexicana (CM); Cuenca de Tehuantepec (CT); DCR (Domo de Costa Rica); Contracorriente de superficie Norte-Sur (CCSNS); CIE (Corriente inferior ecuatorial). Tomada y modificada de Kessler (2006).

El impacto de El Niño en el OPM es evidente y afecta de manera directa las corrientes de gran escala, que son las principales responsables de las temperaturas superficiales, afectando a su vez la productividad del fitoplancton y zooplancton lo que tiene implicaciones directas para los depredadores marinos (Fernández-Alámo y Färber-Lorda, 2006; Kessler, 2006; Wang y Fiedler, 2006). En la porción norte aguas de tipo subártico de la corriente de California y aguas ecuatoriales de alta salinidad del GC se encuentran con las aguas tropicales que provienen del sur. En la entrada del GC se observan masas de agua de orígenes muy diversos. Por el sur, las aguas ecuatoriales superficiales y tropicales avanzan hacia el norte por la corriente Costera de Costa Rica,

acarreando aguas de baja salinidad. En años de El Niño o La Niña, los flujos de humedad hacia la atmósfera y el clima costero, desde Baja California hasta Chiapas, se ven afectados (Trasviña *et al.*, 1999).

En la región denominada como Pacífico Sudcaliforniano, en la costa occidental de la Península de Baja California, se tiene una fuerte influencia de la Corriente de California que según Gómez-Valdés y Vélez-Muñoz (1982) se puede dividir por sus masas de agua en tres zonas distintas. También en esta zona, los vientos provenientes del noroeste favorecen la generación de zonas de surgencias (Hickey, 1979). Durante eventos de El Niño en esta región se crea una extensión hacia el norte, en zonas costeras de muchas poblaciones incluidas especies tropicales como el calamar gigante, barracudas y atunes, los cuales son raros en la porción norte de esta corriente (Schwing *et al.*, 2005). Según Trasviña *et al.* (1999) algunas señales típicas de El Niño o La Niña en el OPM son:

1. -Durante años de El Niño la temperatura superficial del mar está por encima de lo normal. Lo inverso se presenta en años de La Niña, cuando la temperatura superficial del mar característica en el PM Subtropical se extiende hacia el sur hasta latitudes cercanas a Cabo San Lucas con bajas temperaturas de 16 a 19 °C.
2. -El Golfo de California es más caliente que el PM Subtropical en inviernos posteriores a un Niño intenso.
3. -Afectaciones en la productividad de la región, registrándose cambios en la abundancia y distribución de poblaciones de peces.
4. -Cambios en el clima de la región.

## PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

México cuenta con una ubicación geográfica privilegiada que explica en gran parte su enorme diversidad biológica y ecosistémica (Lara-Lara, *et al.*, 2008). No obstante, la investigación integral de los ecosistemas marinos de México es muy reciente y se conoce muy poco de la biodiversidad de los grupos marinos (Lara-Lara, *et al.*, 2008). En este sentido, la biología de los mamíferos marinos, su nivel trófico, el que se les considere especies bandera en la conservación de la naturaleza, y el que presenten problemas serios de interacción con el turismo y la pesca en varias zonas de nuestro país, los hace especies clave para realizar estrategias de manejo que coadyuven a la conservación y al manejo sustentable, no solo de estos animales, sino también de sus ecosistemas (Medrano *et al.*, 2006; Taylor, 2002).

En el caso del OPM se ha mencionado la importancia de conocer las consecuencias ambientales y socioeconómicas que los cambios medioambientales tendrán en los servicios que los ecosistemas nos proporcionan (Lara-Lara, *et al.*, 2008). Lo anterior adquiere relevancia si se toma en cuenta que México es uno de los países con mayor vulnerabilidad de sus ecosistemas marinos, no obstante que estos se consideran pilar del desarrollo del país (Lara-Lara, *et al.*, 2008). Sólo recientemente se han comenzado a desarrollar aproximaciones a nivel macroecológico que intentan describir los patrones actuales de riqueza y estructura comunitaria de estos animales (Arellano Peralta, 2010, Salazar Bernal, 2008). Por lo anterior, la presente propuesta tiene como principal objetivo estudiar la diversidad, distribución y la abundancia relativa de los mamíferos marinos que se encuentran dentro del OPM.

## **OBJETIVO GENERAL:**

- Identificar algunos aspectos de la dinámica que ha conformado la mastofauna marina en el Océano Pacífico Mexicano y sus aguas adyacentes, como zonas de transición entre el Océano Pacífico Norte y el Océano Pacífico Oriental Tropical.

## **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Analizar los patrones espaciales de diversidad, distribución y abundancia de la mastofauna marina del Océano Pacífico Mexicano y sus aguas adyacentes.
- Mapear la distribución de la mastofauna marina, con relación a su origen biogeográfico, y determinar la cobertura en la distribución y la recurrencia de las especies.
- Determinar el nivel de riesgo en cuadrantes de  $2 \times 2^\circ$  de latitud-longitud, con base en las categorías de riesgo, de acuerdo a la clasificación nacional e internacional.
- Identificar zonas de alta riqueza, zonas de unicidad y zonas que requieran acciones de atención y conservación.
- Determinar la abundancia relativa, biomasa y consumo de las especies de mamíferos marinos dentro del Océano Pacífico Mexicano.

## CAPÍTULO II.

### PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE LA MASTOFAUNA MARINA EN EL OCÉANO PACÍFICO MEXICANO

#### ANTECEDENTES

El conocimiento de los patrones de distribución contribuye al entendimiento de los procesos históricos y ecológicos que han influenciado las distribuciones actuales de las especies. Dichos patrones de distribución se relacionan con factores ambientales y procesos ecológicos, que moldean los cambios en estos patrones, tanto en tiempo como en espacio. Se ha documentado que muchas especies tienen distribuciones pequeñas y pocas especies tienen distribuciones amplias, y que entre especies cercanas filogenéticamente se presentan patrones de distribución similares. Lo que sugiere que las características de los organismos son heredadas de sus ancestros comunes, lo cual influye en las interacciones ecológicas que limitan la distribución geográfica de las especies (Brown, 1995; Brown *et al.*, 1996; Gaston y Blackburn, 2006).

Por alrededor de dos siglos, los biólogos han documentado y tratado de explicar cómo los patrones de diversidad biológica varían en tiempo y espacio, intentando al mismo tiempo entender los procesos que producen tales patrones (Witman y Roy, 2009). Aunque estos patrones han sido analizados principalmente en grupos de organismos terrestres el interés por cuantificar y entender la diversidad en patrones de gran escala y los patrones ecológicos en el mar ha aumentado rápidamente durante las últimas dos décadas (Witman y Roy, 2009). Lo anterior es relevante porque a pesar de que los humanos hemos explotado a los grandes depredadores oceánicos, como son los atunes, tortugas, tiburones y mamíferos marinos, durante miles de años, el conocimiento que tenemos de especies individuales está empezando a acumularse sólo recientemente y la estructura de las comunidades, en características fundamentales como los son sus patrones de diversidad y abundancia, apenas comienzan a ser entendidos (Malakoff, 2004). Lo anterior es importante porque muchas de las especies son vulnerables a un

buen número de actividades humanas que las tienen amenazadas de extinción y porque se considera que alrededor del 30% de la biota marina puede perderse en los próximos 25 años (Pauly *et al.*, 2002).

Se ha documentado una relación entre los patrones de distribución de los mamíferos marinos y diferentes variables oceanográficas como: termoclinas, áreas de surgencia, temperatura, productividad y presas (Berta *et al.*, 2006; Piatt y Methaven, 1992; Thiele *et al.*, 2000). Diversos análisis de diversidad, distribución y variación genética de los mamíferos marinos en el POT, sugieren que las especies comparten algunos aspectos de su historia poblacional, por lo que se considera que la conformación actual de la comunidad de mamíferos marinos del OPM es el resultado de cambios en la distribución y procesos de fragmentación asociados con cambios climáticos ocurridos durante las dos últimas glaciaciones (Ballance *et al.*, 2006; Bérubé *et al.* 2002, Ceballos *et al.*, 2005; Escorza-Treviño *et al.*, 2002; Fiedler y Talley, 2006; Medrano González, 2006; Medrano-González *et al.*, 2001; Natoli *et al.*, 2006).

El OPM, se caracteriza por presentar una gran producción pesquera y por la presencia del evento de El Niño, que tiene efectos significativos en las condiciones oceanográficas tales como la temperatura superficial del mar y la productividad de fitoplancton y zooplancton, que afectan directamente la distribución de los depredadores marinos (peces, aves, mamíferos marinos), tanto a nivel individual como a nivel de poblaciones y de ecosistemas (Fernandez-Alamo y Färber-Lorda, 2006; Kessler, 2006; Schwing *et al.*, 2005; Wang y Fiedler, 2006). En la actualidad se sabe que algunos efectos directos del cambio climático a largo plazo sobre las poblaciones de mamíferos marinos son: cambios en la distribución de algunas especies, pérdida de hábitat, aumento de la mortalidad de animales, cambios en los patrones de migración, entre otros (Aguayo Lobo *et al.*, 1998; Gardner y Chávez Rosales, 2000; Trillmich *et al.*, 1991; Tynan y de Master, 1997).

Tittensor *et al.* (2009) señalan que aún sabemos muy poco acerca de cómo las actividades humanas están afectando las relaciones macroecológicas de las especies y

por ende, los patrones de distribución y abundancia de especies particulares. A pesar de lo anterior poco se sabe sobre los patrones de distribución de especies de mamíferos marinos. Teniendo en cuenta que los patrones de distribución de las especies y sus poblaciones son una característica fundamental para comprender la ecología de las comunidades y que la pérdida rápida de la biodiversidad ha aumentado la necesidad de entender cómo se estructuran las comunidades (Magurran y Henderson, 2003), en el presente trabajo se describen los patrones de distribución de los mamíferos marinos en el OPM, como primer paso para conocer las zonas reales en las que se distribuyen las distintas especies que ahí habitan.

## MÉTODOS

Se utilizó una base de datos que conjunta las observaciones de mamíferos marinos, realizadas en el OPM, por tres instituciones distintas. La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Esta base abarca el período comprendido entre 1981-2008, con 23 años de trabajo en la mar. Se registraron un total de 11,145 avistamientos de distintas especies de mamíferos marinos. Para fines operativos en esta tesis, se definió el OPM, como la región comprendida entre los 12° - 32° de latitud Norte y los -92° - -122° de longitud Oeste.

Para determinar la distribución de las especies registradas, el área se dividió en cuadrantes de 2° x 2° de latitud-longitud, teniendo un total de 101 cuadrantes, de los cuales 4 se partieron, por abarcar una parte de su área dentro del GC y otra en la costa occidental de la Península de Baja California, dando así un total de 105 cuadrantes. Para cada especie se calculó una medida de la cobertura de distribución, la cual se definió como la fracción de cuadrantes en los cuales se registró al menos un avistamiento, con relación al 100% de los cuadrantes. Este procedimiento se realizó con cada especie y las especies fueron clasificadas de acuerdo a su distribución geográfica

siguiendo las definiciones utilizadas por Arellano Peralta (2010), para la clasificación de las especies de mamíferos marinos del GC, de acuerdo a su distribución geográfica.

Con los datos de los cuadrantes (n= 105), se determinó qué especies se encontraban presentes en cada uno de éstos y se generó una matriz de ocurrencia (O<sub>ix</sub>), en la que para cada una de las especies **i**, se indicaba si se encontraba o no presente en el cuadrante (se utilizó 1 para presencia y 0 para ausencia) considerando el total de especies registradas (**k**). En el caso de este análisis dentro del OPM el número de especies registradas fue 38, considerando a *Mesoplodon spA* como una especie distinta de *M. peruvianus*. Así, la distancia o disimilitud entre dos especies distintas (i y j) se determinó como **D<sub>ij</sub>**, que hace referencia a la distancia ordinaria o euclidiana entre dos puntos, en este caso dos especies:

$$D_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n (O_{ix} - O_{jx})^2}{n}}$$

La distancia pareada se calculó para todas las especies con el programa EUCLIDES desarrollado por L. Medrano en el compilador Turbo Pascal 3.1. Para determinar qué tan parecida es la distribución de cada una de las especies, con respecto a todas las demás, el programa construyó una matriz de datos que posteriormente se graficó en un dendograma utilizando el algoritmo WPGMA (ligamiento promedio ponderado) en el programa STATISTICA 6.0. Este programa utiliza los promedios de los valores entre las especies para realizar una función de ligamiento.

## RESULTADOS

Las especies presentaron valores de cobertura que difieren hasta en tres órdenes de magnitud, y que van desde poco menos del 1%, esto es un cuadrante, en los zifios de Longman (*L. pacificus*) y de Hubb's (*M. carlhubbsi*) y en el lobo fino de las Galápagos (*A. galapagoensis*), hasta ~80% en la tonina (*T. truncatus*) (Figura 5). Las especies con mayores valores de cobertura (>50%) pertenecen todas al grupo de los delfines, entre las que se encuentran: las toninas (*T. truncatus*), los delfines moteados (*S. attenuata*), los delfines listados (*S. coeruleoalba*), los delfines de dientes rugosos (*S. bredanensis*), los delfines tornillo (*S. longirostris*), los delfines de Risso (*G. griseus*) y los delfines comunes de rostro corto (*D. delphis*). Por otra parte, las especies que tuvieron los valores de cobertura más bajos (<5%) pertenecen a distintos grupos de mamíferos marinos y con excepción de los cachalotes, el resto de los grupos (ballenas, delfines, marsopas, pinnípedos y zífidos) tienen al menos una especie con valores de cobertura menores al 5% (Figuras 5 y 6).

A nivel de grupos también se observaron diferencias en el porcentaje de cobertura, siendo los delfines el grupo con mayor riqueza (39.5%) y cobertura (~100%). Mientras que el grupo de menor riqueza (las marsopas), fue también el grupo con menor cobertura, una especie y 2.8% de cobertura. Sin embargo, grupos con la misma riqueza de especies (ballenas y zífidos, 18.4%) presentaron una diferencia del 10% en su cobertura 66.7% y 57.1% respectivamente. Por último, los cachalotes tuvieron un valor de cobertura idéntico al de los zífidos (57.1%), pero con menos de la mitad de la riqueza de éstos (7.9%) (Figuras 5 y 6).

La distribución de las especies presentó diferencias en las zonas en las que éstas fueron registradas. Algunas especies tuvieron distribuciones concentradas en la parte norte del OPM, como el delfín de costados blancos del Pacífico (*L. obliquidens*), el zifio de Baird (*B. bairdii*) y el elefante marino del Norte (*M. angustirostris*). Otras especies tuvieron distribuciones concentradas al sur, como el zifio pigmeo (*M. peruvianus*) y la orca pigmea (*F. attenuata*), y otras especies presentaron distribuciones principalmente

circunscritas a las aguas circundantes a la Península de Baja California, entre las que se encuentran el delfín común de rostro largo (*D. capensis*) y el rorcual común (*B. physalus*) (Figuras 7-12).

A nivel de grupos, los mapas de cobertura (Figura 6) mostraron que en términos generales las ballenas y los cachalotes, aunque no presentaron una cobertura del 100%, tuvieron distribuciones que pueden potencialmente cubrir toda el área de estudio, tal y como ocurre con los delfines. Los zifidos también parecen encontrarse en todo el OPM, con excepción del alto Golfo de California. Las marsopas, con la vaquita como única especie registrada, se concentraron exclusivamente en la parte alta del GC, mientras que los pinnípedos tuvieron una distribución que se ajusta a las aguas de la Península de Baja California y que se extiende hasta la región de transición a la altura del Archipiélago de Revillagigedo.

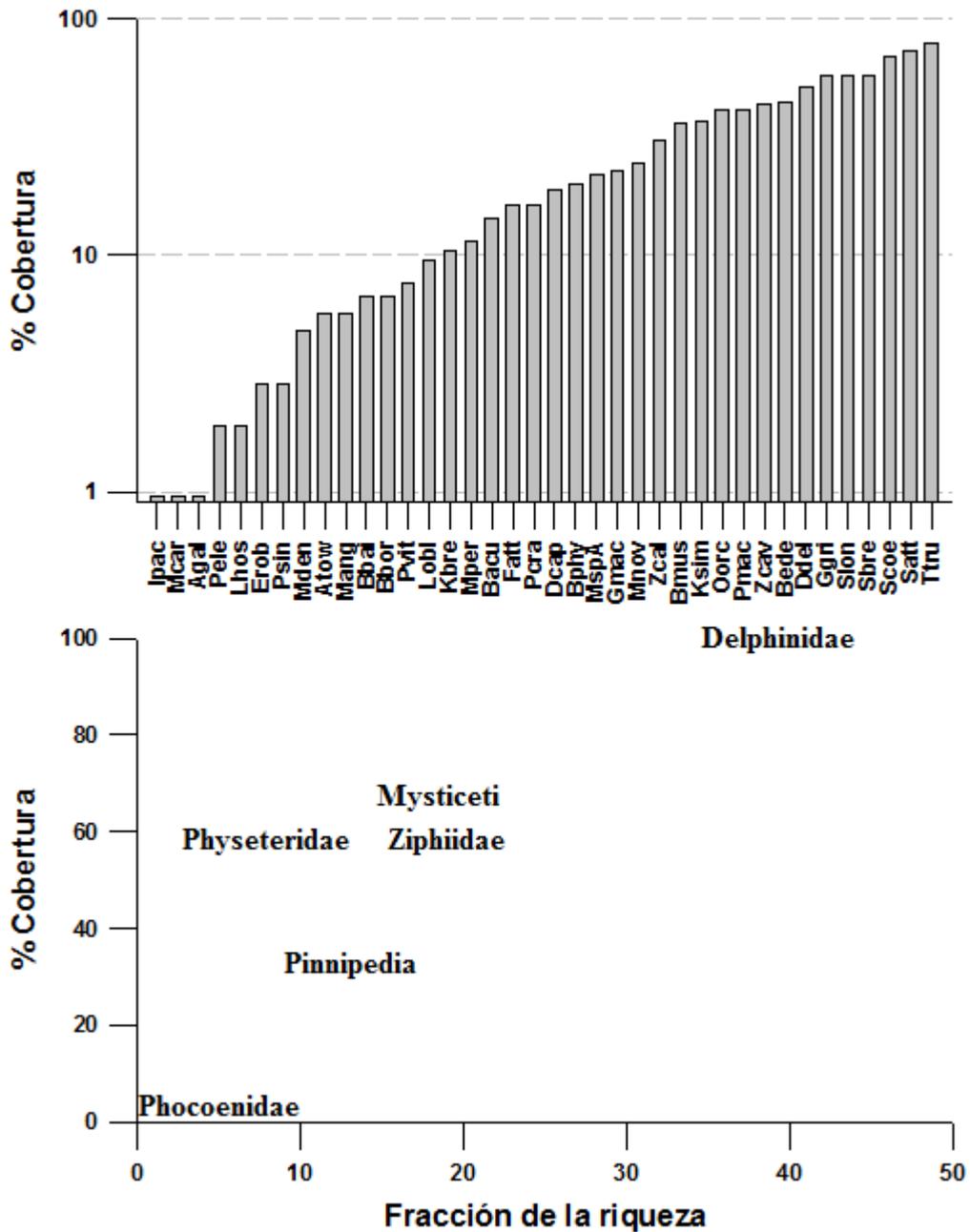


Figura 5. Cobertura de las especies y de los grupos (superior e inferior respectivamente), de mamíferos marinos en el OPM, documentadas entre 1981 - 2008. Las especies se indican con la primera letra del género y las tres primeras letras del nombre específico.

Una comparación de los datos de cobertura de las especies, considerando la base de datos de la NOAA (que es la más completa), con respecto a la base de datos conjunta, que reúne los datos de las tres instituciones (NOAA, UABCS, UNAM), mostró que en lo general, los valores de cobertura de las especies fueron similares entre los dos grupos de datos. La diferencia en el valor de cobertura de las especies fue del 0 al 4.8%

entre los dos grupos de datos, con excepción de siete especies. El rorcual norteño (*B. borealis*) y la ballena minke (*B. acutorostrata*), tuvieron una diferencia cercana al 6% en valores de cobertura, la foca común (*P. vitulina*) y la orca falsa (*P. crassidens*), una diferencia de entre 7 y 8% respectivamente, la ballena azul (*B. musculus*) y el lobo marino de California (*Z. californianus*) del 10.5 y 11.4% y finalmente la ballena jorobada (*M. novaeangliae*) de 14.4% en el área de cobertura, (Tabla 1).

El dendograma de topología anidada mostró que los mamíferos marinos del OPM se pueden dividir por su distribución en cuatro grupos (Figura 13). Un primer grupo conformado por 13 especies, de las cuales cinco son ballenas, tres delfines, dos pinnípedos, una marsopa, un zífido y un cachalote. Un segundo grupo conformado por 16 especies, de las cuales nueve fueron delfines, tres zífidos, dos ballenas y dos cachalotes. Un tercer grupo con dos pinnípedos, dos zífidos y un delfín. Por último se tienen cuatro especies, que no clasifican en ninguno de los tres grupos anteriores, dos pinnípedos, un delfín y un zífido, con coberturas menores al 2%. El valor de cobertura de las especies del primer grupo osciló entre ~3% en la vaquita marina (*P. sinus*) y el 30.5% del lobo marino de California (*Z. californianus*). Para el segundo grupo oscilaron entre el 11.4% en el zifio pigmeo (*M. peruvianus*) y ~80% en la tonina (*T. truncatus*). Mientras que las del tercer grupo fluctúan entre el 1% del zifio de Hubbs (*M. carlhubbsi*) y el 9.5% del delfín de costados blancos del Pacífico (*L. obliquidens*). La fracción de los valores de cobertura de las especies con menor cobertura con respecto a las especies de más amplia distribución, para cada uno de los grupos, osciló entre el 10% y el 14% (Figura 14).

Los tres grupos que se definieron con base en el dendograma y de acuerdo a su tipo de distribución fueron: Distribución Norte-GC-Transición (52% cobertura), distribución OPM (ca. 100% cobertura), distribución Corriente de California (13% cobertura) (Figuras 13 y 14). La distribución Norte-GC-Transición se definió así porque las especies de este grupo se distribuyen fundamentalmente en todo el GC, la zona de transición oceanográfica entre las corrientes cálidas y la Corriente de California, y las aguas de la costa oeste de la Península de Baja California (Figura 15). La distribución

OPM se definió así por la presencia de este grupo de especies dentro de toda el área de estudio (Figura 14b). La distribución Corriente de California se limita a la zona principal de influencia de la Corriente de California en el OPM (Figura 14c).

Las especies del grupo de distribución Norte-GC-Transición formaron a su vez subgrupos, que aunque no conforman conjuntos separados, si presentan diferencias en sus patrones de distribución (Figura 13 y 15). El primer subgrupo está conformado por cinco especies, el segundo tiene dos especies, el tercero tres especies, el cuarto dos especies y el quinto una especie (Figura 15). Las distribuciones de estos subgrupos se van restringiendo hacia la costa y hacia adentro del GC. Así, las especies del primer subgrupo tienen la distribución más parecida al grupo original y se distribuyen en el 85.5% de la cobertura total del grupo. Las especies del segundo subgrupo abarcan el 56%, las del tercero ca. 35%, las del cuarto ca. del 15% y las del último grupo el 5.5%, donde la vaquita marina (*P. sinus*) es la única especie del último subgrupo (Figura 15).

De las especies con distribución OPM también se observaron subgrupos con diferencias no tan marcadas como el Norte-GC-Transición (Figura 16). El subgrupo b-1 está formado por cinco especies, el subgrupo b-2 por ocho especies, y los subgrupos b-3 y b-4 por dos y una respectivamente. Los grupos b-1 y b-2 tienen áreas de cobertura similares a las del grupo con distribución OPM (81.5% y 99% respectivamente del total de cobertura de la distribución OPM) y ambos grupos presentaron una distribución que incluye toda el área de estudio (Figuras 16 b-1 y b-2). Los subgrupos b-3 y b-3 tienen coberturas que abarcan el 22% y el 20% del área total de cobertura del grupo OPM, y sus distribuciones son muy parecidas y se encuentran concentradas principalmente en la denominada Boca del Golfo de California y el Pacífico Tropical Mexicano. Así, las distribuciones de los dos primeros subconjuntos fueron muy parecidas entre sí, mientras que las de los dos últimos subconjuntos también se parecen. Las especies del subgrupo b-2, fueron los de mayor cobertura de todos los subgrupos, incluyen a seis de las siete especies que presentan valores de distribución mayores al 50% del área de cobertura: las tonias (*T. truncatus*), los delfines moteados (*S. attenuata*), los delfines listados (*S. coeruleoalba*), los delfines de dientes rugosos (*S.*

*bredanensis*), los delfines tornillo (*S. longirostris*) y los delfines de Risso (*G. griseus*) (Figura 5).

El número de especies observada por cuadrante tuvo una correlación mayor con el número de registros obtenidos por cuadrante ( $r^2 = 0.80$ ) que con el esfuerzo en kilómetros con búsqueda de animales ( $r^2 = 0.57$ ; Figura 17). Los cuadrantes con mayor esfuerzo de muestreo se localizaron dentro del GC y en general todo el OPM tuvo un esfuerzo de muestreo relativamente homogéneo, con excepción de algunas zonas localizadas entre los 118° - 122° de longitud oeste y en la parte sur del OPM (Figura, 18).

Tabla 1. Diferencia en el porcentaje de cobertura registrado para siete especies de mamíferos marinos en el OPM, con relación a la base de datos de NOAA y a la base de datos conjunta, NOAA-UABCS-UNAM. %Ct (Fracción de la cobertura total (todas las bases), %CNOAA (Fracción de la cobertura con datos de la NOAA).

	% Ct	% CNOAA	Diferencia	Diferencia / Ct
<i>Bacu</i>	14.29	8.57	5.72	0.40
<i>Bbor</i>	6.67	0.95	5.72	0.86
<i>Bmus</i>	36.19	25.71	10.48	0.29
<i>Mnov</i>	24.76	10.4	14.36	0.58
<i>Pcra</i>	16.19	8.57	7.62	0.47
<i>Pvit</i>	7.62	0.95	6.67	0.88
<i>Zcal</i>	30.48	19.05	11.43	0.38

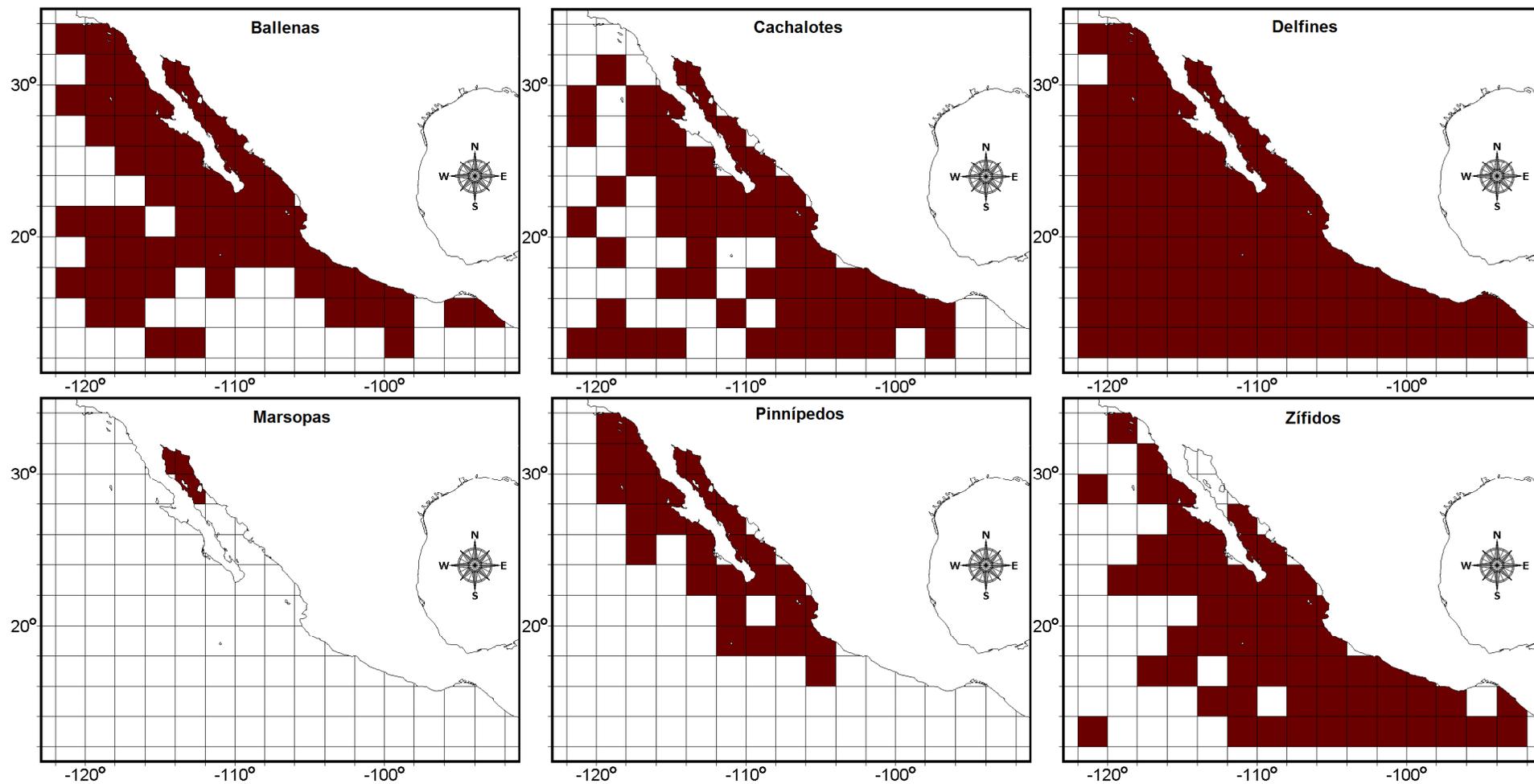


Figura 6. Distribuciones registradas para cada grupo de mamíferos marinos en el OPM entre 1981-2008.

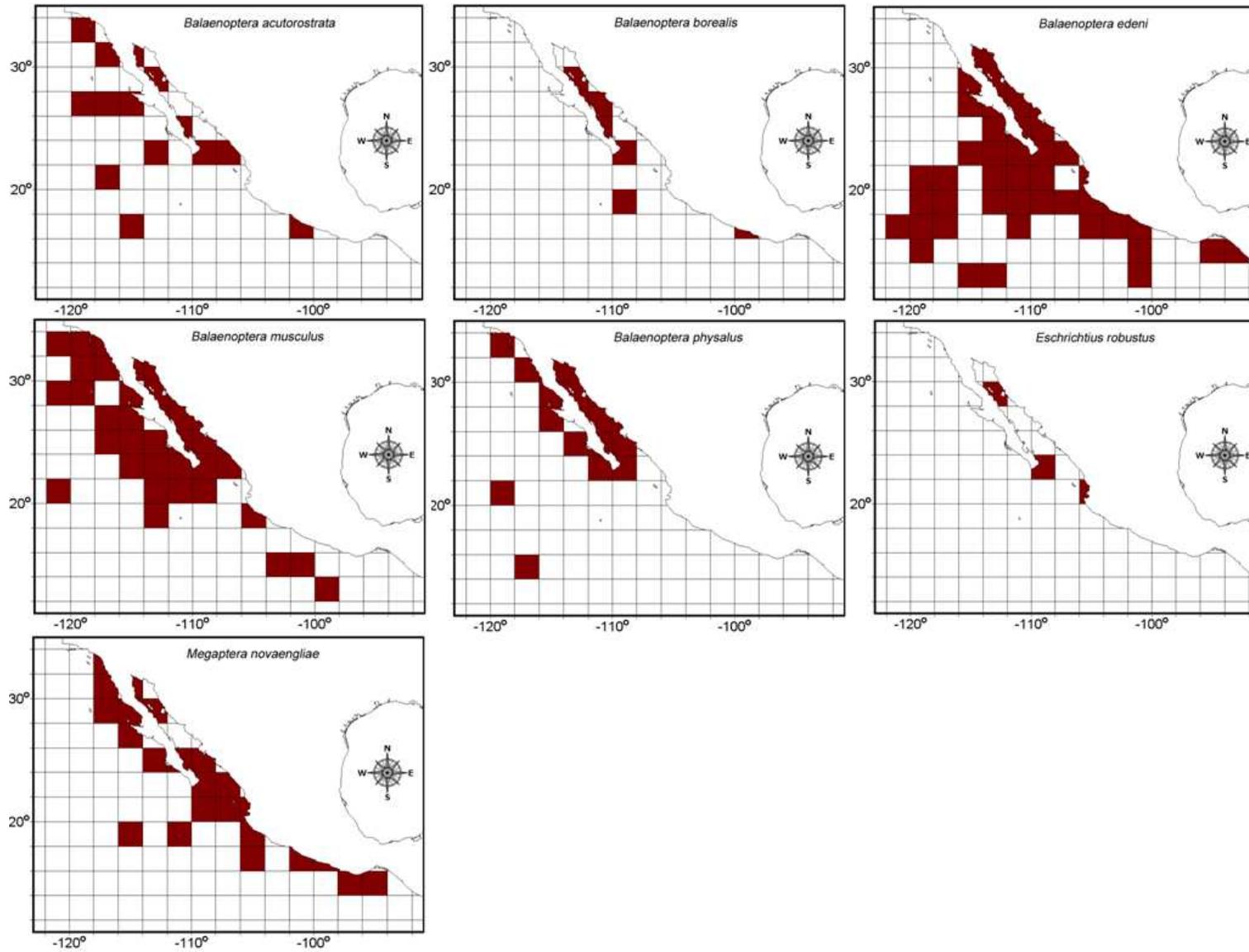


Figura 7. Distribuciones registradas de las especies de ballenas en el OPM, entre 1981-2008.

