



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Mamíferos marinos de la Bahía de Banderas
y aguas adyacentes: 1982 - 2015**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA:

Emiliano Rodrigo Arroyo Sánchez



Director: Dr. Luis Medrano González

Ciudad Universitaria, CDMX

2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. Datos alumno

Arroyo
Sánchez
Emiliano Rodrigo
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
409092103

2. Datos tutor

Dr.
Luis
Medrano
González

3. Datos Sinodal 1

Dr.
Adolfo Gerardo
Navarro
Sigüenza

4. Datos Sinodal 2

Dr.
Hibraim Adán
Pérez
Mendoza

5. Datos Sinodal 3

Dra.
Norma Angélica
López
Gómez

6. Datos Sinodal 4

M. en C.
María de Jesús Guadalupe
Vázquez
Cuevas

7. Datos tesis

Mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes: 1982-2015
89p
2017

Contenido

1.	1
Agradecimientos	
2.	3
Sumarios	
2.1.	3
Resumen.....	
2.2.	4
Abstract.....	
3.	5
Introducción	
3.1. La comunidad ecológica.....	6
3.2. Los mamíferos marinos.....	7
3.3. La Bahía de Banderas y aguas adyacentes.....	11
3.4. Los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas.....	15
4.	19
Objetivos	
4.1. Objetivo general.....	19
4.2. Objetivos particulares.....	19
5. Métodos y materiales	20
5.1. Trabajo de mar.....	20
5.2. Procesamiento de datos.....	23
6.	32
Resultados	
6.1. Diversidad, comunaleza, abundancia y variación ambiental.....	32
6.2. Estacionalidad ambiental y mastofaunística marinas.....	38

6.3. Variación estacional y anual de la abundancia y la crianza.....	43
6.4. Variación estacional y decadal de la diversidad.....	55
6.5. Distribución espacial de la diversidad.....	62
6.6. Distribución espacial de la crianza.....	65
7. Discusión y conclusiones.....	70
8. Referencias.....	74
9. Apéndices.....	79
9.1. Resumen de esfuerzo de 1981 a 2016.....	79
9.2 Navegación del autor.....	80
9.3 Ilustraciones de las especies registradas.....	81

A Adriana, Joel, Julia y Montse
Gracias por permitirme vivir el concepto de familia

A Eugenia Hernández y Ana Crespo
Por cambiarme la vida y siempre estar ahí.

A todos mis muertos por estar siempre pendiente de mí

“No se fracasa si existe un comienzo, ser transparente te transporta ileso”

Control Machete, Ileso Artillería Pesada 1999.

Humildad científica

“Cualquiera puede enseñarnos algo. A lo mejor nosotros mismos somos tan arrojados que conseguimos que nos enseñe algo alguien que era menos arrojado que nosotros. Y también el que no nos parezca muy arrojado tiene arrosos escondidos. Además, el que no es arrojado para uno puede serlo para otro. Las razones son muchas. El hecho es que hay que escuchar con respeto a cualquiera sin por ello eximirnos de pronunciar juicios de valor; o de saber que el autor piensa de modo muy distinto al nuestro, que ideológicamente está muy lejos de nosotros. Pero también el más feroz de los adversarios puede sugerirnos ideas. Depende del tiempo, de la estación, de la hora del día... [] ...humildad científica como virtud de personas orgullosas y no como virtud de personas débiles”

Como se hace una Tesis. Técnicas y procedimientos de investigación, estudio y escritura. Umberto Eco.

“... ¿Qué es lo que esperas que un día suceda, porqué te entregas abusos no empleas?”

Control Machete, Ileso Artillería Pesada 1999.

1. Agradecimientos

A mi “má” Adriana Sánchez y a mi “pá” Joel Arroyo por ser las mejores personas en el mundo, por inculcarme los valores y principios necesarios para ser humano, por estar siempre al pendiente y como respaldo dejándome ser yo en todo momento. No pude tener mejores madre y padre.

A mi hermana Montserrat la mejor psicóloga, porque gracias a tu carácter tan pragmático forme el mío. Eres la hermana más añeja en mi vida. Gracias a ti entendí el concepto de cuidado, nunca dejarás de ser mi hermanita.

A mi hermana Julia la mejor bailarina y economista, porque gracias a tu llegada entendí más y mejor el significado de familia. Eres un ejemplo por tu capacidad de trabajo, compromiso, pasión y entrega en todo lo que haces.

A mi tía Pilar Sánchez por aguantarme en mi época más inquieta, la niñez – pubertad, por ser mi segunda madre.

A mis otros hermanos Wilfrido el serio e introspectivo hermano mayor, Priscila la hermana compañera y cómplice contemporánea y Haven eterno amigo.

A mis abuelos Willy y Ru y Coty y Joel. Por formar a mis padres sus lecciones fueron bien aprendidas y perfectamente ejecutadas.

A mis primos Arroyo y Sánchez los amigos que son familiares, todos de alguna manera son cómplices en mi deformación.

A todos mis tíos Arroyo y Sánchez, en todas mis etapas cada uno fue un ejemplo a seguir.

A mis amigos y mentores de la vida: Ana, Juan Carlos y Gustavo (Los mejores), Abelardo. Eugenia (Mentora en la docencia). Quique y Duan. Toño, Alan, Chabelo (Alberto) Hugo, Gilberto, Elena y Tonatiuh. Flor, Gerardo y Yeri. Norma, Ingrid, Kemchs, Fosi, Fürher (Gerardo) y Luisa. Adrián, Alex y Chucho. Yodifred, Aarón, Ometeotl, Betito, Ulises Suarez y González, Hoper, Jaramillo, Uva, Paola, Liz, Yas, Citlalli y Hoyo Funky (Alberto, Andrés, Lalo, Mario e Iván). Marina, Aída, Andrea Cerón y Andrea Bonilla. Chucho “Freaky team” Miriam y Dr. Carlos Robinson. Ham, Ale, Abraham y Migue. “Dr.” Rendón (Mentor empresarial biológico), Víctor, Alí, Kevin y Didier.

A las familias: López Torres, Cruz Peláez, Soto Hernández, Acevedo Villa, Pozos Villaseñor, Crespo Hernández, Ulibarri Bobadilla y Bonilla Garzón.

“No sólo no hubiera sido nada sin ustedes, sino con toda la gente que estuvo a mi alrededor desde el comienzo; algunos siguen hasta hoy. ¡Gracias... totales!”.

A la UNAM por darme absolutamente todo desde antes de nacer, gracias a ti tengo, familia, techo, educación y todo lo que esto conlleva. No soy Puma desde la cuna. **SOY PUMA antes de la CUNA.**

A Luis Medrano, tu genialidad académica, sencillez y elocuencia en lo humano son un ejemplo a seguir, cada una de las pláticas (cualquiera que sea el tema) es pretexto para aprender; gracias a ti sé gran parte de lo que me depara la vida en la mastozoología marina. Esto es sólo el comienzo...

A Mary por alentarme e introducirme al hermoso mundo de la mastozoología marina. Gracias por hacerme creer que todavía existen personas con valores. Eres sin duda la culpable principal de esta transformación.

A todos los estudiantes de la Facultad de Ciencias que han participado en las actividades de campo a lo largo de todos estos años, sin todos ustedes este trabajo no hubiera sido posible.

Al Grupo de Mastozoología Marina de la Facultad de Ciencias (1981-2016) Por generar y curar los datos que hicieron posible este trabajo. En especial a Sara Hernández por ser una amistad en la academia.

A la cooperativa de turismo de Punta de Mita, a cada capitán que nos ha ayudado en la recolección de datos, en especial a “Tony” Adolfo Serna, por la ayuda y principalmente las pláticas de mar en la Mar.

A todos mis profesores, por formar lo que la vida iba deformando, no cabe duda que “la palabra convence, pero el ejemplo arrastra”

A mis sinodales, Dra. Norma López, Dr. Hibraim Pérez, Dr. Adolfo Navarro, por sus enseñanzas y comentarios.

A las tripulaciones del B/O “El Puma” durante las campañas oceanográficas en que he participado.

2. Sumarios

2.1. Resumen

La Bahía de Banderas (BB) y aguas adyacentes son una región de alta riqueza biológica y objeto de severos impactos antrópicos fundamentalmente derivados del desarrollo turístico. En este trabajo se analizaron cambios en la ecología de la mastofauna marina de la BB, como un indicador de la condición de los ecosistemas marinos, en el periodo 1981-2016. Se examinaron la diversidad, abundancia, crianza y comunaleza (la persistencia de las especies en el tiempo) de 20 especies de mamíferos marinos a partir de 5229 registros obtenidos en 998 navegaciones con esfuerzo de 4850 horas sobre una extensión de 7980 km². La ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), el delfín moteado (*Stenella attenuata*) y la tonina (*Tursiops truncatus*) fueron las especies más abundantes y comunes. Alta comunaleza se observó también en el cachalote enano (*Kogia sima*) y el delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*) pero con poca abundancia. Se distingue un periodo de menor abundancia general en los años 1993–2012. Diez especies mostraron una tendencia negativa en abundancia, especialmente la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), el delfín tornillo (*Stenella longirostris*) y la orca falsa (*Feresa attenuata*). Se encontraron cuatro patrones de ocurrencia anual y estacional. Asimismo, se observó una tendencia decreciente de la diversidad de especies. Se observó crianza en 11 cetáceos para los cuales la fracción de registros con cría fue superior a 10% con excepción de la ballena gris y el cachalote enano donde tal fracción fue 8% y 4% respectivamente. En las ballenas jorobadas y de Bryde (*Balaenoptera edeni*) se observó una tendencia positiva en la fracción de avistamientos con crías mientras que en el delfín moteado y la tonina, esta fracción fue paralela al ciclo de abundancia general. Esto indica que la BB y aguas adyacentes son una región importante para la crianza de los cetáceos. Cambios a largo plazo en la mastofauna marina pueden explicarse parcialmente por variaciones climáticas como la oscilación decadal del Pacífico (PDO). Sin embargo, estos cambios faunísticos también consisten en una disminución general de la diversidad y la abundancia lo cual puede atribuirse más a la creciente perturbación humana, especialmente a partir de la década de los 1990s.

2.2. Abstract

Bahía de Banderas (BB) and adjacent waters are a region of high biological richness that is subjected to severe anthropic impacts mostly owed to tourism development. Here, I do analyze the changes in marine mammal ecology at BB during the period 1981-2016, as indicative of changes in marine ecosystems. I've examined the diversity, abundance, nursing and commonness of 20 marine mammal species from 5229 records obtained in 998 navigations with effort of 4850 hours over a 7980 km² extension. The humpback whale (*Megaptera novaeangliae*), the spotted dolphin (*Stenella attenuata*) and the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) were the most abundant and common species. The dwarf sperm whale (*Kogia sima*) and the rough-toothed dolphin (*Steno bredanensis*) were also common though lowly abundant. Lower abundance was observed during the years 1993-2012. Ten species showed a negative trend of abundance, especially the gray whale (*Eschrichtius robustus*), the spinner dolphin (*Stenella longirostris*) and the false killer whale (*Feresa attenuata*). Four patterns of annual and seasonal occurrence as well as a negative trend in species diversity were observed. Nursing of newborn calves was recorded for 11 cetaceans among which the fraction of records with newborns was over 10% with exception of the gray whale and the dwarf sperm whale for which such fraction was 8% and 4% respectively. A positive trend for the fraction of records with newborns was registered in humpback and Bryde's (*Balaenoptera edeni*) whales whereas such fraction in the spotted and bottlenose dolphins was parallel to their annual variation in general abundance. This suggests that the BB and adjacent waters are an important region for the nursing of cetaceans. Long-term changes in marine mammal fauna may partially be explained by climate variations such as the Pacific Decadal Oscillation (PDO). However, these changes also entail a general decline of diversity and abundance that seem more attributable to the growing human disturbance, especially after the decade of the 1990s.

3. Introducción

Los mamíferos marinos han sido motivo de diferentes representaciones cosmogónicas y artísticas, y también son uno de los grupos animales que más se han explotado en la historia humana. Estos animales fueron cazados intensamente en todo el mundo para comerciar sus productos entre los siglos XVIII y XX (Haley 1978). La abundancia y riqueza de los mamíferos marinos entre fines del siglo XVIII y principios del XIX, impulsaron las ballenerías rusa, inglesa y norteamericana a gran escala la cual incluyó también a los pinnípedos y otros carnívoros (Scammon 1874). La explotación excesiva y descontrolada de mamíferos marinos provocó para fines del siglo XIX, una severa baja en las poblaciones de estos animales, la fragmentación de sus áreas de distribución e incluso la extinción local o total de algunas especies como el lobo marino de Japón (*Zalophus japonicus*); (Leatherwood *et al.* 1983). Hoy en día existen convenciones y organizaciones internacionales para la protección de los mamíferos marinos que trabajan en la recuperación y conservación de las especies con base en investigarlas científicamente.

México en sus cuatro vertientes: Golfo de México y Mar Caribe, Pacífico Tropical, Golfo de California y costa occidental de Baja California, cuenta con 11 593 km de costa, 3150 km² de zona económica exclusiva y 231 813 km² de mar territorial donde alberga una gran riqueza de especies marinas siendo el décimo segundo país más biodiverso en este aspecto (De la Lanza y Gómez Rojas 2004, Lara-Lara *et. al.*, 2008). Sin embargo, la biodiversidad marina de México se encuentra amenazada por diversas actividades humanas siendo las principales la contaminación y la pesca las cuales se desarrollan sin criterios ecológicos ni sociales que permitan su sustentabilidad. Mientras aumenta la demanda por recursos turísticos, de pesca y extracción entre otros, la presión de deterioro de las costas y mares mexicanos se incrementa por lo que resulta fundamental priorizar las zonas de mayor importancia para su conservación (Arellano Peralta y Medrano González 2013).

3.1. La comunidad ecológica

Existen diferentes visiones para conceptualizar a las comunidades en los ecosistemas. Las comunidades se pueden definir como grupos de especies que comparten espacio y tiempo, y con propiedades emergentes respecto a las poblaciones que las componen (Gee y Giller 1987, Whittaker 1967). Las comunidades pueden ser definidas en cualquier tamaño, escala o nivel de jerarquía de hábitats (Begon et al. 2001).

La abundancia y distribución como características para definir una comunidad, son variables dependientes que son determinadas por dos conjuntos de variables independientes como el ambiente físico y la presencia de las especies mismas. Las escalas temporal y espacial también se usan tanto para definir diversidad de especies así como para evidenciar el ensamblaje de una comunidad (Krebs 1999, Sánchez 2009, Smith y Smith 2006, Weiher y Keddy 2001, Wiens 1986).

Como nivel de organización, la comunidad se caracteriza por determinados atributos y procesos tales como: formas de vida las cuales son formas de crecimiento que responden a condiciones ambientales, se manifiestan como distintas estructuras visibles y determinan alguna estratificación y la forma de aprovechamiento del espacio; la composición de especies; la riqueza de especies; la abundancia relativa, que se refiere a la proporción que representan los individuos de una especie particular respecto al total de individuos de la comunidad; dominancia, el peso biológico que ejercen las especies sobre la naturaleza y estructura de la comunidad; diversidad específica o variabilidad de los individuos presentes en la comunidad la cual se describe mediante el número de especies presentes sumada a la distribución de los individuos entre especies. Una comunidad es más diversa cuántas más especies tenga y cuanto más equitativamente estén repartidos los individuos entre las distintas especies.

Entender las causas y consecuencias de los atributos que definen a una comunidad así como la variación en la distribución de formas de vida, estructura y dinámica, es importante para la conservación de la diversidad biológica (Medellín et al. 2000, Smith y Smith 2006). El ensamblaje de una comunidad es un mecanismo dinámico donde individuos, fenotipos, poblaciones y gremios, interactúan produciendo patrones observables (Brown 1981, Drake et al. 1999). Estas interacciones determinan la diversidad de las comunidades, donde las especies, continuamente están colonizando espacios y perdiendo poblaciones (MacArthur y Wilson 1967).

3.2. Los mamíferos marinos

México es el tercer país con mayor riqueza y abundancia de mastofauna. En cuanto a mamíferos marinos, en el territorio existen de 45 a 49 especies repartidas en tres órdenes, doce familias y 32 géneros, los cetáceos con un número de 41 especies es el grupo más abundante, representa un 50% de la diversidad mundial (Ceballos *et al.* 2005, Medrano González *et al.* 2008).

Los cetáceos son un grupo cosmopolita dividido en dos subórdenes: Mysticeti (cetáceos con barbas) popularmente llamados ballenas, y Odontoceti (cetáceos con dientes) los cuales incluyen cachalotes, zifios, monodóntidos, delfines de río, delfines oceánicos y marsopas (Figuras 1 y 2). El grupo presenta una gran variación de tamaño que va desde 25 kg como la vaquita marina (*Phocoena sinus*) hasta la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) con 160 toneladas. Su cuerpo es fusiforme, es decir, con forma de torpedo y especializado para el nado. Solamente poseen extremidades anteriores modificadas en aletas, su cola está modificada como una aleta bilobulada y la mayoría tiene una aleta dorsal. Las fosas nasales que son dos orificios para los mysticetos y uno para los odontocetos, se encuentran en la parte superior del cráneo.