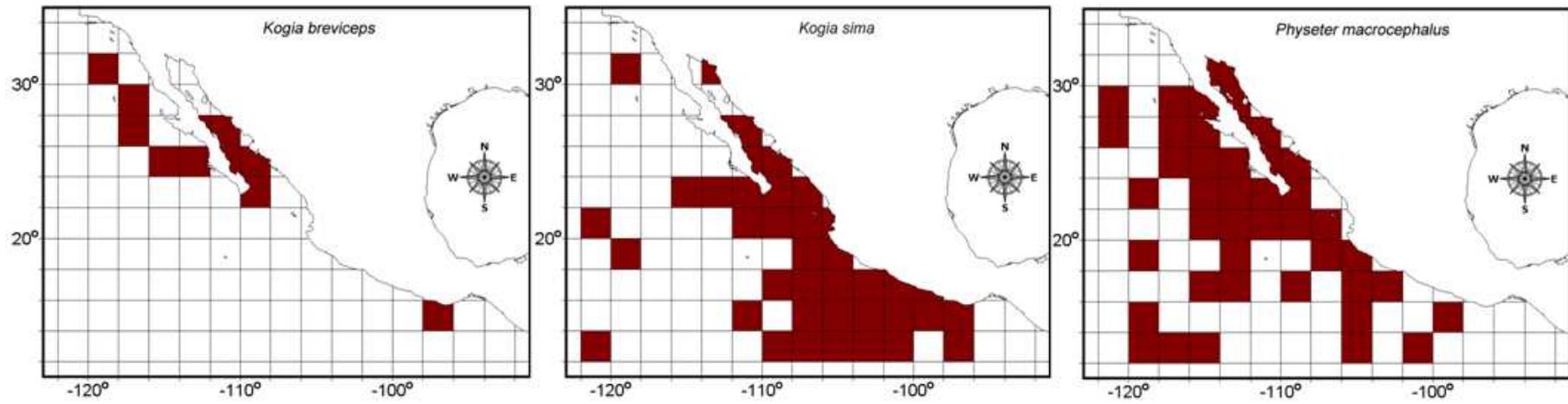


Figura 8. Distribuciones registradas de las especies de cachalotes en el OPM, entre 1981-2008.

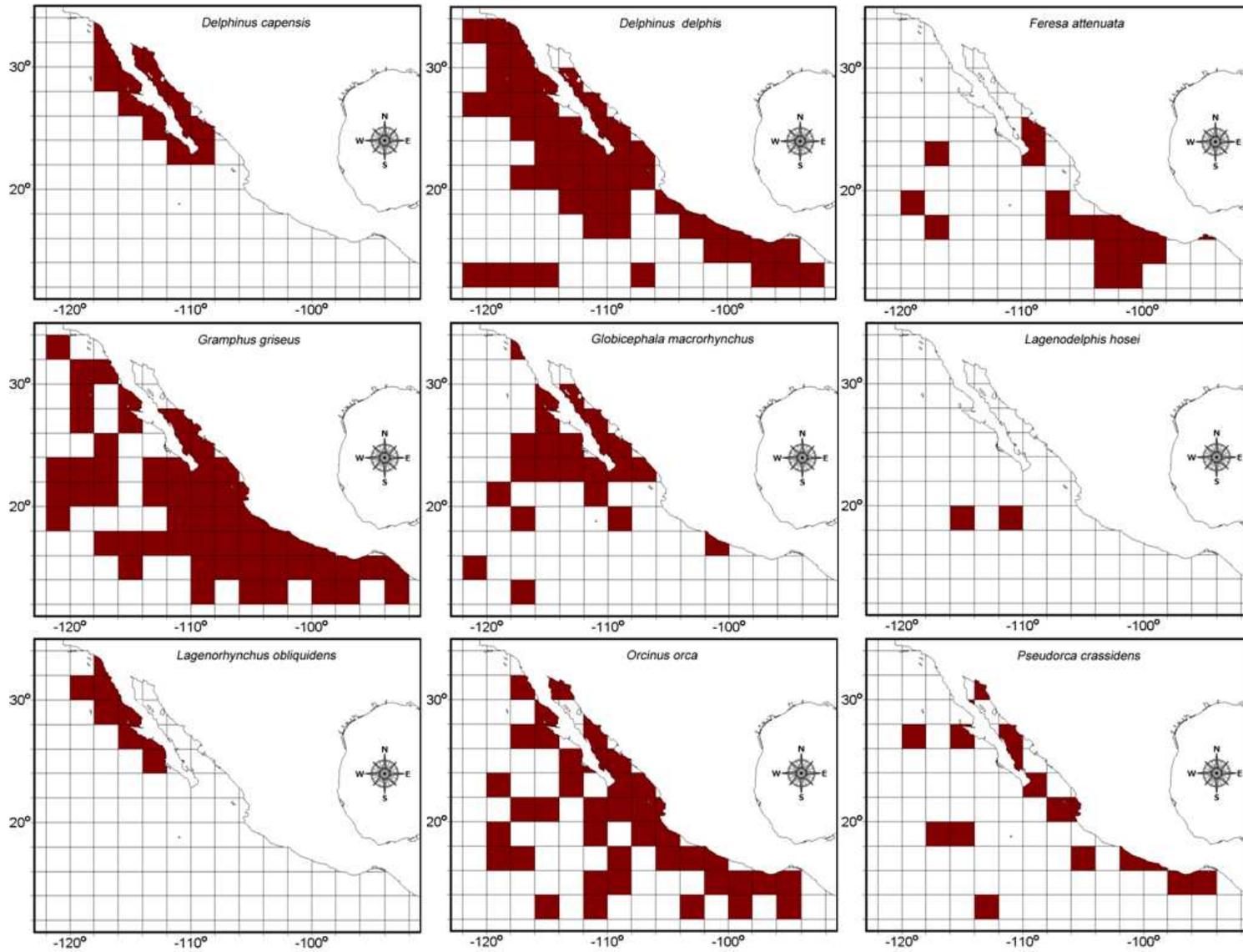


Figura 9. Distribuciones registradas de las especies de delfines en el OPM, entre 1981-2008.

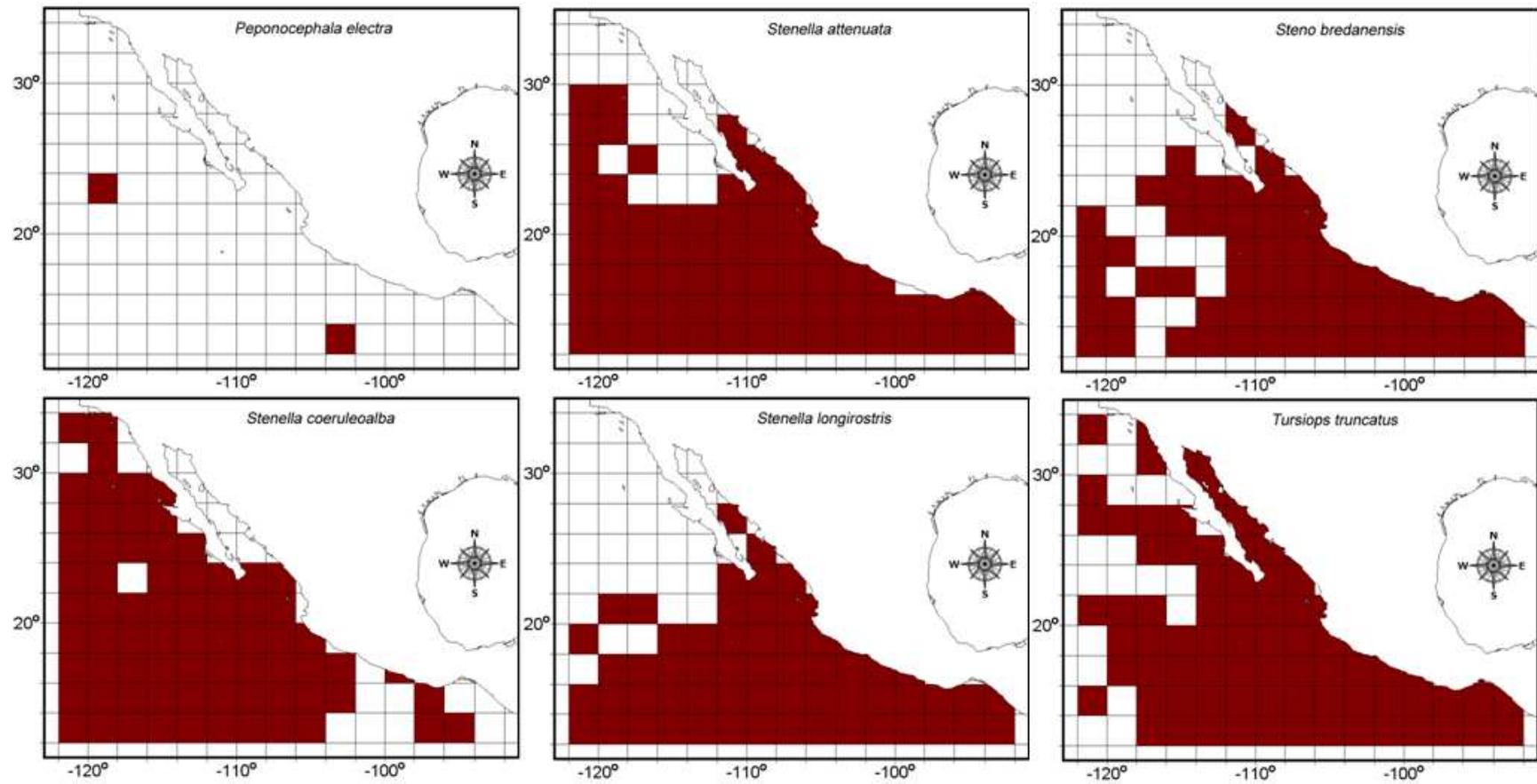


Figura 9 (continua).

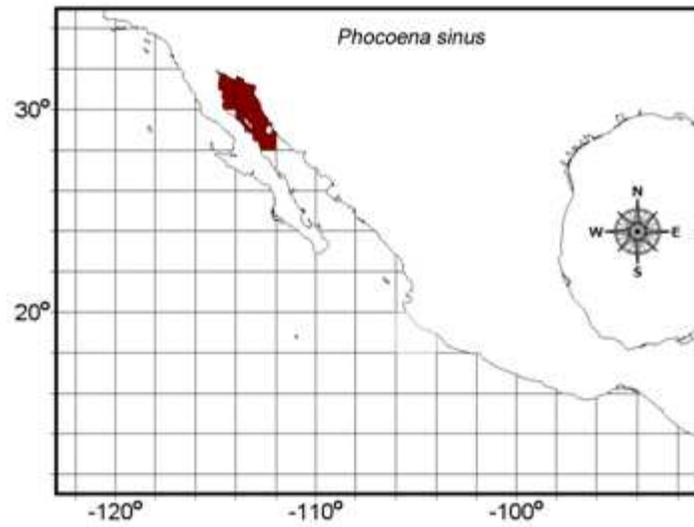


Figura 10. Distribución registrada de las especies de marsopas en el OPM, entre 1981-2008.

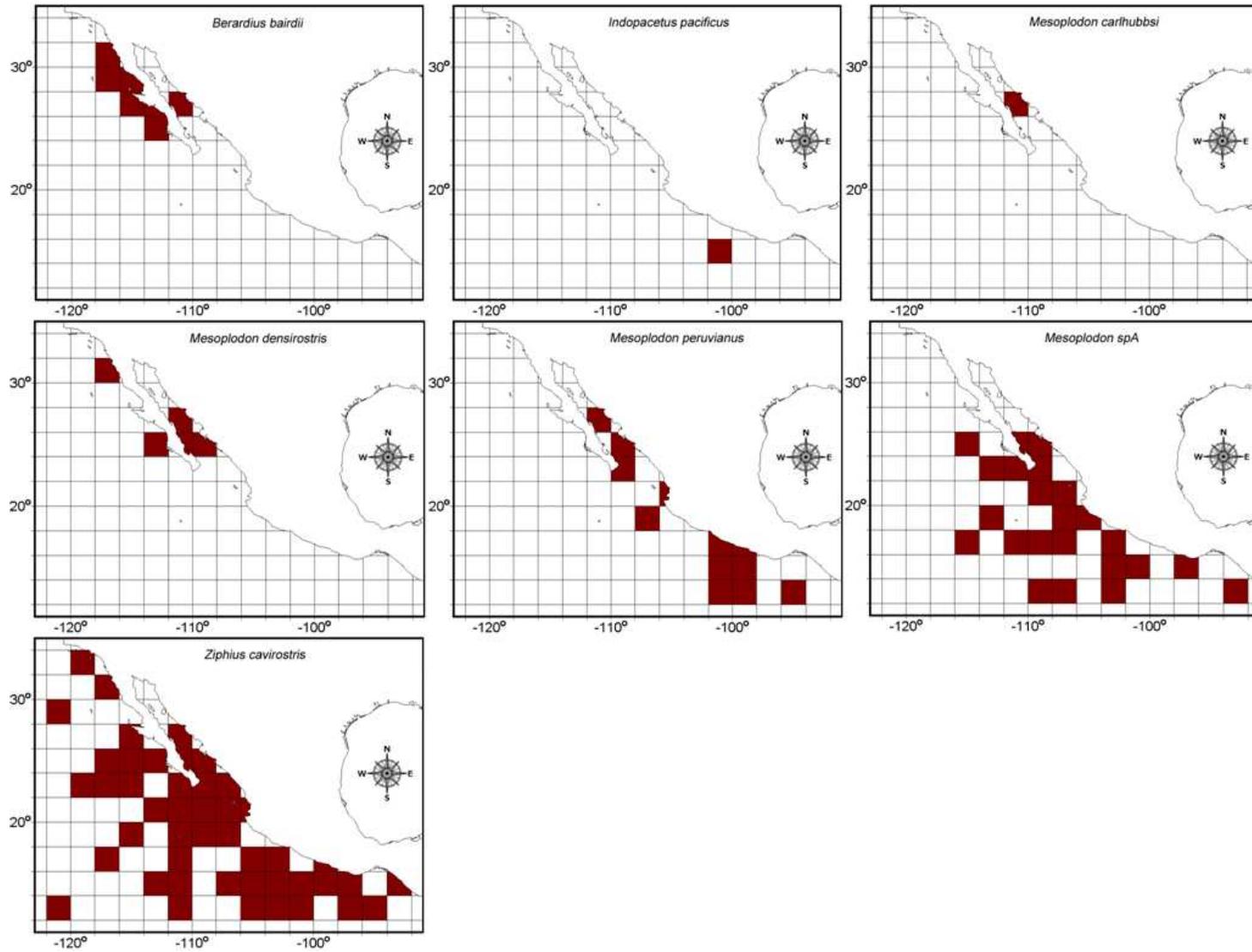


Figura 11. Distribuciones registradas de las especies de zífidos en el OPM, entre 1981-2008.

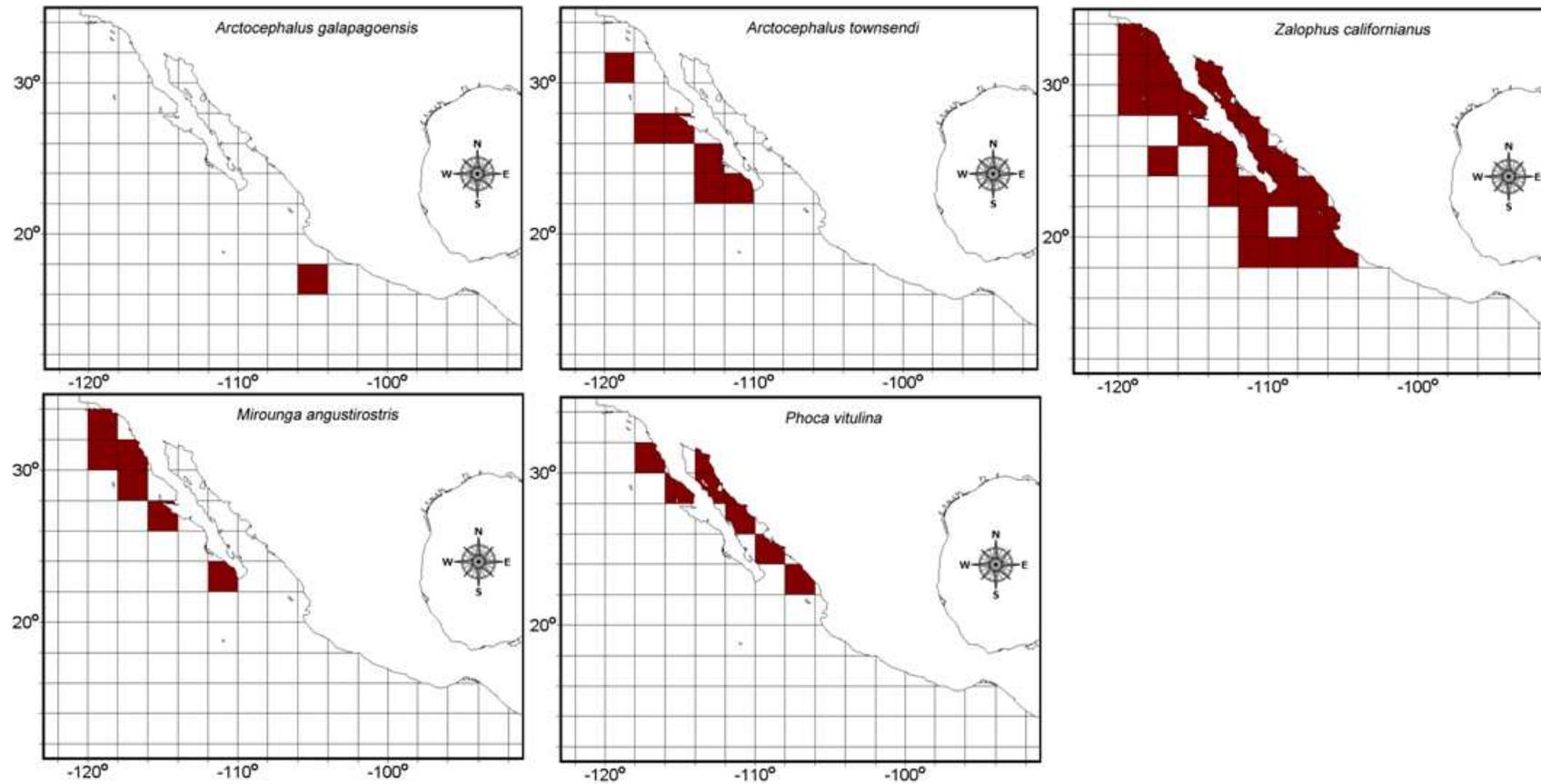


Figura 12. Distribuciones registradas de las especies de pinnípedos en el OPM, entre 1981-2008.

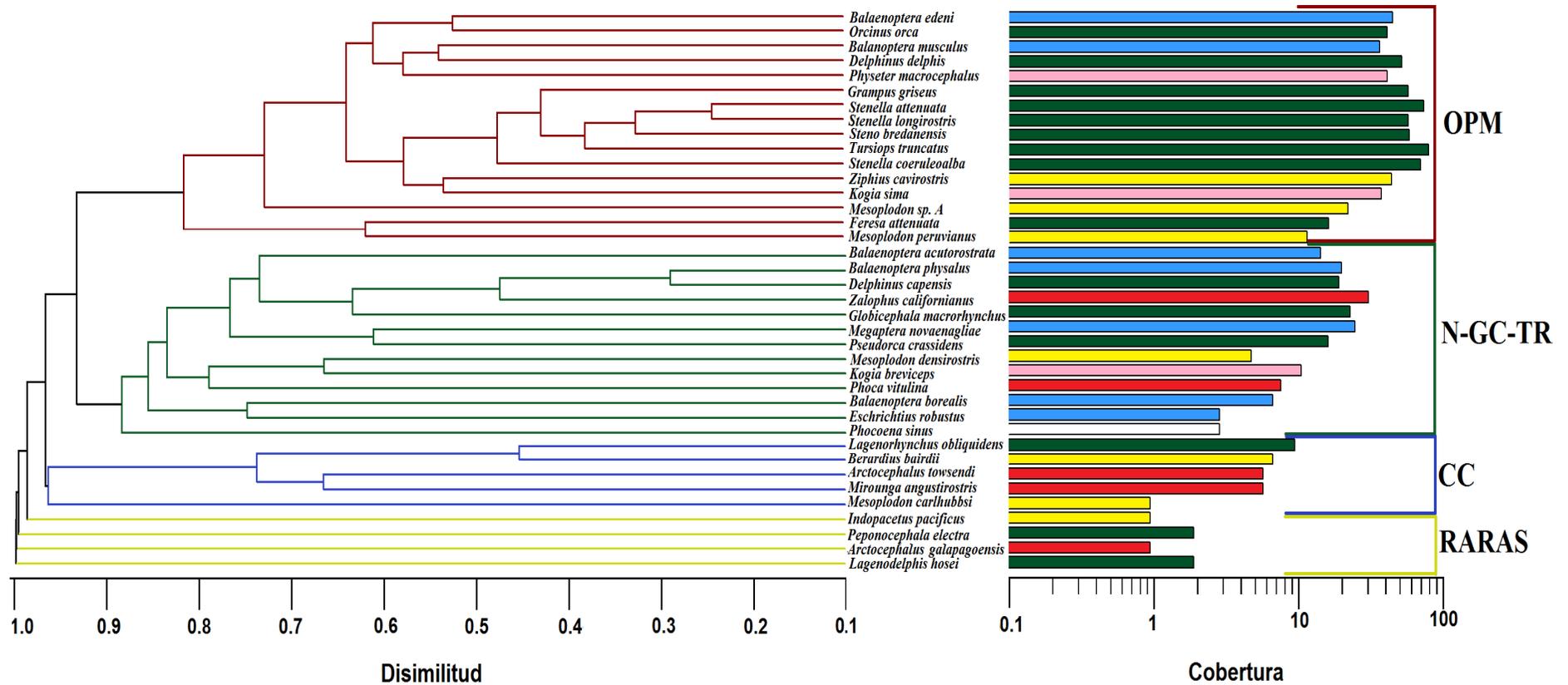


Figura 13. Clasificación de la mastofauna marina del OPM de acuerdo con su distribución geográfica, se indican los cuatro grupos de cobertura en rojo (distribución Océano Pacífico Mexicano), en verde (distribución Norte-Golfo California-Transición), en azul (distribución Corriente de California) y en amarillo (distribución rara) y su cobertura en cuadrantes. En la fracción de cobertura de los cuadrantes se indica con color a qué grupo pertenecen las especies: en azul las ballenas, en rosa los cachalotes, los delfines en verde, las marsopas en blanco, los zífidos en amarillo y los pinnípedos en rojo.

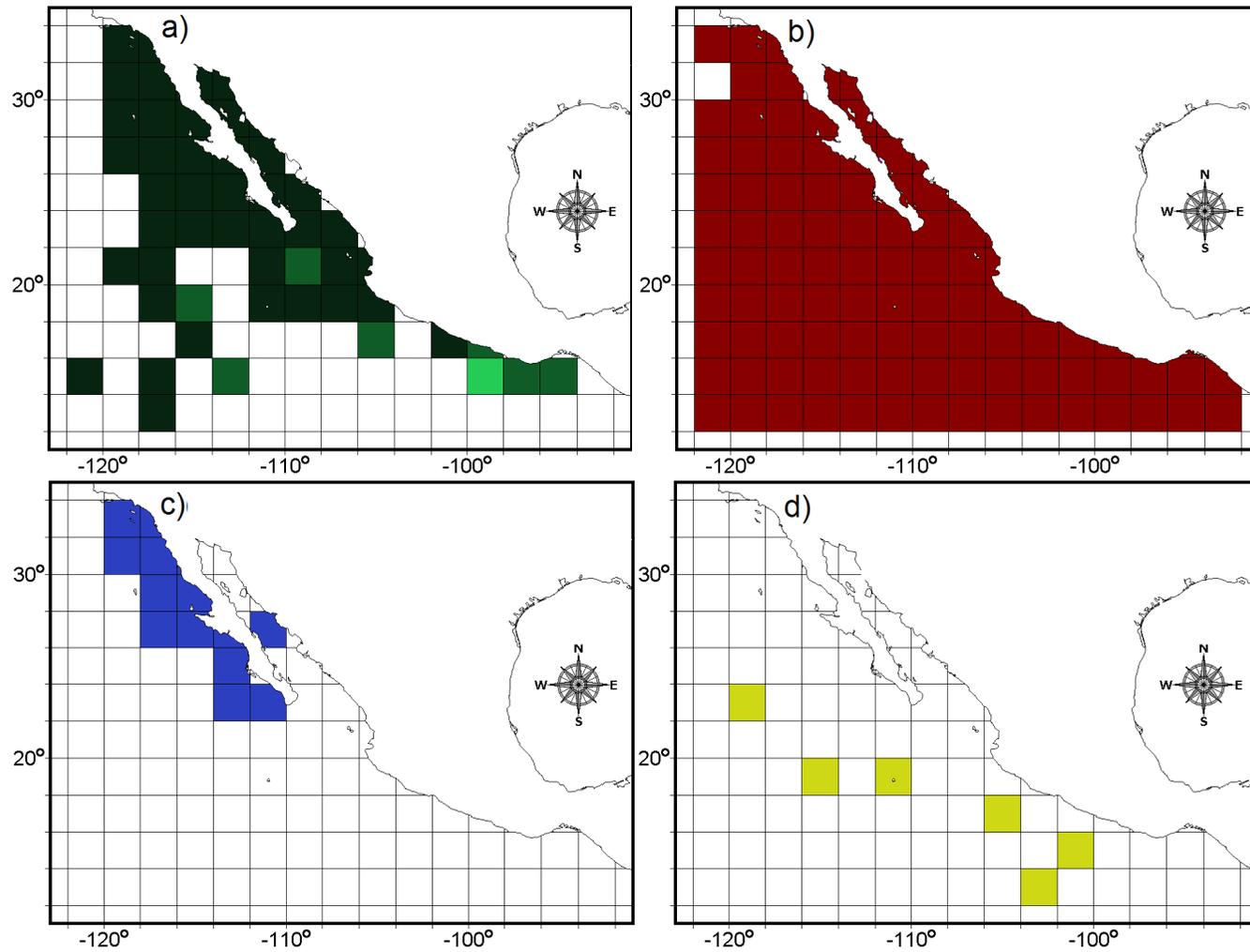


Figura 14. Distribuciones de los cuatro grupos de mamíferos marinos con relación a la clasificación hecha para la cobertura de cuadrantes: a) Distribución Golfo-Norte-Transición; b) Distribución Océano Pacífico Mexicano; c) Distribución Corriente de California y d) Distribución rara.

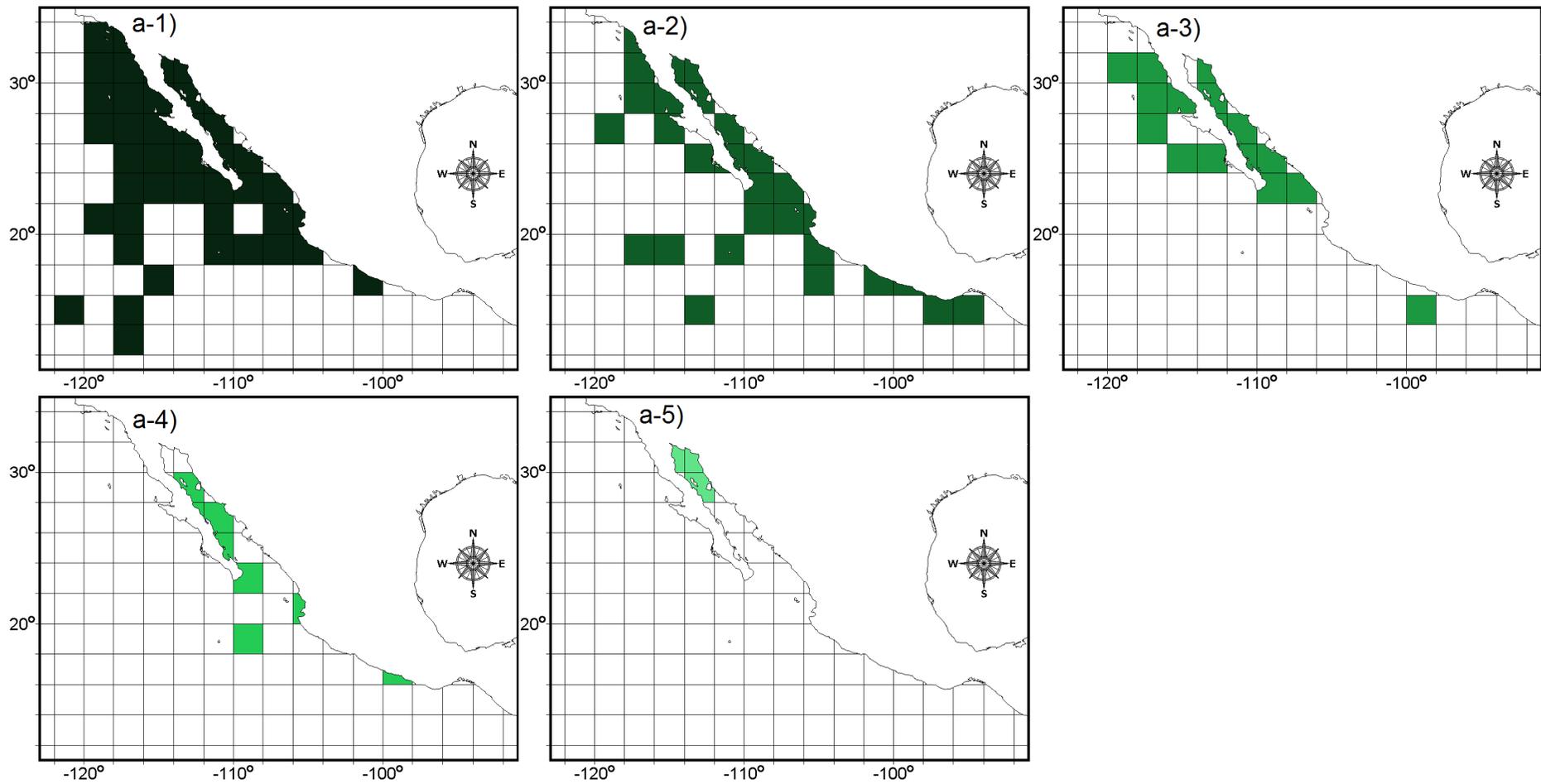


Figura 15. Distribuciones de los cinco subgrupos de mamíferos marinos con el tipo de distribución Norte-GC-Transición, en el OPM, con base en la clasificación hecha para la cobertura de cuadrantes.

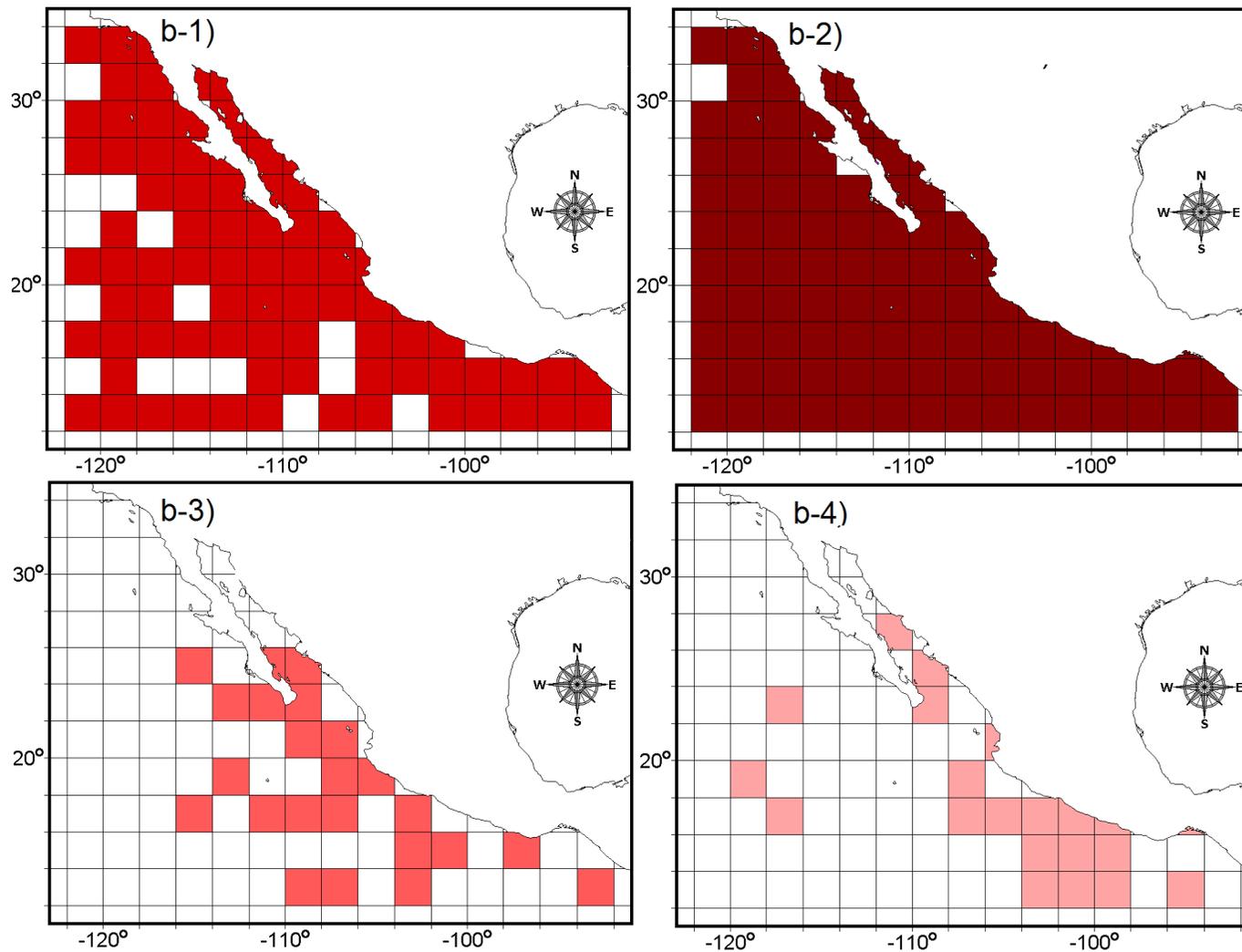


Figura 16. Distribuciones de los cuatro subgrupos de mamíferos marinos con el tipo de distribución OPM, en el OPM, con base en la clasificación hecha para la cobertura de cuadrantes.

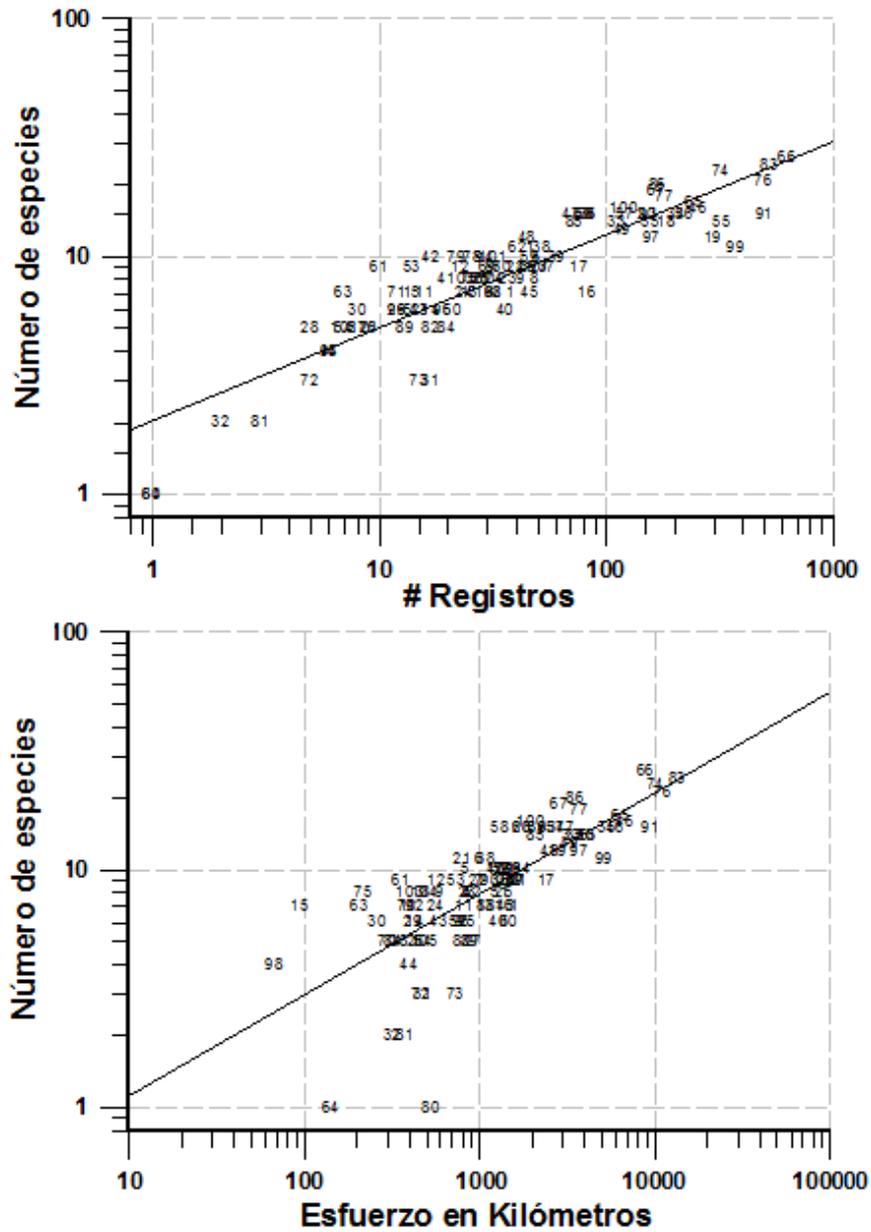


Figura 17. Número de especies registradas por cuadrante con relación al total de registros o avistamientos (superior,  $r^2 = 0.80$ ;  $b = 0.31$ ) y con relación al esfuerzo de búsqueda en kilómetros (inferior,  $r^2 = 0.57$ ;  $b = 0.42$ ). El número de los cuadrantes se indica dentro del área de la gráfica.

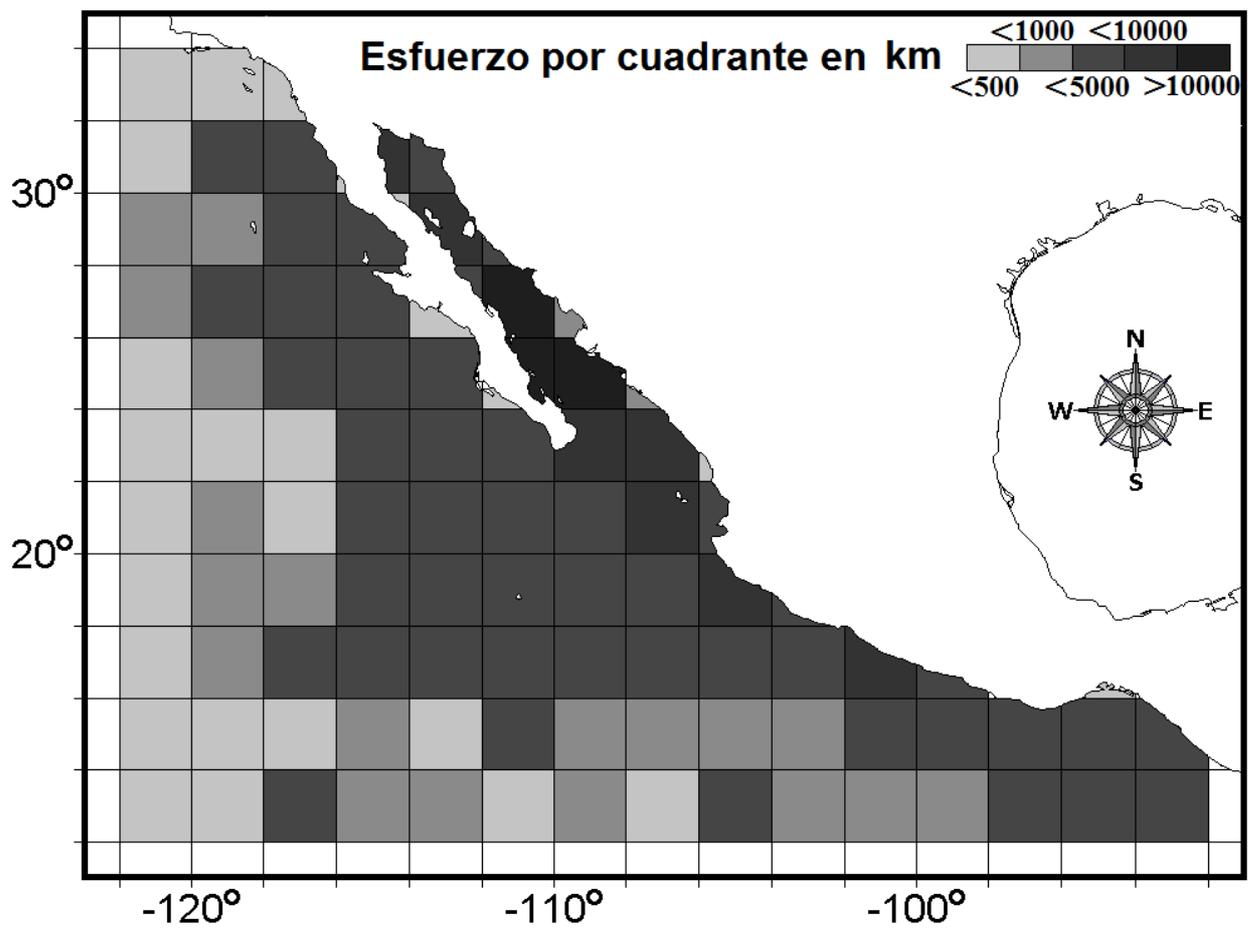


Figura 18. Distribución del esfuerzo de navegación (kilómetros navegados con esfuerzo de búsqueda) por cuadrante en el OPM, realizados entre 1981 - 2008.

## DISCUSIÓN

No obstante que en general se conocen patrones y áreas de distribución, zonas de endemismo y áreas prioritarias para la conservación, de los mamíferos terrestres de México (Ceballos *et al.*, 2005), y de que la investigación sobre los mamíferos marinos del OPM se ha desarrollado de manera sostenida desde la década de los 1970, los patrones básicos de distribución de los mamíferos marinos de los mares mexicanos en general y del OPM en particular apenas comienzan a ser entendidos eso, porque la información básica de muchas de las especies es escasa y porque mucho del esfuerzo se ha enfocado principalmente en la región del GC, en sitios específicos, y con algunas especies en particular (ver Arellano Peralta, 2010). De los mamíferos marinos de México, los cetáceos son el orden con mayor riqueza y representan ca. 50% y ca. 62% del total de especies y familias respectivamente, de este orden en todo el mundo (Guerrero Ruíz *et al.*, 2006). Sin embargo, muchas de las distribuciones conocidas en nuestro país son distribuciones supuestas y/o reflejan distribuciones de gran escala, las cuales son representaciones de las extensiones máximas de distribución de las distintas especies, que incluyen poca o ninguna información acerca de la heterogeneidad en la distribución de las especies (Ceballos *et al.*, 2005; Guerrero Ruíz *et al.*, 2006).

Los resultados indican que la distribución de los mamíferos marinos en el OPM es heterogénea, a nivel de especie y de grupo, tanto en el área de cobertura como a nivel geográfico (Figuras 5 - 12). Algunas especies tienen menos del 2% del total del área de cobertura y otras presentaron valores de cobertura mayores al 50% (Figura 5). De las especies con los valores más bajos de cobertura, la vaquita es la única cuya distribución observada aquí concuerda en lo general con la distribución conocida (ver Ceballos y Oliva, 2005; Jefferson *et al.*, 2008) y se encuentra restringida a la zona del Alto Golfo de California. El resto de especies con valores de cobertura menores al de la vaquita, con excepción del lobo fino de las Galápagos (*A. galapagoensis*), tienen distribuciones propuestas dentro del OPM mucho mayores a las registradas en este trabajo (Ceballos y Oliva, 2005; Jefferson *et al.*, 2008). Para el OPM, se considera que los delfines de Fraser (*L. hosei*) y los delfines de cabeza de melón (*P. electra*) se distribuyen a partir de los 24°

de latitud norte y hacia el sur, en todo el área del PTM (Ceballos y Oliva, 2005) y/o bien, que todo el OPM se encuentra dentro del área primaria o principal de distribución de estas especies (Jefferson *et al.*, 2008). Lo mismo sucede con el zifio de Longman (*I. pacificus*), el cual tiene una distribución principal propuesta que abarca todo el OPM (Ceballos y Oliva, 2005; Jefferson *et al.*, 2008). El caso del zifio de Hubbs (*M. carllhubbsi*) es distinto, ya que la distribución propuesta por Jefferson *et al.* (2008) no considera ningún área de las aguas del OPM como zona principal de su distribución, mientras que en Ceballos y Oliva (2005) se propone que el zifio de Hubbs se distribuye en el OPM dentro de la zona de influencia de la Corriente de California. El único registro de esta especie documentado en este trabajo se realizó en el año de 1993, dentro del GC, y se considera que en este año no hubo ningún tipo de afectación climática extrema relacionada con el Fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés, ver <http://coaps.fsu.edu/jma.shtml>).

El registro dentro del GC de una especie que se considera tiene su área principal de distribución en las aguas frías de la costa occidental de la Península de Baja California (Ceballos y Oliva, 2005; Jefferson *et al.*, 2008), no fue exclusivo del zifio de Hubbs. El zifio de Baird (*B. bairdii*) también se registro dentro del GC en el año de 1993 y la foca común (*P. vitulina*) en 1982. En particular, para la foca común existen al menos cinco registros documentados de su presencia dentro del GC, en cinco años distintos (Gallo-Reynoso *et al.*, 2010) y se considera que su presencia puede estar relacionada principalmente, aunque no exclusivamente, con el fenómeno de El Niño.

De las especies con menor valor de cobertura, el lobo fino de las Galápagos (*A. galapagoensis*) no se considera como una especie que tenga su área normal de distribución en las aguas del OPM (Jefferson *et al.*, 2008), y se ha sugerido que la presencia de esta especie fuera de su área normal de distribución está relacionada con eventos asociados con el fenómeno de El Niño (Auriol-Gamboa *et al.*, 2004). Los dos avistamientos del lobo fino de las Galápagos documentados en este trabajo, se realizaron durante el 2006, considerado como año de El Niño (<http://coaps.fsu.edu/jma.shtml>). Esta especie no es la única especie de pinnípedo que se

ha documentado en el OPM, fuera de su área normal de distribución, durante un evento de El Niño. El lobo marino de las Galápagos (*Z. wolfebaeki*) y el lobo marino del norte (*Eumetopias jubatus*) se han registrado dentro del OPM, y se considera que la presencia de la primera especie estuvo relacionada con el evento de El Niño de 1997, mientras que la de la segunda se sugiere estuvo relacionada con el fenómeno de La Niña de 2008 (Ceballos *et al.*, 2010).

Las distribuciones de las especies que presentaron valores altos de cobertura (especies del género *Stenella* y los delfines de dientes rugosos, *S. bredanensis*) son en general las que más se asemejan a las distribuciones propuestas conocidas (Ceballos y Oliva, 2005; Jefferson *et al.*, 2008). No obstante, se observan diferencias consistentes en la tendencia de estas especies a no distribuirse en la región de las grandes Islas y hacia la parte alta del GC (Figura 9). La región del GC es la mejor muestreada en los datos del presente trabajo, asimismo las distribuciones de estas especies en las zonas con menor esfuerzo de búsqueda, se ajustan bien a las distribuciones propuestas como parte del área principal de distribución de estos animales dentro del OPM (Figura 18), sugiriendo que la ausencia de éstas, en la región norte del GC, no es un artefacto de la falta de esfuerzo en la zona, sino más bien un patrón real en las distribuciones de estos animales.

Algunas especies, como las que tienen distribuciones principalmente circunscritas a las aguas que rodean la Península de Baja California y la boca del GC, como son los delfines comunes de rostro largo (*D. capensis*) y los lobos marinos de California (*Z. californianus*) o con distribuciones restringidas a la Corriente de California como son los delfines de costados blancos del Pacífico (*L. obliquidens*) y el elefante marino del Norte (*M. angustirostris*), o con distribuciones en todo el OPM como las toninas (*T. truncatus*) y los delfines de Risso (*G. griseus*), presentaron patrones de distribución que se asemejan mucho a las distribuciones propuestas como sus zonas principales de distribución dentro del OPM (ver Figuras 7 - 12; Ceballos y Oliva, 2005; Jefferson *et al.*, 2008). Otras especies como las ballenas azules (*B. musculus*), los rorcuales comunes (*B. physalus*), los cachalotes enanos (*K. sima*), los cachalotes (*P. macrocephalus*), los calderones (*G. macrorhynchus*), las orcas (*O. orca*), las orcas pigmeas (*F. attenuata*) y los

zifios de Cuvier (*Z. cavirostris*), tuvieron patrones de distribución, que aunque no cubren toda el área propuesta por Jefferson *et al.* (2008) como parte de su área principal de distribución, si permiten inferir que dichas especies pueden distribuirse en las áreas propuestas (Figuras 7 - 12).

Un conjunto de especies con valores de distribución menores al valor promedio de cobertura de todas las especies (<25.16% de cobertura) presentan patrones de distribución muy restringida y menores al 10% de la cobertura, siendo muy distintos a los sugeridos por Jefferson *et al.* (2008) y por Ceballos y Oliva (2005) para el OPM. Entre estas especies se encuentran la ballena de Minke o rorcual menor (*B. acutorostrata*), el rorcual norteño (*B. borealis*), el cachalote pigmeo (*K. breviceps*), el delfín de Fraser (*L. hosei*), el delfín cabeza de melón (*P. electra*), el zifio de Longman (*I. pacificus*), el zifio de rostro denso (*M. densirostris*) y el zifio pigmeo (*M. peruvianus*). Incluso, estas especies contaron con menos de diez registros en el OPM, entre 1981 - 2008. Empero, un valor de cobertura baja no implica que las especies tienen patrones de distribución distintos a los previamente sugeridos, ya que algunas especies como los delfines de costados blancos del Pacífico (*L. obliquidens*), la vaquita marina (*P. sinus*), el lobo fino de Guadalupe (*A. townsendii*), y el elefante marino del norte (*M. angustirostris*), tienen valores de cobertura menores al 10%, y sin embargo, sus distribuciones se asemejan mucho a las propuestas por Jefferson *et al.* (2008). Esto indica que existe un conjunto de especies de las que sabemos poco y de las cuales no conocemos realmente sus áreas principales de distribución.

Una falla del presente análisis es que no se considera la estacionalidad, y como consecuencia, el cómo ésta afecta la distribución de las distintas especies. Esta cuestión no es trivial, y las diferencias observadas en algunas especies entre los dos grupos de datos nos dan un indicio de eso. El caso más claro es el de la ballena jorobada (*M. novaeangliae*), la cual tiene presencia estacional marcada en OPM, relacionada con su ciclo migratorio y de la cual la diferencia entre los valores de cobertura de los dos grupos de datos es ca. 15% (Tabla 1). Ello porque la mayoría de los datos utilizados en este trabajo (~70%) fueron tomados durante los meses de julio a diciembre por la

NOAA, y la ballena jorobada tiene su pico de abundancia en el OPM entre los meses de enero a marzo. Por lo anterior los patrones encontrados aquí deben analizarse en un contexto más amplio, que considere la estacionalidad. La ballena gris (*E. robustus*) es otro ejemplo de lo anterior, ya que al igual que la ballena jorobada, tiene presencia estacional en el OPM relacionada con sus hábitos migratorios. Para esta especie la distribución documentada en este trabajo (ca. 3%) no abarca las zonas principales de distribución conocidas, que se localizan en la costa occidental de la Península de Baja California (ver Guerrero Ruíz, *et al.*, 2006; Jones y Swartz, 2002). Las especies mencionadas son un claro ejemplo del efecto que la estacionalidad puede tener sobre los patrones de distribución observados en algunas especies. Otras especies como la marsopa de Dall (*Phocoenoides dalli*) y el delfín liso del norte (*Lisodelphis borealis*), que se consideran parte de la mastofauna marina del OPM (Ceballos y Oliva, 2005; Medrano González, 2006), no fueron registradas en este trabajo. Estas especies se encuentran relacionadas de manera directa con las aguas frías del sistema de la Corriente de California (Jefferson *et al.*, 2008; Leatherwood *et al.*, 1988). Dicho sistema presenta cambios estacionales en su temperatura y productividad, siendo los meses de enero a junio en los que la temperatura del agua es menor y la productividad mayor (Barocio León *et al.*, 2007). Lo anterior implica la posibilidad de que estas especies formen parte de la riqueza de mamíferos marinos en el OPM, pero de manera estacional. Los cambios en las condiciones oceanográficas en las aguas del OPM no son exclusivos de la Corriente de California (ver Lara-Lara *et al.*, 2008), por lo que es posible que otras especies presenten movimientos estacionales, que afecten sus patrones de distribución de manera estacional. Lo anterior indica que el conocimiento que tenemos de la distribución de las especies dentro del OPM necesita ser evaluado considerando el factor estacionalidad.

Se han desarrollado aproximaciones recientes para conocer el estatus de las especies de los vertebrados en general y de los mamíferos en particular (Hoffmann *et al.*, 2010; Schipper *et al.*, 2008), con base en patrones de distribución de gran escala, que consideran las distribuciones máximas de las especies y que se basan en datos incompletos que generalmente reflejan más las áreas en las que las especies han sido

buscadas, que los límites reales de distribución de las especies (Jefferson *et al.*, 2008). Con base en los resultados obtenidos aquí, se propone que para desarrollar estrategias de conservación más apegadas a la realidad actual de las especies de mamíferos marinos, es necesario tomar en cuenta las distribuciones en diferentes valores de escala y los cambios estacionales en las mismas.

Las distribuciones de las especies variaron en sus valores de cobertura hasta en tres órdenes de magnitud (Figura 5). Este patrón también fue documentado por Arellano Peralta (2010), para los mamíferos marinos del GC. Lo anterior sugiere que puede existir alguna restricción en la forma en la que las comunidades se conforman, independientemente de la escala de estudio analizada, ya que el tamaño de cuadrantes utilizado por Arellano Peralta (2010) fue de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  grados de latitud-longitud, mientras que la escala utilizada aquí fue de  $2^\circ \times 2^\circ$  de latitud-longitud.

A diferencia de la clasificación obtenida para la distribución de los mamíferos marinos del GC (ver Arellano Peralta, 2010), las especies del OPM no presentan un arreglo escalonado ni relacionado directamente con su fracción de cobertura (Figura 13). Los resultados obtenidos en este trabajo indican que las distribuciones de las especies en el OPM se pueden dividir por sus coberturas en tres grupos distintos (Figuras 13 y 14). El grupo de especies definidos como de distribución PN-GC-Transición, presenta un arreglo similar al encontrado en los mamíferos marinos del GC (Arellano Peralta, 2010). Las especies no forman grupos separados bien definidos, sino más bien subgrupos, que como sugiere Arellano Peralta (2010) parecen ser el resultado de la heterogeneidad en las capacidades de aclimatación de las especies a los diferentes ambientes. En el tipo de distribución PN-GC-Transición, se pueden distinguir subgrupos cuyos patrones de distribución se van restringiendo hacia la costa y hacia adentro del GC (Figuras 13 y 14), llegando a un último subconjunto formado únicamente por la endémica vaquita (*P. sinus*), que es una especie adaptada a una zona muy pequeña con un ambiente particular. La propuesta de la heterogeneidad en la aclimatación de las especies parece reforzarse con la presencia de otro par de grupos bien definidos, los de distribución OPM y los de distribución Corriente de California (Figuras 13 y 14). Las especies del

grupo de distribución OPM, incluyen a las especies que tienen los valores de cobertura más grandes, y que como consecuencia parecen ser capaces de distribuirse en toda la variedad de hábitats del OPM presenta (ver Lara-Lara, 2008 y Spalding, 2007).

El OPM presenta una alta heterogeneidad de ambientes. Según Spalding *et al.* (2007) incluye dos provincias biogeográficas con tres ecorregiones cada una: Provincia Pacífico Norte Templado, con las ecorregiones Ensenada del Sur de California, Corteziana y transición de Magdalena; y Provincia del Pacífico Oriental Tropical, con las ecorregiones de Revillagigedo, del Pacífico Tropical Mexicano y Chiapas-Nicaragua). Medrano González *et al.* (2008) proponen que la adaptación de los delfines a diversas estructuras oceanográficas son un aspecto de su diversificación, es este sentido las especies documentadas con distribución Corriente de California presentan una distribución que parece ser dependiente a la adaptación en un ambiente particular.

La fracción de especies con origen antitropical o con afinidad por aguas frías o templadas (Jefferson *et al.*, 2008; Medrano González, 2006), es distinta en los tres grupos de distribución. En el tipo OPM, esta fracción es del 18.75%, mientras que la fracción de especies con ésta misma afinidad para las distribuciones Norte-GC-Tropical y Corriente de California es del 54% y el 100%, respectivamente, indicando una diferenciación en el conjunto de especies que conforman los distintos grupos. Estos resultados indican que el Golfo de California es un sitio en el que confluyen especies con diferentes características, lo cual ya había sido propuesto por Medrano González *et al.* (2008). A su vez, la heterogeneidad en los patrones de distribución de las distintas especies y las diferencias en la composición de especies, ya sea por su cobertura o por su abundancia, encontradas en diferentes zonas del OPM (Arellano Peralta, 2010; Medrano González *et al.*, 2008), indican que para tomar cualquier acción destinada a la conservación de estas especies, será necesario considerar los aspectos de heterogeneidad ambiental, producto tanto de los factores bióticos como abióticos.

En el OPM se encuentran especies con distribuciones afines a aguas frías y templadas, así como especies asociadas a aguas cálidas, por lo que se ha sugerido que en esta zona

ocurren procesos que son importantes para la filogeografía de este grupo (Medrano González, 2006; Medrano González *et al.*, 2008). El conocimiento y entendimiento de los patrones actuales de distribución, nos brindará herramientas que nos permitirán entender de mejor manera las necesidades de estos animales, y como consecuencia podremos desarrollar mejores estrategias destinadas a lograr la conservación de estos animales y de sus ecosistemas.

## CAPÍTULO III.

### ABUNDANCIA RELATIVA, BIOMASA Y CONSUMO DE LA MASTOFAUNA MARINA EN EL OCÉANO PACÍFICO MEXICANO.

#### ANTECEDENTES

Una comunidad se puede definir a partir de una gran variedad de escalas. Un aspecto importante en la estructura de las comunidades que generalmente es ignorado, es el de que independientemente de la riqueza de especies presentes, se desconoce cuáles de estas son raras y cuáles comunes. Las especies tienen requerimientos particulares e interacciones que limitan y restringen el tamaño de las poblaciones y sus áreas de distribución. Así, se debe considerar el paisaje de una comunidad como un todo dinámico, que cambia en respuesta a su ambiente y a los tipos de actividades humanas asociadas con él (Begon *et al.*, 2006). Una aproximación necesaria para un buen entendimiento de la estructura de una comunidad es la de describir la comunidad en términos de su abundancia, biomasa y densidad poblacional por unidad de área (Begon *et al.*, 2006).

Los mamíferos marinos han sido explotados durante siglos y se tienen registros de explotación que datan de al menos 8,500 años (Beland, 1996, Krupnik, 1984). Inicialmente la explotación de los mamíferos marinos se hizo con propósitos de subsistencia por parte de las poblaciones humanas aborígenes de prácticamente todos los continentes, con excepción de la Antártica (Beland, 1996). Históricamente, esta explotación primero de subsistencia y posteriormente con fines comerciales, ha incluido especies de los tres grupos: Cetáceos, Pinnípedos y Sirenios, y representa una de las alteraciones más dramáticas de la diversidad de especies de mamíferos. Reflejo de lo anterior es el gran número de especies que se encuentran en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés). Schipper *et al.* (2008) documentaron que el 25% de las especies de mamíferos para las

que se cuenta con datos, se encuentran amenazadas de extinción (ver cuadro 2). El estado de conservación de las especies de mamíferos marinos requiere particular atención ya que se estima que el porcentaje de especies amenazadas es del 36%, con un intervalo que oscila entre 23 a 61% (Tabla 2). Según Schipper *et al.* (2008) el estatus de conservación de los mamíferos puede deteriorarse en el futuro cercano, si no se toman medidas de conservación adecuadas.

Las especies de mamíferos marinos amenazadas se concentran en los Océanos Pacífico y Atlántico Norte, y en el sureste de Asia, que se consideran zonas de alto endemismo (Figura 19A) y alto impacto humano (ver Halpern *et al.*, 2008). En la actualidad, las amenazas más serias para los mamíferos marinos son la mortalidad accidental en artes pesqueras, que afecta al 78% de las especies, la contaminación, con 60% de las especies afectadas, y la captura, que afecta al 52% de las especies (Schipper *et al.*, 2008; Figura 19C-D). Los mamíferos en general se encuentran entre los organismos mejor conocidos, no obstante las especies marinas están menos estudiadas y se calcula que un 38% del total se cataloga como con datos insuficientes por la IUCN (Schipper *et al.*, 2008; ver tabla 2, Figura 19B). En nuestro país se considera que todas las especies de mamíferos marinos que se distribuyen en aguas mexicanas se encuentran sujetas a alguna categoría de protección, según la NOM-059-ECOL-2001.

En la actualidad desconocemos muchos de los efectos que las prácticas balleneras tuvieron y tienen sobre los ecosistemas, pero se ha propuesto que reducciones considerables en las poblaciones de ballenas pueden alterar de manera significativa la biodiversidad de los ecosistemas profundos, debido a la disminución de materia orgánica que nutre a los organismos de zonas profundas y contribuye a la alta diversidad de especies en estos hábitats. Además, pueden existir efectos de cascada en la red trófica debido a la desaparición y/o disminución de las poblaciones de animales marinos (Butman *et al.*, 1995; Worm *et al.*, 2006).

Tabla 2. Especies de mamíferos (terrestres y marinos) con categoría de riesgo en el Libro Rojo de la IUCN. Las categorías por sus siglas en inglés son: EX, extinta; EW, Extinta en la Naturaleza; CR, Críticamente Amenazada; EN, Amenazada; VU, Vulnerable; NT, Cerca de estar amenazada; LC, Preocupación Menor; DD, Datos Insuficientes. NA, significa no aplica porque no existen datos. Tomada y modificada de Schipper *et al.*, 2008.

Especies	Categoría de Riesgo IUCN		Especies de mamíferos con relación a su hábitat			
	Terrestres	(% del total)	Marinas	(% del total)	Todas	(% del total)
<b>Total</b>	5282		120		5487	
<b>EX</b>	NA		NA		76	1.4
<b>EW</b>	NA		NA		2	0.04
<b>CR</b>	185	3.5	3	2.5	188	3.4
<b>EN</b>	436	8.3	12	10	448	8.2
<b>VU</b>	497	9.4	12	10	505	9.2
<b>NT</b>	316	6	7	5.8	323	5.9
<b>LC</b>	3071	58.1	40	33.3	3109	56.7
<b>DD</b>	777	14.7	46	38.3	836	15.2
<b>% Amenaza</b>	<b>25</b>		<b>36</b>		<b>25</b>	
<b>Intervalo de Amenaza</b>	<b>21-36</b>		<b>23-61</b>		<b>21-36</b>	

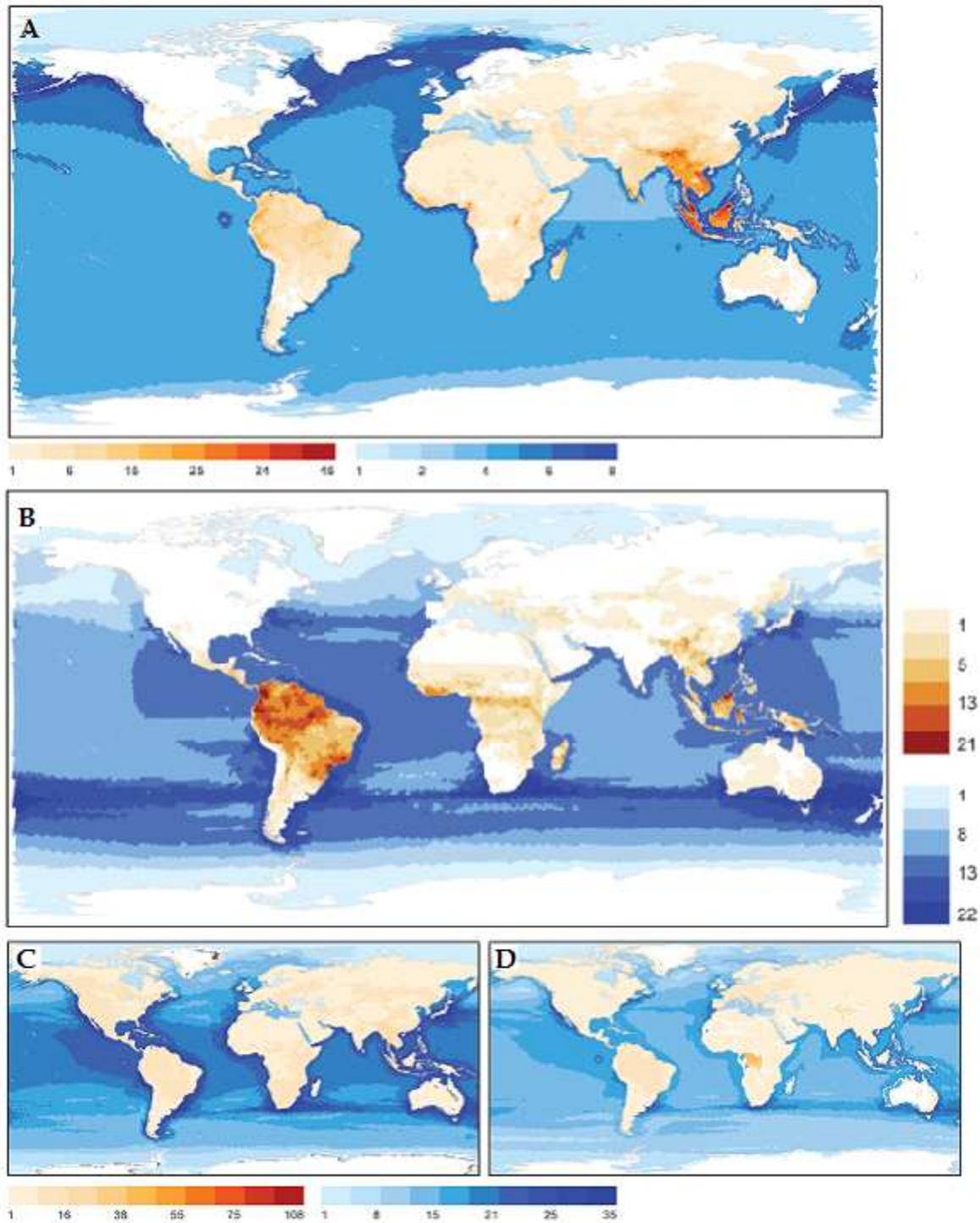


Figura 19. A) Número de especies amenazadas de acuerdo a las categorías de la IUCN descritas en la tabla 1 (Vu, En o CE); B) con categoría de datos insuficientes (DD); C) con mortalidad accidental y D) con riesgo por contaminación. Tomada y modificada de Schipper *et al.*, 2008.