Figura 1. Orden Cetacea, Suborden Mysticeti (Cetáceos con barbas), Familia Balaenopteridae, Especie *Megaptera novaeangliae*. Ilustración de I.C. Díaz Gamboa, por cortesía de V.A. Arellano Peralta.

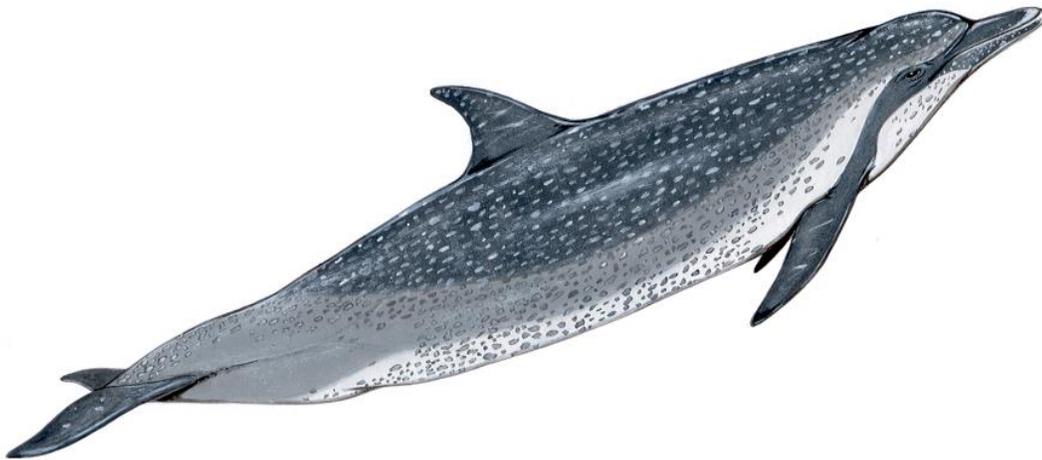


Figura 2. Orden Cetacea, Suborden Odontoceti (Cetáceos con dientes), Familia Delphinidae, Especie *Stenella attenuata*. Ilustración de I.C. Díaz Gamboa, por cortesía de V.A. Arellano Peralta.

La piel es rugosa o lisa, sin pelo y poseen características fisiológicas muy particulares tales como regulación de la temperatura corporal en un intervalo muy amplio, osmorregulación en un medio hipertónico y percepción auditiva que tiene tanta o más resolución que la visión humana (Berta *et al.* 2015, Jefferson *et al.* 2015, Perrin *et al.* 2009).

Otro grupo de mamíferos marinos presente en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes son los pinnípedos, específicamente los otáridos. Estos son mamíferos marinos del orden Carnivora que presentan miembros anteriores y posteriores en forma de aleta y un cuerpo fusiforme que facilita su desplazamiento en el agua. El término pinnípedo deriva del Latín *pinna* (aleta, pala o ala) y *pedis* (pie). Los pinnípedos incluyen las familias Otariidae (lobos marinos), Phocidae (focas) y Odobenidae (morsas). Los otáridos (Figura 3) tienen un cuerpo alargado y el cuello deprimido, están cubiertos por pelaje espeso que varía entre las especies; presentan pabellones auditivos externos (orejas) y su estructura pélvica les permite apoyar las extremidades posteriores sobre el suelo para desplazarse en tierra; los machos de esta familia presentan testículos escrotales (Bertha *et al.* 2015, Jefferson *et al.* 2015, Perrin *et al.* 2009, Vaughan *et al.* 2014).

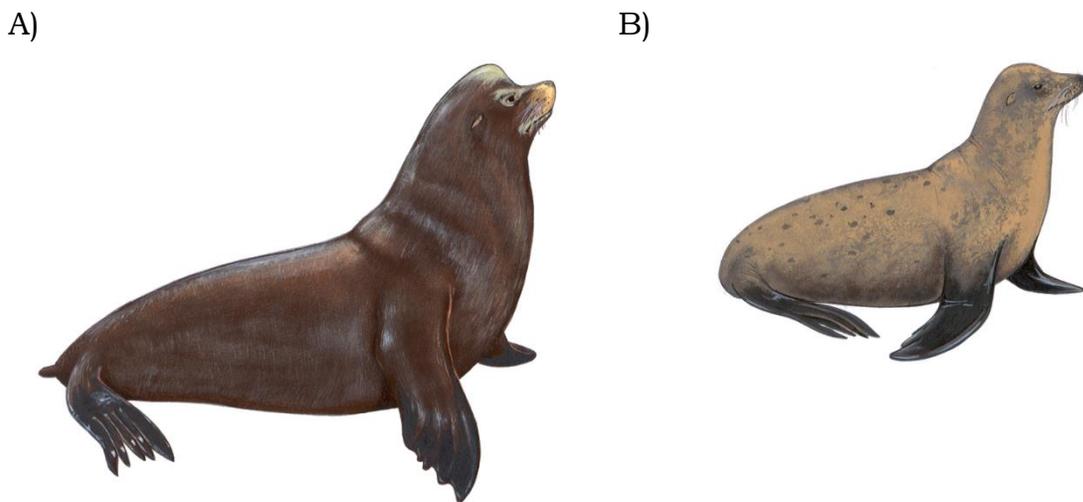


Figura 3. Orden Carnivora, Suborden Caniformia, Superfamilia Pinnipedia, Familia Otariidae, Especie *Zalophus californianus*. A) Macho. B) Hembra. Ilustración de I.C. Díaz Gamboa, por cortesía de V.A. Arellano Peralta.

Los mamíferos marinos tienen una capacidad de movimiento y dispersión (Redfern *et al.* 2006) ocasionando que su investigación sea difícil. Aunque el ambiente marino aparenta ser un hábitat continuo existen condiciones que limitan la distribución de estos animales las cuales están definidas por factores históricos y ecológicos (Aguilar Aguilar y Contreras Medina 2003). Los factores históricos generalmente explican procesos de dispersión, centros de origen y especiación. Los factores ecológicos están relacionados con los parámetros físico-químicos del ambiente (temperatura, salinidad, profundidad, concentración de nutrientes, productividad, etc.) e interacciones bióticas, tales como la competencia inter e intraespecífica y la depredación (Rosen 1988). Las distribuciones de los mamíferos marinos son particularmente complicadas para estudiar porque estos animales no ocupan el espacio de manera homogénea ni continua, y porque dicha ocupación y su abundancia cambian a través del tiempo en diferentes escalas por distintos factores de variación ambiental. El concepto tradicional y fijo de distribución para los mamíferos marinos es de hecho poco aplicable y requiere de nuevos conceptos y métodos de análisis (Medrano González *et al.* 2008).

Ya que los mamíferos marinos ocupan grandes espacios geográficos, tienen niveles tróficos medios y altos, y tienen también altas capacidades de aprendizaje y regulación fisiológica, su ecología es particularmente sensible a la variación ambiental. Por ello, la ecología de los mamíferos marinos tiene el potencial de poder identificar tendencias de deterioro en los ecosistemas marinos y advertir sobre las amenazas a la salud humana y la biodiversidad (Reddy *et al.* 2001). Una fuente de amplio interés sobre los mamíferos marinos es que muchas especies se encuentran en alguna categoría de riesgo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) ya sea por presiones directas a la población o bien por la perturbación de su hábitat.

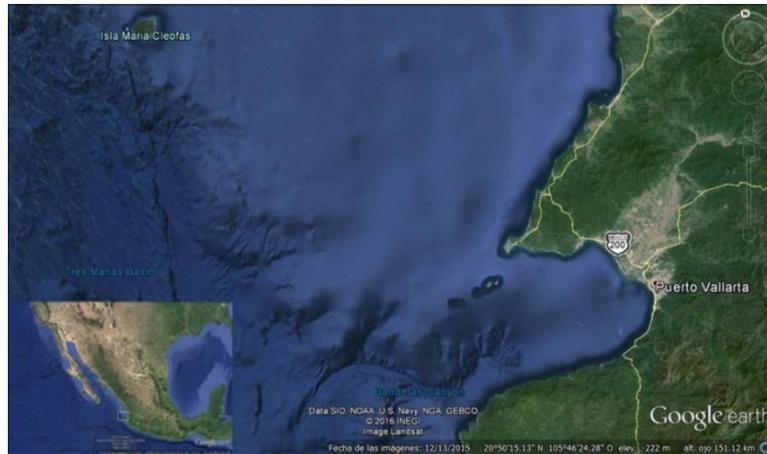
3.3. La Bahía de Banderas y aguas adyacentes

Esta bahía se encuentra en la zona de transición entre las regiones biogeográficas del Pacífico Oriental Tropical y el Pacífico Nororiental así como entre la Corriente de California y la Corriente del Océano Pacífico Oriental Tropical las cuales confluyen para formar la Corriente Norecuatorial del Pacífico. Por sus características ecológicas, geológicas y oceanográficas únicas, la Bahía de Banderas permite examinar fenómenos ecológicos de transición entre bio-regiones así como entre diferentes tipos de ambientes marinos (Salinas Zacarías y Bourillón Moreno 1988). La bahía está flanqueada por tres municipios: Cabo Corrientes y Puerto Vallarta en el Estado de Jalisco así como Bahía de Banderas en el Estado de Nayarit (Cupul-Magaña *et al.* 2000)

La Bahía de Banderas es la segunda más extensa del país con un área total de 987 km², y está ubicada entre las latitudes 20° 24' y 20° 46' N así como entre las longitudes 105° 14' y 105° 42' W. La bahía se delimita por una línea imaginaria desde Punta de Mita (Nayarit) al Norte hasta el Cabo Corrientes (Jalisco) al Sur; se considera una bahía abierta. A la entrada de la bahía se encuentra el archipiélago de las Marietas conformado por dos islas (Isla Larga e Isla Redonda), así como las rocas “El Morro” y “La Corbeteña” (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2007, Cupul-Magaña *et al.* 2000, Salinas Zacarías y Bourillón Moreno 1988; Figura 4).

La isobata de 200 m divide la bahía en una mitad norte somera en la que la plataforma continental se extiende hasta 14 km al sur de Punta Mita, así como una mitad sur formada por un cañón en el que las profundidades se incrementan abruptamente extendiéndose la plataforma continental a 8 km en la costa este y a 3 km frente al Cabo Corrientes. Se pueden encontrar profundidades de 1436 m frente a la costa de Quimixto y Yelapa (Salinas Zacarías y Bourillón Moreno 1988).

A)



B)

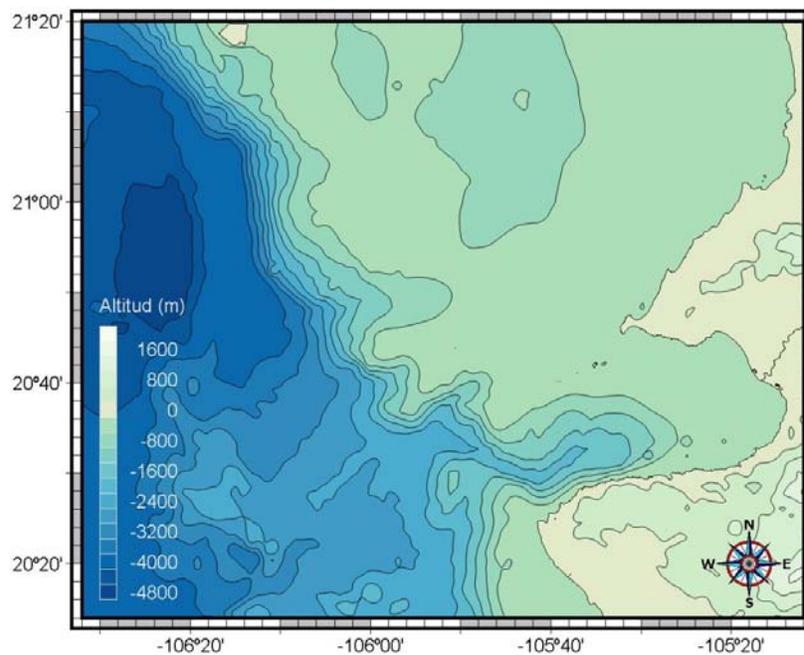


Figura 4. A) Ubicación y vista general de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Imágenes modificadas de www.googleearth.com (2016). B) Mapa batimétrico de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes elaborado *ex profeso* para este trabajo a partir de la base de batimetría de Smith y Sandwell (1997).

La Bahía de Banderas es el límite sureño del Golfo de California donde hay influencia de tres masas de agua superficiales. Entre los meses de enero y

junio (estación de secas) la Corriente de California aporta aguas frías que van de 15 a 20°C; entre julio y diciembre (estación de lluvias) predomina la influencia de la Corriente del Océano Pacífico Oriental Tropical con temperaturas mayores a 25°C. El agua del Golfo de California está presente todo el año (De la Lanza *et al.* 1991, Wyrski 1965). En general se registran temperaturas superficiales del mar mayores en la zona norte que en la sur, con una variación aproximada de 2°C, alcanzando valores promedio de 28°C en el verano (Salinas Zacarías y Bourillón Moreno 1988).

Según la clasificación de Köppen modificada por García (1988, 2004), la Bahía de Banderas presenta un clima tipo A (C) W (W), es decir, semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Dentro de esta clasificación, podemos encontrar tres subtipos: el de humedad alta AW₂ (W), el de humedad media AW₁ (W) y el de humedad baja AW₀ (W). Esto favorece la ocurrencia de selva media subcaducifolia, matorral subtropical, palmares y regiones de pastizal (Rzedowski 2006).

La costa norte de la Bahía de Banderas desde Punta Mita hasta Bucerías, es baja y arenosa y está constituida principalmente por acantilados de tres a 15 m de altura; la costa oriental que va de Bucerías hasta la Boca de Tomatlán, se compone por extensas playas arenosas; la costa sur, que va desde Boca de Tomatlán hasta el Cabo Corrientes, presenta costas altas con numerosos acantilados. La bahía está flanqueada por una cadena montañosa poco elevada constituida por cuatro sierras: la Sierra Vallejo al norte, la Sierra El Caules al este, la Sierra El Tuito al sureste y la Sierra Lagunillas al Sur. (INEGI 2007).

El Río Ameca es la principal aportación de agua por escurrimiento hacia la bahía y es el límite entre los estados Jalisco y Nayarit. Este río se encuentra al norte de Puerto Vallarta y tiene un curso de aproximadamente 168 km formando una cuenca por sus diferentes afluentes de 1400 km (González Gómez 1975). Al sur desembocan el río Tomatlán o Río las Juntas, el Río Tuito

el Río Tabo, el Río Cuale, el Nogal, Mismaloya, La Puerta, Palo María Pizote, Tecomate y Chimo. (Salinas Zacarías y Bourillón Moreno 1988).

La Bahía de Banderas provee un hábitat adecuado para un gran número de especies marinas y es también un destino turístico muy importante en México pero su deterioro ecológico en los últimos años se ha acrecentado (Márquez González 2007) haciendo prioritarias varias acciones de conservación y de investigación biológica y social que permita una mejor administración de los recursos que este sitio provee.

Las aguas adyacentes a la Bahía de Banderas incluyen la Bahía de Jaltemba (Bahía de Guayabitos) que se ubica al norte en el intervalo de latitud 21° 02' y 21° 08' N así como en el intervalo de longitud 105° 14' y 105° 19' W. Esta es una bahía delimitada al sur por la Punta Raza y al norte por la Punta El Custodio; presenta en la región sur dos islas pequeñas; la más grande, conocida como Isla de Coral o Isla Jaltemba, está formada por la acumulación de corales del género *Pocillopora* y cuenta con una playa arenosa de apenas 100 m de longitud; la isla más pequeña es conocida como Isla del Cangrejo y es una formación rocosa. Las playas son de limo arcilloso y arena limosa. La batimetría muestra que la porción sur de la plataforma continental del Pacífico Central mexicano, donde se localiza la Bahía de Banderas, es muy angosta y el talud se profundiza abruptamente, mientras que hacia el norte, en donde se encuentra la Bahía de Jaltemba, la plataforma se ensancha y el talud tiene una pendiente suave. La topografía se comporta de manera bastante regular hasta la isobata de los 100 m mostrando cambios drásticos más allá de esta profundidad (PROCEAM I 2004, Díaz Gamboa 2005). En la Bahía de Banderas y aguas adyacentes se han reportado dos órdenes de mamíferos marinos: cetáceos (misticetos y odontocetos) y carnívoros (lobos marinos y focas; Salinas Zacarías y Bourillón Moreno 1988).