A pesar de su riqueza, los estudios sobre la mastofauna marina del OPM se han concentrado en pocas especies y sólo en algunas áreas particulares, por lo que aún hay mucho por conocer y entender acerca de cómo se estructuró la comunidad de mamíferos marinos del OPM.

Bax (1991) estimó que la fracción de peces que los mamíferos marinos consumen varía entre 0 - 30% del total de peces consumidos dentro de un área (incluidas las capturas humanas). Trites *et al.* (1997) estimaron que el consumo de presas por los mamíferos marinos en el Océano Pacífico excede a las capturas realizadas por todas las pesquerías, por un factor de 3. Croll *et al.* (2007) consideraron que las poblaciones actuales de las especies de la familia Balaenopteridae más el cachalote, en el Océano Pacífico Norte, requieren de ~26% de la productividad primaria y que este valor antes de la explotación ballenera fue de ~64%.

El conocimiento de la abundancia de las especies en particular y de los patrones de distribución de la abundancia en general, es fundamental para un buen entendimiento de la ecología y la macroecología respectivamente, así como para un buen conocimiento de la dinámica trófica de los ecosistemas marinos (Krebs, 1992; Nee, 2003; Steele, 1973). Se considera que los mamíferos marinos juegan un papel fundamental como predadores tope dentro de estos ecosistemas, por lo que se vuelve fundamental conocer aspectos de su ecología, cómo son el dónde y con qué abundancias se distribuyen, que nos permitan determinar que especies son clave y deben ser prioritarias para la conservación (Bowen, 1997; Soulé *et al.*, 2003).

Se ha postulado que la abundancia de las especies y la relación que guardan con su medio ambiente se refleja como cambios en la forma en que se distribuyen las abundancias, tanto en tiempo como en espacio (Brown, 1995). En el caso de los mamíferos marinos se sabe que sus densidades cambian en función con las variables oceanográficas que definen sus hábitats, por lo que estimaciones de densidades históricas pueden no ser buenas estimaciones de la densidad actual y de estimaciones futuras de densidad (Barlow *et al.*, 2008). Por lo anterior un conocimiento acerca de la

densidad actual de mamíferos marinos, y proyecciones acerca de la densidad basada en los cambios proyectados en las condiciones oceanográficas (Barlow *et al.*, 2008), son necesarios para tener una base firme que nos permita analizar los efectos que las actividades antropogénicas pueden tener o tendrán, sobre la biodiversidad marina en general y sobre la mastofauna marina en particular. En el caso particular de los mamíferos marinos del OPM esto es necesario y urgente, ya que no se cuenta con un conocimiento básico de los patrones de abundancia y biomasa, los cuales son útiles para hacer predicciones de los cambios en los patrones de distribución y de distribución de la abundancia de las especies, debido a eventos tales como el cambio climático o eventos extrínsecos tales como sucesión de especies (Gibson *et al.*, 2005; Magurran y Henderson, 2003). En este trabajo se plantea el objetivo de tener una primera aproximación de la abundancia relativa y la biomasa de la mastofauna marina en el OPM, que permita sentar una base para evaluar los efectos potenciales que las actividades humanas pueden tener sobre la viabilidad de las poblaciones de estos animales.

## MÉTODOS

El OPM se definió como se mencionó en el capítulo 2, dentro de los intervalos comprendidos entre los 12° - 32° de latitud Norte (N) y los -92° - -122° de longitud. Las variables analizadas se describen en este trabajo en cuadrantes de 2° por 2° de latitud-longitud, con 101 cuadrantes, de los cuales cuatro se partieron por encontrarse entre el Golfo de California y el Pacífico, teniendo un total de 105 cuadrantes (Figura 20a). Debido a la diversidad de plataformas de observación que se utilizaron durante este trabajo y a que los procedimientos de registro de avistamientos de las tres instituciones, NOAA, UABCS y UNAM, no fueron homogéneos (para detalles sobre los procedimientos ver Kinzey *et al.* (2000) y Medrano González *et al.* (2008), se utilizaron únicamente los datos de la NOAA. Estos datos de avistamientos de mamíferos marinos se tomaron dentro de la zona, entre 1986 - 2006, con 14 años de trabajo en la mar. Se reunió una base de datos de 7,517 avistamientos de 35 especies, con un esfuerzo total de observación de 109,368 km (Figura 20b). La distancia total navegada con esfuerzo de

búsqueda, se calculó para cada cuadrante con el programa SECTONAV, desarrollado por L. Medrano en el compilador TurboPascal 3.01 (Figura 20c). Este programa considera la esfericidad de la Tierra y también la dependencia del radio terrestre con relación a la forma elíptica de la tierra presentada en su latitud. El programa estimó la distancia navegada con esfuerzo de búsqueda en cada uno de los 105 cuadrantes (Figura 20c).

El conteo del número de avistamientos y de individuos para cada especie en cada cuadrante se realizó con el programa GEOASIGN, desarrollado también por L. Medrano en TurboPascal 3.01. La estimación de la abundancia relativa se hizo para cada especie en cada cuadrante, considerando el número de individuos por kilómetro por cuadrante (individuos / km). La biomasa de cada especie por cuadrante (kg/km) se calculó siguiendo el mismo procedimiento utilizado por Arellano Peralta (2010), y se determinó multiplicando la abundancia relativa de cada especie por sus pesos promedio, considerando hembras y machos. (Hoelzel 2002; Reeves *et al.*, 2002). En el caso particular de los cachalotes y los lobos marinos de California, se consideró únicamente el peso promedio de las hembras ya que en estas especies la mayoría de los individuos presentes en el OPM son hembras. Esta aproximación se considera válida porque la mayoría de los animales observados en este trabajo se registraron como adultos. El total de biomasa para cada cuadrante se calculó como la suma de las biomásas de todas las especies presentes. Para cada especie se estimó un valor de cobertura, definido aquí como la fracción de cuadrantes con respecto al total de cuadrantes 105 (100%) en los que se registro la presencia de la especie.

Se realizó una estimación del consumo, como una aproximación para calcular la actividad de alimentación de la mastofauna marina dentro del OPM (ver, Arellano Peralta, 2010). Para lo anterior se desarrolló un análisis de la relación alométrica entre la masa y la tasa metabólica por separado para los cetáceos y para los pinnípedos, con datos obtenidos de Gaskin (1982) y de Whittow (1987). Los datos se uniformizaron en kilogramos para la masa y en Watts para la tasa metabólica. El consumo para las especies individuales se determinó como el producto de la abundancia de cada especie

multiplicado por su tasa metabólica, para cada uno de los cuadrantes dentro del área de estudio. El consumo general de cada cuadrante se obtuvo de la suma de los consumos de todas las especies registradas en cada cuadrante. Se consideró que para la ballena jorobada y la ballena gris, el consumo estimado es de cero, porque durante la estancia de estas especies en el OPM su principal actividad está relacionada con la reproducción. Aunque para la ballena jorobada esto puede ser una subestimación, ya que se han documentado eventos de alimentación y también se ha propuesto la presencia de una pequeña población que se alimenta durante todo el año en aguas alrededor del cinturón de las grandes islas del Golfo de California (Gendron y Urbán, 1993; Urbán y Aguayo, 1987). Los resultados obtenidos se presentan en escala logarítmica para hacerlos manejables, debido a la diferencia en magnitudes entre los valores registrados.

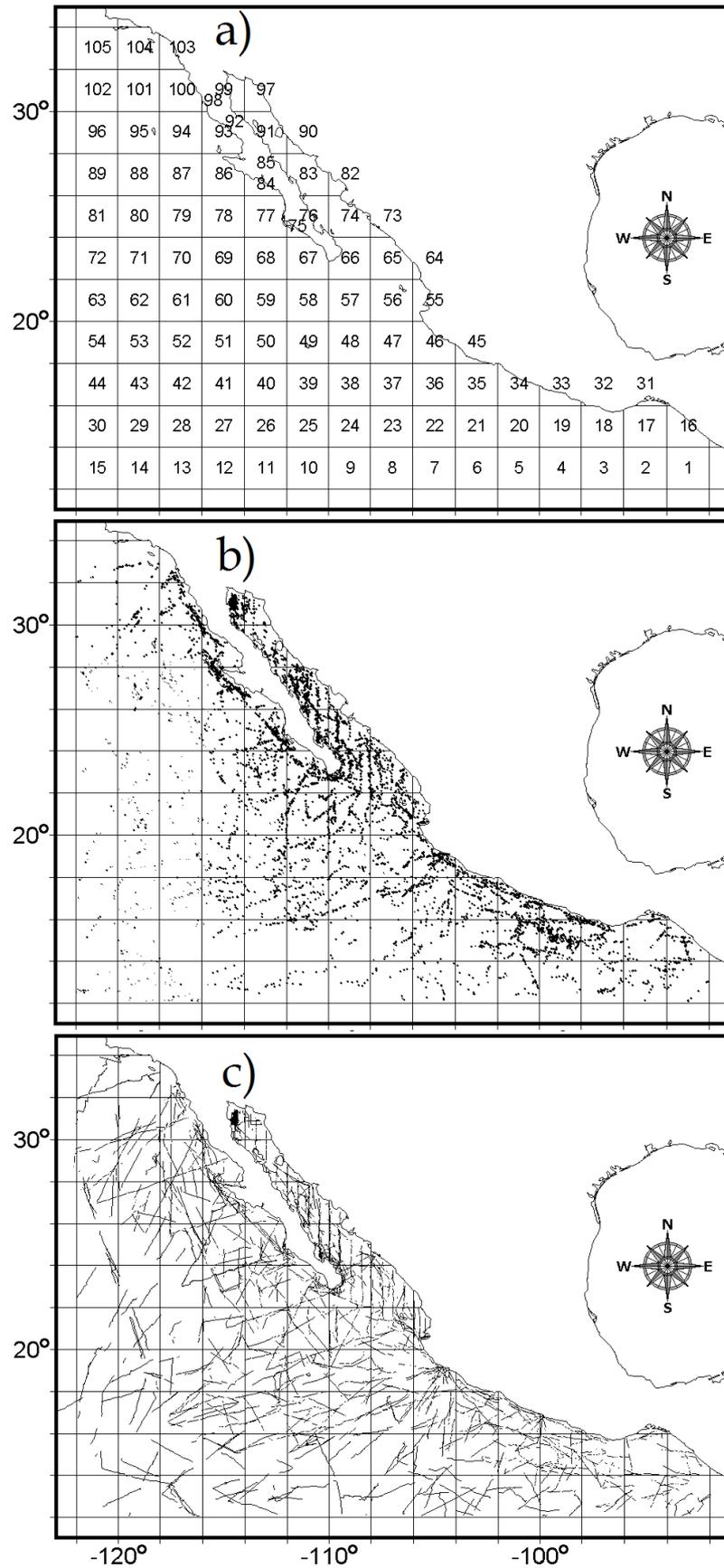


Figura 20. Área de estudio: a) cuadrantes; b) avistamientos de mamíferos marinos y c) transectos de navegación.

## RESULTADOS

Del total de especies registradas entre las tres instituciones, únicamente tres: *Arctocephalus galapagoensis*, *Eschrichtius robustus* y *Lagenodelphis hosei*, no fueron registradas en los datos de la NOAA. La abundancia relativa (individuos / km) de los mamíferos marinos dentro del OPM presentó valores mayores a lo largo de toda la costa dentro del área de estudio, que disminuyen conforme se avanza hacia aguas oceánicas. En el extremo sur del OPM, entre los 12° y los 14° de latitud, se observa una excepción, una franja continua con valores de abundancia altos y parecidos a los observados a lo largo de la costa mexicana. Esta franja se extiende desde la costa hasta los 122° de longitud oeste (Figura 21a). El aumento de la abundancia en zonas pelágicas localizadas en el sur del OPM no es único de los mamíferos marinos, ya que se han observado valores de abundancia altos para otras especies de depredadores como son los atunes y las aves marinas (Ballance *et al.*, 2006). El análisis de abundancia que promedia los valores en cuadrantes de 4° por 4°, mostró un patrón similar al del análisis en cuadrantes de 2° x 2° de latitud-longitud (Figura 21b). Los cuadrantes con mayor abundancia tuvieron una distribución dispersa dentro del OPM abarcando distintas zonas: Cuatro cuadrantes (75, 84, 94 y 100) en la costa occidental de la península de Baja California, y dos (65 y 85) en el GC, y tres (15, 19 y 45) en la parte sur del OPM (Figura 21a). En todos los cuadrantes, con excepción de tres (82, 92 y 98), los delfines son el grupo que aporta la mayor fracción de la abundancia, con una contribución que oscila entre el 95-100% del total.

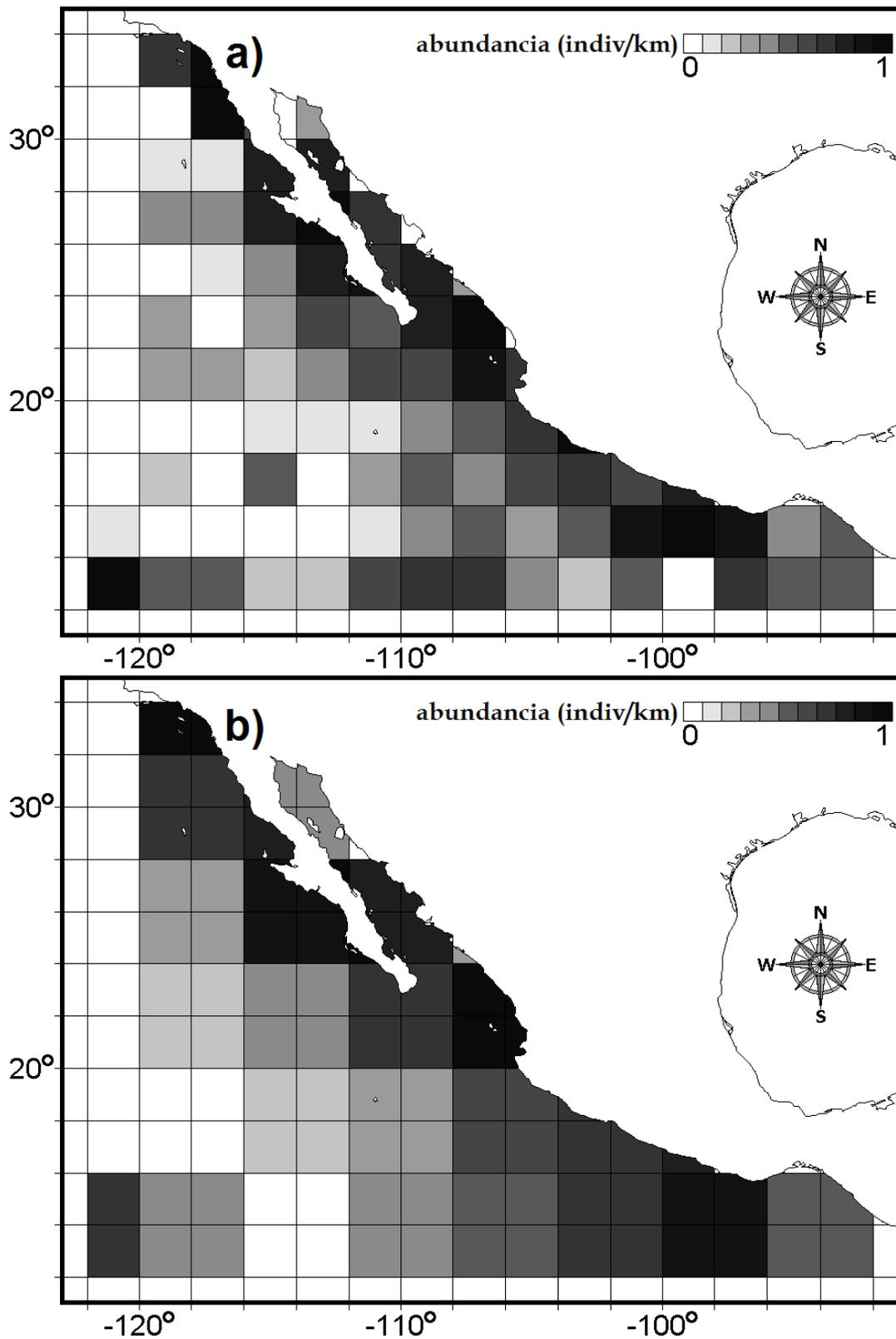


Figura 21. Abundancia relativa (individuos por kilómetro) de los mamíferos marinos en el OPM, superior en cuadrantes de 2° x 2°, e inferior cuadrantes 4° x 4°.

Los mamíferos marinos registrados dentro del OPM presentaron valores de abundancia que difieren hasta en seis órdenes de magnitud. La especie más abundante, el delfín moteado (*S. attenuata*), fue la segunda con mayor área de distribución (72%). Éstos, junto con los delfines tornillo, delfines comunes de rostro corto y rostro largo, las toninas y los delfines listados (*S. longirostris*, *D. delphis*, *D. capensis*, *T. truncatus* y *S. coeruleoalba*), integraron un grupo con abundancias altas y con áreas de distribución heterogéneas, con valores que oscilan entre el 15 al 77% del total de cobertura. Los delfines comunes de rostro largo tuvieron un área de distribución pequeña (15%) pero son la cuarta especie más abundante. Las toninas presentaron la mayor distribución (77%) y el quinto lugar en abundancia (Figura 22a).

Los delfines de Risso (*G. griseus*), de costados blancos del Pacífico (*L. obliquidens*), de dientes rugosos (*S. bredanensis*), calderones de aleta corta (*G. macrorhynchus*) y los delfines cabeza de melón (*P. electra*), integraron un segundo grupo con abundancias de medias a altas con áreas de cobertura del 2 al 57% (Figura 22a). Un siguiente grupo con valores de abundancia medios fue el de: cachalotes (*P. macrocephalus*), orcas pigmeas (*F. attenuata*), orcas falsas (*P. crassidens*), ballenas de aleta (*B. physalus*), orcas (*O. orca*), cachalotes enanos (*K. sima*), zifios de Cuvier (*Z. cavirostris*), ballenas azules (*B. musculus*), ballenas de Bryde (*B. edeni*), lobos marinos de California (*Z. californianus*) y la vaquita marina (*P. sinus*). Las coberturas de este grupo oscilaron entre el 2 y el 44% (Figura 22a). Por último se obtuvo un grupo con los valores de abundancia más bajos, aunque éstos pueden diferir aún en uno o dos órdenes de magnitud, con porcentajes de cobertura que oscilan entre el 1 y 22%; estas especies son: zifio de Baird (*B. bairdii*), mesoplodon Sp A (*M. spA*), ballena jorobada (*M. novaenagliae*), zifio pigmeo (*M. peruvianus*), ballena minke (*B. acutorostrata*), elefante marino del norte (*M. angustirostris*), lobo fino de Guadalupe (*A. townsendi*), cachalote pigmeo (*K. breviceps*), zifio de Blainville (*M. densirostris*), zifio de Hubbs (*M. carlhubbsi*), rorcual de Sei (*B. borealis*), zifio de Longman (*I. pacificus*), y la foca común (*P. vitulina*) (Figura 22a).

La cobertura mostró un alto grado de heterogeneidad entre las especies, dentro de cada grupo de abundancia (Figura 22a,  $r^2$  0.61). Las especies de menor cobertura dentro de

cada grupo tuvieron entre el 3.5 y el 19.5% de cobertura, con respecto a la especie de mayor distribución dentro de su grupo. La correlación cobertura-consumo en las especies, tuvo un valor de correlación similar al de la cobertura-abundancia (Figura 22b,  $r^2$  0.62). El consumo-abundancia y el consumo-biomasa tuvieron un valor de  $r^2$  de 0.80 y 0.96 respectivamente (Figura 23).

El análisis de los cuadrantes con relación al consumo-biomasa indicó que existe una correspondencia entre estas dos variables ( $r^2=$  0.86, Figura 24). De los 105 cuadrantes solo uno presentó valores por arriba de la línea de regresión (cuadrante 84), que se localiza en Punta Abreojos, municipio de Mulegé Baja California Sur (Figura 24). Cuatro cuadrantes presentaron valores por debajo de la línea de regresión, uno localizado en aguas oceánicas en la parte sur del OPM (cuadrante 28), entre los 14° a 16° norte y 116°-118° oeste; el 63 localizado también en aguas oceánicas ubicadas entre los 20° a 22° norte y los 120° a 122° oeste y dos más, localizados entre los 30° a 34° y los 118° a 122° de longitud oeste (Figura 24).

La distribución del tamaño corporal mostró que en la costa occidental de la Península de Baja California, el GC y la zona oceánica comprendida entre la región de Los Cabos, BCS y las Islas del Archipiélago de Revillagigedo, se distribuyen las especies de mayor tamaño. En la región sur y en la boca del GC se observó una distribución de especies de menor tamaño. La predominancia de especies de tamaño menor también se observó en aguas oceánicas (Figura 25a). El patrón de distribución de la biomasa (kg/km) mostró un patrón que disminuye de norte a sur y que después aumenta nuevamente en el sur, a lo largo de toda la costa del OPM. Los menores valores en la biomasa se observaron en el intervalo comprendido entre los 14° a 19° de latitud, mientras que los valores mayores en la parte norte de la costa oeste de la Península de Baja California, y en los cuadrantes alrededor de la región de las Grandes Islas, en el GC. Las aguas aledañas a la porción sur de la Península de Baja California, tanto en el GC como del lado del Pacífico, presentaron valores de biomasa menores comparados con los de la parte norte. Conforme se avanza al sur, la biomasa disminuyó. En general los cuadrantes que se ubican en aguas oceánicas, presentan valores menores de biomasa, comparados con los

cuadrantes más cercanos a la costa (Figura 25b). En la porción más sureña del OPM se observó una excepción, ya que a lo largo de todo el eje longitudinal localizado entre los 12° - 14° norte se observaron valores mayores que los presentes en otras zonas de aguas abiertas (Figura 25b).

El consumo global (W/km) presenta un patrón similar al de la biomasa, teniendo mayores consumos en el norte del OPM, tanto dentro del GC como en la costa occidental de la Península de Baja California, con un gradiente que disminuye hacia el sur y con valores menores en las aguas abiertas. Al igual que en la biomasa, se observó una zona de mayor consumo comparado con otras zonas oceánicas en la parte más sureña del OPM, entre los 12°- 14° de latitud norte y desde los 92° a los 122° de longitud oeste (Figura 25c). Las distribuciones del consumo entre los distintos grupos, tuvieron distintos patrones. El consumo de las ballenas presentó un patrón parecido al de la distribución del tamaño, con valores mayores en la costa occidental de la Península de Baja California y dentro del GC, con un gradiente que disminuye hacia las islas del Archipiélago de Revillagigedo. También se observó una franja de consumos altos de este grupo en aguas oceánicas en la porción más sureña del OPM (Figura 26a). El consumo de las ballenas representó el 15% del total del consumo calculado para todos los grupos y es un orden de magnitud menor que el consumo hecho por los delfines (Tabla 1). El consumo de los cachalotes se concentró dentro del GC, en las aguas circundantes a la región de Los Cabos, y en cuadrantes aislados entre Punta Abreojos y la Isla Cedros, en la costa de Jalisco-Colima, en las aguas oceánicas entre los 12° - 14° norte y 118° - 120° oeste, el cual representó el 4% del total calculado (Figura 26b; tabla 1). Los delfines fueron el grupo con mayor abundancia y presentaron un patrón de consumo similar al observado para el consumo general, alcanzando el 80% del total del consumo calculado para todas las especies (Figura 26c; tabla 1). Las marsopas representadas únicamente por la vaquita marina (*P. sinus*) tuvieron un consumo bajo, cuatro órdenes de magnitud menor que el de los delfines y que representó sólo el 0.01% del consumo total (Figura 26d, tabla 1). Los zífidos, representados por siete especies (considerando a *M spA* como una especie), tuvieron un consumo que es dos órdenes de magnitud menor que el de los delfines, y su área de mayor consumo se localiza al norte

(entre los 26° a 32°) en la costa occidental de la Península de Baja California (Figura 26e, tabla 3). El consumo de este grupo representó el 1% del total estimado. Por último, el consumo de los pinnípedos se concentró en aguas alrededor de la Península de Baja California y fue cuatro órdenes de magnitud menor que el de los delfines, consumiendo únicamente el 0.2% del total calculado (Figura 26f, tabla 1).

Tabla 3. Abundancia, biomasa y consumo, por grupo de mamíferos marinos identificados en el Océano Pacífico Mexicano en todos los cuadrantes. Todas las medidas se calcularon utilizando el número total de individuos de cada grupo entre el total de kilómetros navegados dentro del área de estudio.

	<b>Abund</b> <b>(indiv/km)</b>	<b>%</b> <b>Abund</b>	<b>Biomasa</b> <b>(kg/km)</b>	<b>%</b> <b>Biomasa</b>	<b>Consumo</b> <b>(W/km)</b>	<b>%</b> <b>Consumo</b>
<b>Ballenas</b>	8.26E-03	0.25	5.54E+04	<b>46.50</b>	2.18E+04	<b>15.00</b>
<b>Cachalotes</b>	9.99E-03	0.30	8.30E+03	6.97	5.80E+03	4.00
<b>Delfines</b>	3.29E+00	<b>99.20</b>	5.37E+04	<b>45.00</b>	1.16E+05	<b>79.90</b>
<b>Marsopas</b>	1.09E-03	0.03	4.91E+00	0.00	1.60E+01	0.01
<b>Zifios</b>	3.99E-03	0.12	1.75E+03	1.47	1.44E+03	1.00
<b>Pinnípedos</b>	1.73E-03	0.01	3.40E+01	0.03	3.53E+01	0.02

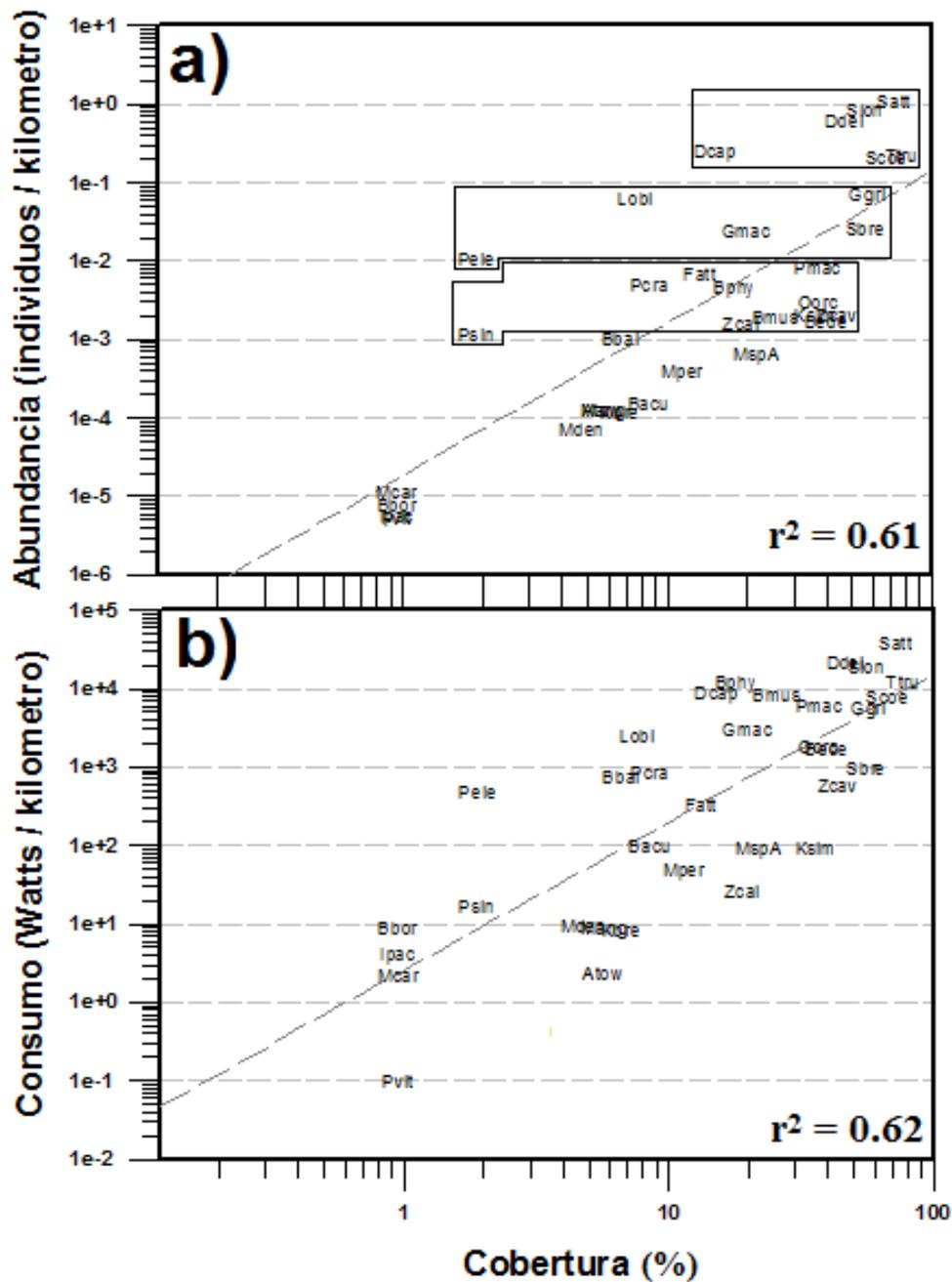


Figura 22. Relación entre la abundancia relativa (individuos / Km), el consumo (Watts / Km) y la cobertura de los mamíferos marinos en el Océano Pacífico Mexicano. La identidad de las especies se indica con la primera letra del género y las tres primeras letras del nombre específico. Las líneas punteadas indican las regresiones lineales. En el panel a se muestran encerrados los grupos de abundancia. Panel a  $r^2 = 0.61$  y b  $r^2 = 0.62$ .



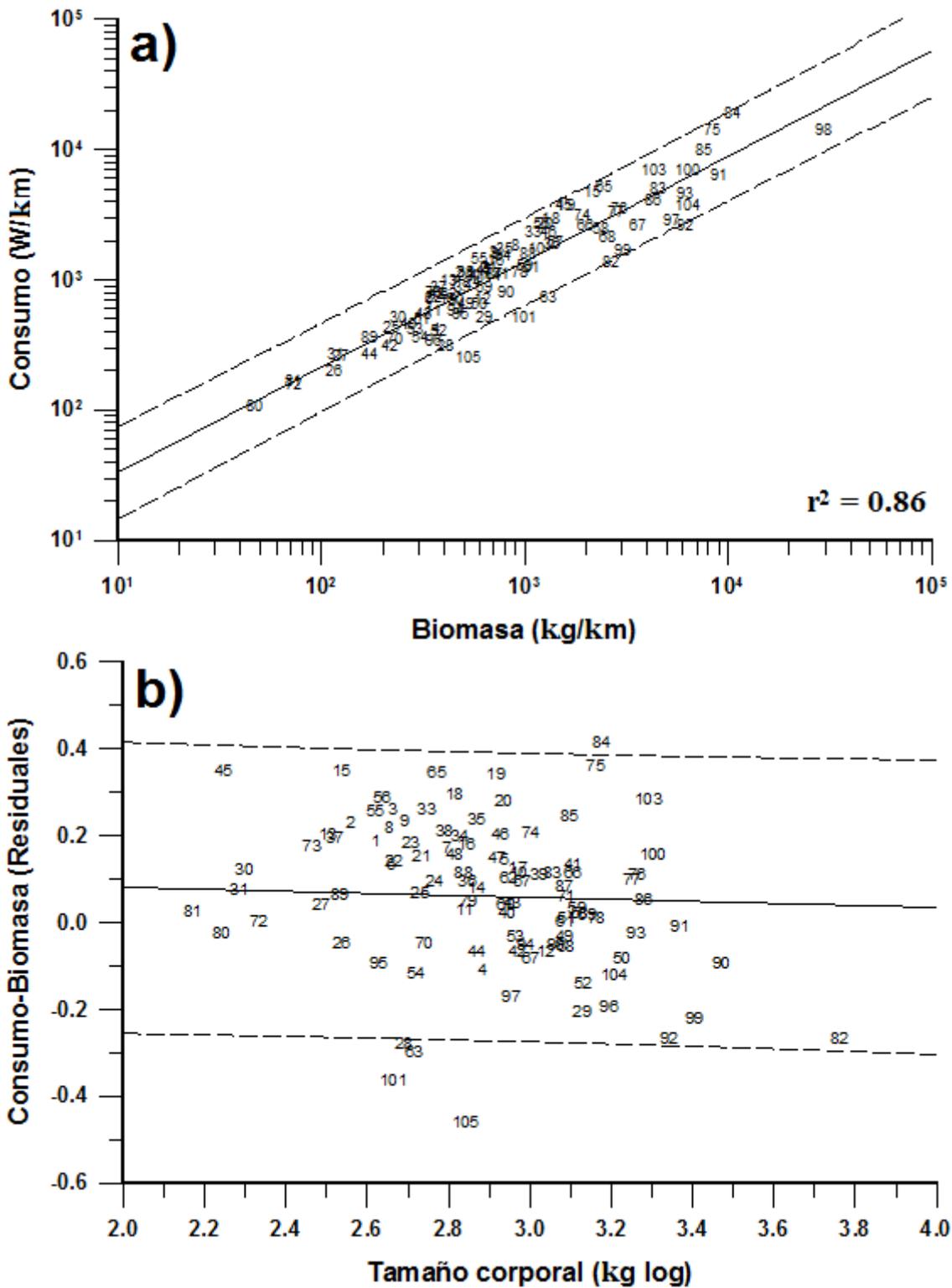


Figura 24. Relación entre el consumo y la biomasa (panel a) y los residuales del consumo-biomasa con relación al tamaño (panel b), entre los cuadrantes. La línea continua indica la regresión, con los intervalos de confianza al 95% (líneas punteadas). Panel a y b  $r^2 = 0.86$ .