3.4. Los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas

Solamente Salinas Zacarías y Bourillón Moreno (1988) han reportado un estudio formal de la mastofauna marina de la Bahía de Banderas el cual incluyó una revisión taxonómica de las especies así como análisis de distribución espacial, temporal, abundancia, alimentación y reproducción. Estos autores reportaron nueve odontocetos y tres misticetos que representan 43% de las especies presentes en el Golfo de California y 35% del Pacífico Nororiental. La forma costera del delfín moteado pantropical (*Stenella attenuata graffmani*) resultó ser la especie más abundante y presente todo el año, seguida en abundancia de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) sólo con presencia invernal así como la tonina (*Tursiops truncatus*) que es medianamente abundante y con presencia todo el año. Si bien la comunidad de cetáceos mantiene una estructura similar la mayoría del año, los autores mencionados encontraron diferencias que les permiten separar a la comunidad en cinco categorías siendo los principales factores de distinción la distribución espacial y temporal. La presencia de crías recién nacidas de diferentes especies, asimismo permitió identificar a la Bahía de Banderas como una zona de importancia para la reproducción de cetáceos.

Después de este trabajo, la investigación sobre la diversidad de la mastofauna marina de la región ha consistido de listados casi todos los cuales son revisiones bibliográficas. Con referencia a la mastofauna marina, Auriolles (1993) divide el Pacífico Mexicano en cinco zonas: 1) Pacífico Norte, 2) Golfo de California, 3) Pacífico Oriental Tropical, 4) Golfo de México y 5) Mar Caribe. Para la región 3, este autor reporta 30 especies. Salinas y Ladrón de Guevara (1993) reportaron 10 especies de mamíferos marinos para Nayarit y 14 para Jalisco resaltando el registro del zifio de Blainville (*Mesoplodon densirostris*) en la Bahía de Banderas. Con base en la colecta de material osteológico, registros de varamientos y fotografías, Vidal *et. al.* (1993) hizo un listado de los mamíferos marinos del Golfo de California, delimitado desde el delta del Río Colorado hasta la línea entre Cabo San Lucas y Cabo Corrientes, reportando 30 especies de ocho familias que representan el 75% de las especies conocidas

en México y el 25% de las especies existentes; este autor cita los registros del delfín de Fraser (*Lagenodelphis hosei*) de Aguayo y Sánchez (1987), el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*) por un cráneo colectado por Urbán (1992) y el delfín común de rostro corto (*Delphinus delphis*). Torres y Ceballos (1996) dividen los océanos mexicanos en cuatro zonas y reportan 31 especies de mamíferos marinos de ocho familias en el Golfo de California sin mención del delfín de Fraser pero sí de la orca pigmea (*Feresa attenuata*).

Rice (1998) incluyó al delfín de Fraser en su listado de mamíferos marinos de Jalisco tomando como referencia el avistamiento de Aguayo y Sánchez (1987). Iñiguez y Santana 2004 y Godínez *et al.* (2011) reportaron 28 especies de mamíferos marinos de cinco familias para Jalisco con base en referencias cartográficas, colectas científicas y distribuciones potenciales. Con base en una revisión bibliográfica, Sánchez-Cordero *et al.* (2014) reportó 14 mamíferos marinos para Jalisco y 18 para Nayarit. En contraste a estos trabajos, a partir de 5327 registros del Grupo de Mastozoología Marina de la Facultad de Ciencias UNAM (GMM-FC-UNAM), Arroyo-Cabrales *et al.* (2015) reportaron para las costas de Nayarit 21 especies de mamíferos marinos de dos órdenes, seis familias y 16 géneros lo cual representa 50% de la diversidad de mamíferos marinos del país. Asimismo, este estudio mostró una mayor riqueza de mamíferos marinos al sur del estado en tanto que forma parte de una zona de transición oceanográfica y biogeográfica. Este estudio finalmente identificó las costas de Nayarit como una región importante para la crianza de mysticetos y odontocetos lo cual ya había sido descrito por Arellano Peralta y Medrano González (2013) con base en la misma información. Un resumen de todos estos estudios se presenta en la Tabla 1.

La pérdida de la biodiversidad por causas antrópicas a nivel global alcanza niveles que han hecho que muchos científicos supongan que nos aproximamos a la sexta extinción masiva en la historia de la tierra (p.ej. Eldredge 1988) y asimismo, la actividad humana ha generado un cambio ambiental tan profundo en la biósfera que ha creado una nueva época geocronológica, el

Antropoceno. Las costas de Jalisco y Nayarit y en particular la Bahía de Banderas, tienen uno de los mayores crecimientos turísticos de México asociado a un impacto severo en la biodiversidad terrestre y marina (Avila-Foucat 1998, Márquez González 2007). En este trabajo se analizan cambios en la ecología de la mastofauna marina de la Bahía de Banderas, como un indicador de la condición de los ecosistemas marinos, en el periodo 1981–2016 examinando la diversidad de especies, su abundancia, crianza y comunaleza (persistencia de las especies en el tiempo).

Tabla 1. Referencias de mamíferos marinos en la literatura para la Bahía de Banderas y regiones relacionadas.

Nombre científico	Acrónimo	Nombre común	Ref. orig. ¹	Refs ²	Val ³
Orden Cetacea					
Suborden Mysticeti					
Familia Balaenopteridae					
<i>Balaenoptera musculus</i>	Bmus	Ballena azul	A 93	1	
<i>Balaenoptera physalus</i>	Bphy	Ballena de aleta	A 93	1	
<i>Balaenoptera borealis</i>	Bbor	Ballena de Sei	A 93	1	
<i>Balaenoptera edeni</i>	Bede	Ballena sardinera	SB 88	7	Si
<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Bacu	Ballena de Minke	A 93	3	
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Mnov	Ballena jorobada	SB 88	8	Si
Familia Eschrichtiidae					
<i>Eschrichtius robustus</i>	Erob	Ballena gris	SB 88	3	Si
Suborden Odontoceti					
Superfamilia Delphinoidea					
Familia Delphinidae					
<i>Lagenorhynchus obliquidens</i>	Lobl	Delfin de costados blancos	A 93	3	
<i>Lagenodelphis hosei</i>	Lhos	Delfin de Fraser	AS 87	3	Si
<i>Delphinus delphis</i>	Ddel	Delfin común	A 93	4	
<i>Stenella attenuata</i>	Satt	Delfin moteado	SB 88	3	Si
<i>Stenella longirostris</i>	Slon	Delfin tornillo	SB 88	8	Si
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Scoe	Delfin listado	U 92	5	Si
<i>Steno bredanensis</i>	Sbre	Delfin de dientes rugosos	SB 88	8	Si
<i>Tursiops truncatus</i>	Ttru	Tonina	SB 88	8	Si
<i>Feresa attenuata</i>	Fatt	Orca pigmea	A 93	4	
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Gmac	Calderón de aletas cortas	A 93	2	
<i>Grampus griseus</i>	Ggri	Delfin de Risso	SL 93	7	Si
<i>Orcinus orca</i>	Oorc	Orca	SB 88	8	Si
<i>Peponocephala electra</i>	Pele	Delfin cabeza de melón	A 93	3	
<i>Pseudorca crassidens</i>	Pcra	Orca falsa	SB 88	7	Si
Superfamilia Ziphiioidea					
Familia Ziphiidae					
<i>Berardius bairdii</i>	Bbai	Zifio de Baird	A 93	3	
<i>Hyperoodon planifrons</i>	Hpla	Zifio calderón austral	A 93	2	
<i>Ziphius cavirostris</i>	Zcav	Zifio de Cuvier	SB 88	7	Si
<i>Mesoplodon densirostris</i>	Mden	Zifio de Blainville	A 93	3	
<i>Mesoplodon peruvianus</i>	Mper	Zifio pigmeo	SB 88	4	Si
<i>Mesoplodon hectori</i>	Mhec	Zifio de Hector	A 93	2	
Superfamilia Physeteroidea					
Familia Physeteridae					
<i>Physeter macrocephalus</i>	Pmac	Cachalote	A 93	3	
Familia Kogiidae					
<i>Kogia breviceps</i>	Kbre	Cachalote pigmeo	A 93	4	Si
<i>Kogia sima</i>	Ksim	Cachalote enano	SB 88	7	Si
Orden Carnivora					
Suborden Caniformia					
Familia Otariidae					
<i>Zalophus californianus</i>	Zcal	Lobo marino de California	A 93	6	

1. Referencia original: Aguayo y Sánchez 1987 (AS 87), Auriolos 1993 (A 93), Salinas Zacarías y Bourillón Moreno 1988 (SB 88), Salinas y Ladrón de Guevara 1993 (SL 93), Urbán 1992 (U 92).
2. Refs: Número de referencias diferentes en la literatura.
3. Validación del registro: Avistamientos propios, Fotos documentadas, Especímenes documentados, Testimonios calificados.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Determinar los cambios que ha tenido la ecología de la mastofauna marina de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes durante el periodo 1981-2016.

4.2. Objetivos particulares

4.2.1. Determinar variaciones en la diversidad y estacionalidad de la mastofauna marina a través del tiempo.

4.2.2. Identificar cambios en la abundancia y la comunaleza de las especies a través del tiempo.

4.2.3. Identificar cambios en la ocurrencia así como en la distribución espacial y temporal de la crianza de las especies.

4.2.4. Determinar la distribución espacial de la diversidad de la mastofauna marina para una regionalización útil para la conservación.

5. Métodos y materiales

5.1. Trabajo de mar

Los datos de este trabajo son registros del GMM-FC-UNAM siguiendo protocolos de navegación que el mismo grupo desarrolló. En el periodo 1981-2016, se registraron 5229 avistamientos de mamíferos marinos en 998 navegaciones que cubrieron 4850 horas durante 711 días en una extensión de 7980 km² (Figuras 5 y 6). Por su importancia, se incluyeron adicionalmente tres registros del lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus townsendi*) comunicados por Patricia Meneses de la Compañía Dolphin Adventure. Se registraron 8304 líneas de transectos con un total de 44 194 km de navegación con búsqueda de mamíferos marinos. De estos transectos, 6392 tuvieron tiempo asociado lo que sumó 31 251 km por 2887 horas y por lo tanto, una velocidad media de 10.8 km/h. Esto permitió estimar una navegación total con esfuerzo de búsqueda de mamíferos marinos de 52 497 km (1.31 veces la circunferencia ecuatorial de la Tierra). El autor de este trabajo realizó trabajo de mar desde 2011 aportando 252 horas de esfuerzo en 56 navegaciones que suman 2351 km. (Apéndice 10.2)

En lo sucesivo, toda referencia a la navegación estará asociada a búsqueda de mamíferos marinos. La mayor parte de las navegaciones se hicieron en embarcaciones menores rentadas a los pescadores de la comunidad de Punta de Mita. Se incluyeron también navegaciones que se hicieron en el paso de cruceros oceanográficos por la región, la mayoría en el B/O El Puma de la UNAM. Algunas navegaciones se hicieron con una embarcación menor del mismo GMM-FC-UNAM. Los transectos se planearon y realizaron procurando cubrir la región atravesando distintos ambientes topográficos y minimizando la navegación con oleaje adverso (Figura 6). Se registró la historia y trayectoria de cada navegación tomando nota de la posición geográfica con ayuda de dispositivos GPS, por triangulación a puntos en tierra determinados con brújulas o bien, por estima.

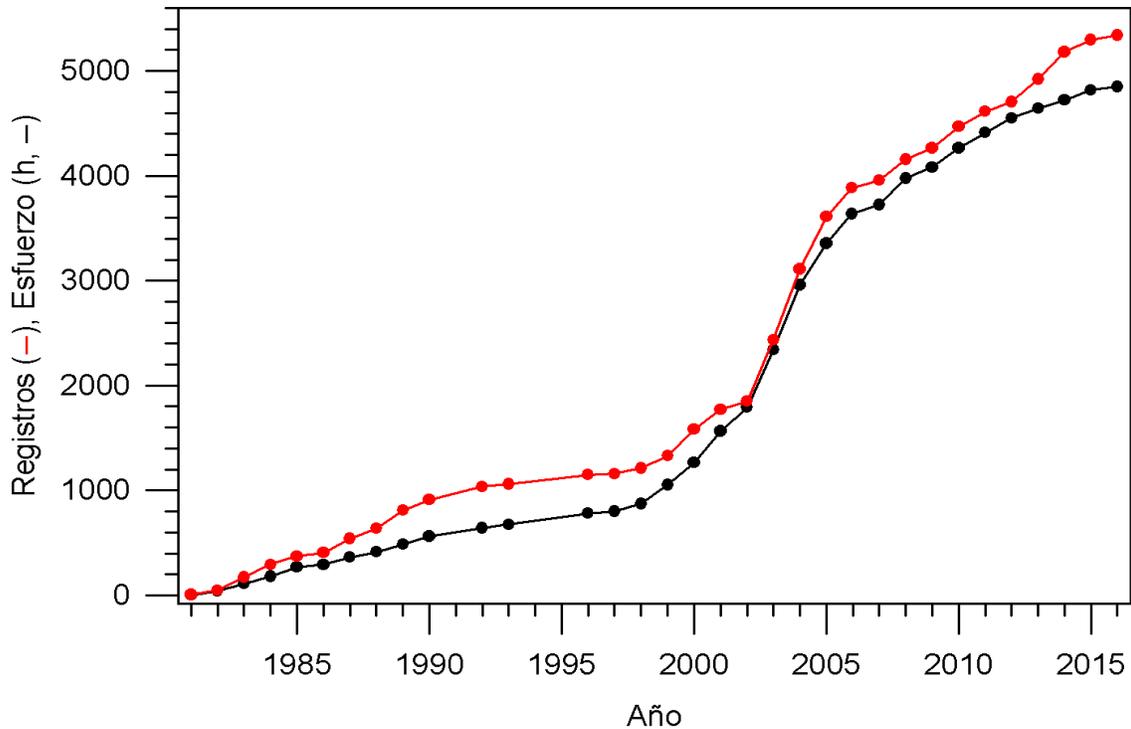


Figura 5. Distribución acumulada anual del esfuerzo de navegación con búsqueda y registros de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes.

Se registró asimismo la temperatura superficial del mar, el estado del mar en la escala de Beaufort, la cobertura de las nubes y la visibilidad medida como la distancia a la que se pueden observar con nitidez puntos en tierra. Estos registros se hicieron en estaciones cada 30 minutos, en puntos de cambio de rumbo y en avistamientos de mamíferos marinos.

Un avistamiento se define por la detección inequívoca de cualquier indicio de presencia de algún mamífero marino como puede ser un soplo, cualquier parte del cuerpo, una huella o una salpicadura de tamaño y forma característica. En cuanto se detecta algún mamífero marino, es muy importante observar la mayoría de características posibles para identificar a la especie así como documentarla con fotografías. La cantidad de datos registrados para cada avistamiento depende de la cercanía y conducta de los animales así como de objetivos específicos de la navegación.

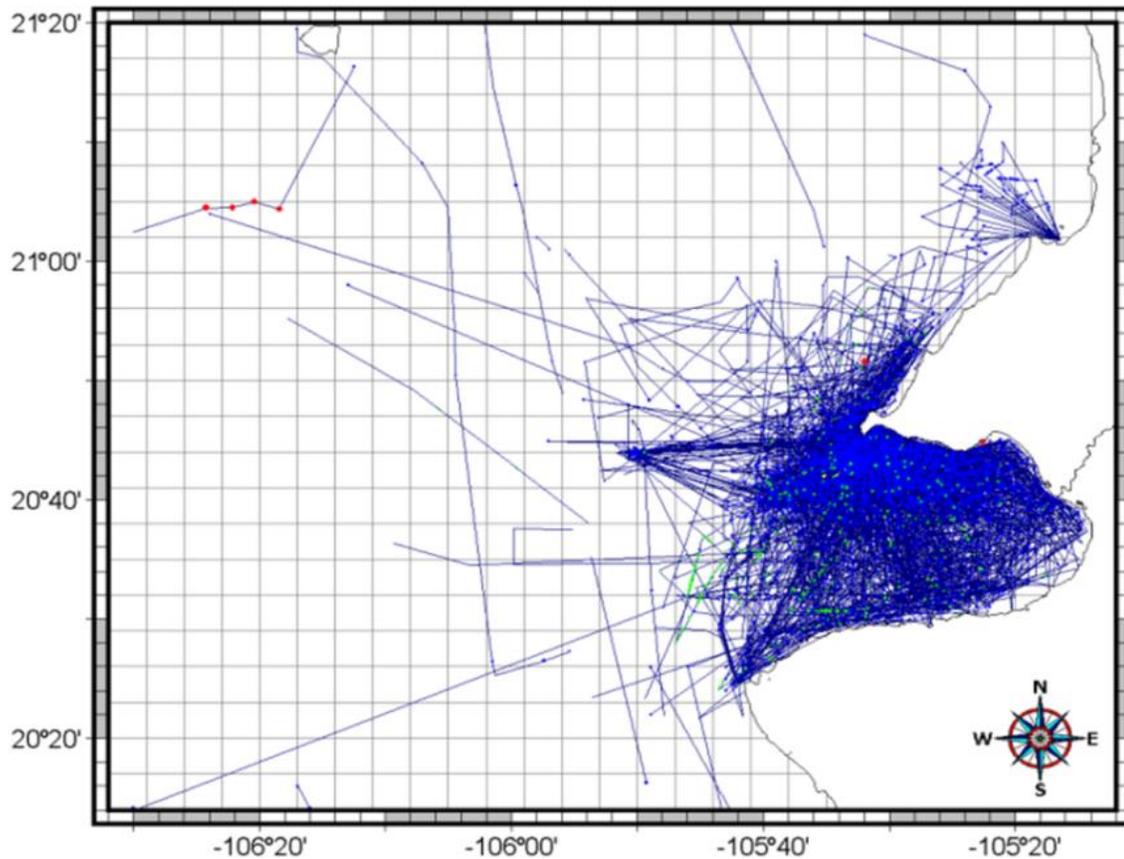


Figura 6. Transectos de todas las navegaciones reconstruidas en el periodo 1981-2016. Registros de cetáceos en azul, de pinnípedos en rojo y de reptiles en verde.

En la medida de lo posible, se registra la especie o especies que forman el avistamiento, el tamaño aproximado de los grupos y la composición aproximada de clases de sexo y edad con particular atención a la presencia de crías recién nacidas. Se hacen anotaciones generales de conducta y asociaciones tales como aves y peces formando comederos, tortugas y la presencia de otras embarcaciones cercanas. En dependencia de objetivos específicos, se pueden tomar fotografías útiles para estudios de marcaje, grabaciones subacuáticas así como coleccionar tejidos ya sea utilizando un dardo disparado por una ballesta, tocando al animal con una fibra estéril en la punta de un brazo extensible o recogiendo con una red la piel que los animales dejan suelta en el agua en conductas energéticas.

La base de datos de mamíferos marinos de la Bahía de Banderas del GMM-FC-UNAM ha sido curada durante varios años. Desde el año 2000, los datos se organizan y capturan en el sitio de trabajo y están resguardados en diarios de campo, formas impresas y bases de datos lo cual permite cotejar y corregir la información. Los datos de años previos se capturaron a partir de informes y diarios de campo y con consultas personales a algunos colectores. Se admitieron en la base solamente datos documentados y con información mínima suficiente para cubrir los objetivos de este estudio.

5.2. Procesamiento de datos

5.2.1. General: Con los datos documentados y ordenados de cada navegación, por cada día con esfuerzo de observación se contó el número de horas de navegación-embarcación y para cada especie se contó el número de avistamientos, individuos y avistamientos con cría. La fecha se registró como el día juliano (días transcurridos a partir del 1 de enero). Esto permitió hacer conteos de esfuerzo y registros por fecha del año, estación, año y década. De acuerdo con el mapa de transectos de la Figura 6, la región estudiada se subdividió en cuadrantes de 3 minutos de longitud y latitud ($5.379 \text{ km} \times 5.556 \text{ km} = 29.886 \text{ km}^2$ en la latitud media del mapa) que es aproximadamente la distancia al horizonte en embarcaciones menores. Un total de 267 celdas fueron visitadas (Figura 7) dando el total de 7980 km^2 ya descrito. Por cada uno de estos cuadrantes se contó el número de avistamientos, individuos y avistamientos con cría de cada especie.

Se utilizó el índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés) como indicador de variación ambiental regional. El PDO es una oscilación climática que se origina en el Pacífico Norte y que afecta las aguas del Pacífico Mexicano. El PDO es un fenómeno diferente a la Oscilación El Niño/La Niña y varía con periodos más largos (Kuball 2007, Mantua y Hare 2002, Zhang *et al.* 1997).

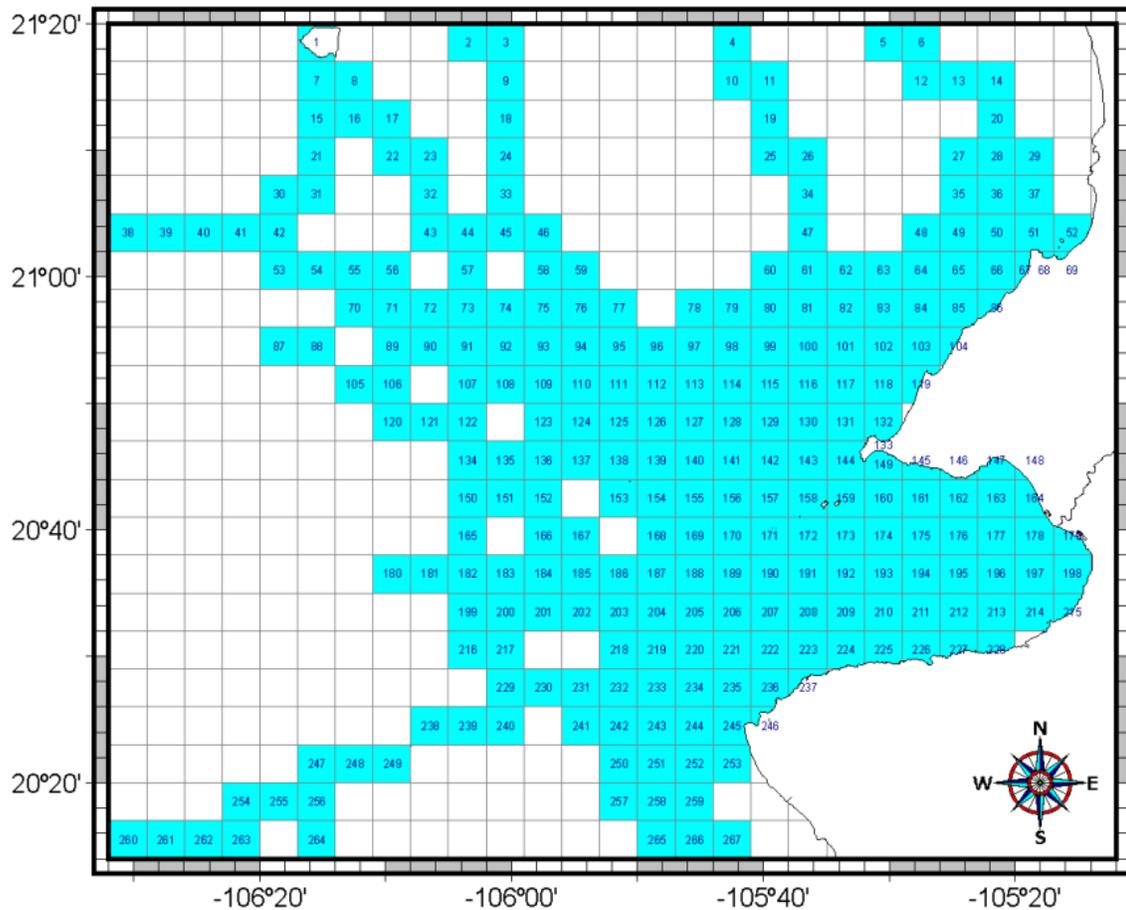


Figura 7. Celdas de 3 minutos (matriz geográfica) cubiertas por la navegación con búsqueda de mamíferos marinos.

5.2.2. Ocurrencia, densidad, abundancia y crianza: La ocurrencia de las especies se definió con el conteo de los registros de cada especie o bien la frecuencia relativa de cada una de ellas con respecto a los avistamientos de todas las especies. Se llama composición de especies al conjunto de ocurrencias o frecuencias de todas las especies en un periodo definido. La densidad o abundancia relativa de cada especie se definió como el número de registros por hora de navegación o como el número de individuos por hora de navegación. Debido a que los tamaños de grupo de delfines y el número de crías en ellos son muy difíciles de contar e inexactos, la crianza se caracterizó

como la fracción de avistamientos de una especie en los que se registraron crías recién nacidas.

5.2.3. Diversidad: Para distintas composiciones de especies, se estimó la riqueza de especies partir de curvas de acumulación utilizando el modelo de cinética de orden n de Hill, esto es:

$$R_N = R_{\max} \frac{N^n}{k + N^n}$$

donde R_N es la riqueza acumulada en el registro N, R_{\max} es la riqueza máxima, k es una constante relacionada con la rapidez en la acumulación de especies y n es el orden de reacción el cual indica si hay o no efectos de cooperación que en este caso se interpretan como la facilitación ($n > 1$) o inhibición ($n < 1$) de la ocurrencia de algunas especies a partir de la ocurrencia de otras.

Para diferentes composiciones de especies se determinó asimismo la diversidad informática (S) como sigue:

$$S_i = -\sum_{i=1}^R f_i \log(f_i)$$

donde f_i es la frecuencia de cada especie y para lo cual se cumple que $\sum f_i = 1$, y R es la riqueza observada de especies. El uso del logaritmo con base 2 provee el resultado en bits/especie. La diversidad máxima posible es $S_{\max} = \log_2(R)$ y por lo tanto la igualdad en la composición de especies es $I = S/S_{\max}$.

5.2.4. Comunaleza: Con este término se refiere la persistencia de las especies a través del tiempo, años en nuestro caso. En su definición más simple, la comunaleza de una especie (C_x) es la fracción de años en que esa especie se ha registrado con respecto al total de años de observación ($C_x = T_{o_x}/T_r$ donde T_{o_x} es el número de años en que una especie se ha observado y T_r es el número de años en los que se hicieron registros). El complemento de la comunaleza es la rareza (R), esto es, la fracción de años en que una especie no fue observada, $R_x = 1 - C_x$.

Ya que el número de registros no es homogéneo a través del tiempo, se define como comunaleza efectiva de una especie (C_{e_x}) al número efectivo de años en los que se observó una especie con respecto al número efectivo de años en los que se hicieron registros. El número efectivo de años de una especie (T_{oe_x}) o de todas las especies registradas (T_{re}) es el equivalente a un periodo en el que la frecuencia de los registros es homogénea. Si se tiene un muestreo ideal en el que el número de registros es homogéneo para un número de años T_e , la frecuencia relativa de los registros de cada año es $p_i = 1/T_e$. La probabilidad de que dos datos cualesquiera pertenezcan al mismo año (J) es en general $J = \sum_i p_i^2$. En el caso del muestreo ideal, esto es $J = T_e(1/T_e)^2 = 1/T_e$. Por lo tanto, $T_e = 1/\sum_i p_i^2$ donde el conjunto p_i describe la distribución real de los registros en el total de años de observación. Para el caso del número efectivo de años en que una especie fue observada, $T_{oe_x} = 1/\sum_i p_{ix}^2$ donde p_{ix} es la frecuencia de registros de x en cada uno de los T_{o_x} años. El número efectivo de años de observación es entonces $T_{re} = 1/\sum_i p_i^2$ donde p_i es a fracción de los registros de todas las especies en cada uno de los T_r años. Nótese que $T_{oe_x} \leq T_{o_x}$ y que $T_{re} \leq T_r$.

Se relacionó la comunaleza y frecuencia de las especies mediante el ajuste a un modelo de cinética de orden n (Hill) con un parámetro adicional de frecuencia inicial (f_0) que responde al uso de una escala logarítmica, esto es:

$$C_i = C_{\max} \frac{(\log(f) \log(b))^n}{k + (\log(f) \log(b))^n}$$

Nótese que por definición, $C_{\max}=1$. En este análisis se empleó la comunaleza máxima entre la comunaleza simple y la efectiva. Todos los ajustes de modelos se hicieron por el método de mínimos cuadrados disponible en SIGMAPLOT 10.

5.2.5. Estacionalidad: Se examinó la estacionalidad ambiental de la región estudiada a partir de 5429 mediciones *in situ* de la temperatura superficial del mar (TSM) la cual correspondió a la división que los lugareños han hecho tradicionalmente del año en dos estaciones: secas, de noviembre a abril, y lluvias, de mayo a octubre. Se sumaron los datos de TSM en fechas o años cercanos entre sí que por un lado representaran un muestreo mínimo adecuado y que al mismo tiempo conservaran la mayor resolución posible en los días a lo largo del año. Se utilizó el día juliano promedio de estas sumas de datos como marca de tiempo.

5.2.6. Variación estacional y anual de la abundancia y la crianza: Se construyeron perfiles estacionales (fechas a lo largo del año) y anuales (años a lo largo de cuatro décadas) de abundancia de cada especie y de todas en conjunto. Se sumaron los datos de registros, individuos y esfuerzo de fechas o años cercanos entre sí que por un lado representaran un muestreo mínimo adecuado y que al mismo tiempo conservaran la mayor resolución posible tanto en los días a lo largo del año como de los años a lo largo de las cuatro décadas del estudio. Se utilizó la fecha o año promedio de estas conjunciones de datos como marca de tiempo. La tendencia general de cambio en la abundancia a través de los años, se examinó con una regresión lineal simple.

La abundancia y la fracción de registros con crías de todas las especies se compararon directamente entre las estaciones de secas y lluvias y se

compararon asimismo como perfiles estacionales. Se hicieron también comparaciones directas de la comunaleza con la crianza y la pendiente de cambio anual de la abundancia.

La abundancia por fecha del año en individuos por hora y por año en avistamientos por hora fue normalizada por la variación de los datos agrupados por fechas (25 fechas) o agrupados por año (33 años) como sigue:

$$A_i^c = \frac{A_i - P_i}{D_i}$$

donde A_i^c y A_i son respectivamente, la abundancia normalizada y la abundancia original de una especie en un fecha del año o año dadas, y P_i y D_i son respectivamente el promedio y desviación estándar de A_i a través de las fechas en el año o a través de los años. Los datos normalizados por fecha y año fueron entonces integrados y vueltos a normalizar de la misma forma ya que los promedios normalizados son iguales (0) pero las desviaciones de los conjuntos integrados no lo son. Los datos de abundancia integrados en su variación por fecha y año se sometieron entonces a un análisis de componentes principales que permitió distinguir cuatro clases de especies. El perfil de abundancia anual de estas especies fue normalizado con respecto a la mayor abundancia registrada en un año y la tendencia general de cambio se examinó con una regresión lineal.

5.2.7. Variación estacional y decadal de la diversidad: Para examinar la variación faunística a largo plazo, se determinó la frecuencia de todas las especies agrupadas por décadas en las dos estaciones para realizar análisis de diversidad y clasificación. Para cada década y estación se construyeron curvas de acumulación de especies las cuales se ajustaron al modelo de Hill ya

descrito. Los valores de R_{\max} se relacionaron con el índice PDO promedio de cada década y estación.

Las composiciones de especies de las décadas y estaciones se normalizaron con respecto a su frecuencia para que todas tuviesen el mismo peso en un análisis de clasificación, como sigue:

$$f_i^c = \frac{f_i - P_i}{D_i}$$

donde f_i^c y f_i son respectivamente, la frecuencia normalizada y la frecuencia original de una especie en una década y estación dadas, y P_i y D_i son el promedio y desviación estándar de f_i a través de las décadas y estaciones respectivamente. Las composiciones normalizadas de las especies se sometieron a un análisis de cúmulos por el algoritmo de promedios ponderados (WPGMA) así como a un análisis de componentes principales utilizando el programa STATISTICA 7.

5.2.8. Distribución espacial de la diversidad y la crianza: La región se fraccionó en 12 celdas procurando por un lado tener datos suficientes para examinar la riqueza de especies y por otro, tener una resolución adecuada de la región en términos de área y sobre todo, de la diversidad de ambientes definidos por la topografía y la posición con respecto a la línea de costa y los vientos dominantes. Se tomaron entonces 4746 registros de mamíferos marinos con identificación de especie los cuales se asignaron a las 12 celdas y para cada una de ellas se estimó la riqueza, como se indica en la sección 5.2.3 pero utilizando el modelo simple de Michaelis-Menten (ecuación de Hill con $n=1$). Dos de las celdas más oceánicas tuvieron sólo dos registros así que en ellas se registró la riqueza observada. La riqueza estimada u observada de cada celda se asignó a la posición geográfica promedio de todos los registros. A los

valores de riqueza de las 12 celdas, se añadieron 35 puntos en tierra de riqueza nula para completar la extensión del mapa y definir los contornos de la extensión marina (Figura 8). Con el total de 47 datos de riqueza de especies en el mapa, se construyeron curvas de nivel mediante el procedimiento geoestadístico de krigaje utilizando el programa SURFER 10.

De las 267 celdas de 3 minutos de longitud y latitud en las que hubo búsqueda de mamíferos marinos (Figura 7), en 153 se hicieron registros de mamíferos marinos (Figura 6) y por tanto, en ellas fue posible determinar la ocurrencia de crianza. Para cada una de estas 153 celdas, se determinó la fracción de avistamientos con crías recién nacidas en el total de las 11 especies de mamíferos marinos que crían en la región así como de las tres especies comunes, esto es, *M. novaeangliae*, *S. attenuata* y *T. truncatus*, que son la que tienen información suficiente para construir un mapa. Los datos de crianza de cada celda se ubicaron en la posición geográfica promedio de los registros involucrados y se añadieron 35 puntos de crianza nula en tierra para completar el mapa y definir los contornos de la extensión marina (Figura 8). Con el total de 188 datos de crianza en el mapa, se construyeron curvas de nivel mediante el procedimiento geoestadístico de krigaje utilizando el programa SURFER 10.