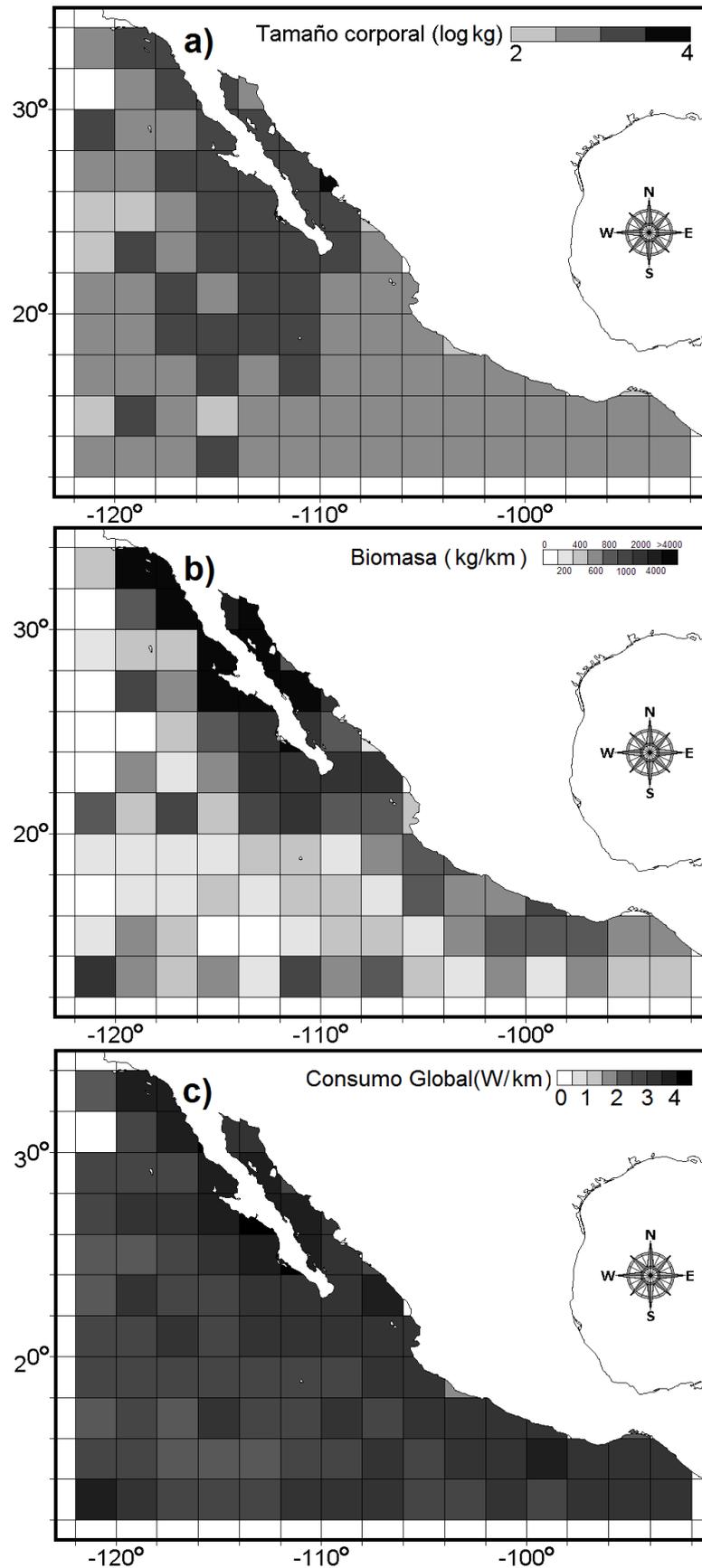


Figura 25. Distribución del tamaño corporal, consumo y biomasa de los mamíferos marinos en el Océano Pacífico Mexicano.

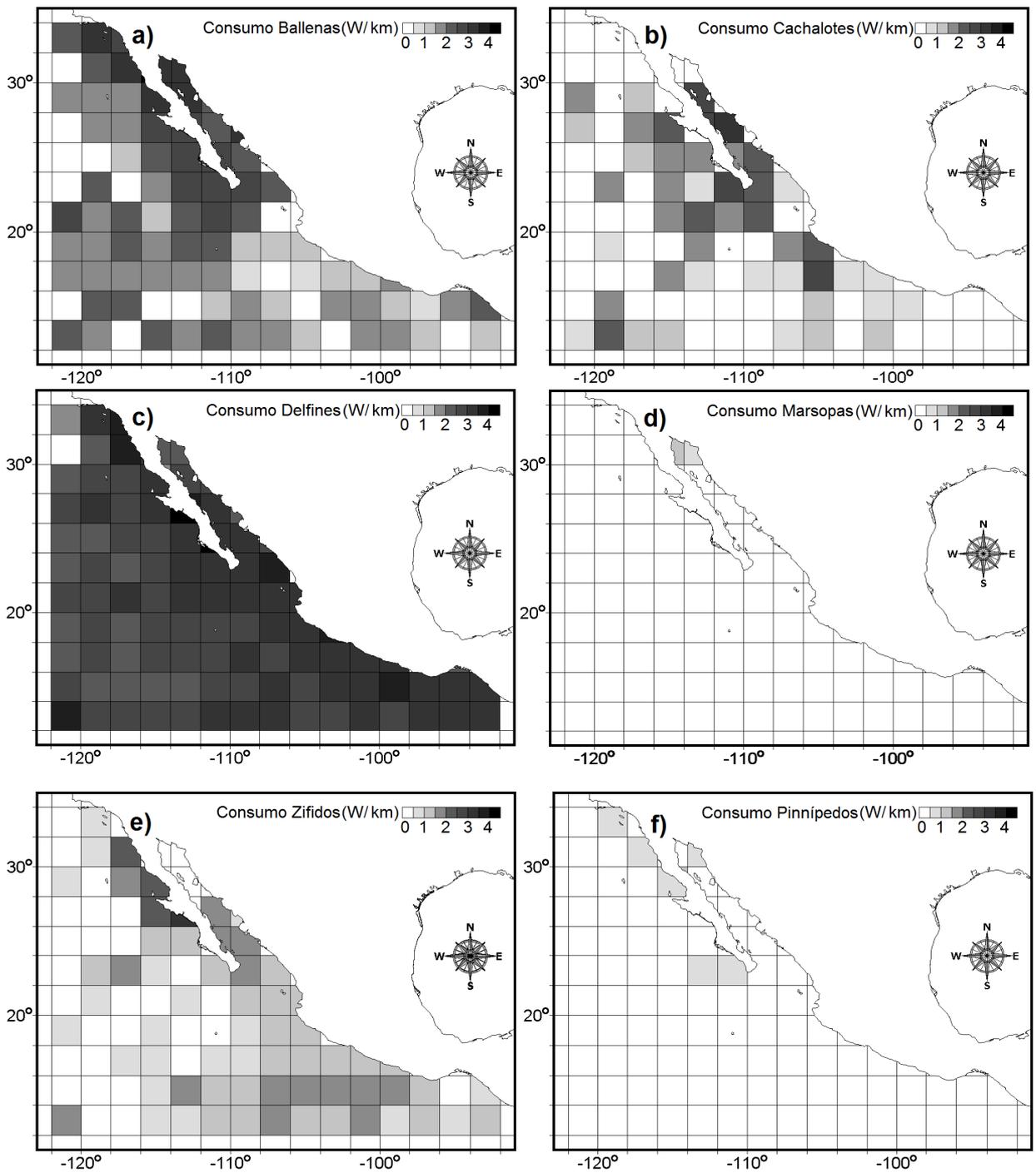


Figura 26. Distribución del consumo por grupo de mamíferos marinos: ballenas, cachalotes, delfines, marsopas, zifidos y pinnípedos, en el Océano Pacífico Mexicano.

## DISCUSIÓN

Arellano Peralta (2010) menciona que a pesar de que en México se viene desarrollando una intensa actividad de investigación sobre la mastofauna marina desde la década de los 1970s, aún hace falta mucho por conocer en lo referente a grandes patrones de diversidad, en atributos básicos como son la distribución y la abundancia. Carreta *et al* (2006) proponen que las estimaciones de la abundancia y biomasa de los mamíferos marinos son un elemento clave para hacer evaluaciones de los posibles efectos de las actividades humanas sobre estos animales.

Los análisis de abundancia, biomasa, consumo y cobertura, realizados en este estudio indican que existe heterogeneidad de estos atributos en la mastofauna marina en el OPM, tanto a nivel espacial como de especies (Figuras 21 - 26). Se observa una mayor abundancia de estos animales en los cuadrantes más cercanos a la costa y a lo largo de todo el litoral del OPM (Figura 21). Una excepción a esto se presenta en las aguas más sureñas del OPM, en donde los valores de abundancia permanecen más o menos constantes, desde la costa hasta los 122° de longitud oeste (Figura 21). Los valores mayores de abundancia, consumo y biomasa, en aguas cercanas a la costa en el OPM (Figuras 21 y 25) concuerdan con los valores más altos de productividad primaria, documentados en zonas costeras, en comparación con zonas oceánicas, tanto en el POT, el sistema de la corriente de California y en otros sistemas (Behrenfeld y Falkowski, 1997; Palacios *et al.*, 2006; Pennington *et al.*, 2006). Lo anterior apoya la hipótesis de que los mamíferos marinos se distribuyen principalmente en áreas donde se concentran sus presas (Berta y Sumich, 2006). Un patrón similar al encontrando en este trabajo, en el que los valores de productividad coinciden con un mayor consumo de los mamíferos marinos, fue documentado por Arellano Peralta (2010) para los mamíferos marinos del GC. El extremo sur del OPM se caracteriza por presentar una termoclina somera, en la cual se ha identificado la presencia constante de diversos depredadores como son los atunes, aves marinas y delfines (Ballance *et al.*, 2006). Esta termoclina ha sido mencionada como el principal factor para explicar la prevalencia y abundancia altas de distintas especies de depredadores en las aguas tropicales del POT (Au y Perryman,

1985). Los altos valores de abundancia observados en este trabajo, así como el tamaño de los mamíferos marinos que se distribuyen en esta zona (Figuras 21 y 25a), concuerdan con la hipótesis de que en esta área tropical se observan altas abundancias de varios tipos de depredadores marinos, entre ellos los delfines moteados (*S. attenuata*) y los delfines tornillo (*S. longirostris*), asociados a la termoclina somera (Au y Perryman, 1985; Ballance *et al.*, 2006).

La distribución de la abundancia indica que las zonas con mayores valores de abundancia, en el OPM, se encuentran alejadas entre sí. En la costa occidental de la Península de Baja California entre Punta Eugenia y Bahía Magdalena. En el Golfo de California entre Mazatlán-Islas Mariás-Bahía de Banderas, y entre Bahía de Concepción y Santa Rosalía. En el Pacífico Tropical Mexicano, en la costa de Oaxaca y al sur de ésta (Figura 21). Por sus características oceanográficas y de biota, los sitios donde se localizan los cuadrantes con mayor abundancia, son considerados como eco-regiones distintas (Spalding *et al.*, 2007; Wyrтки, 1967). Medrano González *et al.* (2008), documentaron que existen diferencias en estas regiones, en la composición de especies y sus abundancias, y que la zona del Pacífico Norte, asociada a la Corriente de California, es la más disímil con respecto al resto del OPM. Lo anterior sugiere que se deben hacer análisis que evalúen la composición a distintos niveles desde el local hasta el regional, para hacer tener una mejor comprensión de los requerimientos de estos animales en las aguas del OPM.

De las pocas más de 120 especies de mamíferos marinos, los delfines aportan aproximadamente el 30% de la riqueza de especies a nivel mundial (ver Perrin *et al.*, 2002). En el OPM el grupo de los delfines es el de mayor riqueza y el más abundante con el 99% de la abundancia total de individuos registrados. En otros ecosistemas también se ha documentado que los delfines son el grupo más abundante con valores que oscilan entre el 82% en el ecosistema de la Corriente de California y 99% en el POT (Barlow y Forney, 2007; Gerrodette *et al.*, 2008; Wade y Gerrodette, 1993).

En el caso del POT se ha reportado que la especie más abundante es el delfín común de rostro corto (*D. delphis*) seguido de las tres especies del género *Stenella* (Gerrodette *et al.*, 2008; Wade y Gerrodete, 1993). Se observan diferencias en el conjunto de especies con mayor abundancia que se distribuyen en el POT con relación al PTM. En el caso del delfín común de rostro corto, el mayor aporte de abundancia en el POT, está dado por el stock sureño que se localiza en aguas al oeste de las costas de Perú y Ecuador, mientras que el stock norteño (que se distribuye en el PTM) es el menos abundante de los tres stocks documentados para el POT (ver Wade y Gerrodete, 1993). Una especie que Wade y Gerrodette (1993) documentaron como la quinta en abundancia para el POT, es el delfín de Fraser (*L. hosei*), el cual no figura entre los registros analizados en el presente estudio, y para el cual sólo existen dos registros documentados para el PTM (Medrano González *et al.*, 2008). En el ecosistema de la Corriente de California, la especie más abundante es, al igual que en el POT, el delfín común de rostro corto (*D. delphis*), seguida de la Marsopa de Dall (*Phocoenoides dalli*), el delfín de costados blancos del Pacífico (*L. obliquidens*), el delfín común de rostro largo (*D. capensis*), el delfín listado (*S. coeruleoalba*), el delfín de Risso (*G. griseus*) y el delfín liso del norte (*Lissodelphis borealis*) (Barlow y Forney, 2007).

Las diferencias en la abundancia de las especies en el presente estudio y en los estudios citados arriba, son similares, con entre cuatro y seis órdenes de magnitud de diferencia entre las especies más abundantes y las de menor abundancia (ver Barlow y Forney, 2007; Wade y Gerrodette, 1993). En el ecosistema de la Corriente de California, también se observan diferencias de hasta seis órdenes de magnitud en la abundancia de las distintas especies registradas (Barlow y Forney, 2007). Las estimaciones de abundancia presentadas en este trabajo, si bien no son absolutas, si representan una de las pocas aproximaciones que consideran a todas las especies de mamíferos marinos del OPM, lo cual permitirá en el mediano y largo plazos, tener elementos que permitan evaluar si las actividades humanas están teniendo un efecto en la composición de estas especies en el OPM, ya que como sugieren Barlow y Forney (2007), la abundancia es un elemento fundamental para evaluar estos posibles impactos.

Medrano González *et al.* (2008) proponen que en el OPM se presentan zonas de transición oceanográfica con cambios en las condiciones del hábitat dados por la confluencia de las corrientes Norecuatral y de California, donde se distribuyen animales con distintas características de afinidad biogeográfica se distribuyen, y en los cuales existen cambios en las abundancias de las especies. Es justo en esta zona de transición en donde se ha documentado una hueco en la distribución del delfín común de rostro corto (Ballance *et al.*, 2006; Reilly y Fiedler, 1994), que concuerda con la sugerencia de los cambios en las abundancias sugeridos por Medrano González *et al.* (2008), relacionados con cambios en las características del hábitat. Lo anterior puede explicar porque estos delfines son la especie más abundante tanto al sur del OPM en el POT, como al norte en el ECC, pero no en el OPM donde los delfines moteados son la especie más abundante (Figura 22).

La heterogeneidad de ambientes existente en el OPM, en características tales como la temperatura y influencia de corrientes, puede explicar el porqué el delfín de costados blancos del Pacífico es la octava especie más abundante en este estudio, pero la tercera en el ECC (Barlow y Forney, 2007) y la cuarta en el trabajo de Medrano González *et al.* (2008). En este último se hace una subdivisión del OPM en regiones oceanográficas donde el delfín de costados blancos está restringido a la región del Pacífico Norte de México, que tiene fuerte influencia del ECC, junto con otras especies como la marsopa de Dall, el delfín liso boreal y la foca común (*Phocoenoides dalli*, *Lisodelphis borealis* y *Phoca vitulina*). En el caso particular de la marsopa de dall y del delfín liso, estas especies no fueron registradas en este trabajo, pero se documentaron como la segunda y la séptima con más abundancia para el ECC (Barlow y Forney, 2007). Lo anterior indica que los requerimientos particulares de las distintas especies así como su estacionalidad, son elementos que se deben analizar en el mediano plazo, para tener un conocimiento más integral y completo de los atributos ecológicos de estos animales en el OPM.

El nivel de cobertura de la mastofauna marina del OPM indica que existe una gran heterogeneidad entre las especies (Figura 22a). Seis especies, incluidas las tres del género *Stenella*, las dos del género *Delphinus* y la tonina (*T. truncatus*), son las más

abundantes y presentaron valores de cobertura de entre el 50 y el 77%, con excepción del delfín común de rostro largo (*D. capensis*), que fue la cuarta especie más abundante, pero la número 18 en cobertura de distribución (Figura 22a). También se observan especies con valores de cobertura bajos, similares a los de la endémica vaquita, como el rorcual de Sei y los zifios de Hubb y de Longman (*B. borealis*, *M. carlhubbsi*, *I. pacificus*), sin embargo estas especies con distribución restringida son especies para las cuales su identificación en el mar es particularmente difícil (ver Jefferson *et al.*, 2008). En el caso de los zífidos esto ha sido tan complicado que incluso en los últimos años se han descrito nuevas especies, las cuales nunca han sido identificadas con vida en el mar (Dalebout *et al.*, 2002) por lo que sus áreas reales de distribución no se conocen, mientras que para el rorcual de Sei se considera que éste tiene una distribución amplia que abarca prácticamente todo el OPM (Jefferson *et al.*, 2008). La heterogeneidad en la cobertura de las especies sugiere que ésta está relacionada con los requerimientos particulares de las especies en ambientes específicos (Berta *et al.*, 2006). Ejemplos de lo anterior son los delfines de costados blancos del Pacífico (*L. obliquidens*) y las focas de puerto (*P. vitulina*) (Medrano González *et al.*, 2008), que están asociadas a la corriente de California, o el delfín común de rostro largo (*D. capensis*) restringido a las aguas de la Península de Baja California (datos de este trabajo y Medrano González *et al.*, 2008). Un patrón similar, con aclimataciones particulares de las especies a distintos ambientes, ha sido propuesto por Arellano Peralta (2010), para los animales que se distribuyen dentro del Golfo de California. Todo lo anterior indica que deben realizarse estudios que consideren tanto la variación espacial, ambiental y estacional, como el uso del hábitat, en diferentes escalas, para la mastofauna marina.

El delfín de Risso y el delfín de dientes rugosos (*G. griseus* y *S. bredanensis*) son especies con valores de cobertura altos (>50%), pero con valores de abundancia menores en un orden de magnitud, comparados con las especies del grupo más abundante (Figura 22a). Se ha documentado que estas especies en el OPM, a diferencia de las especies con mayor abundancia, tienden a presentar menor grado de agregación (grupos más pequeños; Medrano González *et al.*, 2008). Sin embargo, no se ha desarrollado ninguna aproximación dirigida a explicar porqué especies con valores altos de cobertura tienen

números poblacionales menores a otras con coberturas iguales o menores. Una posible explicación puede estar relacionada con una limitación en la cantidad de presas que las distintas especies depredan (especialización), la cual, deberá ser analizada.

Los resultados obtenidos aquí indican que el aporte de biomasa de las ballenas es ligeramente mayor al de los delfines, pero que la fracción de consumo es considerablemente mayor en los delfines (Tabla 3). En el ECC, Barlow *et al.* (2008) estimaron que el aporte total de biomasa de las ballenas es 2.5 veces mayor que el de los delfines, pero con valores de consumo muy cercanos. Las diferencias entre los valores de biomasa de las ballenas y delfines documentadas en este trabajo con relación a las registradas en el ECC, pueden tener diversas explicaciones. Una de ellas es que en México, la presencia de varias especies de ballenas es estacional y relacionada con movimientos migratorios (ver Guerrero Ruíz *et al.*, 2006). Casos notables son los de las ballenas grises (*E. robustus*) y las ballenas jorobadas (*M. novaeangliae*), las cuales tienen presencia estacional marcada en las aguas del OPM, y cuyas mayores abundancias se concentran principalmente entre los meses de enero a mayo, período para el cual no existen datos debido a que las navegaciones realizadas por la NOAA se concentran principalmente entre los meses de julio a diciembre. Un análisis que incluya el período de mayor presencia de estas especies puede cambiar los valores y las diferencias de biomasa observadas entre las ballenas y delfines, no así los valores de consumo, ya que las especies mencionadas migran a las aguas del OPM para llevar a cabo principalmente actividades de crianza y reproducción en las que prácticamente no se alimentan.

En el presente trabajo se encuentra una correspondencia, con un análisis de escala espacial distinta, realizado para los mamíferos marinos del GC (Arellano Peralta, 2010). Se observan similitudes al señalar a las región comprendida entre Mulegé y las grandes Islas, las aguas de la Bahía de La Paz, las aguas al norte de las Islas, como zonas de biomasa y consumo importantes para estos animales dentro del GC (Figura 25b,c). También se observan diferencias, como es el caso de las aguas circundantes a la región de Los Cabos en Baja California Sur, donde la biomasa y el consumo son mayores en el caso del análisis de Arellano Peralta (2010). Estas diferencias pueden deberse a que los

datos analizados por Arellano Peralta (2010) consideran una escala estacional más amplia (todos los meses del año), en comparación con los datos usados aquí, que se concentran fundamentalmente en los meses de julio a diciembre. Estas diferencias en la variable estacionalidad pueden ser las responsables de las discrepancias observadas en algunas zonas. Lo anterior resalta la importancia de realizar análisis que consideren la variable estacionalidad para determinar como ésta, puede afectar la identificación de patrones de gran escala.

La biomasa y el consumo de los grupos son heterogéneos, indicando que las especies, utilizan de manera diferente los espacios dentro del OPM (Figura 25, 26), lo cual corresponde con lo observado por Kenney y Winn (1986), quienes documentaron que existen diferencias en la biomasa de los cetáceos que se distribuyen en hábitats con características diferentes, teniendo algunas especies una preferencia marcada (mayor densidad) por algunos de los hábitats que se encuentran dentro de su área de distribución. La endémica vaquita (*P. sinus*), único representante del grupo de las marsopas, se encuentra restringida a una pequeña área localizada en el Alto Golfo (Figura 7d). En el OPM, se tienen identificadas con poblaciones residentes y bien establecidas, 4 especies de pinnípedos para las cuales existen estimaciones de abundancia absoluta (SEMARNAT, 2000): el lobo fino de Guadalupe (5,000-7,600 individuos), el elefante marino del norte (20,000 individuos), la foca de puerto (~2000 individuos) y el lobo marinos de California (~93,000 animales) (*A. townsendi*, *M. angustirostris*, *P. vitulina* y *Z. californianus*). Estas 4 especies fueron documentadas en este trabajo, sin embargo sus coberturas cubren menos de la mitad del área conocida en la que se han sido registradas (Figura 26f; ver Ceballos y Oliva, 2005 y capítulo de distribución de esta tesis), por lo que los consumos registrados aquí pueden estar subestimados de manera considerable. Lo anterior puede deberse a los hábitos de estas especies, las cuales siguen dependiendo en gran medida del ecosistema terrestre, en donde descansan y cuidan de sus crías, además de que en el mar son más difíciles de detectar que los cetáceos.

El consumo de las ballenas alcanza sus mayores valores en la región de las grandes Islas y en la región comprendida entre Isla Cedros y la frontera entre México y Estados Unidos (Figura 26a). Según una regionalización del OPM, que refleja la distribución y las diferencias entre los ambientes bentónicos-neríticos (0-200 m) y los pelágicos-oceánicos, y que identifica 19 regiones a este nivel (Lara-Lara *et al.*, 2008), las zonas en las que se observa el mayor consumo de las ballenas son las definidas como: Plataforma Cortesiana y Grandes Islas, dentro del GC; y Plataforma Sandieguina y Margen Continental de Baja California, en la costa occidental de la Península de Baja California. Lo anterior indica que el consumo de las ballenas se da preferentemente en zonas con profundidades menores a los 200 m. Por el contrario, el consumo de los cachalotes (Figura 26b) alcanza sus mayores valores en lo que se definió como región del Talud y depresiones del Golfo de California (Lara-Lara *et al.*, 2008), lo cual concuerda con lo documentado por Guerrero Ruíz *et al* (2006), quienes sugieren que existe una población semiresidente de hembras, jóvenes y crías de cachalotes (*P. macrocephalus*), en esta zona del GC. Con relación al consumo de los zífidos, se observa un patrón inverso con relación al consumo de los cachalotes (Figuras 26b, e). En los cuadrantes en los que hay valores altos de consumo para los cachalotes, el consumo de los zífidos es bajo y viceversa. Lo anterior sugiere que existe algún tipo de limitante, que afecta el que las especies de ambos grupos puedan tener consumos altos dentro de las mismas áreas. En particular, ésta aparente exclusión, parece ser el resultado de la interacción entre dos especies en particular: el cachalote (*P. macrocephalus*) y el zifio de Cuvier (*Z. cavirostris*). En el GC, Arellano Peralta (2010) encontró que la distribución geográfica de estas dos especies está más alejada entre sí que la de las otras especies entre ellas incluso el zifio de Cuvier (*Z. cavirostris*) tiene valores de abundancia y un patrón de cobertura muy parecido al del cachalote enano (*K. sima*), tanto dentro del GC como en todo el OPM (ver Arellano Peralta, 2010 y capítulo de distribución de esta tesis). Tanto el zifio de Cuvier como el cachalote son las especies más abundantes de sus respectivos grupos, por lo que aunque el mapa de consumo indica los consumos a nivel de grupo, esos consumos están dominados por estas dos especies, lo cual nos permite inferir que la aparente exclusión, está influenciado principalmente por estas dos especies.

El consumo de los delfines presenta un patrón similar al del consumo global, lo cual se esperaba dado que estos animales representan el 99% de los individuos registrados (Tabla 3). Este grupo, a diferencia de los otros, tiene una cobertura del 100% y valores de consumo altos a lo largo de todo el eje longitudinal del OPM, sobre todo en los cuadrantes que se encuentran más cercanos a la costa (Figuras 25c y 26c). Lo anterior sugiere que los delfines son el grupo más abundante de mamíferos marinos en el OPM, porque son el único grupo que ha logrado distribuirse dentro de toda el área, haciendo uso de los distintos tipos de hábitats que aquí se presentan, como son las zonas de surgencia, en el caso de los delfines comunes de rostro largo (*D. delphis*) y los delfines de Risso (*G. griseus*), y la adaptación a hábitats de aguas cálidas con termoclinas someras, como es el caso de los delfines moteados y tornillo (ej. *S. attenuata* y *S. longirostris*) (ver Medrano González *et al.*, 2008). Al mismo tiempo esta capacidad de adaptación, es lo que ha permitido el establecimiento de poblaciones locales, sobre todo en zonas costeras, de diversas especies de delfines dentro del OPM, como respuesta a fenómenos climáticos de gran impacto, como son los períodos interglaciares (Medrano González, 2006; Pompa Mansilla, 2007; Vitoria Gómora, 2007).

Todos los grupos, con excepción de las marsopas y los pinnípedos, presentan diferencias en los consumos de hasta 5 órdenes de magnitud en los distintos cuadrantes (Figura 26). Lo anterior indica que el consumo y el tamaño, no son la única explicación para la presencia de las especies en los cuadrantes en los que se documentaron valores de residual bajos (Figura 24). Lo anterior sugiere que las diferentes especies utilizan el espacio de manera heterogénea, teniendo algunas zonas que son importantes para la alimentación y al mismo tiempo distribuyéndose en áreas en las que otras actividades pueden estarse llevando a cabo. Arellano Peralta (2010) sugiere que las áreas en las que algunas especies desarrollan distintas actividades básicas, como alimentación y reproducción, son el motivo fundamental del establecimiento de poblaciones locales bien diferenciadas de algunas especies de mamíferos marinos dentro del GC. Entre las especies que se han documentado con poblaciones locales o residentes se encuentran los lobos marinos de California (*Z. californianus*), los cachalotes (*P. macrocephalus*), los

rorcuales comunes (*B. physalus*) y los delfines comunes de rostro largo (*D. capensis*) (Bérubé *et al.*, 2002; Guerrero Ruíz *et al.*, 2006; Perrin *et al.*, 1985; Schramm *et al.*, 2009).

En lo referente al tránsito, se ha propuesto previamente que la región alrededor de los Cabos, Baja California Sur, es una zona importante para el tránsito y el desplazamiento de especies de diversos grupos, hacia dentro y fuera del GC, en busca de hábitats adecuados para alimentarse y reproducirse (Arellano Peralta, 2010). Nuestros datos indican que los cuadrantes con valores bajos de residual, que podrían ser importantes para el tránsito de las especies, se localizan tanto en el GC, el Pacífico Norte en la frontera entre México y Estados Unidos, y en la región Pelágica al suroeste de la Isla Clarión (Figura 24). En el caso particular del Pacífico Norte y el GC se sabe que éstas son zonas en las que las que varias especies de ballenas, entre las que se encuentran las azules, las grises, las jorobadas y las de aleta, realizan migraciones y/o movimientos anuales, entrando y saliendo de estas áreas del OPM (ver Ceballos y Oliva, 2005 y Guerrero Ruíz *et al.*, 2006). Los datos utilizados en el presente estudio no incluyen toda la estacionalidad que se presenta en el OPM, siendo los meses que no se incluyen en los que se da la mayor presencia de las especies mencionadas.

Atributos tales como la alimentación, reproducción, crianza y tránsito, son fundamentales para tomar decisiones adecuadas de conservación y deben ser analizados desde una perspectiva que abarque diferentes escalas (Arellano Peralta, 2010). En los últimos años se ha acumulado una gran cantidad de conocimiento enfocado en contar con estimaciones de abundancia de estos animales, sin embargo, son pocas las especies para las que se cuenta con una estimación de abundancia general dentro de todo el OPM, entre estas especies se encuentran las cuatro especies de pinnípedos que tienen colonias bien establecidas en el OPM (Semarnat, 2000); la ballena jorobada (Urbán *et al.*, 1999); y la vaquita marina (Gerrodette *et al.*, 2010), mientras que existe más información para varias especies, con lo relacionado a su abundancia, para zonas más específicas, por ejemplo el caso de las orcas (*O. orca*) para la región comprendida entre Los Cabos y Oaxaca (Salazar Bernal, 2005), la ballena de aleta en el GC (Díaz Guzmán, 2006), la tonina, el cachalote enano y el delfín de dientes rugosos (*T.*

*truncatus*, *K. sima* y *S. bredanensis*) en la Bahía de Banderas y sus aguas adyacentes (Pompa Mansilla, 2007; Vilorio Gómora, 2007), y son aún menos los estudios que realicen aproximaciones encaminadas a entender patrones más generales de la composición de las comunidades (Arellano Peralta, 2010; Chávez Andrade, 2006; Medrano González *et al.*, 2008; Pardo Rueda, 2009), aunque todos estos se han enfocado a la región del GC.

# **Macroecology of marine mammals species in the Mexican Pacific Ocean: diversity and distribution**

Hiram Rosales-Nanduca<sup>1,4</sup>, Tim Gerrodette<sup>2</sup>, Jorge Urbán-R<sup>3</sup>,  
Gustavo Cárdenas-Hinojosa, Luis Medrano-González<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México  
Circuito exterior, Ciudad Universitaria. México, DF. 04510. México

<sup>2</sup>Southwest Fisheries Science Center, National Oceanic and Atmospheric  
Administration

3333 North Torrey Pines Court, La Jolla, CA. 92037. USA

<sup>3</sup>Departamento de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur  
Km 5.5 Carretera al Sur. La Paz, BCS. 23080. México

<sup>4</sup>Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México  
Circuito exterior, Ciudad Universitaria. México, DF. 04510. México

\*Email: medranol@ciencias.unam.mx

RUNNING HEAD: Marine mammals in the Mexican Pacific

KEY WORDS: Marine macroecology, Marine mammal, Mexican Pacific, Geographic distribution, Species diversity, Species risk, Species commonness.

ABSTRACT: The Mexican Pacific Ocean, defined here in the geographic intervals 12 - 34° N and from the coast to -122°, encompasses an oceanographic transition zone where different bounds in species distribution as well as in population and community structures take place. In order to infer historical and current processes controlling marine mammal distributions and to develop an analytical framework to examine marine mammal ecological responses to the current rapid environmental changes, we have compiled and analyzed data from 11,145 marine mammal sightings made between years 1981 and 2008 by the National Oceanic and Atmospheric Administration, Universidad Autónoma de Baja California Sur and Universidad Nacional Autónoma de México. In 2° by 2° cells, we have estimated alpha and beta diversities in terms of species richness, commonness as the occurrence of species among years, tropicality as the proportion of tropical species and occurrence of species in a degree of threat according to the IUCN Red List. Current marine mammal distributions seem to come out of a postglacial northwards expansion of tropical pelagic species and a retention of upwelling-rich tropical and subtropical habitats nearshore by antitropical species. Analysis of commonness indicates that species distributions and thus biogeographic boundaries are dynamic since marine mammals transit large distances in general and especially around southern Baja California. Analysis of beta diversity shows a considerable degree of spatial heterogeneity but without a well defined regionalization. Occurrence of species in a degree of risk concentrates northwards in the Gulf of California though species at risk occur also in the Pacific Baja California, Jalisco and Guerrero coasts. This could lead to consider the Gulf of California as a refuge of global value for these animals.