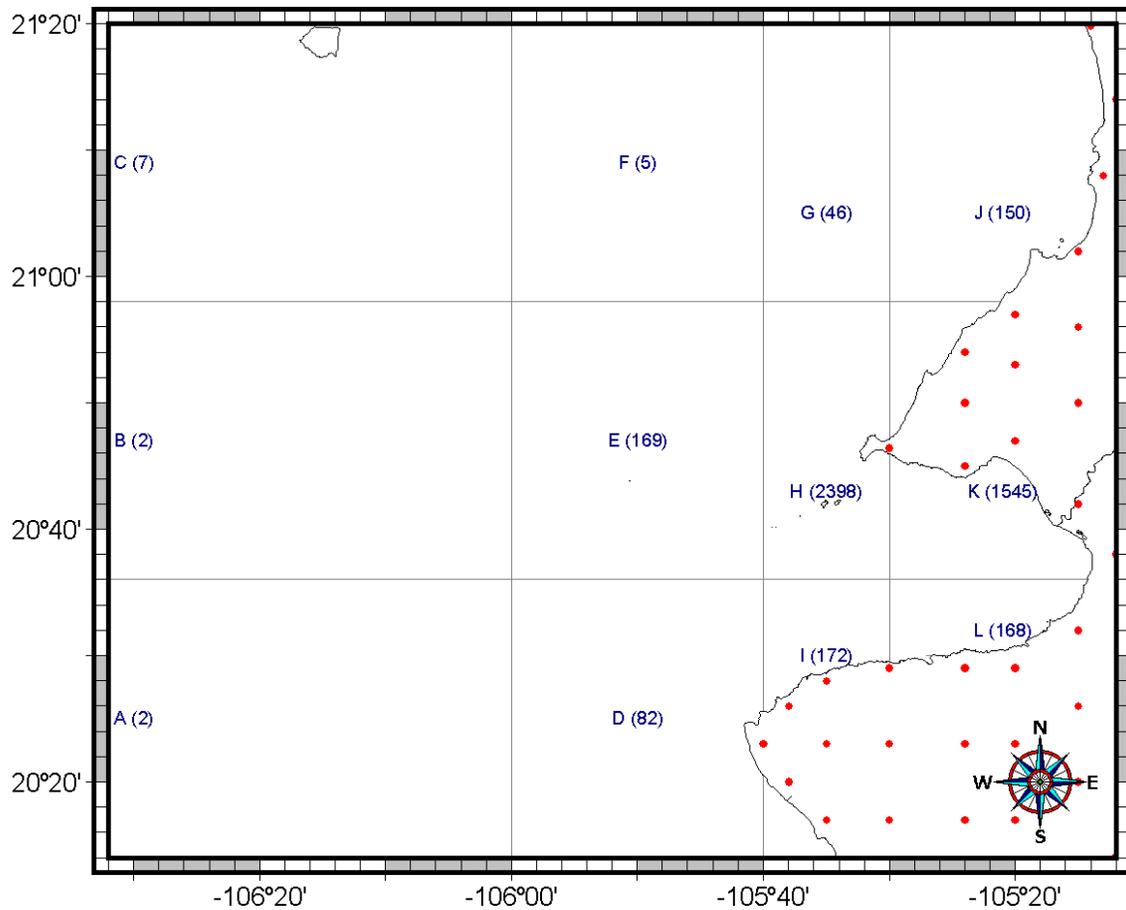


Figura 8. Celdas para el análisis de distribución espacial de la diversidad de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. La identidad de cada celda se indica en la posición geográfica promedio de todos los registros con el número de registros entre paréntesis. Los puntos rojos son posiciones añadidas de diversidad cero en tierra para completar la extensión del mapa y definir el contorno de la extensión marina.

6. Resultados

6.1. Diversidad, comunaleza, abundancia y variación ambiental

En el periodo 1981-2016, el GMM-FC-UNAM registró un total de 19 especies de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes a las que hay que sumar otras dos especies reportadas por comunicación personal (Tabla 2). Todos los registros forman cuatro grupos de ocurrencia (Figura 9): El primer grupo está compuesto por *M. novaeangliae*, *S. attenuata* y *T. truncatus* siendo estas especies las más frecuentes y abundantes. Un segundo grupo de ocurrencia media está conformado por *K. sima*, *S. bredanensis*, *B. edeni*, *E. robustus*, *S. longirostris* (forma centroamericana), *P. crassidens*, *Mesoplodon spp*, *O. orca*, *Z. cavirostris* y *Z. californianus*. El tercer grupo está compuesto por *G. griseus* y *A. townsendi* para los cuales hay tres registros, y el cuarto grupo se compone por las especies que sólo se han registrado una vez lo cual incluye a *B. musculus*, *B. acutorostrata*, *B. physalus*, *F. attenuata* y *P. macrocephalus*. Dos avistamientos de *P. macrocephalus* se hicieron en febrero de 2016 y febrero de 2017 en las cercanías de Sayulita y dentro de la Bahía de Banderas respectivamente (comunicación personal de N. Ransome). El registro de *K. breviceps* no se incluye en el análisis porque se trata de un animal varado que pudo haber provenido de un lugar lejano.

Hay una relación directa entre la frecuencia relativa del número de registros, y la comunaleza máxima siendo *M. novaeangliae*, *S. attenuata* y *T. truncatus* las especies más abundantes y comunes en la Bahía de Banderas (Figura 10). El ajuste al modelo de Hill con la escala logarítmica de frecuencia, genera una curva sigmoide con parámetros $k=0.033$, $f_0=0.001$ y $n=1.171$ con índice de regresión $r^2=0.943$ lo cual sugiere que la diversidad de la mastofauna marina en esta región presenta un efecto de cooperación ($n>1$), esto es, que la presencia de algunas especies favorece la ocurrencia de otras.

Tabla 2. Especies de mamíferos marinos registradas en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes por el GMM-FC-UNAM en el periodo 1981-2016.

Nombre científico	Acrónimo	Nombre común	Registro¹
Orden Cetacea			
Suborden Mysticeti			
Familia Balaenopteridae			
<i>Balaenoptera musculus</i>	Bmus	Ballena azul	G
<i>Balaenoptera physalus</i>	Bphy	Ballena de aleta	G
<i>Balaenoptera edeni</i>	Bede	Ballena sardinera	GF
<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Bacu	Ballena de Minke	G
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Mnov	Ballena jorobada	GF
Familia Eschrichtiidae			
<i>Eschrichtius robustus</i>	Erob	Ballena gris	GF
Suborden Odontoceti			
Superfamilia Delphinoidea			
Familia Delphinidae			
<i>Stenella attenuata</i>	Satt	Delfin moteado	GF
<i>Stenella longirostris</i>	Slon	Delfin tornillo	GF
<i>Steno bredanensis</i>	Sbre	Delfin de dientes rugosos	GF
<i>Tursiops truncatus</i>	Ttru	Tonina	GF
<i>Feresa attenuata</i>	Fatt	Orca pigmea	GF
<i>Grampus griseus</i>	Ggri	Delfin de Risso	GF
<i>Orcinus orca</i>	Oorc	Orca	GF
<i>Pseudorca crassidens</i>	Pcra	Orca falsa	GF
Superfamilia Ziphioidea			
Familia Ziphiidae			
<i>Ziphius cavirostris</i>	Zcav	Zifio de Cuvier	G
<i>Mesoplodon peruvianus</i>	Mper	Zifio pigmeo	GF
Superfamilia Physeteroidea			
Familia Physeteridae			
<i>Physeter macrocephalus</i>	Pmac	Cachalote	G
Familia Kogiidae			
<i>Kogia breviceps</i>	Kbre	Cachalote pigmeo	Com. Pers.
<i>Kogia sima</i>	Ksim	Cachalote enano	GF
Orden Carnivora			
Suborden Caniformia			
Familia Otariidae			
<i>Zalophus californianus</i>	Zcal	Lobo marino de California	GF
<i>Arctocephalus townsendi</i>	Atow	Lobo fino de Guadalupe	Com. Pers.

1. G: observación general, GF: observación con registro fotográfico disponible.

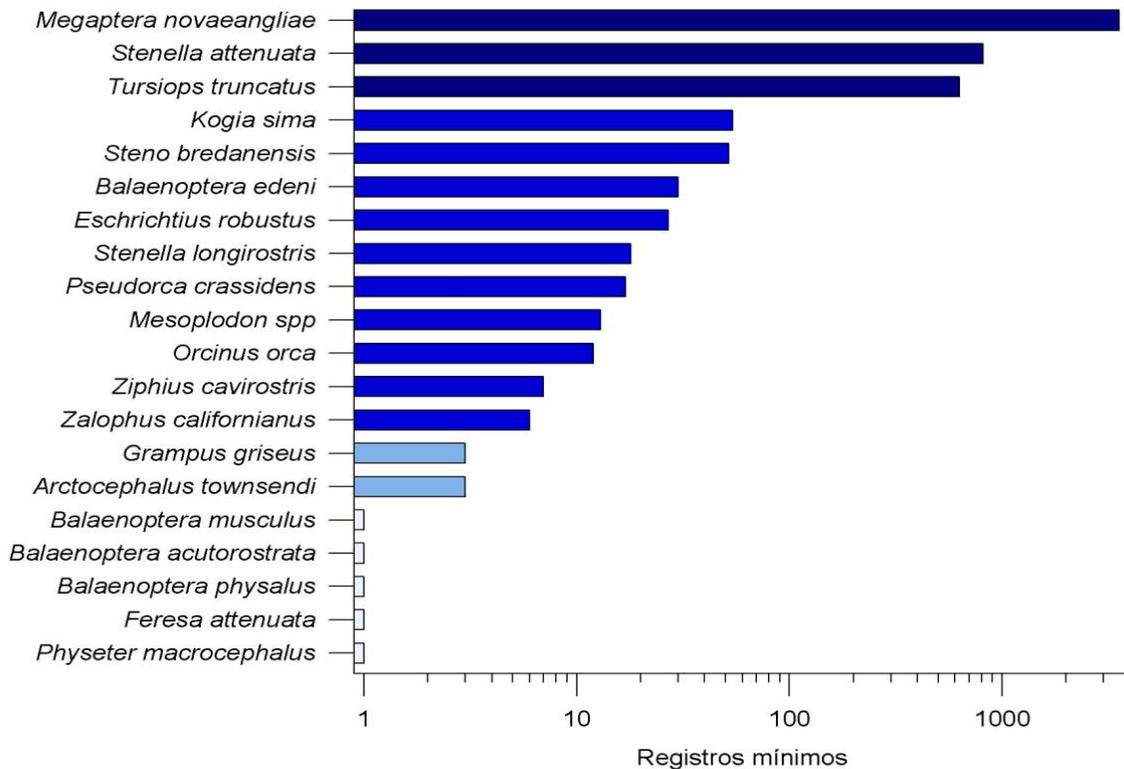


Figura 9. Ocurrencia de 20 especies registradas de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas en el periodo 1981-2016. Se indican con colores cuatro grupos de abundancia.

El mismo análisis hecho sobre datos de la mastofauna marina de la Isla Socorro (Trejo Albarrán, en elaboración), arroja los valores $k=0.011$, $n=0.752$, $f_0=-0.000$ y $n=0.752$ con índice de regresión $r^2=0.999$ lo cual implica que la presencia de algunas especies inhibe la ocurrencia de otras. Esto parece reflejar que en la Bahía de Banderas, las especies de mamíferos marinos pueden ocupar distintos hábitats y tal vez interaccionar positivamente mientras que en la Isla Socorro, los mamíferos marinos compiten por un espacio reducido. En ambas regiones se comparten *M. novaeangliae* y *T. truncatus* como las especies más abundantes y comunes y se observan diferencias entre las que resaltan la ausencia de *S. attenuata* y la relativa alta ocurrencia de *Z. cavirostris* alrededor de la Isla Socorro así como la relativa alta comunanza de *K. sima* en la Bahía de Banderas (Figura 10).

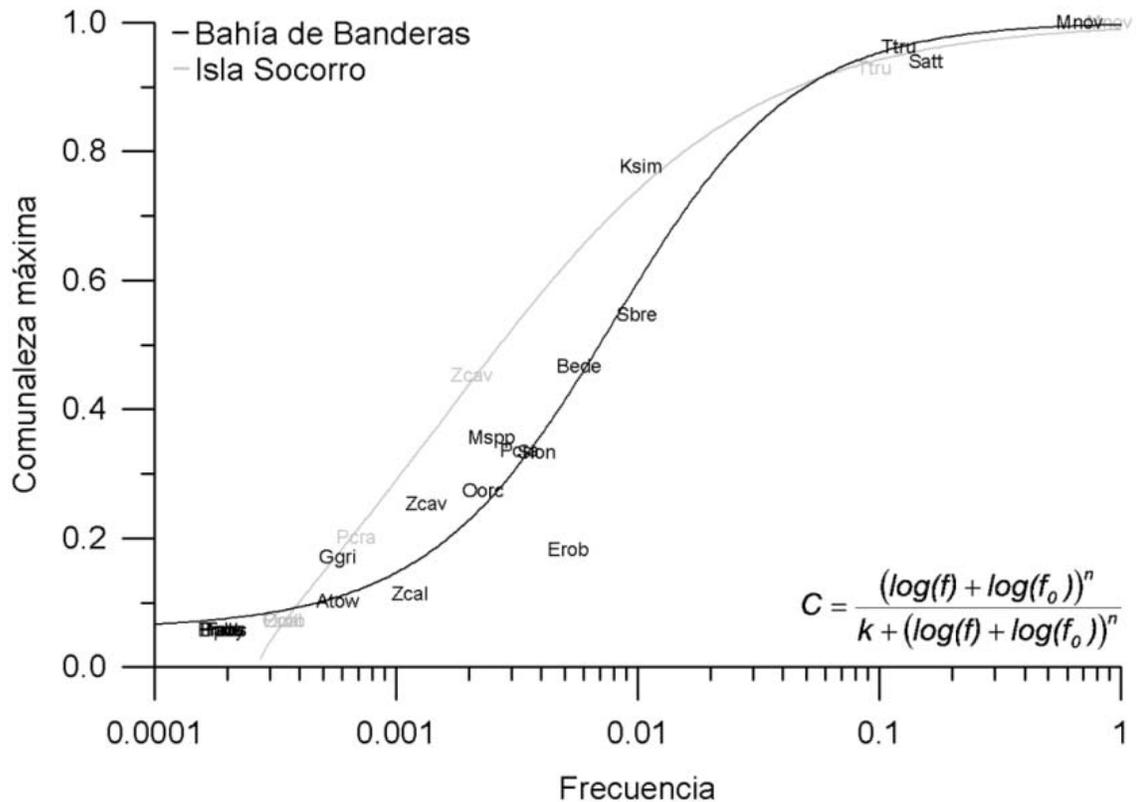


Figura 10. Relación de frecuencia de registros y comunaleza máxima de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y los alrededores de la Isla Socorro.

La curva de acumulación total de especies de mamíferos marinos modelada con la ecuación de Hill se aproxima a una curva de Michaelis-Menten con orden de reacción $n=0.95$. La tasa de descubrimiento de especies fue rápida con parámetro $k=19.61$ registros pero con 126 registros observados para tener la mitad de la riqueza final observada (20 especies) y 148 registros observados para superar la riqueza máxima estimada la cual fue de 21 especies (Tabla 5). Pasos de acumulación de especies parecen relacionados con cambios de fase en el PDO (Figura 11). La prontitud para registrar a las especies, es en general paralela a la abundancia de las mismas; 15 de las 20 especies de mamíferos marinos se registraron en los primeros cinco años del estudio. *Balaenoptera acutorostrata* y *Physeter macrocephalus* se registran en los primeros cinco años pero el GMMFC-UNAM no volvió a registrarlos.

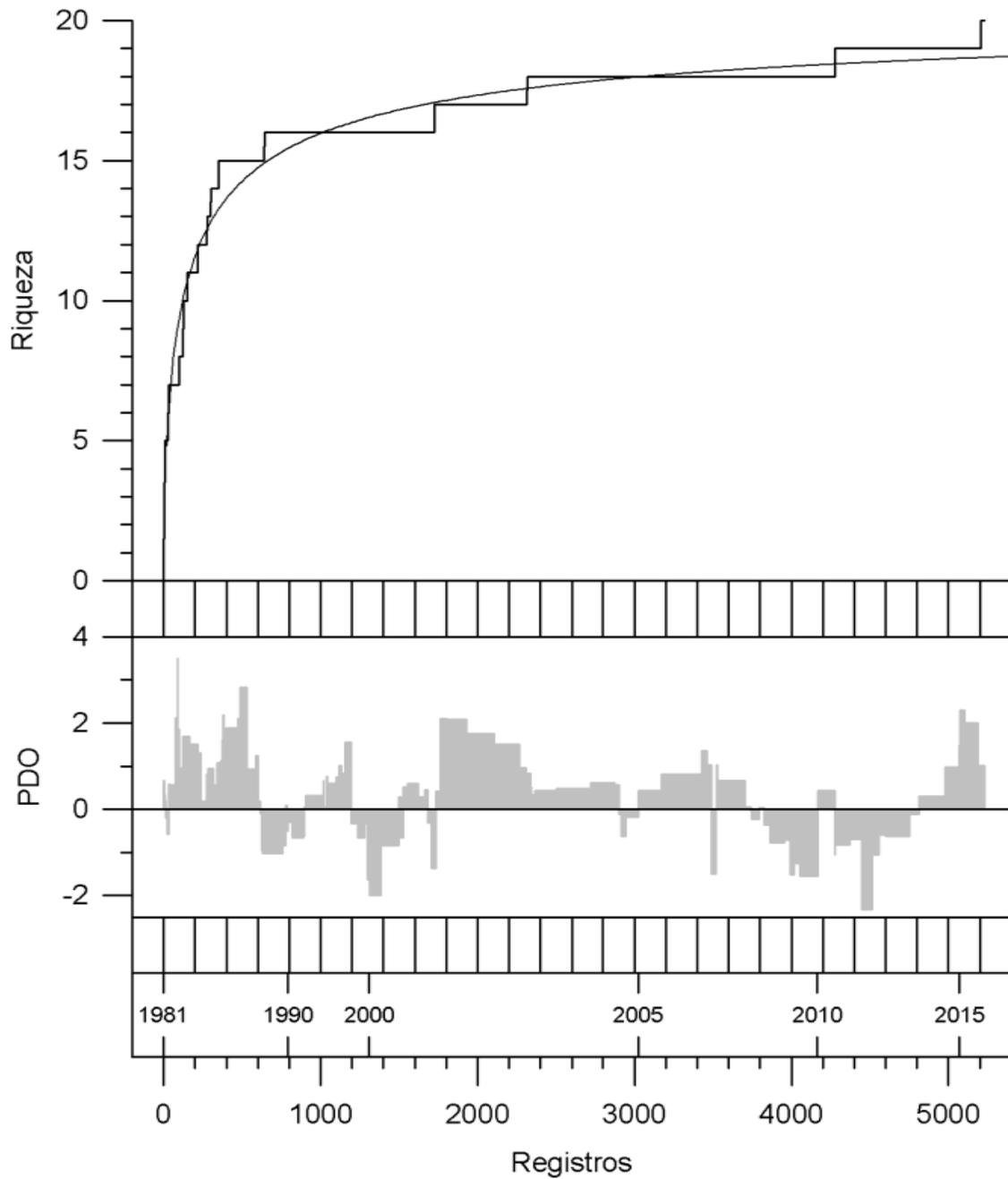


Figura 11. Curva de acumulación total de especies de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Se indica el ajuste a la ecuación de Hill así como el PDO. Los parámetros de ajuste se muestran en la Tabla 5.

Las siete especies más raras y menos abundantes se registraron efectivamente, cercanamente a cambios de fase en el PDO (Figura 12) lo cual se refleja en los pasos de acumulación descritos de la Figura 11.

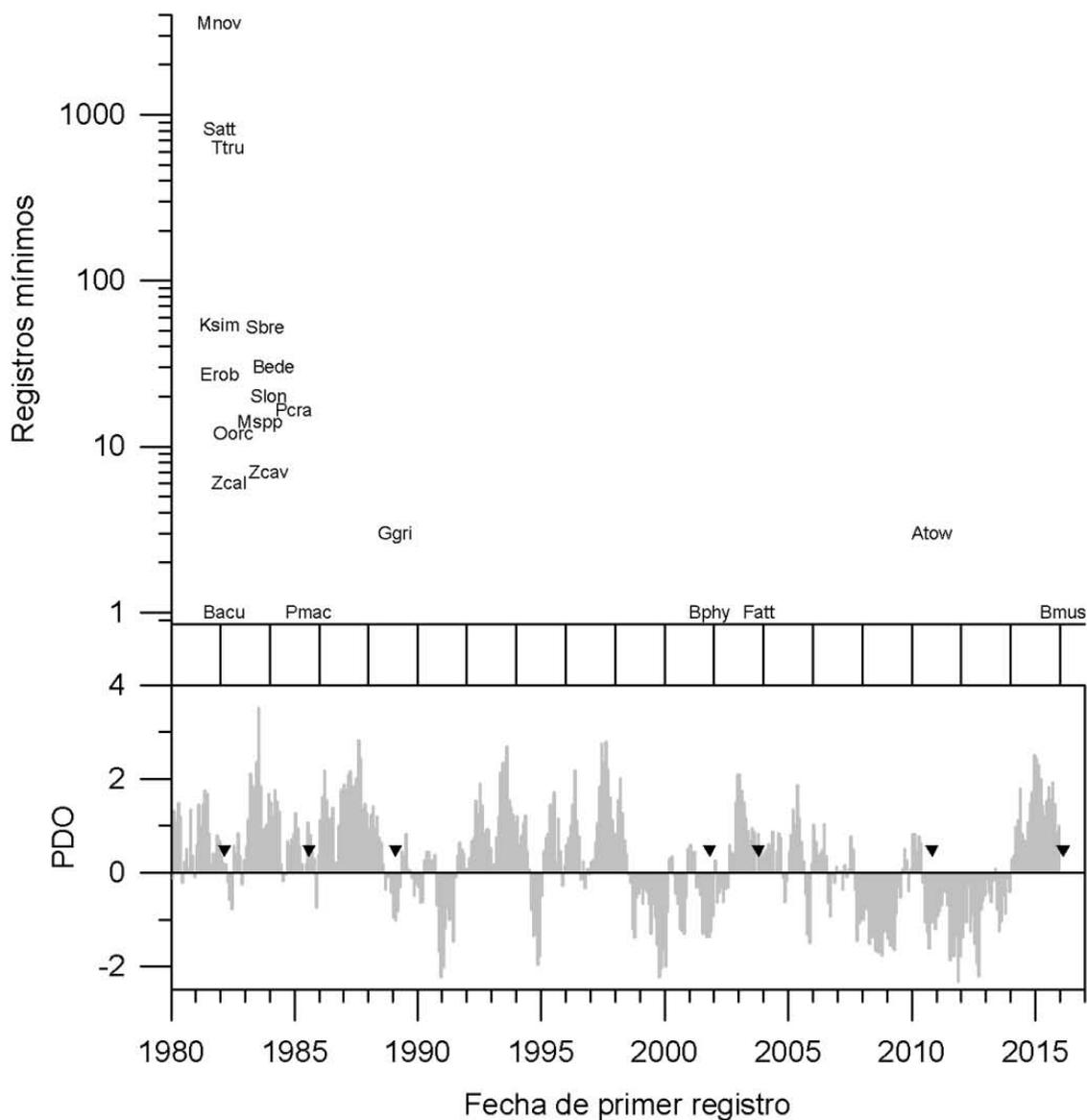


Figura 12. Registros primeros de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes en función de su abundancia y la variación del PDO. Las flechas en el panel inferior indican el primer registro de las especies poco abundantes y raras.

Aunque naturalmente la riqueza de especies se incrementa con el tiempo, se observa una tendencia negativa general en la abundancia de los mamíferos marinos con disminuciones drásticas en los años 1982 y 2015.

Se observan picos de alta abundancia en 1981, 1989 y 2013-2014. Varios de los picos y valles locales de abundancia también ocurren alrededor de cambios de fase en el PDO. Esta tendencia general de disminución de abundancia de los mamíferos marinos, parece más marcada que las disminuciones en especies individuales o grupos de especies con patrones de ocurrencia similares (Figura 13).

Las 20 especies registradas de mamíferos marinos ocurren en el intervalo de valores de PDO -1.5-2.5. Quince de estas especies ocurren en valores de PDO promedio positivos y cinco en valores negativos. Hay que tener la precaución de que cinco especies sólo tienen un registro (Figura 14).

6.2. Estacionalidad ambiental y mastofaunística marinas

La estacionalidad de la TSM en la región correspondió a la división que los lugareños han hecho tradicionalmente del año en las estaciones de secas (noviembre a abril) y lluvias (mayo a octubre). Durante las secas, la TSM promedio varió en general entre 29 °C en noviembre y 22 °C entre marzo y abril, mientras que en las lluvias la TSM promedió osciló entre 23 °C en mayo y poco más de 30 °C entre julio y agosto. La TSM asimismo parece ser más variable en las secas aunque esto puede ser un efecto de la mayor cantidad de datos en esta estación (Figura 15).

En la región de la Bahía de Banderas se observan cuatro grandes tipos de ocurrencia estacional de mamíferos marinos (Figura 16): 1) Especies comunes y de ocurrencia continua a lo largo del año las cuales son *S. attenuata*, *T. truncatus* y posiblemente *K. sima* y *S. bredanensis*;

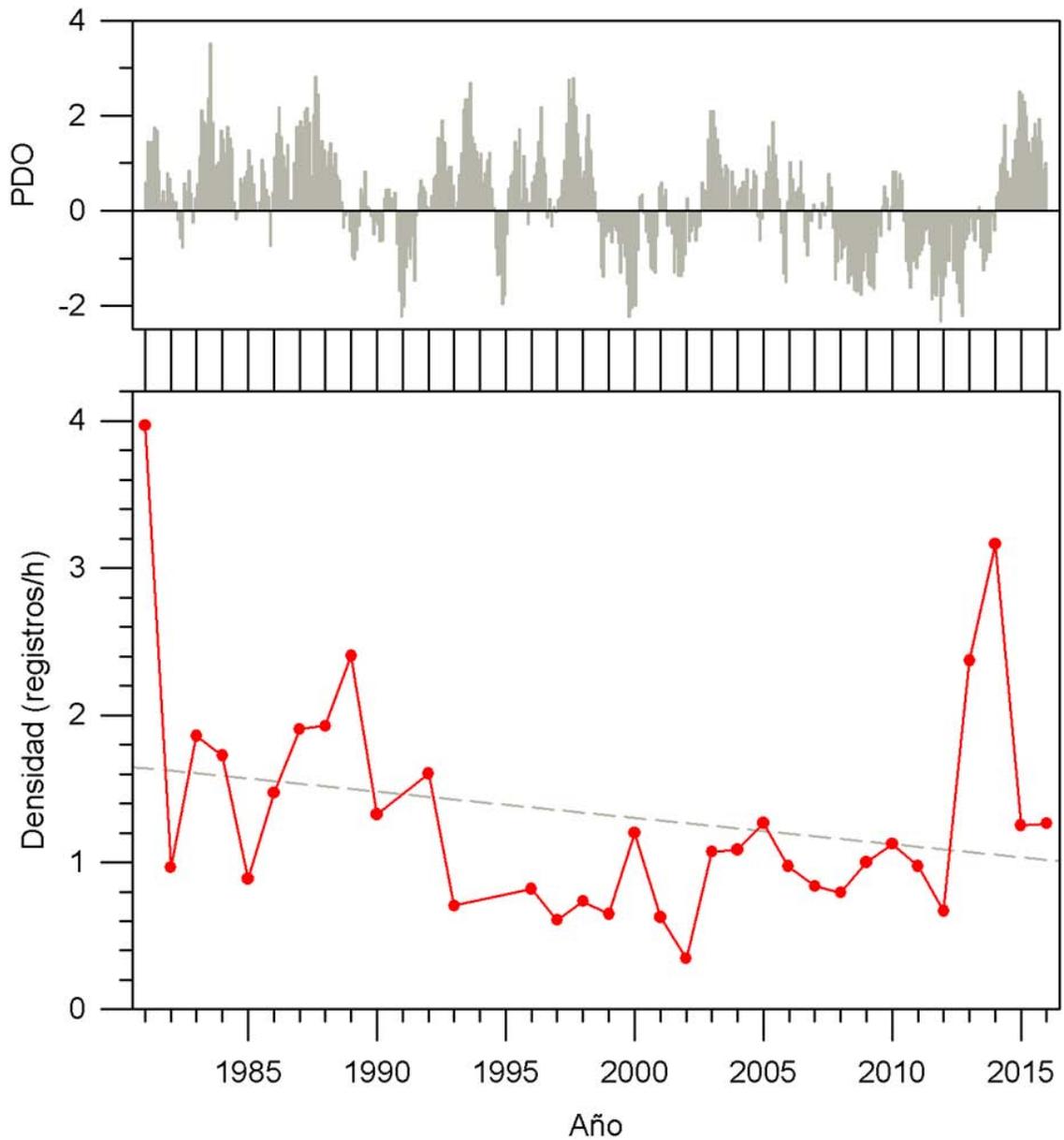


Figura 13. Perfil anual de abundancia general relativa de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes en relación con el PDO. Se utiliza la densidad en registros/h para integrar diferentes especies con diferentes abundancias absolutas. La línea punteada indica la regresión lineal con ordenada 36.76, pendiente -0.0177 y regresión $r^2=0.0675$. Compárense estos valores con las Tablas 3 y 4.

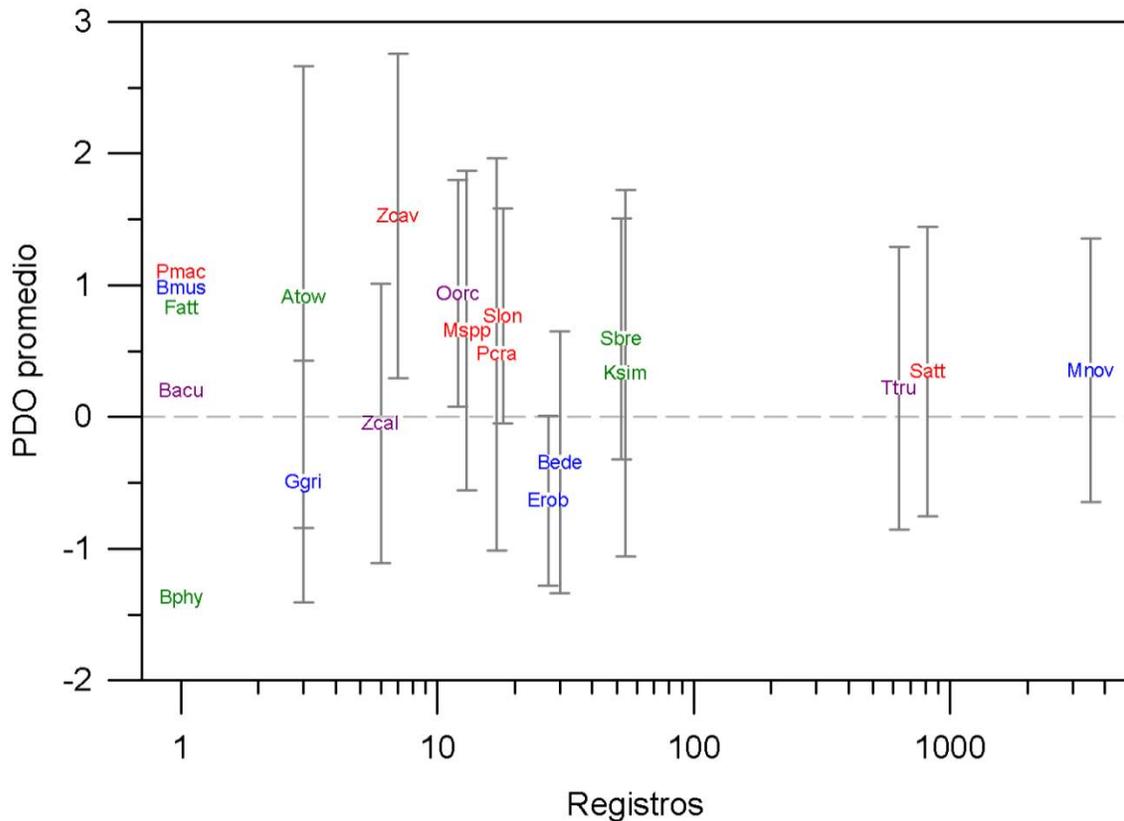


Figura 14. Relación de abundancia y afinidad ambiental definida por el promedio y desviación estándar del PDO de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas. Los colores indican la clasificación de las especies según su ocurrencia estacional y anual en la Figura 25.

2) Especies con un grado de rareza y que ocurren discontinuamente a lo largo de todo el año, esto es, con lo que parecen visitas ocasionales a la región y lo cual incluye a *S. longirostris*, *P. crassidens*, *Mesoplodon spp*, *Z. cavirostris*, *Z. californianus* y *A. townsendi*; 3) Especies de ocurrencia sólo invernal (secas) y que incluye a los mysticetos migratorios *M. novaeangliae* y *E. robustus* además de *B. edeni* y *G. griseus*. Sólo *M. novaeangliae* tiene una presencia regular en la región a través de los años, las otras especies se presentan con un grado de rareza, especialmente el delfín gris (Figura 9).