## INTRODUCTION

The eastern tropical Pacific is a region of global biological and economic importance part of which comes from a diverse and abundant marine mammal fauna (Ballance *et al.* 2006, Ferguson *et al.* 2006, Fiedler & Talley 2006, Schipper *et al.* 2008). Therein, the Pacific Ocean west of México encompasses an oceanographic transition region, seasonally variable by the latitude interval 18 - 23° N (Wyrski 1967), in which different limits of species distributions and thus, biogeographic boundaries occur (Briggs 1973, Spalding *et al.* 2007). In accordance with summary reviews (e.g. Reeves *et al.* 2002, Wade & Gerrodette, 1993), up to 45 marine mammal species could be found in the Mexican Pacific region which is operationally defined here in the intervals 12 - 34° N and from the American Pacific coast to -122°. The relatively high diversity of marine mammals in the Mexican Pacific results primarily from the concurrence of tropical and antitropical species (Torres *et al.* 1995, Ballance *et al.* 2006, Medrano González *et al.* 2008). Some of these species have been widely studied while others are known only from a few records. Fundamental as it is, geographical distribution of marine mammals in proper detail of geographic scale and temporal occurrence, is partially known for a few species such as those of genera *Stenella* and *Delphinus* (Perrin *et al.* 1985, Fiedler & Reilly 1994, Reilly & Fiedler 1994, Ballance *et al.* 2006).

Here, we analyze spatial variation in marine mammal diversity in the Mexican Pacific from sighting data by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) and Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) collected during years 1981 - 2008, in order to 1) Infer historical and current processes controlling marine mammal distributions at the biogeographic boundaries within the Mexican Pacific, 2) Develop an analytical framework to examine marine mammal ecological responses to the rapid environmental changes nowadays (e.g. Anderson 2001, Harwood 2001, O'Shea & Odell 2008, MacLeod 2009, Moore 2008) and, in the current context of risk for marine diversity loss and the need to identify priority conservation areas (e.g. Reid 1998, Myers *et al.* 2000, Pauly *et al.* 2002, Malakoff 2004, Worm 2005), 3) Explore the

identification of such areas for marine mammals of the Mexican Pacific based on different criteria such as diversity, occurrence of rare species and occurrence of threatened species. We have entitled our work using the term macroecology *sensu* (Brown 1999) as “*a way of investigating the empirical patterns and mechanistic processes by which the particulate components of complex ecological systems generate emergent structures and dynamics*”.

## METHODS

**Data collection:** We defined the Mexican Pacific region operationally at the latitude and longitude intervals 12 - 34° N and from the coast to -122° (Figure 1, Table 1). In this frame, we compiled information of 11,145 marine mammal sightings among which, 8,598 were identified to species level to sum up a total of 37 (Table 2). These data were obtained in cruises by the Southwest Fisheries Science Center, NOAA during years 1986 - 2006, UABCS during years 2003 - 2007 and UNAM during years 1981 - 1986 and 2003 - 2008 for a total observation effort of 205,053 Km. See Kinzey *et al.* (2000) and Medrano González *et al.* (2008) for details on effort and registration procedures. The study area was framed in cells of 2° by 2° in which we analyzed distribution of species and the faunal attributes 1) Alpha and beta diversity in terms of species richness, 2) Commonness as the occurrence of species among years, 3) Tropicality as the proportion of tropical species and 4) Occurrence of species in a degree of threat according to the IUCN Red List. These attributes were chosen *per se* as needed to rise our inferences and also because they allowed to sum up information from the three datasets listed above (Table 1). Such complementarity was allowed because the heterogeneities of search effort among cells as well as the differences in the observation methodologies used by the three institutions, can be dealt with from the lists of sightings being list size the measure of effort.

**Species distribution, coverage and commonness:** Study area occupied a total of 101 cells of which four were partitioned in one Pacific and one Gulf of California sections to yield a total of 105 (Figure 1). Coverage of the study area by one species was defined as

the fraction of cells where the species was recorded. Commonness of each species in each cell was defined as the fraction of the years in which the species was recorded within the years the cell was visited (Magurran & Henderson 2003) and was calculated with program ANHOSPP developed by L. Medrano in the TurboPascal 3.01 compiler (1985). Besides such spatial-temporal view of commonness, seasonal variation has not been examined at this stage of our analyses as we considered it included in our general inferences about dynamicity of spatial distributions.

**Species diversity and uniqueness:** Species richness by cell, as a measure of species diversity, was determined counting all species registered. In order to standardize the differences of effort and data amounts among cells, species richness was also estimated by the exponential and hyperbolic models analyzed by Soberón & Llorente (1993) using the least-square fitting procedure available on program SIGMAPLOT 8. Data sets of species richness accumulation ( $R_j$ ) along a number of records ( $j$ ) in each cell were fitted to the equations

$$R_j = R_{\max} (1 - \exp(-bj))$$

and

$$R_j = R_{\max} \frac{j}{k + j} \text{ (Michaelis-Menten)}$$

in which  $R_{\max}$  is the parameter of estimated richness,  $b$  is a parameter accounting for the decreasing probability to register a new species as the number of records accumulates and  $k$  is a parameter accounting for the rate at which richness increases along records accumulation. The exponential model is adequate to estimate richness in well sampled and well known sets while the hyperbolic model works better for sets of intermediate completeness. Soberón & Llorente (1993) have also examined a logarithmic model for very uncomplete data sets but being this model not asymptotic, it does not provide a direct estimation of species richness. The hyperbolic saturation

model fitted better in 61 cells while the exponential saturation suited best for 11 cells. For 33 cells with insufficient data, estimation of richness was conducted by averaging the estimations of adjacent cells. Beta diversity was defined following Whittaker (1972) as differences in species richness between adjacent cells and is a measure of how unique is a cell within a region. We analyzed beta diversity on two hierarchical levels of variation. First, we define alpha diversity ( $R\alpha$ ) as the species richness in a cell and then gamma diversity ( $R\gamma$ ) as the diversity in such cell and all cells adjacent to it. The local uniqueness of the cell and thus, how different is it to its neighbourhood is the factor of beta diversity ( $R\beta \geq 1$ ) for which total diversity in the cell and its neighbourhood is:

$$R\gamma = R\beta R\alpha.$$

The richness found in all cells ( $R\epsilon$ ) was then dealt with a second level of beta-type variation that we named here delta diversity ( $R\delta \geq 1$ ) and which is given by the differences among cells-and-neighbourhoods within the whole studied region, this is:

$$R\epsilon = R\delta R\gamma = R\delta R\beta R\alpha$$

Therefore, uniqueness of individual cells with reference to the global diversity in all cells is  $R\beta R\delta$ . A consideration to involve  $R\delta$  in the examination of local uniqueness was that  $R\delta$  is much less sensitive to failures in richness estimation due to the scarcity of data on some cells. To minimize diversity differences due to heterogeneous effort and data amounts between cells, richness in cells ( $R\alpha$ ), cells and their neighbourhoods ( $R\gamma$ ) and the whole studied region ( $R\epsilon$ ) were estimated by the hyperbolic accumulation model of Soberón & Llorente (1993) with the least-square method implemented in programs, developed by L. Medrano as said above, CURVAC (to setup accumulation curve data), ACUMUMM (to estimate hyperbolic-model parameters directly to the Michaelis-Menten equation) and REGINVMM (to estimate hyperbolic-model parameters to the Lineweaver-Burks equation by linear regression of the accumulation-curve data-inverses). For each cell then, species richness (alpha diversity) was counted

and estimated with two accumulation models and the beta-type diversities  $R\beta$  and  $R\delta$  were estimated with the hyperbolic model on two fitting approaches.

**Biogeographic origin and risk level:** Biogeographical affinity of cells was analyzed in terms of tropicality which was defined as the fraction of tropical species. Tropical species were defined as such by having a distribution centered mainly within the Capricorn and Cancer tropics (Medrano González 2006). We analyzed species threat level in cells according to the International Union for Conservation of Nature (2009) Red List in the following ordinal scale: 0) Low concern (LC) and data deficient (DD), 1) Near threat (NT), 2) Vulnerable (VU), 3) Endangered (EN) and 4) Critically endangered (CR). Risk-measures at cells were the median risk level, the highest risk level as well as the frequencies of the classes in the intervals 1 - 4 (NT, VU, EN, CR), 2-4 (VU, EN, CR), 3 - 4 (EN, CR) and 4 (CR). All these six measures were calculated with program NUMORD developed by L. Medrano as said above. The frequency of risk-classes in the interval 1 - 4 was weighted by estimated richness, species rarity, defined as 1 - commonness, and beta diversity to identify areas with priority for conservation of marine mammals taking into account biological attributes of these animals and not only their risk condition.

All software developed in this work is available as executable and as source code upon request.

## RESULTS

From a total of 11,145 marine mammal sightings made between years 1981 and 2008 in the Mexican Pacific region, 8,598 were identified to species level for a total registered richness of 37 species which include one assumed record of *Indopacetus pacificus*. Five species were pinnipeds (Pinnipedia) and 32 were cetaceans (Cetacea) among which seven were baleen whales (Mysticeti), 15 were dolphins (Delphinidae), three were sperm whales (Physeteroidea), one was a porpoise (Phocoenidae) and six were beaked whales (Ziphiidae). Dolphins were the most widely distributed group as they were

found in 100% of the cells surveyed. Dolphin's coverage was followed by baleen whales (82%), beaked whales (61%), sperm whales (57%), pinnipeds (37%) and porpoises (2.9%).

Based on the difference between adjacent species in the commonness rank of Figure 2, we distinguished three primary sets that we called common, not so common and rare species. Most common species in the Mexican Pacific region are in general those occupying the largest ranges such as the three *Stenella* species (*S. attenuata*, *S. longirostris* and *S. coeruleoalba*), the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and the short-beaked common dolphin (*Delphinus delphis*). Common species also include the populations of the fin whale (*Balenoptera physalus*) and the long-beaked dolphin (*Delphinus capensis*) resident in the Gulf of California. Rare species have in general the smallest ranges. Records appearing as rare species include some extralimital such as the Hubb's beaked whale (*Mesoplodon carlhubbsi*) and the Galapagos fur seal (*Arctocephalus galapagoensis*), some common species outside their core ranges such as the Guadalupe fur seal (*Arctocephalus townsendi*) and the gray whale (*Eschrichtius robustus*) and some truly rare and/or scarce such as the Fraser's dolphin (*Lagenodelphis hosei*) and the pygmy beaked whale (*Mesoplodon peruvianus*).

We found a general correspondence between commonness and coverage among commonness classes; a log-log regression of the 37 species recorded yielded the allometric relationship  $\text{Commonness} \propto \text{Coverage}^{0.31}$  ( $r^2 = 0.48$ ). There was however a high variation in coverage within commonness classes and for all the three, we observed two blocks of coverage (low and high) which defined a total of six groups (Figure 3). Common species appeared all over the regression line while not so common and rare species were mostly located under. Species commonness was also bimodal with *Stenella* spp., *T. truncatus* and *B. physalus* as the most common species (ca. 0.6). Commonness was in general lower by the Pacific area off Baja California as well as higher and more irregular westwards and southwards. Low patches of commonness occurred around Socorro Island and Bahía Banderas (Figure 4).

Composition of diversity into cells of 2° by 2° showed a higher species richness in waters close to shore by the southern Baja California Peninsula. Two different accumulation-curve models indicated that this pattern is conserved but showing an increase in the richness of all cells, especially around the Baja California Peninsula with high contrasts between adjacent cells at the northern Gulf of California, the Gulf of Tehuantepec and the southwest pelagic region. Richness estimation also unveiled some patches of high diversity such as the waters between the Baja Peninsula and Guadalupe Island, the surroundings of Socorro Island and the Guerrero coast. Cell 66, at Baja California southern edge, showed the highest observed richness with 26 species out of a total of 37 while cell 74, bounding north of cell 66, had the highest estimated richness with 31 species out of a total of 42 (Figure 5).

Beta diversity ( $R\beta$ , heterogeneity between adjacent cells) is expected to indicate biogeographic boundaries but our results showed irregular, partial and diffuse-frontiers among which we recognized the following: 1) The Midriff Islands in the Gulf of California, 2) The West coast of northern Baja California extending southwards to the pelagic region off southern Baja California. This bound probably extends diffusely to the mouth of the California Gulf as insinuated by the higher  $R\beta$  value of cell 57 bounding south of cell 66 at Baja California Peninsula edge; and 3) The Tehuantepec Gulf and adjacent southern margin. Marine mammal community heterogeneity on the broader scale of delta diversity ( $R\delta$ ) and with the sole reference of total diversity, showed a simpler and smoother pattern as compared with  $R\beta$ . Delta diversity had the Baja California-centered pattern described for species richness but in this case,  $R\delta$  was low around the Baja Peninsula edge and in the southern and mid Gulf of California;  $R\delta$  smoothly increased away of this region and then showed steep increases towards the edges of the studied region and at the northern Gulf of California (Figure 6). The product of delta and beta diversities ( $R\beta R\delta$ , uniqueness of cells with reference to total diversity) was intermediate between  $R\beta$  and  $R\delta$  patterns and remarkably similar to the tropicality map. Both maps were the inverse of the species richness map (Figures, 5 7). As dependent variable, tropicality scaled with  $R\beta R\delta$  as  $Tropicality=0.96 (1-\exp(-1.15 R\beta R\delta))$  with regression index  $r^2=0.46$ . Tropicality scaled with species richness ( $R\alpha$ ) as

Tropicality= $-8.05 R\alpha+1.03$  with  $r^2=0.48$ . Both regressions were statistically significant by the F-test ( $p<0.01$ ).

From the total 37 species recorded, 24 are tropical (63%). Tropical species occurred in all cells while antitropical species occurred in 75 cells (71% coverage). The minimum fraction of tropical species present in all cells was 72%. In general, tropicality of species composition increased away from the Baja California Peninsula apparently bounding the California Current and the Gulf of California. It was noticeable that marine mammals from the North Gulf of California had a high degree of tropicality in contrast to the rest of the gulf (Figure 7).

All measures of species risk in cells showed the same general spatial pattern. Most of the Mexican Pacific showed low risk values for marine mammals but high values concentrated around the Baja California Peninsula. Species risk values were higher in the upper half of the Gulf of California, especially North of the Midriff Islands. The risk scale based on the record with the maximum risk value was of relevance as it shows the occurrence of threatened species without a masking effect by the occurrence of non-threatened species. This scale showed levels of risk at coastal and pelagic waters in the range 20 - 34° N, in coastal waters southwards down to Guerrero and Oaxaca coasts and a pelagic patch around 14° N (Figure 8, A-B). Maps in which species risk was weighted by estimated richness, beta diversity and rarity, had all a similar pattern indicating that the Midriff Islands area, the upper Gulf of California and the waters around the Pacific coast of Baja California Peninsula are areas of marine mammal conservation priority (Figure 8, G - I).

## DISCUSSION

From the fact that estimation of marine mammal richness in 72 out of 105 cells worked better with the hyperbolic and exponential species-accumulation models of Soberón and Llorente (1993), we conclude following these authors, that marine mammal diversity across the Mexican Pacific is in general well sampled in our data. The 33

poorly sampled cells for which richness estimation was not conducted from species-accumulation curves, are located mostly in the margins of the studied region and those very little along the coast such as cell 31. In the Mexican Pacific frame defined here, we have observed 37 species of confident identity. From a total-richness accumulation curve, we have estimated the occurrence of 42 species but know the possible existence of up to 45 species of which we failed to detect seven species from the North Pacific biogeographic region; these are: the locally extirpated *Enhydra lutris*, the recently discovered *Mesoplodon perrini* as well as the marginal *Phocoenoides dalli*, *Lissodelphis borealis*, *Mesoplodon stejnegeri*, *Mesoplodon ginkgodens* and *Eubalaena japonica*. Our data fail to record those species because the lack of effort in the Pacific coast of Baja California during the winter and the springtime. We consider this as the greatest gap in our study.

Species richness shows a general pattern of high values around the southern edge of Baja California which decrease along distance and with variation noted in the northern Gulf of California where we saw lower values and the coast between Guerrero and western Tehuantepec Gulf, where high values were observed. The inverse pattern is seen for beta-delta diversity (uniqueness of cells with reference of the whole studied region) and tropicality. Leaving aside contrastant cells with small sample sizes, richness spots also occur around Guadalupe and Socorro Islands. The Jalisco Coast is also highlighted as a low tropicality and with species of maximum risk values area. Patterns of richness, uniqueness at different scales and tropicality are all in agreement with the idea that current marine mammals distributions come out of a postglacial northwards expansion of tropical pelagic species and a retention of upwelling-rich tropical and subtropical habitats nearshore by antitropical species (Medrano González 2006, Medrano-González *et al.* 2008). We have proposed that tropical pelagic species distributions displace northwards in response to the postglacial expansion of tropical environments forming different patterns of relatively homogeneous but dynamic pelagic populations as well as fragmented coastal populations as it happens with the spotted dolphin *Stenella attenuata* (Escorza-Trevino *et al.* 2002). Because of their large vagility and physiological regulation capacities,

distributions of marine mammals change more as expansions and contractions in dynamic adaptation to variable suitable habitats rather than shifts following fixed adequate environments (Fiedler & Reilly 1994, Reilly & Fiedler 1994, Ballance *et al.* 2006, Medrano González 2006). Therefore, processes which affect population structure, such as dispersion and growth, in the distribution boundaries of marine mammals, have important implications at large geographic scale such as the interhemispheric gene flow among humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, of the East Pacific (Baker *et al.* 1993, Medrano-González *et al.* 2001). Research for other marine mammals dealing on genetic variation (Bérubé *et al.* 2002, Escorza-Trevino *et al.* 2002, Schramm Urrutia, 2002, Natoli *et al.* 2006) as well as on distribution and morphologic variation (Davies 1963, Fiedler & Reilly 1994, Perrin 1984, Reilly & Fiedler 1994, Perrin *et al.* 1985, Ballance *et al.* 2006, Fiedler & Talley 2006) in the eastern Tropical Pacific, shows that different species share some aspects of their population structure and history being them much shaped by changes in geographic distribution in relation to climate change during glacial-interglacial alternations. An important aspect of distribution change of marine mammals of the East North Pacific is the establishment of local nearshore populations such as the neritic spotted dolphin, *Stenella attenuata graffmani*, in the continental coast south of 23° N and the long-beaked common dolphin, *Delphinus capensis*, in the Gulf of California and Pacific Baja California coasts (Perrin 1984, Perrin *et al.* 1985, Rosel *et al.* 1994, Escorza-Trevino *et al.* 2002, Natoli *et al.* 2006).

Analysis of beta diversity shows not well defined frontiers probably because the many sorts of temporal (yearly and seasonal, regular (e.g. migratory) and irregular) variations in species distributions which have not been accounted in detail. We anyway recognize three faunistic regions from marine mammal diversity: 1) the Upper Gulf of California, 2) the Gulf of California south of the midriff islands region down to the mouth and including the Pacific coast off southern Baja California north up to San Benito Islands and 3) the pelagic region along all the latitude interval examined and the coastal area between the mouth of the Gulf of California and the Tehuantepec Gulf. The distinction of these areas has a general resemblance to the regionalization by Lara-Lara *et al.* (2009) and Wilkinson *et al.* (2009) on the basis of neritic-benthonic and

pelagic environments as well as on large geostructures such as continental slopes, abyssal plains, mountain ranges and oceanic islands. Regions 1 and 2 mentioned above, are also coincident with a regionalization of *D. delphis* by Perrin *et al.* (1985). Beta diversity fades towards the southwest pelagic region and we interpret that marine mammal communities are more homogeneous southwards in the pelagic realm.

The map of delta and beta diversities combined is remarkably similar to the tropicality map and they both are almost the exact inverse of the species richness map. We interpret that tropical marine mammal fauna is near uniformly distributed in the studied region, especially in the extense pelagic environments, while antitropical species occur restricted to coastal environments around the Baja California Peninsula, seemingly associated to upwelling (Ballance *et al.* 2006).

Commonness by species is on average lower compared to commonness by cells and we interpret this as indicative of distribution change among years in mesoscale and thus, of marine mammals continuous dispersal over large distances and times. Variation in distribution as seen on smaller commonness values, is higher around southern Baja California suggesting that marine mammals occur in this region mostly in transit among the oceanographic boundaries defining the tropical Pacific, the North Pacific and the Gulf of California as well as along a steep topography which allows the close occurrence of coastal and pelagic species. The particular oceanography and ecology of the Gulf of California, especially its high productivity, have favoured different sorts and degrees of marine mammal population establishments in this region such as the vaquita, the fin whale, the sperm whale, the long-snouted common dolphin and the California sea lion (Ferguson *et al.* 2006, Schramm-Urrutia 2002, Urbán-Ramírez *et al.* 2005). Nevertheless, distribution of feeding and calving areas for marine mammals in the Gulf of California are different indicating a global high degree of travelling within the Gulf of California as well as travelling between the Gulf of California and the adjacent Pacific Ocean (Arellano Peralta 2010). Transit, especially around the southern Baja California coast, is therefore relevant for the life of marine mammals and also a

main factor accounting for changes in species distributions and thus, biogeographic boundaries as well.

Our risk picture for marine mammals is different from the picture of marine anthropogenic impacts by Halpern *et al.* (2008). Our map of maximum risk in particular, looks like the inverse of Halpern *et al.* (2008) map in which the Pacific region off Baja California shows lower impacts while the coastal and adjacent pelagic regions between Nayarit and Guerrero as well as a few regions within the Gulf of California show higher impacts. Therefore, we rise concern about the fact that marine mammal fauna around the Baja California Peninsula down to 18° N has an intrinsic high vulnerability and thus that human developments in this area may have particularly negative impacts to these animals as compared to other regions. An important agreement between high impacts in the map by Halpern *et al.* (2008) and high marine mammal risk in this work, occurs in the northern Gulf of California which is an important habitat for some threatened species such as the fin whale, the sperm whale and particularly the endemic vaquita. We must notice that 14 marine mammal species of the Mexican Pacific (38% of the 37 species recorded in this work) ranked as Data Deficient by the IUCN and thus, risk picture may be underestimated. The risk-class 1 - 4 frequency measure of risk, as a way to determine conservation priorities in space, seems to be adequate in terms of balancing the occurrence of high- and low-risk species, of properly contrasting differences among cells and of maximizing spatial covering. The maximum risk map may be useful too to define minimum conservation sites in the short term.

Spatial patterns of diversity, commonness, and tropicality of marine mammals in the Mexican Pacific region yield what is to us a basic notion of historical processes which have shaped the current distributions and assemblies of these animals in relation to environmental changes such as the glacial-interglacial alternations in the coastal and pelagic realms. Such patterns also show that marine mammal distributions and assemblies are quite dynamic nowadays and for us, travelling of these animals between feeding and calving areas emerges as one primary element to explain such

variation but for which, a basic ecology remains still to be developed. The dynamicity of marine mammal distributions therefore, has important consequences to determine conservation priorities for spaces and species. One important result is the high occurrence of threatened marine mammals within the Gulf of California as contrasted to the adjacent Pacific Ocean. This could lead to consider the Gulf of California as a refuge of global value for these animals given also the global oceanographic and biological singularity of this sea (Arellano Peralta 2010).

### ACKNOWLEDGEMENTS

We are greatly indebted to all those in NOAA, UABCS and UNAM who have, at sea or at labs, contributed for building the analyzed dataset.. We acknowledge in particular the work of A. Aguayo, V.A. Arellano, H. Arita, L.F. Bourillón, G. Cárdenas, M.A. Fernández, L.T. Findley, A. Gómez, E. Martínez, E.M. Peters, L. Rojas, M.A. Salinas, S.E. Smith, M.J. Vázquez, O. Vidal, many students at UNAM and UABCS, the scientific and operative crews of R/V El Puma as well as the support by H. Armada de México, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (by funding project 38605-V and the scholarship to H. Rosales), Posgrado en Ciencias Biológicas, and the OBIS Seamap. For the NOAA information, we thank the numerous observers who collected data, the officers and crew of the NOAA vessels and the support of many people at the Southwest Fisheries Science Center. NOAA data were collected under research permits issued by the Mexican government and we thank L. Rojas by allowing access to them. We finally thank L. Ballance and other two anonymous reviewers by their detailed and helpful comments

## LITERATURE CITED

- Anderson PK (2001) Marine mammals in the next one hundred years: twilight for a Pleistocene megafauna? *Journal of Mammalogy* 82: 623-629.
- Arellano Peralta VA (2010) Mamíferos marinos en el Golfo de California: macroecología, impacto humano y su perspectiva hacia la conservación. MS dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- Baker CS, Perry A, Bannister JL, Weinrich MT, Abernethy RB, Calambokidis J, Lien J, Lambertsen RH, Urbán JR, Vasquez O, Clapham PJ, Alleng A, O'Brien SJ, Palumbi SR (1993) Abundant mitochondrial DNA variation and world-wide population structure in humpback whales. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 90: 8239-8243.
- Ballance LT, Pitman RL, Fiedler PC (2006) Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69: 360-390.
- Bérubé M, Urbán RJ, Dizon AE, Brownell RL, Palsbøll PJ (2002) Genetic identification of a small and highly isolated population of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Sea of Cortez, México. *Conservation Genetics* 3: 183-190.
- Briggs JC (1973) *Marine zoogeography*. McGraw-Hill. New York, NY.
- Brown JH (1999) Macroecology: progress and prospect. *Oikos* 86: 3-14.
- Davies JL (1963) The antitropical factor in cetacean speciation. *Evolution* 17: 107-116.
- Escorza-Trevino S, Lang A, Dizon AE (2002) Genetic differentiation and intraspecific structure of eastern tropical Pacific spotted dolphins, *Stenella attenuata*, revealed by mitochondrial and microsatellite DNA analyses. Report LJ-02-38. NOAA-SWFSC. La Jolla, CA.
- Ferguson MC, Barlow J, Fiedler P, Reilly SB, Gerrodette T (2006) Spatial models of delphinid (family Delphinidae) encounter rate and group size in the eastern tropical Pacific Ocean. *Ecological Modelling* 193: 645-662.
- Fiedler PC, Reilly SB. 1994. Interannual variability of dolphin habitats in the eastern tropical Pacific. II: Effects on abundance estimated from tuna vessel sightings, 1975-1990. *Fishery Bulletin* 92: 451-463.

- Fiedler PC, Talley LD (2006) Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69(2-4):143-180.
- Halpern BS, Walbridge S, Selkoe KA, Kappel CV, Micheli F, D'Agrosa C, Bruno JF, Casey KS, Ebert C, Fox HE, Fujita R, Heinemann D, Lenihan HS, Madin EMP, Perry MT, Selig ER, Spalding M, Steneck R, Watson R (2008) A global map of human impact on marine ecosystems. *Science* 319: 948-952.
- Harwood J (2001) Marine mammals and their environment in the twenty-first century. *Journal of Mammalogy* 82: 630-640.
- IUCN Red List of Threatened Species (2009) [www.iucnredlist.org/mammals](http://www.iucnredlist.org/mammals)
- Kinzey D, Olson P, Gerrodette T (2000) Marine mammal data collection procedures on research ship line-transect surveys by the Southwest Fisheries Science Center. Southwest Fisheries Science Center, Administrative Report LJ-00-08, 32 p.
- Lara-Lara JR, Arenas FV, Bazán GC, Díaz CV, Escobar BE, García AM, Gaxiola CG, Robles JG, Sosa ÁR, Soto GL, Tapia GM, Valdez-Holguín JE (2008) Los ecosistemas marinos. In: *Capital natural de México, Vol 1*, pp. 135-139: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, DF.
- MacLeod CD (2009) Global climate change, range changes and potential implications for the conservation of marine cetaceans: a review and synthesis. *Endangered Species Research* 7:125-136.
- Magurran AE, Henderson PA (2003) Explaining the excess of rare species in natural species abundance distributions. *Nature* 422 (6933): 714:716.
- Malakoff D (2004) New tools reveal treasures at ocean hot spots. *Science* 304(5674): 1104-1105.
- Medrano González L (2006) Hacia una dinámica de la mastofauna marina mexicana: Análisis de composición funcional y de algunas estructuras genéticas poblacionales. pp 9-19. In: Vázquez-Domínguez E, Hafner DJ (eds). *Genética y mamíferos mexicanos: Presente y futuro*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 32.
- Medrano-González L, Baker CS, Robles-Saavedra MR, Murrell J, Vázquez-Cuevas MJ, Congdon BC, Straley JM, Calambokidis J, Urbán-Ramírez J, Flórez-González L, Olavarría-Barrera C, Aguayo-Lobo A, Nolasco-Soto J, Juárez-Salas RA,

- Villavicencio-Llamosas K (2001) Trans-oceanic population genetic structure of humpback whales in the North and South Pacific. *Museum of Queensland Memoirs* 47: 465-479.
- Medrano-González L, Rosales-Nanduca H, Vázquez-Cuevas MJ, Urbán-Ramírez J, Rojas-Bracho L, Salinas-Zacarías MA, Bourillón-Moreno LF, Vilorio-Gómora L, Peters-Recagno EM, Aguayo-Lobo A (2008) Diversidad, composiciones comunitarias y estructuras poblacionales de la mastofauna marina en el Pacífico Mexicano y aguas adyacentes. pp 469-492. In: *Avances en el estudio de los mamíferos de México Volumen II*. Lorenzo C, Espinoza E, Ortega J (eds). Asociación Mexicana de Mastozoología AC. San Cristóbal de las Casas, Chis.
- Moore SE (2008) Marine mammals as ecosystem sentinels. *Journal of Mammalogy* 89(3): 534-540.
- Myers N, Rittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Natoli A, Cañadas A, Peddemors VM, Aguilar A, Vaquero C, Fernández-Piqueras P, Hoelzel AR (2006) Phylogeography and alpha taxonomy of the common dolphin (*Delphinus* sp.) *Journal of Evolutionary Biology* 19: 943-954.
- O'Shea TJ, Odell DK (2008) Large-scale marine ecosystem change and the conservation of marine mammals. *Journal of Mammalogy* 89(3): 529-533.
- Pauly D, Christensen V, Guénette S, Pitcher TJ, Sumaila UR, Walters CJ, Watson R, Zeller D (2002) Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418: 689-695.
- Perrin WF. 1984. Patterns of geographical variation in small cetaceans. *Acta Zoologica Fennica* 172: 173-140.
- Perrin WF, Scott MD, Walker GJ, Cass VL (1985) Review of geographical stocks of tropical dolphins (*Stenella spp.* and *Delphinus delphis*) in the eastern Pacific. Report NOAA NMFS-28. La Jolla, CA.
- Reeves RR, Stewart BS, Clapham PJ, Powell JA, Folkens PA (2002) Guide to marine mammals of the world. National Audubon Society. Alfred A. Knopf. New York, NY.
- Reilly SB, Fiedler PC (1994) Interannual variability of dolphin habitats in the eastern tropical Pacific. I: Research vessel surveys, 1986-1990. *Fishery Bulletin* 92: 434-450.

- Reid W (1998) Biodiversity hotspots. *Trends in Ecology and Evolution*, 13(7): 275-280.
- Rosel PE, Dizon AE, Heyning JE (1994) Genetic analysis of morphotypes of common dolphins (Genus *Delphinus*). *Marine Biology* 119: 159-167.
- Schipper J, Chanson JS, Chiozza F, Cox NA, Hoffman M, 125 more (2008) The status of the world's land and marine mammals: diversity, threat, and knowledge. *Science* 322: 225-230.
- Schramm-Urrutia Y (2002) Estructura genética y filogeografía del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*) en aguas adyacentes a la Península de Baja California, México. Ph.D. thesis. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, BC.
- Soberón JM, Llorente J (1993) The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology* 7(3): 480-488.
- Spalding MD, Fox HE, Allen GR, Davidson N, Ferdaña ZA, Finlayson M, Halpern BS, Jorge MA, Lombana A, Lourie SA, Martin KD, McManus E, Molinar J, Recchia CA, Robertson J (2007) Marine ecoregions of the world. A bioregionalization of coastal and shelf areas. *Bioscience* 57(7): 573-583.
- Torres GA, Esquivel CM, Ceballos G (1995) Diversidad y conservación de los mamíferos marinos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 1: 22-43.
- Urbán-Ramírez J, Rojas-Bracho L, Guerrero-Ruíz M, Jaramillo-Legorreta A, Findley LT (2005) Cetacean diversity and conservation in the Gulf of California. In: Cartron JE, Ceballos G, Felger RS (eds) *Biodiversity, ecosystems and conservation in northern Mexico*. Oxford University Press, New York, p 276-297.
- Wade P R, Gerrodette T (1993) Estimates of cetacean abundance and distribution in the eastern tropical Pacific. *Report of the International Whaling Commission* 43:477-493.
- Whittaker RH (1972) Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.
- Wilkinson T, Wiken E, Bezaury-Creel J, Hourigan T, Agardy T, Herrmann H, Janishevski L, Madden C, Morgan L, Padilla M (2009) *Marine Ecoregions of North America*. Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canada.

- Worm B, Sandow M, Oschilies A, Lotze HK, Myers RA (2005) Global patterns of predator diversity in the open oceans. *Science* 309:1365-1369.
- Wyrтки K (1967) Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. *International Journal of Oceanographic Limnology* 1: 117-147.

## FIGURE CAPTIONS

**Figure 1:** A) Study area indicating the Mexican States on the Pacific coast and other cited sites. B) Partition and identity of cells in the studied region. C) Observation effort for marine mammals during years 1981 – 2008 by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) and Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) in the Mexican Pacific corresponding to Table 1. D) Corresponding marine mammal sightings. Cetaceans are indicated with gray dots and pinnipeds with black circles.

**Figure 2:** Array of the mean fraction of years in which species were recorded on cells (commonness) for marine mammal species in the Mexican Pacific Ocean. Three main groups of commonness have been indicated with bar tones. Species abbreviations are indicated in Table 2.

**Figure 3:** Relationship between coverage and commonness of marine mammals in the Mexican Pacific Ocean. Commonness class is indicated by tones as in Figure 5. Six groups of coverage and commonness are indicated. Dashed lines indicate linear regression with slope = 0.31 and  $r^2 = 0.48$ . Species abbreviations are indicated in Table 2.