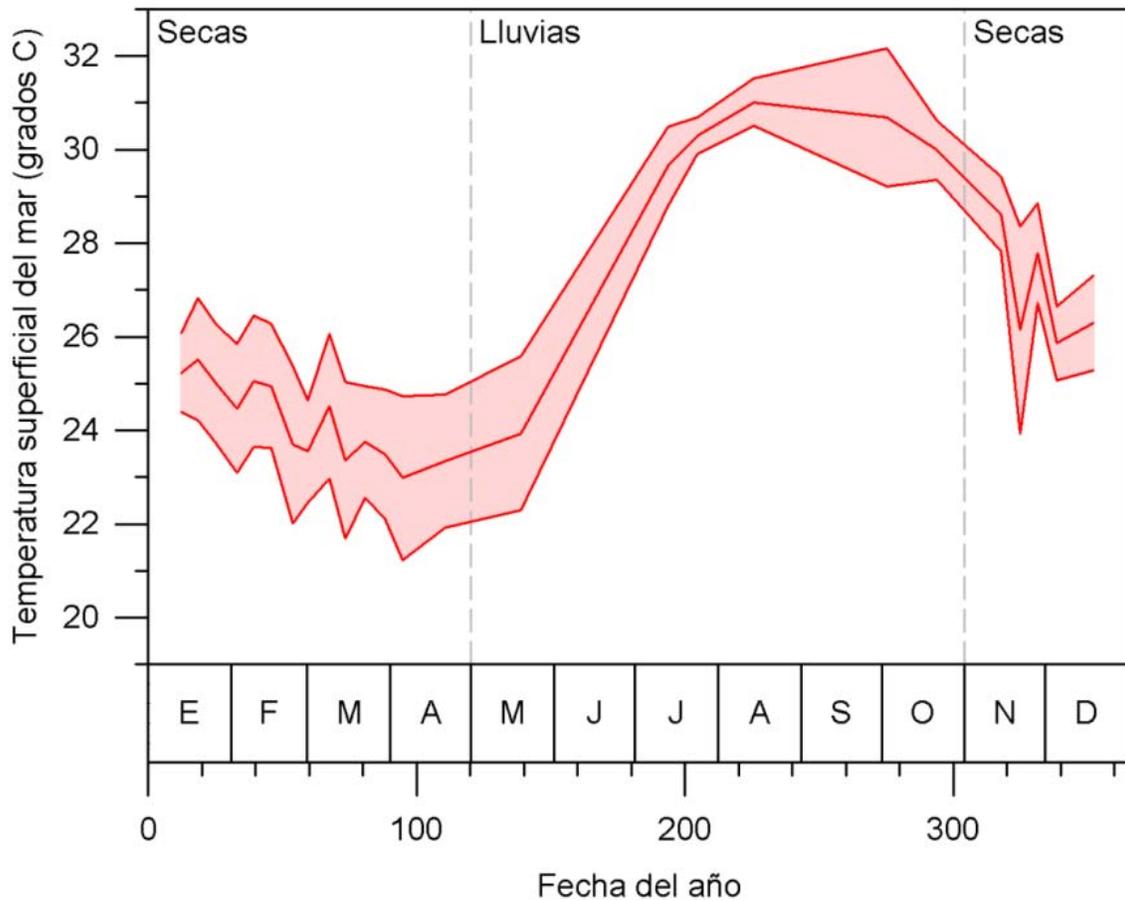


Figura 15. Variación estacional de la temperatura superficial del mar en la Bahía de Banderas con base en 5429 mediciones *in situ*. Los meses se muestran abreviados y se indican las dos estaciones identificadas de acuerdo con esta variable y los nombres dados por los pescadores locales.

Nótese asimismo que las tortugas marinas ocurren en la región fundamentalmente durante las secas; 4) Especies raras que se han registrado en un periodo estacional breve y lo cual incluye a *B. musculus* y *B. acutorostrata* en la primavera, *P. macrocephalus* en el verano así como *B. physalus* y *F. attenuata* durante el otoño. Nótese que esta categoría también admitiría a *G. griseus* en el invierno.

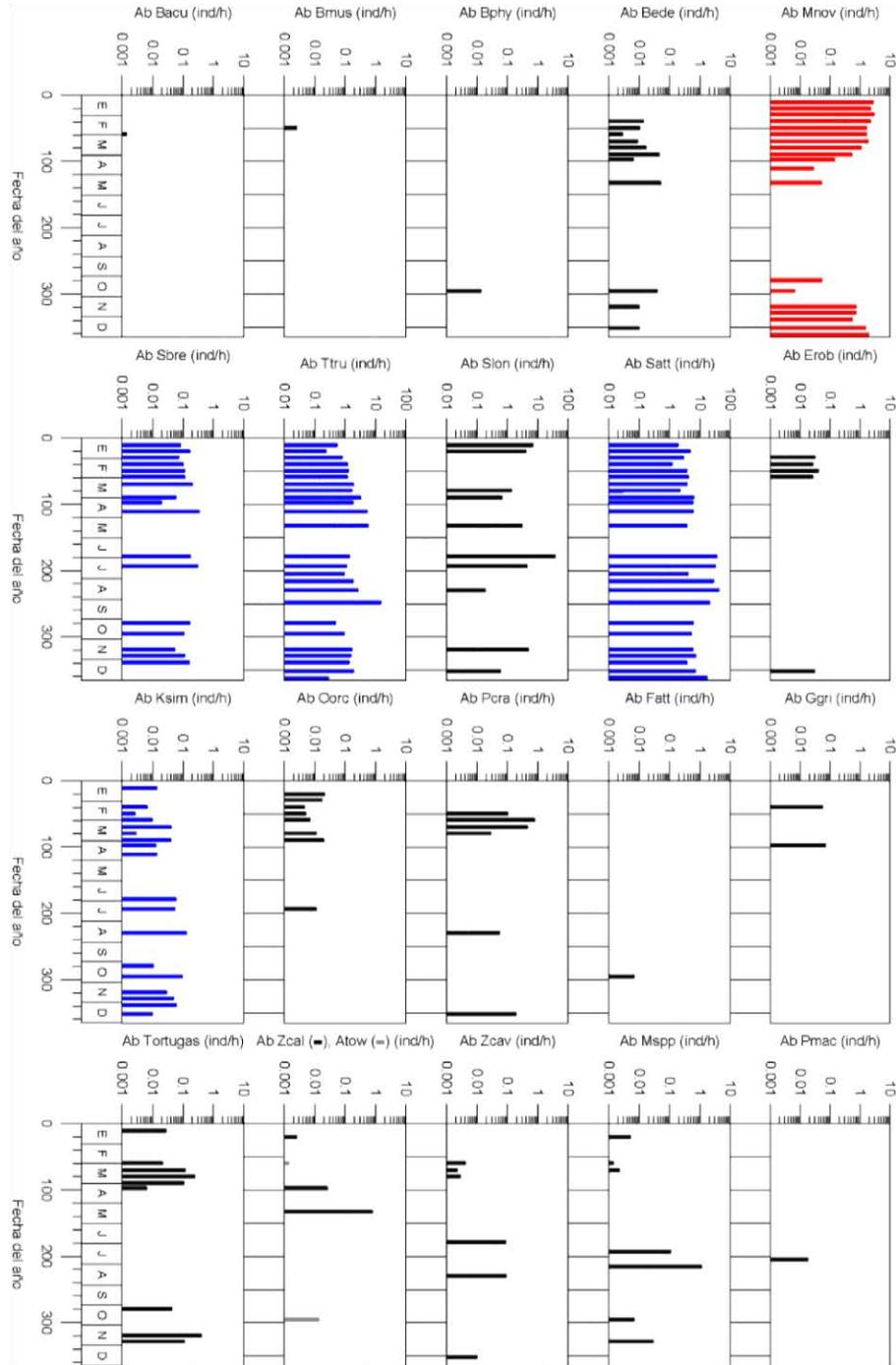


Figura 16. Perfil estacional de abundancia de 19 mamíferos marinos y las tortugas marinas en general en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Se indican con azul las especies que se consideran con poblaciones residentes en la región y en rojo a la ballena jorobada que ocupa regularmente la zona durante la fase invernal de su ciclo migratorio.

6.3. Variación estacional y anual de la abundancia y la crianza

La comparación directa de diversidad de mamíferos marinos entre secas y lluvias (Figuras 17 y 18) muestra 17 especies en secas y 16 especies en lluvias. Un total de 15 especies se presenta en ambas estaciones, dos especies son exclusivas de las secas y tres son exclusivas de las lluvias. Se observan 10 especies más abundantes en lluvias que en secas, cinco especies con abundancia similar en ambas estaciones (*T. truncatus*, *S. bredanensis*, *P. crassidens*, *O. orca* y *Z. californianus*) y cinco especies con mayor abundancia en secas. Todo esto muestra una considerable diferenciación estacional de la mastofauna marina. Nótese que la estacionalidad de las especies de mayor ocurrencia en secas es mucho más marcada.

Solamente 11 especies de mamíferos marinos tienen registros de crianza en la Bahía de Banderas y aguas aledañas, siete delfines, tres misticetos y el cachalote enano (Figuras 17 y 18). Cuatro especies (*S. attenuata*, *T. truncatus*, *S. bredanensis* y *K. sima*) tienen crías en las dos estaciones pero con mayor ocurrencia de crianza en las lluvias. *S. longirostris* cría también en las dos estaciones pero más en el invierno. Seis especies crían solamente en el invierno (*M. novaeangliae*, *B. edeni*, *E. robustus*, *G. griseus*, *P. crassidens* y *O. orca*). Las 11 especies de mamíferos marinos que presentan crianza incluye a todas las comunes y varias raras (Figura 19) y la crianza tiene en todas las especies una preferencia estacional bien definida, especialmente si es en secas (Figuras 17 y 19). Todo lo anterior indica que la ocurrencia de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas obedece a distintas causas una de las cuales es la crianza de recién nacidos en el caso de 11 especies. Los valores relativamente bajos de crianza en las cuatro especies más comunes (Figura 19) se pueden interpretar como indicación de residencia, es decir, que estas especies hacen en la región más actividades que criar a sus recién nacidos.

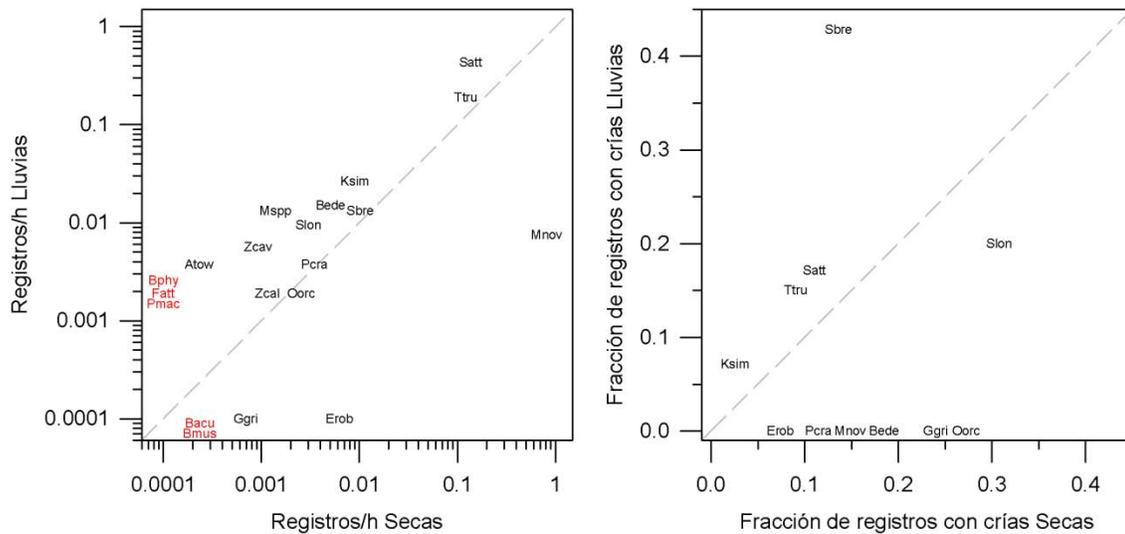


Figura 17. Estacionalidad de la abundancia y crianza de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Contraste directo de lluvias y secas.

Solamente en seis especies fue posible comparar directamente los perfiles de abundancia y crianza a lo largo de todo el año (Figura 20). En *M. novaeangliae*, se observa una ocurrencia marcada en la estación de secas habiendo unas pocas crías al inicio de su arribo migratorio al final del año y luego una predominancia de hembras con crías en marzo y abril. En *B. edeni* se observan cinco pulsos de ocurrencia agrupados en los periodos febrero-mayo y noviembre-diciembre a los que se asocian sendos pulsos de ocurrencia de crías recién nacidas. Sin embargo, el pulso de mayor ocurrencia de *B. edeni* en abril no tiene crianza asociada y coincide con el inicio de la pesca de escama en la región sugiriendo que esta ocurrencia de la especie obedece a la alimentación luego de las surgencias y brotes algales del invierno. *S. attenuata* y *T. truncatus* se encuentran en la región todo el año pero son más abundantes en las secas, especialmente en agosto y septiembre. Estas especies crían asimismo todo el año pero con un pico un poco más pronunciado en el periodo julio-agosto.

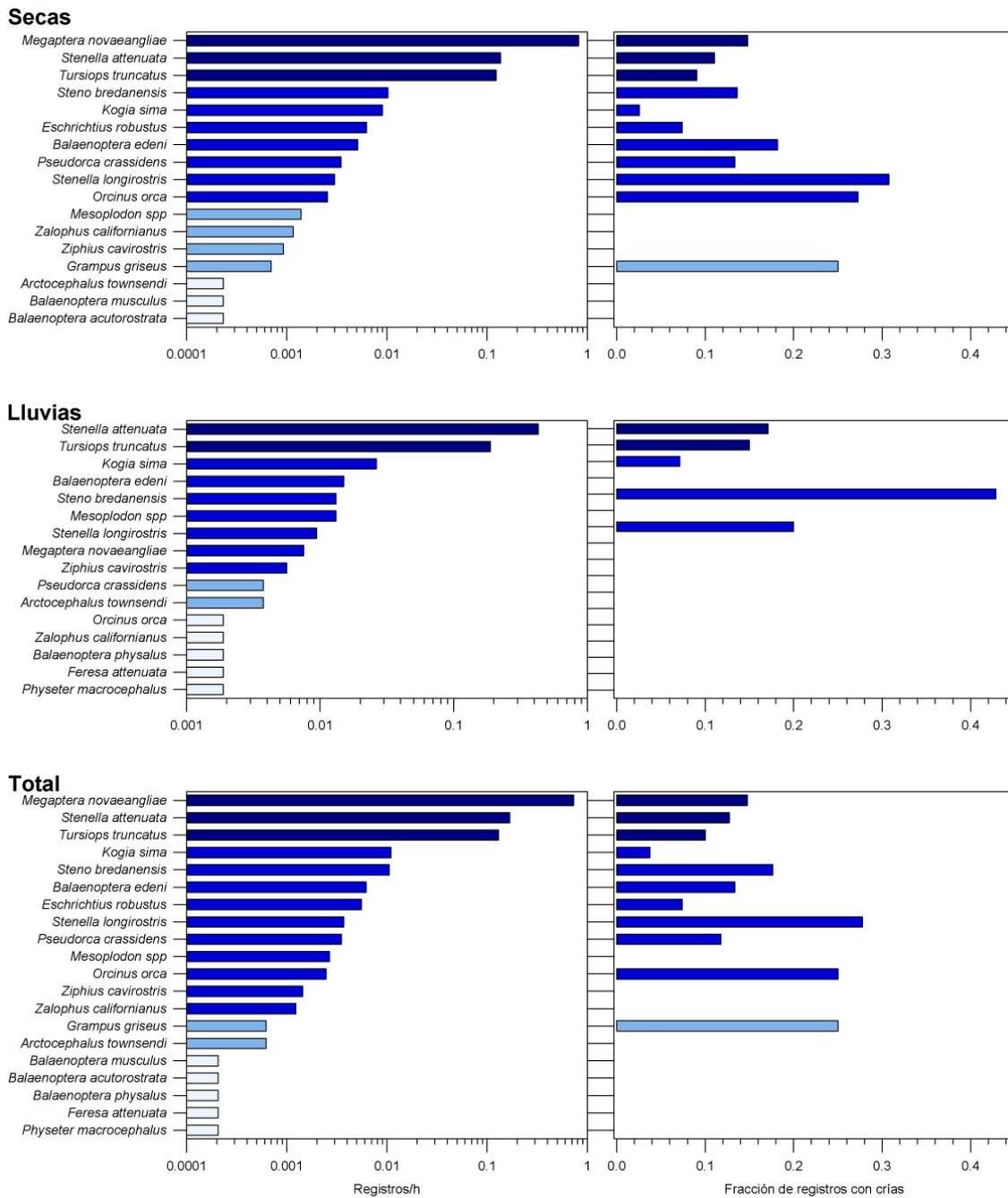


Figura 18. Estacionalidad de la abundancia y crianza de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. El ordenamiento se determinó por la abundancia de las especies.