**Figure 4:** A) Geographic distribution of mean commonness. B) Accumulated frequency-distribution of mean commonness by species (gray) and cells (black).

**Figure 5:** Species richness of marine mammals in the Mexican Pacific Ocean. A) Registered richness. B) Richness estimated from the accumulation models of Soberón & Llorente (1993).

**Figure 6:** Geographic distribution of beta and delta diversities in the Mexican Pacific Ocean.

**Figure 7:** Geographic distribution of marine mammals in the Mexican Pacific Ocean according to their primary biogeographic origin (tropical or antitropical).

**Figure 8:** Distribution of marine mammals in the Mexican Pacific Ocean according to risk status by the International Union for Conservation of Nature. A) Risk median; B) Maximum risk; C-F) Frequencies of risk classes 1 - 4; G) Frequency of risk classes 1 - 4 weighted by estimated species richness; H) Frequency of risk classes 1 - 4 weighted by beta diversity; I) Frequency of risk classes 1 - 4 weighted by rarity.

## TABLES

**Table 1:** Summary of observation effort for marine mammals by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) and Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) in the Mexican Pacific region.

	<b>NOAA</b>	<b>UABCS</b>	<b>UNAM</b>	<b>Total</b>
Year period	1986 - 2008	2003 - 2007	1981 - 1985 2003 - 2008	<b>1981 - 2008</b>
Number of years	14	5	11	<b>24</b>
On-effort transect length (Km)	109,368	34,578	61,107	<b>205,053</b>
2° -cell coverage (%)	99	20	49	<b>100</b>
Sightings	7517	1749	1879	<b>11,145</b>
Number of species	34	24	29	<b>37</b>

**Table 2.** List of marine mammals registered in this study. Abbreviations were built with the first character of the genus name and the first three characters of the specific name.

Scientific name	Common name	Abbreviation
<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Common minke whale	Bacu
<i>Balaenoptera borealis</i>	Sei whale	Bbor
<i>Balaenoptera edeni</i>	Bryde's whale	Bede
<i>Balaenoptera musculus</i>	Blue whale	Bmus
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Humpback whale	Mnov
<i>Eschrichtius robustus</i>	Gray whale	Erob
<i>Physeter macrocephalus</i>	Sperm whale	Pmac
<i>Kogia breviceps</i>	Pygmy sperm whale	Kbre
<i>Kogia sima</i>	Dwarf sperm whale	Ksim
<i>Berardius bairdii</i>	Baird's beaked whale	Bbai
<i>Indopacetus pacificus</i>	Longman's beaked whale	Ipac
<i>Mesoplodon densirostris</i>	Blainville's beaked whale	Mden
<i>Mesoplodon peruvianus</i>	Pygmy beaked whale	Mper
<i>Mesoplodon carlhubbsi</i>	Hubb's beaked whale	Mcar
<i>Ziphius cavirostris</i>	Cuvier's beaked whale	Zcav
<i>Feresa attenuata</i>	Pygmy killer whale	Fatt
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Short-finned pilot whale	Gmac
<i>Orcinus orca</i>	Killer whale	Oorc
<i>Pseudorca crassidens</i>	False killer whale	Pcra
<i>Peponocephala electra</i>	Melon-headed whale	Pele
<i>Steno bredanensis</i>	Rough-toothed dolphin	Sbre
<i>Lagenorhynchus obliquidens</i>	Pacific white-sided dolphin	Lobl
<i>Grampus griseus</i>	Risso's dolphin	Ggri
<i>Tursiops truncatus</i>	Common bottlenose dolphin	Ttru
<i>Stenella attenuata</i>	Pantropical spotted dolphin	Satt
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Striped dolphin	Scoe

<i>Stenella longirostris</i>	Spinner dolphin	Slon
<i>Delphinus delphis</i>	Short-beaked common dolphin	Ddel
<i>Delphinus capensis</i>	Long-beaked common dolphin	Dcap
<i>Lagenodelphis hosei</i>	Fraser's dolphin	Lhos
<i>Phocoena sinus</i>	Vaquita	Psin
<i>Arctocephalus galapagoensis</i>	Galápagos fur seal	Agal
<i>Arctocephalus townsendi</i>	Guadalupe fur seal	Atow
<i>Zalophus californianus</i>	California sea lion	Zcal
<i>Mirounga angustirostris</i>	Northern elephant seal	Mang
<i>Phoca vitulina</i>	Harbor seal	Pvit

---

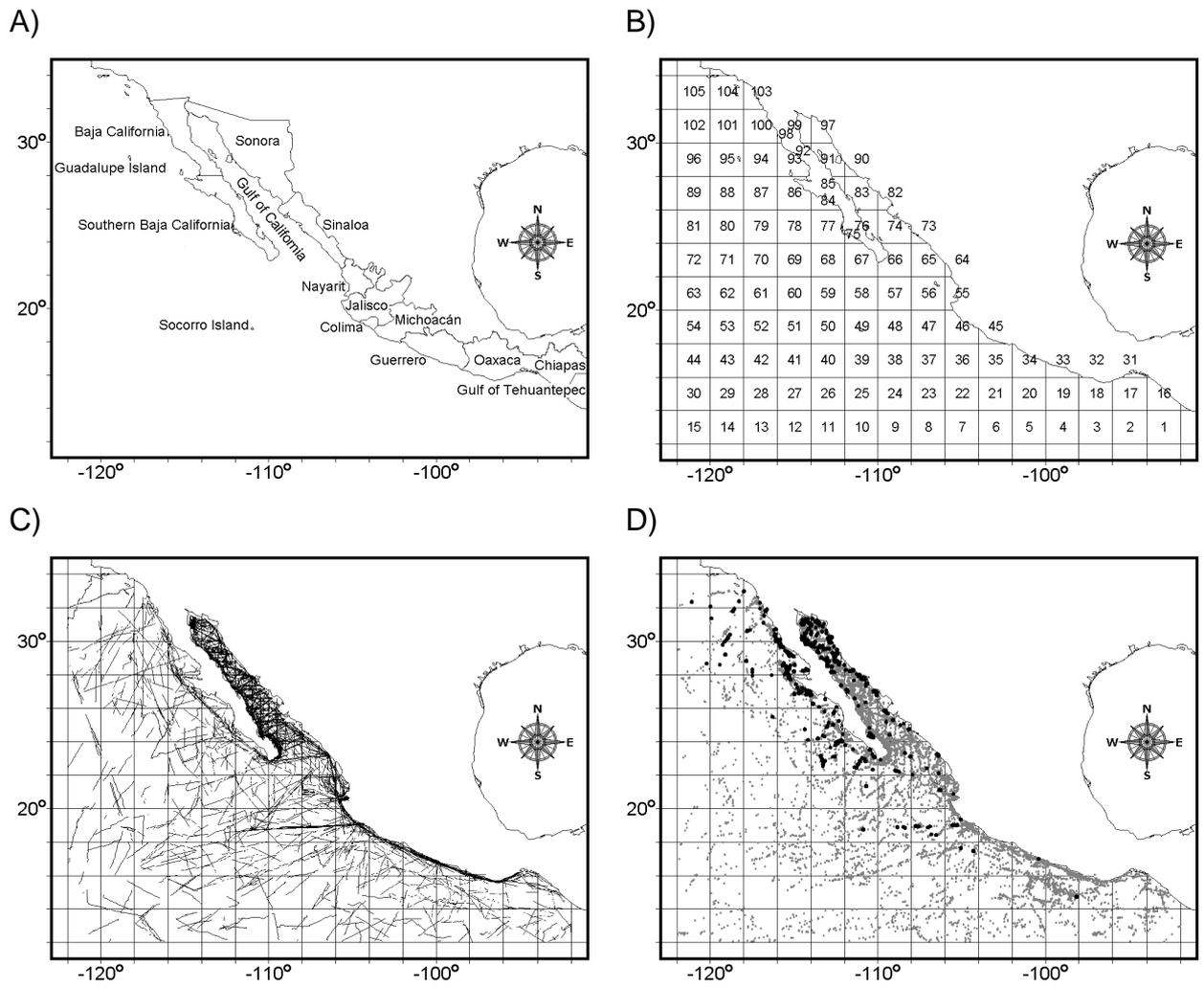


Figure 1.

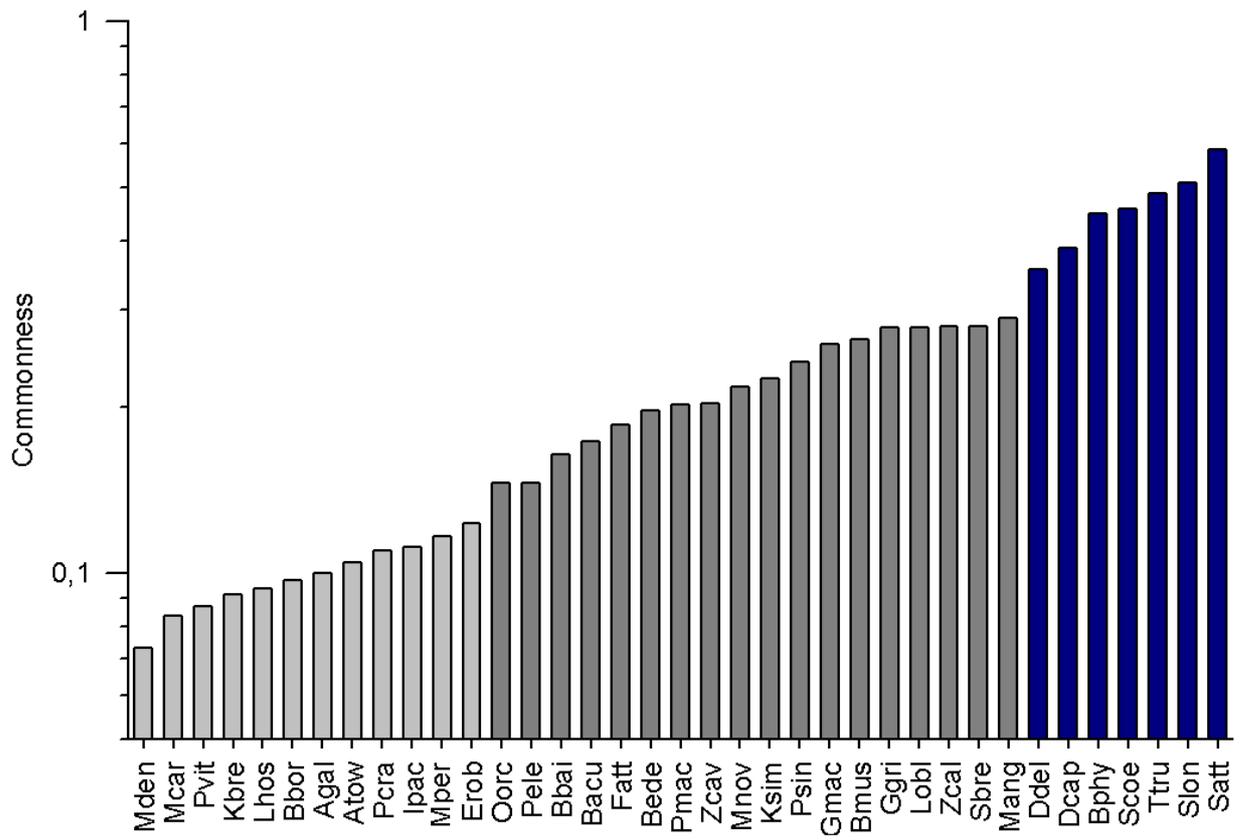


Figure 2.

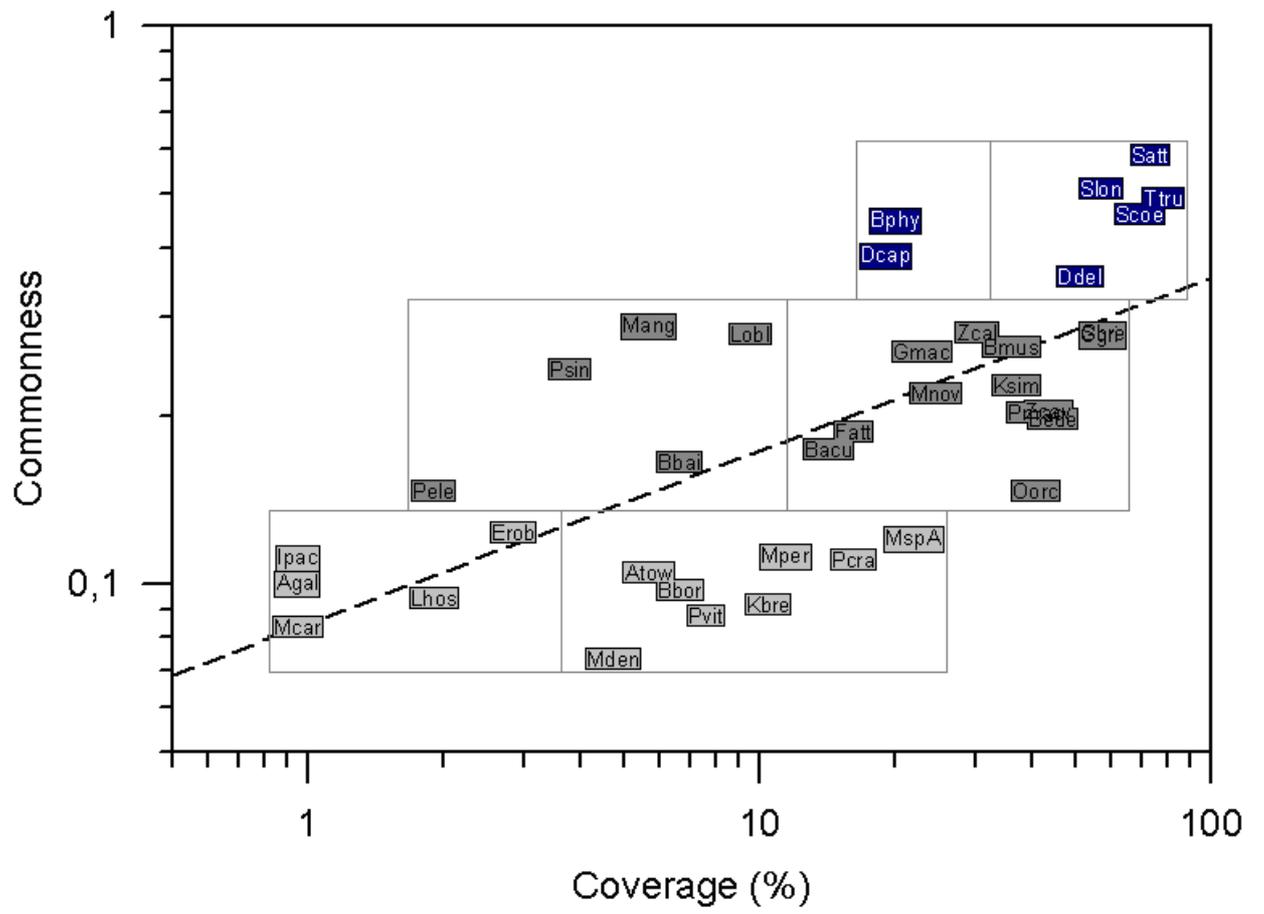
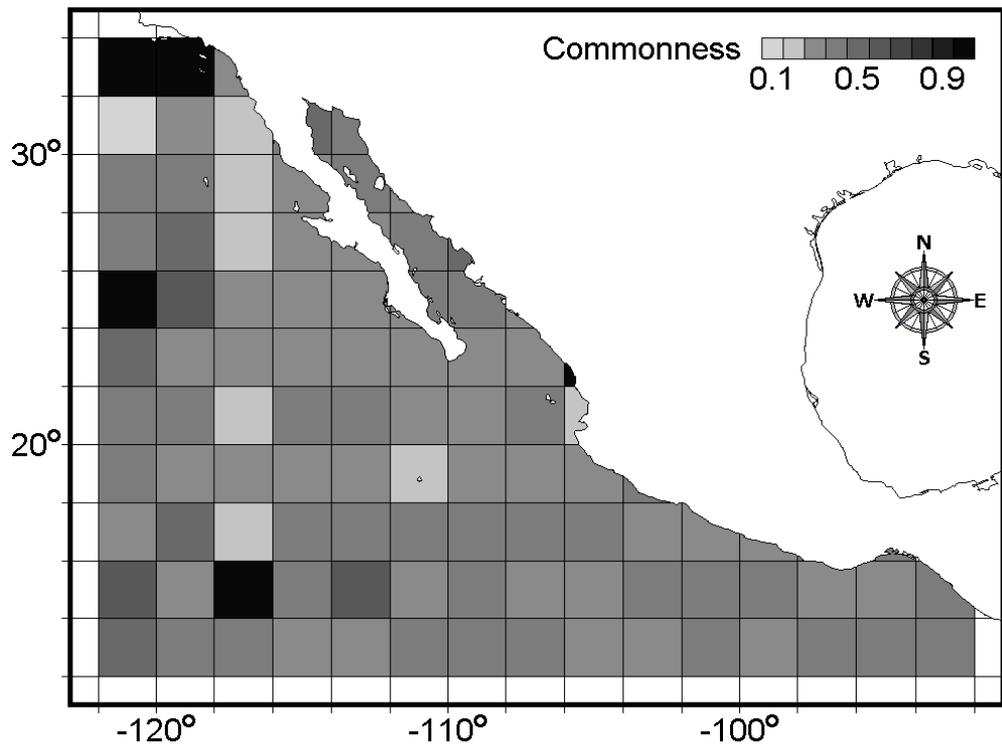


Figure 3.

A)



B)

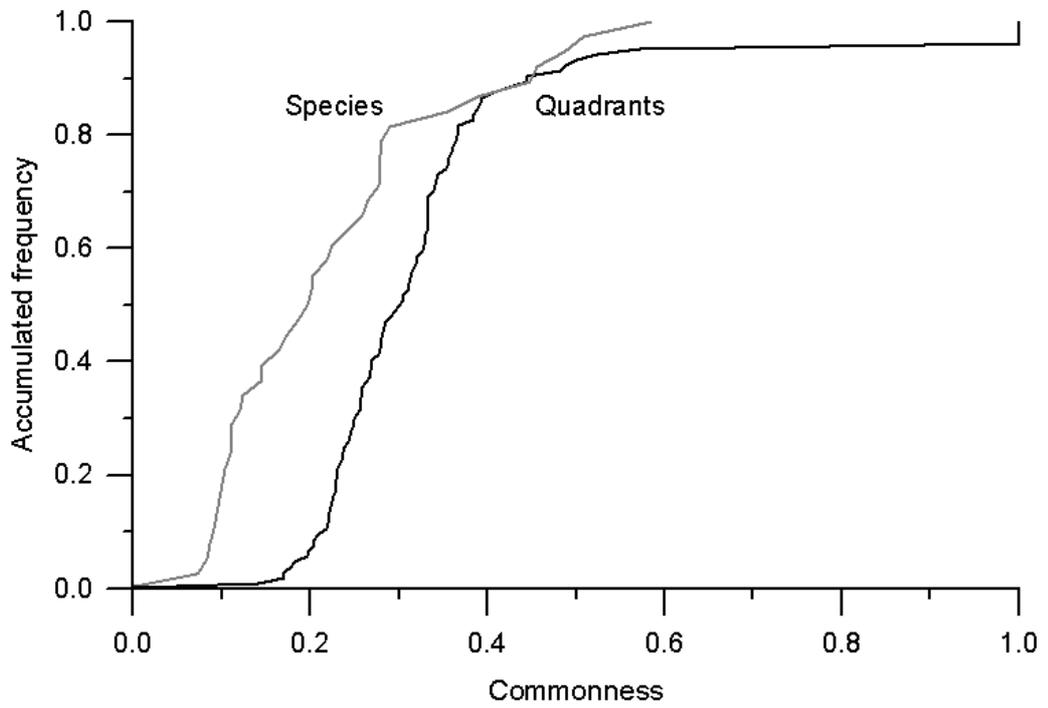
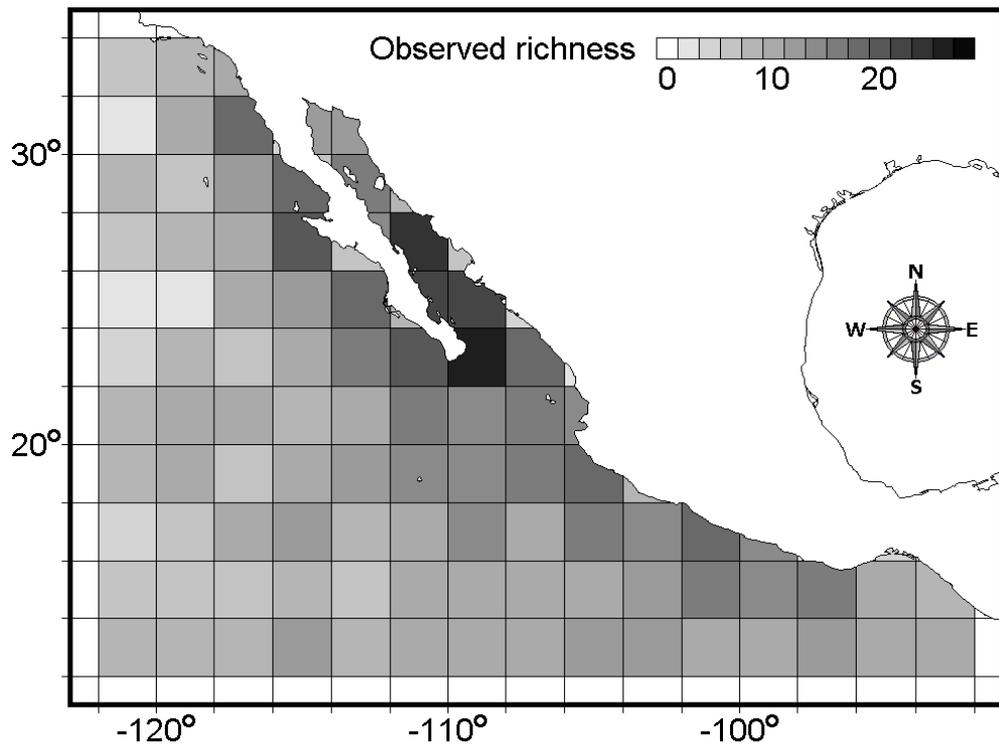


Figure 4.

A)



B)

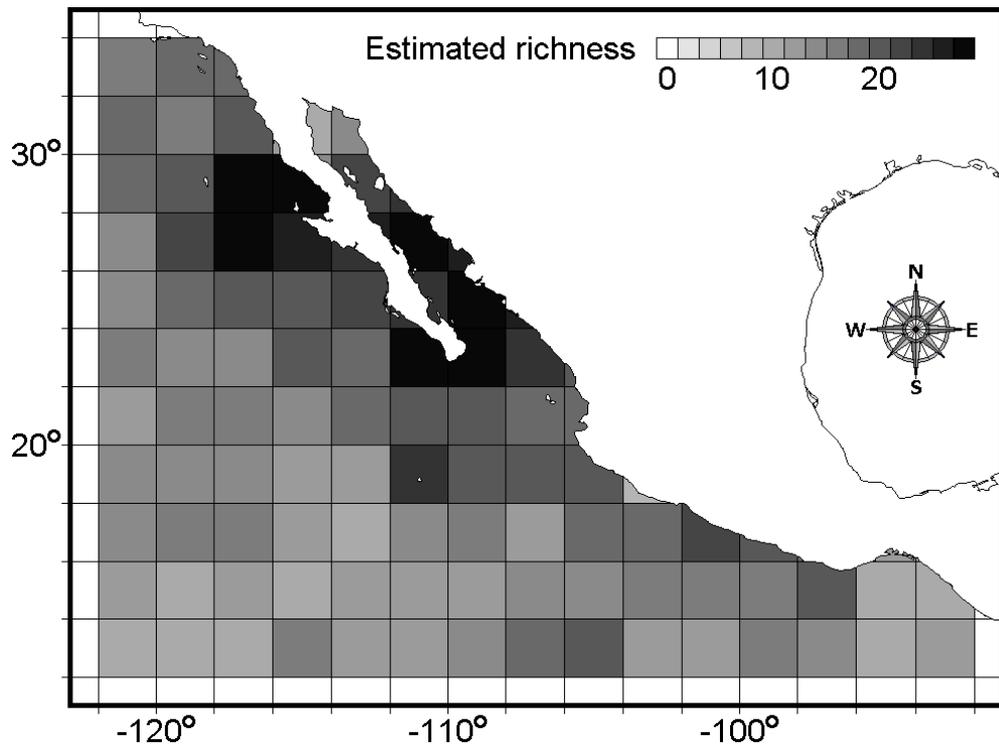
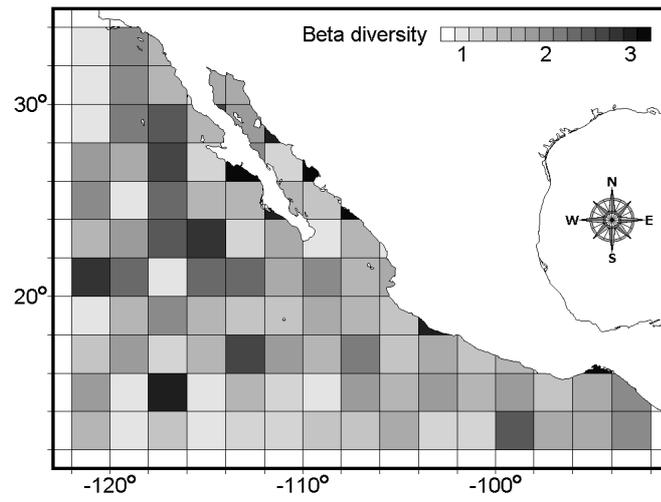
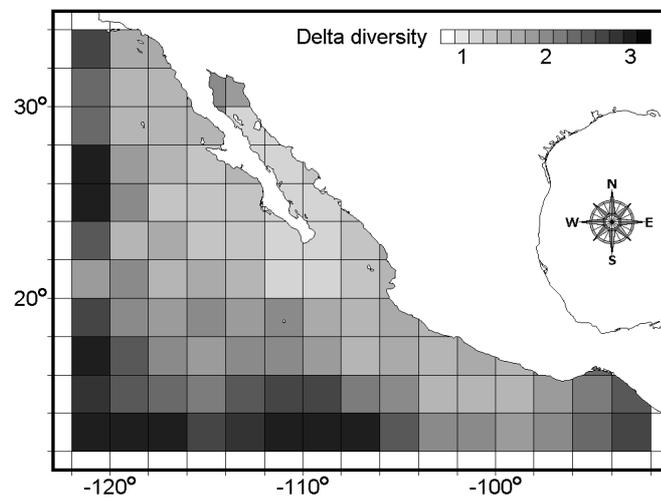


Figure 5.

A)



B)



C)

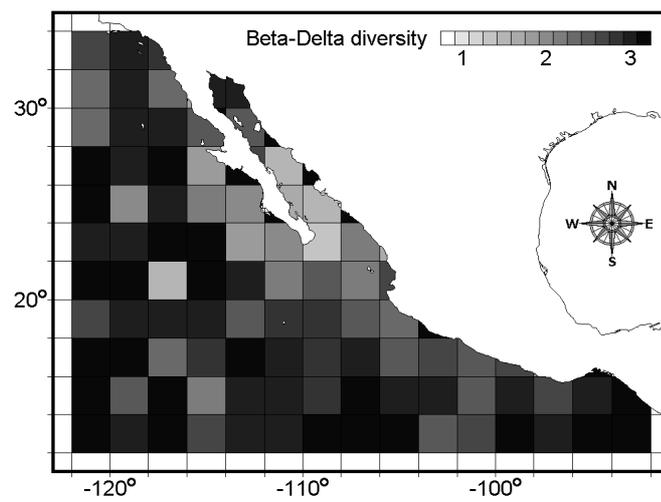


Figure 6.

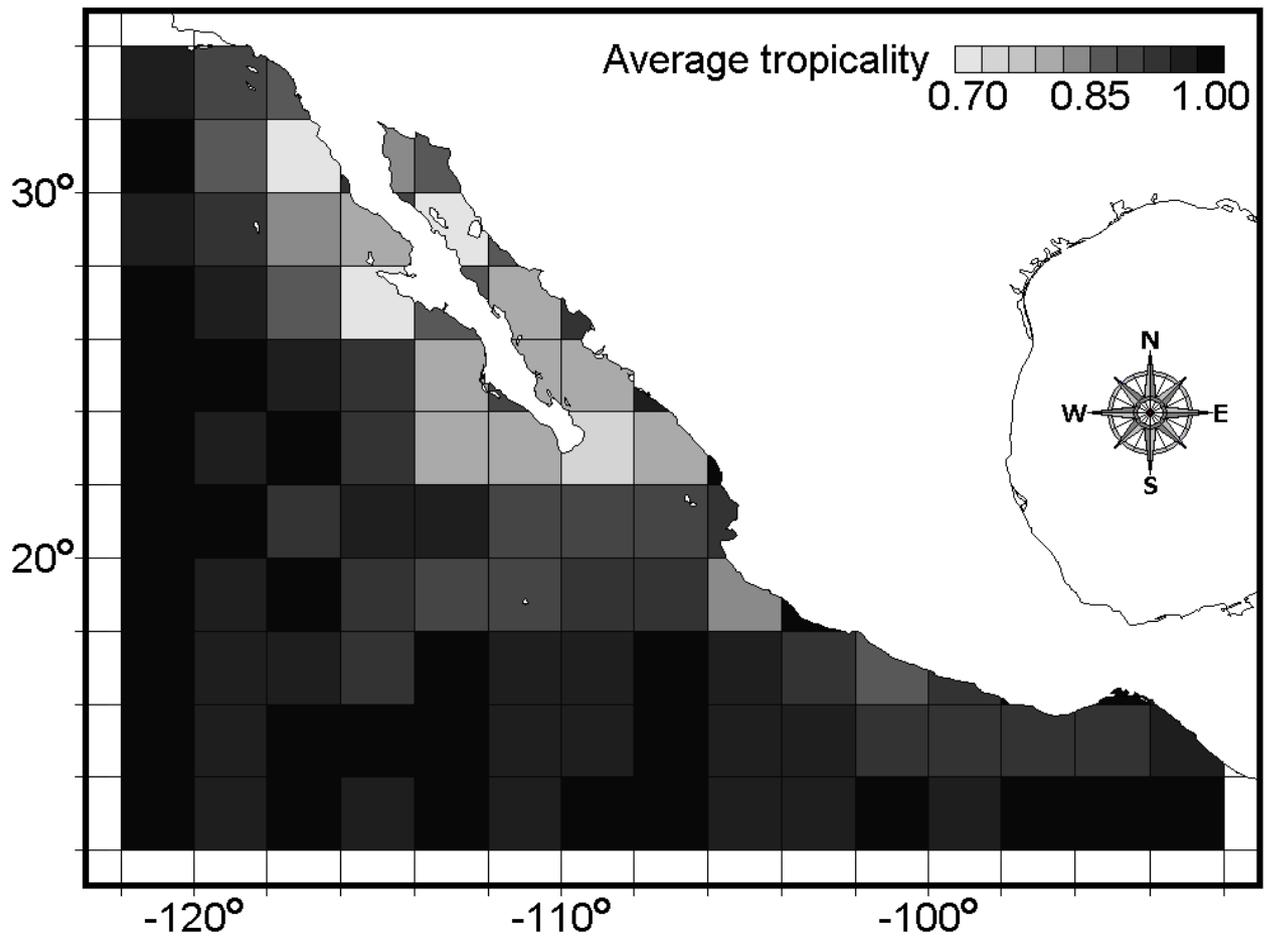


Figure 7.

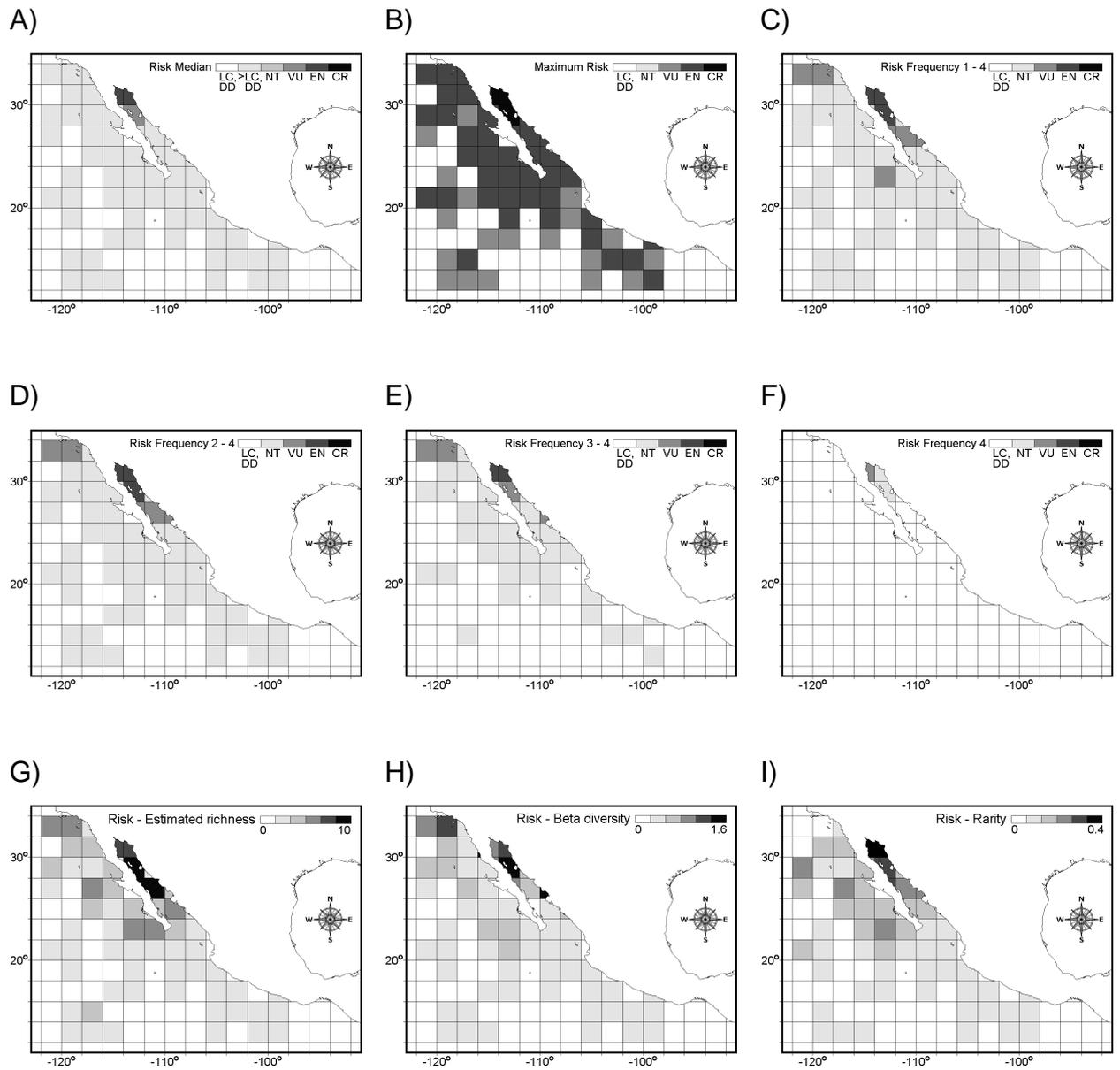


Figure 8.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES GENERALES

- a) La riqueza de los mamíferos marinos del OPM está en general bien muestreada. Los modelos de curvas de acumulación de especies estiman la ocurrencia de 42 especies, mientras que se propone la presencia de 44 - 45 especies (Medrano González, 2006).
- b) Todas las especies que se considera se distribuyen en el OPM y que no fueron registradas en este trabajo están relacionadas con las aguas frías de la corriente de California (*Enhydra lutris*, *Mesoplodon perrini*, *M. ginkgodens*, *M. stejnegeri*, *Phocoenoides dalli*, *Lissodelphis borealis* y *Balaena japonica*). Lo anterior puede ser un artefacto del muestreo, ya que la mayoría de los datos (ca. 70%) se tomaron durante los meses de junio a diciembre. Es conocido que las aguas del OPM presentan estacionalidad marcada, en particular, la influencia de la Corriente de California es mayor durante los meses de enero a junio. Así, la ausencia de estas especies puede ser el reflejo de que tienen una presencia estacional marcada en la costa occidental de la Península de Baja California, relacionada con la influencia de la Corriente de California en esa área. Al mismo tiempo el área de la costa occidental de la Península de California es también el área con menor esfuerzo de muestreo.
- c) El cuadrante con mayor riqueza esperada contiene 31 especies de un total de 42 esperadas. Esto indica la gran heterogeneidad en los patrones de distribución de estos animales en el OPM. Al igual que lo observado en el medio de terrestre de nuestro país, la riqueza de mamíferos marinos en el OPM está relacionada con la presencia de especies con distintas afinidades biogeográficas que sobrelapan sus distribuciones.

- d) Los cuadrantes y zonas con mayor riqueza y biomasa no son las áreas en las que se observa un mayor consumo de los mamíferos marinos. Esto apunta a la importancia que algunas zonas tienen para distintas especies, la cual es distinta dependiendo de la actividad que los organismos estén realizando (ej. crianza, alimentación, tránsito, descanso, entre otras). En este sentido un análisis fino del uso del hábitat, que considere la estacionalidad, el aspecto biótico, la dieta, la presencia de crías, entre otras, es necesario para poder desarrollar mejores estrategias de conservación. Ejemplo de lo anterior es el caso documentado de desplazamiento de las ballenas jorobadas fuera de sus zonas tradicionales de reproducción y crianza, como consecuencia de las fuertes presiones antropogénicas generadas en sus zonas invernales.
- e) Del total de especies registradas, únicamente dos (*S. attenuata* y *S. longirostris*), aportan el 55% del total de la abundancia, y un conjunto de siete especies aportan el 95% del total de la abundancia (*D. delphis*, *D. capensis*, *T. truncatus*, *S. coeruleoalba*, *G. griseus*). En conjunto las distribuciones de estas especies cubren toda el área de estudio. Estas especies deben ser consideradas como prioritarias en cualquier estrategia que se desarrolle con el objetivo de conservar la diversidad de mamíferos marinos del OPM. Ello porque sus hábitats abarcan toda el área de distribución y cualquier acción encaminada a su conservación, beneficiara de manera directa a las especies menos abundantes y que utilicen hábitats similares.
- f) Treinta especies contribuyen con ~5% de la abundancia, pero son la mayoría en términos de riqueza. Los componentes de rareza y recurrencia deben ser analizados en distintos niveles de escala para determinar si la dominancia de especies se mantiene a niveles de microescala.
- g) Las zonas con mayor riqueza de especies, ubicadas dentro del Golfo de California, en las aguas circundantes a la región de los Cabos, B.C.S., y en la costa

occidental de la Península de Baja California (principalmente entre la Isla Cedros y la Isla Guadalupe), son también las áreas donde se localizan las especies con mayor grado de amenaza y donde se encuentran las zonas con mayor impacto de actividades humanas (ver Halpern *et al.*, 2008). Por ello se requiere de atención inmediata en estas áreas para completar el conocimiento de dichas especies y para mitigar en la medida de lo posible los efectos adversos de las actividades humanas. Varias especies clasificadas con Datos Insuficientes (DD por sus siglas en inglés) de acuerdo a la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, se distribuyen en áreas con alto grado de perturbación humana. Por lo anterior es necesario generar información que permita conocer el grado real de amenaza que tienen estas especies, tanto en el OPM como en otras regiones.

- h) El mapa de consumo de los mamíferos marinos muestra un patrón coincidente con los valores de productividad primaria registrados para el OPM. Por lo que es necesario hacer un análisis que considere la estacionalidad, para determinar si estos patrones cambian estacionalmente.
- i) Las zonas de mayor riqueza son las áreas en donde se da el solapamiento de especies de origen frío y tropical, indicando que la zona de confluencia de corrientes es importante para la mezcla de especies. También las aguas ubicadas entre la Isla Cedros y la Isla Guadalupe presentan valores de riqueza altos, a pesar de que esta zona es la que tiene menor esfuerzo de muestreo. Por lo anterior se requiere de un mayor esfuerzo en esta zona para tener un conocimiento más completo de estos animales en el área.
- j) La recurrencia o permanencia de las especies presenta valores bajos en toda el área de estudio, sugiriendo que existe alta movilidad y dispersión de las mismas, mientras que a nivel de cuadrantes los valores son más altos, sugiriendo que los cuadrantes siempre se encuentran ocupados aunque no por las mismas especies.

Lo anterior concuerda con la gran dinamicidad del ecosistema marino y con la gran capacidad de dispersión de estos animales.

- k) Las especies de mamíferos marinos se pueden agrupar por sus rangos de distribución. En este sentido es necesario contar con un análisis que considere la estacionalidad dentro del área así como eventos climáticos, para determinar si estos patrones de distribución cambiarán y por lo tanto modificarán la conformación de la comunidad de mamíferos marinos.
- l) Las áreas de distribución de un buen número de especies no coinciden con las distribuciones supuestas o propuestas por otros autores para el OPM, y estas diferencias parecen no ser producto de la falta de esfuerzo, por lo que se considera que los mapas de distribución de los mamíferos marinos del OPM, deben ser replanteados considerando la heterogeneidad en su distribución así como su estacionalidad.
- m) La zona de transición oceanográfica localizada entre el Archipiélago de Revillagigedo y la región de los Cabos en Baja California Sur es importante para la alimentación y dispersión de los pinnípedos, particularmente de los lobos marinos de California (*Z. californianus*), pero también de otras especies como el lobo fino de las Galápagos (*A. galapagoensis*), documentado en este trabajo y/o el lobo marino del norte (*Eumetopias jubatus*) documentado por Ceballos *et al* (2010). En este sentido la presencia de especies de pinnípedos dentro de esta zona, no consideradas como de distribución común en el área, debe ser considerada como un componente importante en la variación de la composición de especies relacionada de manera directa con cambios en la distribución de las especies.
- n) Una comprensión básica de las especies requiere de un conocimiento mínimo de los patrones de distribución y abundancia. En el caso de los mamíferos marinos que se distribuyen en los mares mexicanos estos patrones son poco conocidos y los resultados obtenidos aquí, muestran que las distribuciones pre-asumidas y

las distribuciones reales registradas son diferentes para muchas especies. La estacionalidad parece jugar un papel importante en la riqueza de especies presentes en el OPM, a lo largo del año. Al mismo tiempo, para la gran mayoría de las especies de acuerdo al libro rojo de la IUCN, éstas se consideran como con Datos Insuficientes, y son las que se distribuyen principalmente en zonas marcadas como de gran impacto humano (Halpern *et al.*, 2008). Todo lo anterior indica que aunque la riqueza de la mastofauna marina del OPM es bien conocida, aun falta conocer aspectos básicos que coadyuven para desarrollar estrategias de manejo y conservación adecuadas. Por lo anterior es necesario continuar generando conocimiento tanto a nivel de especies individuales, como de la composición de la comunidad en su conjunto, para aportar información que nos permita evaluar de manera adecuada los efectos que el Cambio Global, puede tener sobre la mastofauna marina del OPM.

## REFERENCIAS

- Aguayo Lobo, A. 1989. Aprovechamiento de los mamíferos marinos en América Latina. Pp: 500-531, en Memorias del 2º simposio internacional sobre vida silvestre (Wildlife Society de México, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología). Talleres Gráficos de la Nación. México, D.F.
- Aguayo-Lobo, A., J. Acevedo-Ramírez., y D. Torres Navarro. 1998. Influencia del fenómeno "El Niño" en el estrecho Bransfield Antártica, durante junio de 1998. Serie Científica INACH, 48: 161-184.
- Aguayo, L. A., S. Gaona., R. G. López-O., y M. Salinas Z. 1992. Mamíferos marinos dulceacuícolas, semiacuáticos y con tendencia al agua, en carta de Mastofauna (Mamíferos), Biogeografía. Serie Naturaleza. IV.8.9, Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM.
- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. pp 427-449. En: B. H. Ketchum (ed). Estuaries and enclosed seas. Elsevier, Amsterdam.
- Álvarez-Borrego, S., y R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. pp 555-567. En: Dauphin J. P., y B. Simoneit (eds). The Gulf of California and the Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologist Memoir, 47. Tulsa.
- Arellano Peralta, V. A. 2010. Mamíferos Marinos en el Golfo de California: Macroecología, Impacto Humano y su perspectiva hacia la Conservación. Tesis (Maestría) PCMyL, UNAM. 219 p.
- Au, D. W., y W. L. Perryman. 1985. Dolphin habitats in the eastern tropical Pacific. Fishery Bulletin, 83:623-643.
- Auriolles Gamboa D. 1993. Biodiversidad y estado actual de los mamíferos marinos en México. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. Volumen especial XLIV: 397-412.
- Auriolles-Gamboa, D., Y. Schramm., y S. Mesnick. 2004. Galapagos fur seals, *Arctocephalus galapagoensis*, in Mexico. Latin American Journal of Aquatic Mammals, 3:77-80.
- Ballance, L. T., R. L. Pitman., y P. C. Fiedler. 2006. Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: A review. Progress in Oceanography, 69:360-390.
- Badan Dagon A. R. F. 1997. La corriente costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. pp 141-171. En: Lavín, M.F. (ed). Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Mografía #3. Unión Geofísica Mexicana, México.
- Badan Dagon, A. R. F. 1998. Coastal circulation from the Galápagos to the Gulf of California. pp 315-343. En: Robinson, A. R., y K. H. Brink (eds). The Sea. Pan-regional volume. John Wiley, Nueva York.
- Barlow, J., y K. A. Forney. 2007. Abundance and population density of cetaceans in the California Current ecosystem. Fisheries Bulletin, 105:509-526.
- Barlow, J., M. Kahru., y B. G. Mitchell. 2008. Cetacean biomass, prey consumption, and primary production requirements in the California Current ecosystem. Marine Ecology Progress Series, 371:285-295.
- Barocio-León, O. A., R. Millán-Núñez., E. Santamaría-del-Ángel., y A. González-Silvera. Productividad primaria del fitoplancton en la zona eufótica del sistema

- de la Corriente de California estimada mediante imágenes del CZCS. *Ciencia Marinas*, 33(1):59-72.
- Bautista-Romero, J., H. Reyes Bonilla., D. B. Luch-Cota., y S. E. Luch-Cota. 1994. Aspectos generales de la fauna marina. En: Ortega Rubio A., y A. Castellanos Vera (eds). *La Isla Socorro, Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo*. 247-275 pp. Publicaciones especiales No. 8 CIBNOR, La Paz, Baja California Sur.
- Bax, N. J. 1991. A comparison of the fish biomass to fish, fisheries, and mammals in six marine ecosystems. *ICES Marine Scientific Symposium*, 193:217-224.
- Begon M., C. R. Townsend., y J. L. Harper. 2006. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. Blackwell Publishing. 738p.
- Behrenfeld, M. J., y P. G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*, 42(1):1-20.
- Beland, P. 1996. The Beluga Whales of the St. Lawrence River. *Scientific American*, May:58-65.
- Berta, A. J. L. Sumich., y K. M. Kovacs. 2006. *Marine Mammals: Evolutionary Biology*. Second Edition, Academic Press. 547p.
- Bérubé, M., J. Urbán R., A. E. Dizon, R. L. Brownell y P. J. Palsbøll. 2002. Genetic identification of a small and highly isolated population of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Sea of Cortez, México. *Conservation Genetics*, 3: 183-190.
- Bowen, W. D. 1997. Role of marine mammals in aquatic ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 158:267-274.
- Brown, J. H. 1995. *Macroecology*. University of Chicago Press, Chicago, 269 pp.
- Brown, J. H., G. C. Stevens., y D. M. Kaufman. 1996. The geographic range: size, shape, boundaries and internal structure. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27:597-623.
- Butman, C. A., J. T. Carlton., y S. Palumbi, 1995. Whaling Effects on Deep-Sea Biodiversity. *Conservation Biology*, 9(2):462-464.
- Carreta, J. V., K. A. Forney., M. M. Muto., J. Barlow., J. Baker., B. Hanson., y M. S. Lowry. 2006. U.S. Pacific marine mammal stock assessments: 2005. NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC No 388.
- Ceballos, G., y G. Oliva (eds). 2005. *Los Mamíferos Silvestres de México*. 21-49 pp. Fondo de Cultura Económica-Conabio.
- Ceballos, G., J. Arroyo-Cabrales; R. A. Medellín, L. Medrano González y G. Oliva. 2005. En: Ceballos, G., y G. Oliva (eds). *Los Mamíferos Silvestres de México*. 21-49 pp. Fondo de Cultura Económica-Conabio.
- Ceballos, G., S. Pompa, S., E. Espinoza., y A. García. 2010. Extralimital distribution of Galapagos (*Zalophus wolfebaeki*) and Northern (*Eumetopias jubatus*) Sea Lions in Mexico. *Aquatic Mammals*, 36(2):188-194.
- Chavez Andrade, M. 2006. Caracterización del hábitat de los grandes cetáceos del Golfo de California durante la temporada fría de 2005. Tesis (Maestría), CICIMAR, México.
- Croll, D. A., R. Kudela., y B. R. Tershy. 2007. Ecosystem impacts of the decline of large whales in the North Pacific. En: Estes, J. A., D. P. DeMaster., D. F. Doak., T. M. Williams., R. L. Brownell Jr (eds). *Whales, Whaling and Ocean Ecosystems*. California University Press, Berkeley, pp 202-214.

- Dalebout, M. L., J. G. Mead., S. C. Baker., A. N. Baker., y A. L. V. Helden. 2002. A new species of beaked whale *Mesoplodon perrini* sp. N. (Cetacea: Ziphiidae) discovered through phylogenetic analysis of mitochondrial DNA sequences. *Marine Mammal Science*, 18(3):577-608.
- Díaz Guzmán, C. 2006. Abundancia y movimientos del rorcual común, *Balaenoptera physalus*, en el Golfo de California. Tesis (Maestría), PCMyL, México.
- Escorza-Treviño S, Lang A, Dizon AE (2002) Genetic differentiation and intraspecific structure of eastern tropical Pacific spotted dolphins, *Stenella attenuata*, revealed by mitochondrial and microsatellite DNA analyses. Report LJ-02-38. NOAA-SWFSC. La Jolla, CA.
- Fernández-Álamo M. A., y J. Färber-Lorda. 2006. Zooplankton and the oceanography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69:318-359.
- Fiedler, P. C., y L. D. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4):143-180.
- Fiedler, P., y M. F. Lavín. 2006. Introduction: A review of Eastern tropical Pacific oceanography. *Progress in Oceanography*, 69:94-100.
- Gallo-Reynoso, J. P., M. O. Maravilla-Chávez., y C. J. Navarro-Serment. 2010. New records of non-resident pinnipeds from the Gulf of California, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81:209-213.
- Gardner, S. C., y S. Chávez-Rosales S. 2000. Changes in the relative abundance and distribution of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Magdalena bay, Mexico during an El Niño event. *Marine Mammal Science*, 16(4): 728-738.
- Gaskin, D. E. 1982. The ecology of whales and dolphins. London: Heineman.
- Gaston, K. J., y T. M. Blackburn. 2006. Patterns and Process in Macroecology. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Gendrón, D., y J. Urbán. 1993. Evidence of feeding by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Baja California breeding ground, México. *Marine Mammal Science*. 9(1):76-81.
- Gerrodette, T., B. L. Taylor., R. Swift., S. Rankin., A. Jaramillo., y L. Rojas-Bracho. 2010. A combined visual and acoustic estimate of 2008 abundance, and change in abundance since 1997, for the vaquita, *Phocoena sinus*. *Marine Mammal Science*, En prensa.
- Gerrodette., T., G. Watters., W. Perryman., y L. Balance. 2008. Estimates of 2006 dolphin abundance in the Eastern Tropical Pacific, with revised estimates from 1986-2003. NOAA TM NMFS SWFSC 422, US Dept of Commerce.
- Gibson, D. J., B. A. Middleton., K. Foster., Y. A. K. Honu., E. W. Hoyer., y M. Mathis. 2005. Species frequency dynamics in an old field succession: effects of disturbance, fertilization and scale. *Journal of Vegetation Science*, 16:415-422.
- Gómez-Valdés, J., y H. S. Vélez-Muñoz. 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas*, 8:167-176.
- Guerrero Ruíz, M., J. Urbán Ramírez., y L. Rojas Bracho. 2006. Las Ballenas del Golfo de California. México, D.F. SEMARNAT, INE.
- Halpern, B. S., S. walbridge., K. A. selkoe., C. V. kappel., I. F. micheli., C. D'Agrosa., J. F. Bruno., K. S. Casey., C. Ebert., H. E. Fox., R. Fujita., D. Heinemann., H. S. lenihan., E. M. P. Madin., M. T. Perry., E. E. Selig., M. Spalding., R. Steneck., y R.

- Watson. 2008. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science*, 319(5865):948-952.
- Heithaus, M.R., A. Frid., A. J. Wirsing y B. Worm. 2008. Predicting ecological consequences of marine top predator declines. *Trends in Ecology and Evolution*, 23:202-221.
- Hickey, M. 1979. The California Current System-hypothesis and facts. *Progress in Oceanography*, 8:191-279.
- Hoelzel, A. R (ed). 2002. *Marine mammal biology: an evolutionary approach*. Blackwell Publishing Company, Oxford, 432 p.
- Hoffman M., C. Hilton-Taylor., A. Angulo., M. Böhm, T. M. Brooks., S. H. Butchart., K. E. Carpenter y 169 más. 2010. *The Impact of Conservation on the Status of the World's Vertebrates*. Science, October.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2009. Red List of Threatened Species. Version 2009.1. Disponible en: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)
- Jefferson T. A., M. A. Webber., y R. L. Pitman. 2008. *Marine Mammals of the world: A comprehensive Guide to their identification*. Academic Press, 573 p.
- Jones, M. L., y S. L. Swartz. 2002. Gray Whale (*Eschrichtius robustus*). En: Perrin, W. F., B. Würsing., y J. G. M. Thewissen (eds). *Encyclopedia of Marine Mammals*. 524-536 pp. Academic Press.
- Kenney, R. D., y H. E. Winn. 1986. Cetacean high-use habitats of the northeast United States continental shelf. *Fishery Bulletin*, 84:345-357.
- Kessler, W. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69:181-217.
- Kinzey, D., P. Olson., y T. Gerrodette. 2000. Marine mammal data collection procedures on research ship line-transect surveys by the Southwest Fisheries Science Center. Southwest Fisheries Science Center, Administrative Report LJ-00-08, 32 p.
- Krupnik, I. I. 1984. Gray whales and the aborigine of the Pacific Northwest: The history of aboriginal whaling. pp 103-120. En: *The Gray Whale, Eschrichtius robustus*. M. L. Jones, S. L. Wwartz, y S. Leatherwood (eds). Academic Press, New York.
- Lara-Lara, J. R., E. Millán Núñez., R. Millán Núñez., y C. Bazán Guzmán. 2003. Producción primaria del fitoplancton en el Pacífico mexicano (1992-2000). pp 103-124. En: Barreiro-Guemes, M. T., M. E. Meave del Castillo., M. Signoret-Poillon., M. G. Figueroa-Torres (eds). *Planctología Mexicana*. Sociedad Mexicana de Planctología, A.C., México.
- Lara-Lara, J. R., V. Arenas Fuentes., C. Bazán Guzmán., V. Díaz Castañeda., E. escobar Briones., M. García Abad., G. Gaxiola Castro., G. Robles Carero., R. Sosa Ávalos., L. A. Soto González., M. Tapia García., J. E. Valdez-Holguín., y J. Bezaury Creel. 2008. Los ecosistemas marinos. En: *Capital natural de México, vol.I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, pp. 135-159.
- Leatherwood, S., y R. R. Reeves. 1983. *The Sierra Club Handbook of Whales and Dolphins*. Sierra Club Books, San Francisco. 302 pp.
- Leatherwood, S. R. R. Reeves., W. F. Perrin., W. E. Evans., y L. Hobbs. 1988. *Ballenas, Delfines y Marsopas del Pacífico Nororiental y de las Aguas Árticas adyacentes: Una guía para su identificación*. Informe especial Número 6, Comisión Interamericana del Atún Tropical.
- Lipps J. H., y E. Mitchell. 1976. Trophic model for the adaptative radiations and extinctions of pelagic marine mammals. *Paelobiology*, 2:147-155.

- Lyons, K. G., y W. M. Schwart. 2001. Rare species loss alters ecosystem function - invasion resistance. *Ecology Letters*, 4:358-365.
- Magurran, A. E., y P. A. Henderson. 2003. Explaining the excess of rare species in natural species abundante distributions. *Nature*, 422(6933):714-716.
- Malakoff, D. 2004. New tools reveal treasures at ocean hot spots. *Science*, 304(5674): 1104-1105.
- McLeod, C. D. 2009. Global climate change, range changes and potential implications for the conservation of marine cetaceans: a review and synthesis. *Endangered Species Research*, 7:125-136.
- Medrano González L. 2006. Hacia una dinámica de la mastofauna marina mexicana: Análisis de composición funcional y de algunas estructuras genéticas poblacionales. En: Vázquez-Domínguez E. y D.J. Hafner (eds). *Genética y mamíferos mexicanos: Presente y futuro*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 32: 9-19.
- Medrano-González, L., C. S. Baker., M. R. Robles-Saavedra., J. Murrell., M. J. Vázquez-Cuevas., B. C. Congdon., J. M. Straley., J. Calambokidis., J. Urbán-Ramírez., L. Flórez-González., C. Olavarría-Barrera., A. Aguayo-Lobo., J. Nolasco-Soto., R. A. Juárez-Salas., y K. Villavicencio-Llamosas. 2001. Trans-oceanic population genetic structure of humpback whales in the North and South Pacific. *Museum of Queensland Memoirs*, 47: 465-479.
- Medrano-González L., H. Rosales-Nanduca., M. J. Vázquez-Cuevas., J. Urbán-Ramírez., L. Rojas-Bracho., M. A. Salinas-Zacarías., L. F. Bourillón-Moreno., L. Viloría-Gómora., E. M. Peters-Recagno., y A. Aguayo-Lobo. 2008. Diversidad, composiciones comunitarias y estructuras poblacionales de la mastofauna marina en el Pacífico Mexicano y aguas adyacentes. pp 469-492. En: *Avances en el estudio de los mamíferos de México Volumen II*. Lorenzo C, E. Espinoza E, y J. Ortega (eds). Asociación Mexicana de Mastozoología AC. San Cristóbal de las Casas, Chis.
- Meehl, G. A. 1982. Characteristics of surface current flow inferred from a global ocean current data set. *Journal of Physical Oceanography*, 12:538-555.
- Natoli, A., A. Cañadas., V. M. Peddemors., A. Aguilar., C. Vaquero., P. Fernández-Piqueras., y A. R. Hoelzel. 2006. Phylogeography and alpha taxonomy of the common dolphin (*Delphinus* sp.). *Journal of Evolutionary Biology*, 19:943-954.
- Palacios, D. M., S. J. Bograd., D. G. Foley., F. B. Schwing. 2006. Oceanographic characteristics of biological hot spots in the North Pacific: A remote sensing perspective. *Deep-Sea Research II*, 53:250-269.
- Pardo Rueda, M. A. 2009. Condiciones fisicoquímicas y biológicas que modulan la abundancia de cetáceos sobre cuenca Alfonso, Golfo de California. Tesis (Maestría), CICIMAR, México.
- Pauly, D., V. Christensen., S. Guénette., T. J. Pitcher., U. R. Sumaila., C. J. Walters., R. Watson., y D. Zeller. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418: 689-695.
- Pennington, J. T., K. L. Mahoney., V. S. Kuwahara., D. D. Kolber., R. Calienes., y F. P. Chavez. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review, 69:285-317.

- Perrin, W. F., B. Würsig., y J. G. M. Thewissen. 2002. Encyclopedia of Marine Mammals. Academic Press, 1473 p.
- Perrin W. F., M. D. Scott., G. J. Walker., y V. L. Cass. 1985. Review of geographical stocks of tropical dolphins (*Stenella* spp. and *Delphinus delphis*) in the eastern Pacific. Report NOAA NMFS-28. La Jolla, CA.
- Piatt, J. F., y D. A. Methaven. 1992. Threshold foraging behavior in baleen whales. Marine Ecology Progress Series, 84:205-210.
- Pompa Mansilla, S. 2007. Distribución y abundancia de los géneros *Kogia* y *Steno* en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Tesis (Maestría). PCB, UNAM.
- Reeves, R. R., B. S. Stewart., P. J. Clapham., y J. A. Powell. 2002. Guide to marine mammals of the world. National Audubon Society. New York, NY: Alfred A. Knopf. 527 p.
- Reilly S. B., y P. C. Fiedler. 1994. Interannual variability of dolphin habitats in the eastern tropical Pacific. I: Research vessel surveys, 1986-1990. Fishery Bulletin 92: 434-450.
- Roden, G. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. pp 30-58. En: van Andel. T. H., y G. G. Shor Jr (eds). Marine Geology of the Gulf of California: A symposium. (Memoir No. 3). American Association of Petroleum Geologist, Tulsa.
- Rosel, P.E., A. E. Dizon., y J. E. Heyning. 1994. Genetic analysis of morphotypes of common dolphins (Genus *Delphinus*). Marine Biology, 119: 159-167.
- Salazar Bernal, E. 2005. Ocurrencia de orcas (*Orcinus orca*) y de sus ataques a ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) en la Bahía de Banderas, México. Tesis (Licenciatura), Facultad de Ciencias, UNAM.
- Salazar Bernal, E. 2008. 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 (Maestría) PCB, UNAM.
- Salinas, M. y P. Ladrón de Guevara. 1993. Riqueza y diversidad de los mamíferos marinos. Ciencias. Número especial 7: 85-93.
- Schipper, J., J. S. Chanson., F. Chiozza., N. A. Cox., M. Hoffman., y 125 autores más. 2008. The status of the world's land and marine mammals: diversity, threat, and knowledge. Science, 322:225-230.
- Schramm, Y., S. L. Mesnick., J. de la Rosa., D. M. Palacios., M. S. Lowry., D. Aurioles-Gamboa., H. M. Snell., y S. Escorza-Trevino. 2009. Phylogeography of California and Galapagos sea lions and population structure within the California sea lion. Marine Biology, 156:1375-1387.
- Schwing F, B., D. M. Palacio., y S. J. Bograd. 2005. El Niño impacts on the California Current ecosystems. U.S. CLIVAR Newsletter, 3(2):5-8.
- SEMARNAT. 2000. Proyecto para la conservación, recuperación, manejo y aprovechamiento sustentable de los pinnípedos. 87pp.
- Soulé, M. E., J. A. Estes., J. Berger., y C. Martínez del Río. 2003. Ecological effectiveness: conservation goals for interactive species. Conservation Biology, 17:1238-1250.
- Spalding, M. D., H. E. Fox., G. R. Allen, N. Davidson, Z. A. Ferdaña, M. Finlayson, B. S. Halpern., M. A. Jorge., A. Lombana., S. A. Lourie, K. D. Martin., E. McManus., J.

- Molinar., C. A. Recchia., y J. Robertson. 2007. Marine ecoregions of the world. A bioregionalization of coastal and shelf areas. *Bioscience*, 57(7): 573-583.
- Steele, H. H (ed). 1973. *Marine food chains*. Oliver & Boyd, Edinburgh.
- Thiele, D., E. T. Chester., y P. C. Gill. 2000. Cetacean distribution off Eastern Antarctica (80° - 150° E) during the austral summer of 1995/96. *Deep-Sea Research II*, 47:2543-2572.
- Tittensor, D. P., B. Worm., y R. A. Myers. Macroecological Changes in Exploited Marine Systems. En: Witman, J. D., y K. Roy (eds). *Marine Macroecology*. The University of Chicago Press: Chicago and London, 424p.
- Torres, G. A., C. Esquivel M., y G. Ceballos. 1995. Diversidad y conservación de los mamíferos marinos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 1: 22-43.
- Trasviña, A., D. Luch Cota., A. E. Filonov., y A. Gallegos. 1999. Oceanografía y El Niño. pp 69-101. En: V. Magaña O (ed). *Los impactos de El Niño en México*.
- Trillmich, F., K. A. Ono., D. P. Costa., R. L. De Long., S. D. Feldkamp., J. M. Francis., R. L. Gentry., C. B. Heath., B. J. LeBoeuf., P. Majluf., y A. E. York. 1991. The effects of El Niño on pinniped populations in the eastern Pacific. En: *Pinnipeds and El Niño* (Eds). Trillmich, F., y K. A. Ono. *Ecological Studies*, 88. Springer-Verlag, New York.
- Trites A. W., V. Christensen., y D. Pauly. 1997. Competition between fisheries and marine mammals for prey and primary production in the Pacific Ocean. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 22:173-187.
- Tynan, C. T., y D. P. De Master. 1997. Observations and predictions of Arctic climate change: potential effects on marine mammals. *Arctic*, 50(4):308-322.
- Urbán, J., y A. Aguayo. 1987. Spatial and seasonal distribution of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, in the Mexican Pacific. *Marine Mammal Science*, 3(4):333-344.
- Urbán, J. C. Alvarez., M. Salinas., J. Jacobsen., K. C. Balcomb III., A. Jaramillo., P. Ladrón de Guevara., y A. Aguayo. 1999. Population size of humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, in waters off the Pacific coast of Mexico. *Fisheries Bulletin*, 97(4):1017-1024.
- Viloria Gómora, L. 2007. Identidad, distribución espacio-temporal y abundancia de *Tursiops truncatus* en Bahía de Banderas, México. Tesis (Maestría). PCMyL, UNAM.
- Wade, P. R., y T. Gerrodette. 1993. Estimates of cetacean abundance distribution in the eastern tropical Pacific. *Report of the International Whaling Commission*, 43:477-493.
- Wang, C., y P. C. Fiedler. 2006. ENSO variability in the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4):239-266.
- Whitehead, H., B. McGill y B. Worm. 2008. Diversity of deep-water cetaceans in relation to temperature: implications for ocean warming. *Ecology Letters*, 11: 1198-1207.
- Whittow, G. C. 1987. Thermoregulatory adaptations in marine mammals: Interacting effects of exercise and body mass. A review. *Marine Mammal Science*, 3:220-241.
- Witman, J. D., y K. Roy (eds). 2009. *Marine Macroecology*. The University of Chicago Press: Chicago and London, 424p.

- Worm, B., Lotze, K., y R. A. Myers, R., 2003. Predator diversity hotspots in the blue ocean. *Proceedings of the National Academy of Science*, 100(17):9884-9888.
- Worm, B., H. K. Lotze., y R. A. Myers. 2006. Ecosystems effects of fishing and whaling in the Pacific and Atlantic Ocean. En: Estes, J. A., D. P. DeMaster., D. F. Doak., T. M. Williams., R. L. Brownell Jr (eds). *Whales, Whaling and Ocean Ecosystems*, California-University Press, Berkeley, pp 333-341.
- Wyrтки, K. 1965. Surface currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Inter American Tropical Tuna Comission. Bulletin IX*, 5:63-97.
- Wyrтки, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *International Journal of Oceanology and Limnology*, 1(2): 117-147.
- Zeitzchel, B. 1969. Primary productivity in the Gulf of California. *Marine Biology*, 3:201-207.

<http://coaps.fsu.edu/jma.shtml>

[www.cites.org/esp/app/s-appendices.pdf](http://www.cites.org/esp/app/s-appendices.pdf)