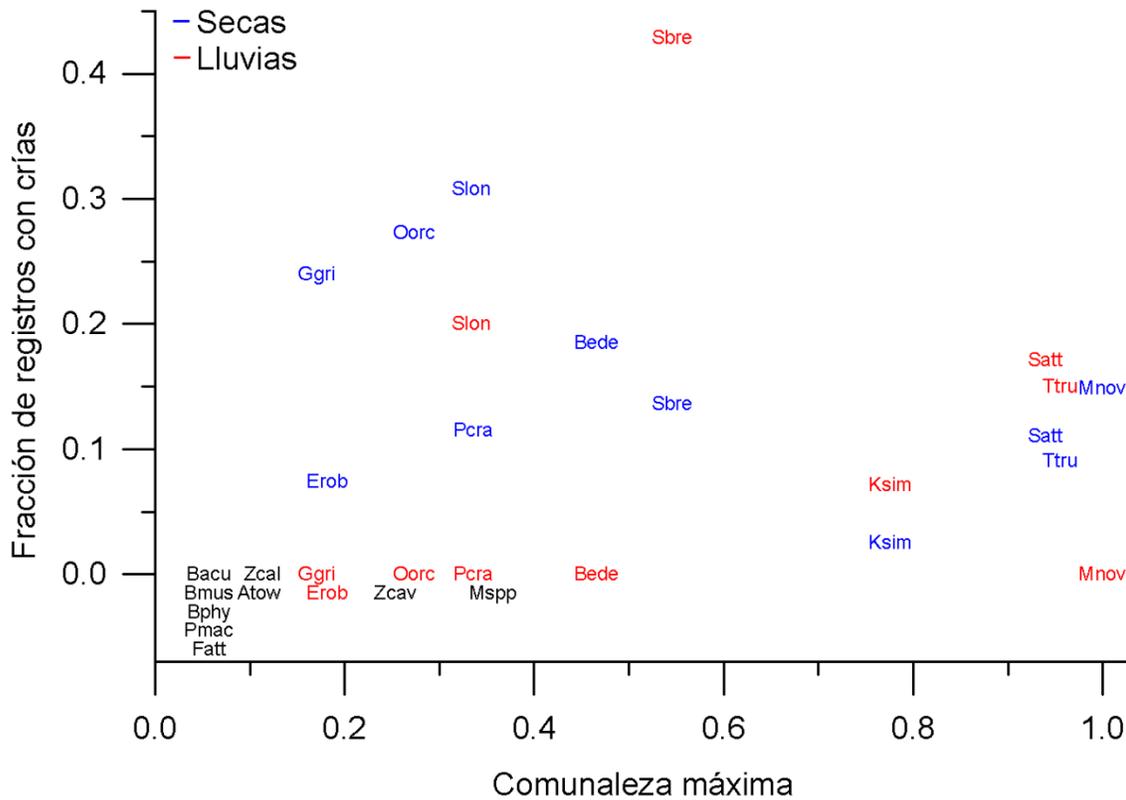


Figura 19. Relación entre comunaleza y crianza estacional en los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Los acrónimos en azul indican la crianza en la estación de secas y en rojo se indica la crianza en lluvias. En negro se indica a las especies que no crían en la región.

S. longirostris y *S. bredanensis* ocurren en la región con ca. seis pulsos en el año a los que se asocian altos niveles de crianza. En el caso de *S. longirostris*, la crianza ocurre sólo entre enero y junio mientras que en *S. bredanensis* los pulsos de ocurrencia tienen todos, crianza asociada (Figura 20).

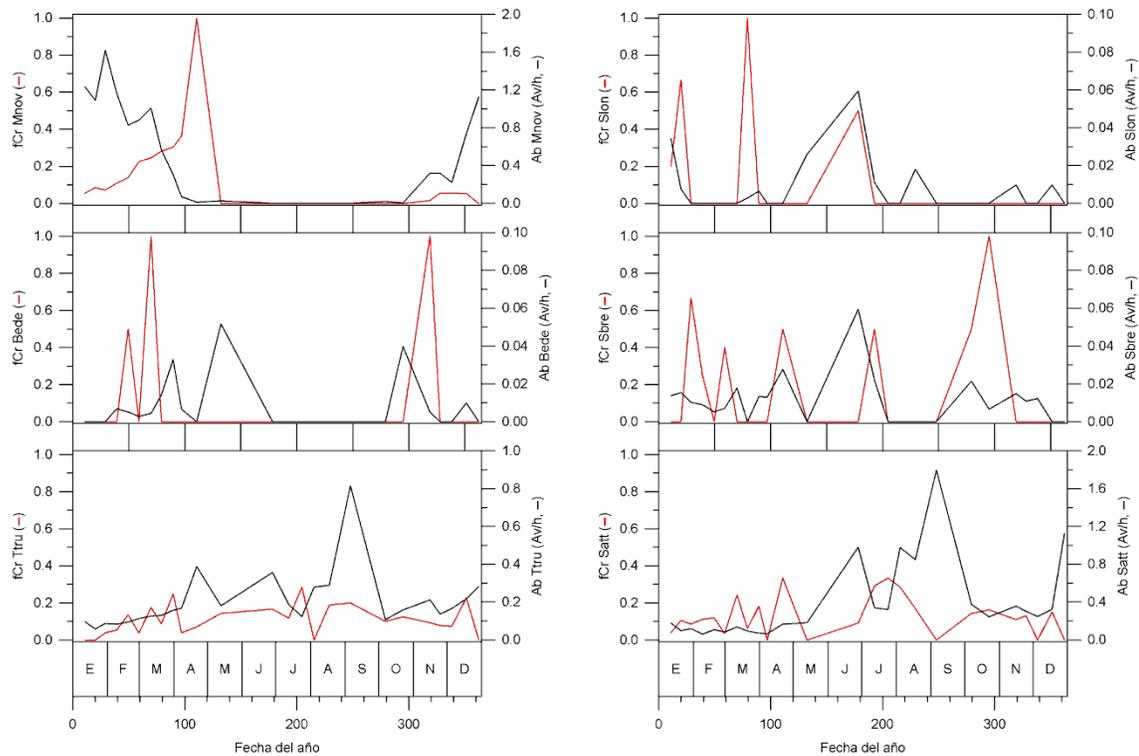


Figura 20. Estacionalidad de la abundancia y crianza de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Perfiles a lo largo del año.

Los perfiles de variación anual de la abundancia de los mamíferos marinos en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes, se describen en la Figura 21 y parámetros de regresión en la Tabla 3. Al relacionar la comunaleza máxima y abundancia de las especies a lo largo de los años (Figura 22), se observan tres conjuntos de especies: 1) Mamíferos marinos que se han registrado muy pocas veces en cuatro décadas y que muestran distintos tipos de pendientes relacionados con las fechas en que fueron observados por primera vez (Figura 12) y no con algún cambio de abundancia; 2) Especies de persistencia baja o media en donde la comunaleza tiene una relación paralela a la tendencia general de la abundancia. Especies de baja comunaleza con tendencia negativa en su abundancia son *E. robustus* (con la tendencia más negativa de abundancia), *S. longirostris*, *G. griseus*, *P. crassidens*, *O. orca* y *Z. cavirostris*.

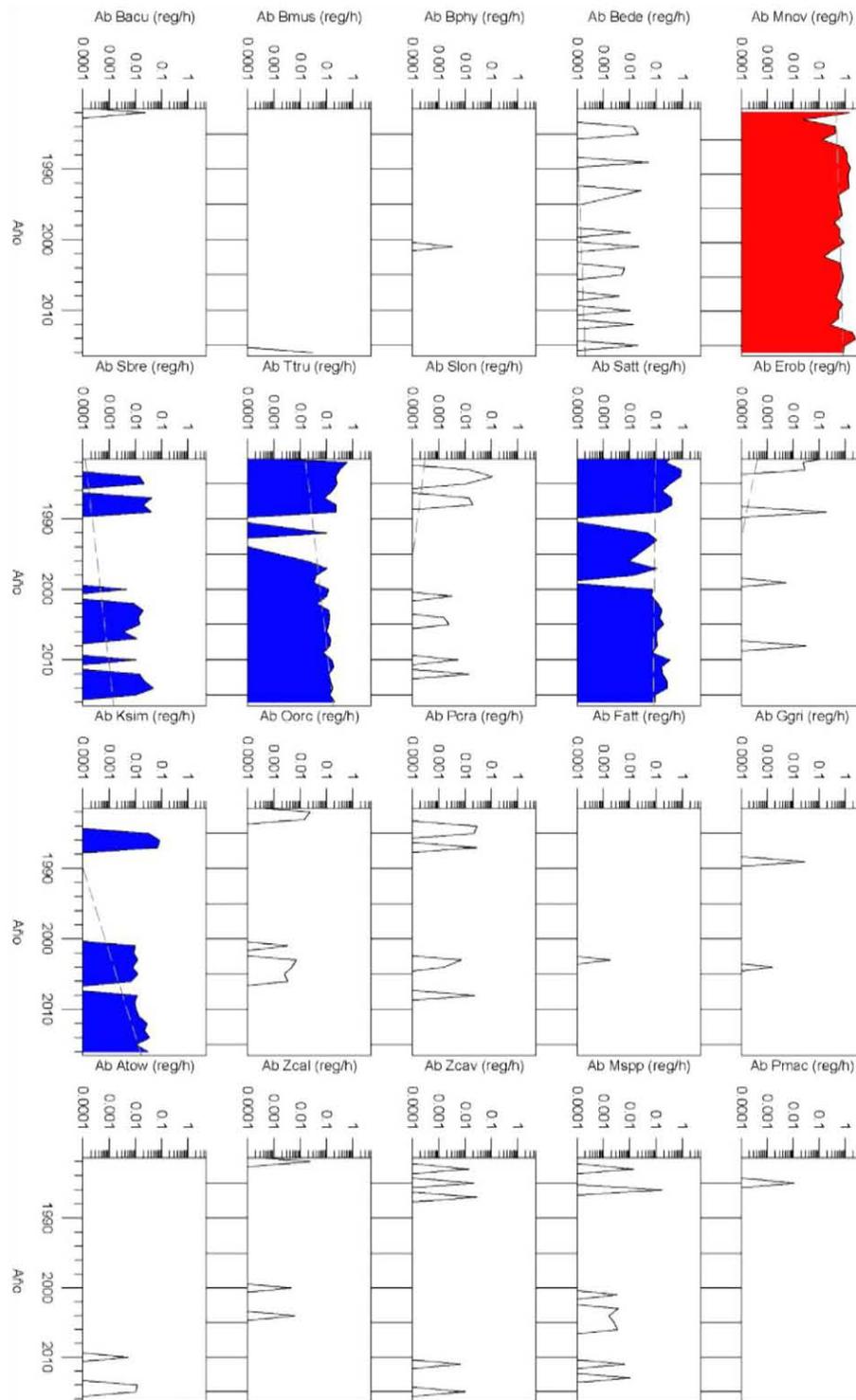


Figura 21. Abundancia de los mamíferos marinos en la Bahía de Banderas en el periodo 1981-2016. Se colorean las especies de mayor ocurrencia de acuerdo con las Figuras 9 y 18 y se indican las líneas de regresión cuyos parámetros se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de regresión de la variación anual de la abundancia de los mamíferos marinos registrados en la Bahía de Banderas en el periodo 1981-2016 (Figura 21).

Especie	Ordenada	Pendiente	r²
<i>M. novaeangliae</i>	-15.81	0.0078	0.0500
<i>B. edeni</i>	-23.30	0.0097	0.0047
<i>B. physalus</i>	-7.62	0.0014	0.0011
<i>B. musculus</i>	-36.24	0.0157	0.0789
<i>B. acutorostrata</i>	25.39	-0.0152	0.0784
<i>E. robustus</i>	105.56	-0.0550	0.1660
<i>S. attenuata</i>	3.89	-0.0025	0.0007
<i>S. longirostris</i>	62.30	-0.0332	0.0651
<i>T. truncatus</i>	-61.93	0.0303	0.0716
<i>S. bredanensis</i>	-65.67	0.0312	0.0433
<i>G. griseus</i>	7.44	-0.0061	0.0090
<i>F. attenuata</i>	-9.74	0.0024	0.0044
<i>P. crassidens</i>	41.31	-0.0229	0.0405
<i>O. orca</i>	19.59	-0.0120	0.0124
<i>K. sima</i>	-170.37	0.0836	0.3020
<i>P. macrocephalus</i>	17.54	-0.0112	0.0531
<i>Mesoplodon spp</i>	-20.11	0.0079	0.0043
<i>Z. cavirostris</i>	25.09	-0.0148	0.0194
<i>Z. californianus</i>	16.64	-0.0107	0.0180
<i>A. townsendi</i>	-70.72	0.0330	0.1735

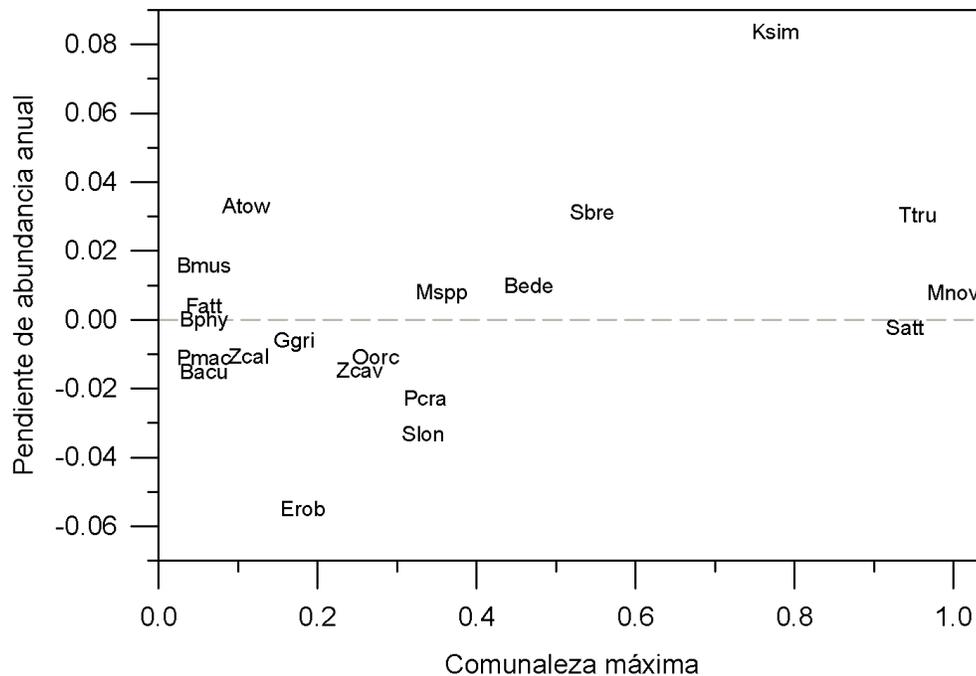


Figura 22. Persistencia y tendencia general de la abundancia de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes a través de cuatro décadas.

Especies de comunaleza baja o media con tendencias positivas de abundancia son *B. edeni*, *S. bredanensis*, *Mesoplodon spp* y *K. sima* (con la tendencia más positiva de abundancia); 3) Las especies más comunes en las cuales *M. novaeangliae* y *T. truncatus* muestran aumento general de abundancia y *S. attenuata* muestra una ligera disminución de su abundancia en cuatro décadas (Figura 22). El análisis de componentes principales para clasificar las especies de acuerdo con la variación estacional y anual de su abundancia, muestra una distinción nítida entre las estaciones de secas y lluvias en el factor 1 el cual tiene un autovalor de 13.29% (Figura 23). En la variación a través de los años (Figura 24), se observan variaciones mayores durante los 1980s que pueden deberse a errores en los protocolos de registro entonces no estandarizados pero que también parecen mostrar fuertes variaciones de abundancia y diversidad de especies asociadas al severo evento de El Niño 1982-1983 el cual se distingue por el factor 2 que cuyo autovalor es 12.76% así como al drástico cambio entre los Niños moderados de 1986-1988 seguidos de La Niña fuerte de 1988-1989. Luego la variación de abundancia oscila poco en el primer cuadrante cerca del centro del plano de componentes principales con la distinción notoria de los años 2000 (Niñas moderadas 1999-2001), 2004 (Niño débil) y 2014 (previo al Niño fuerte 2015-2016). Véase <http://ggweather.com/enso/oni.htm> (2016) para una descripción de la variación El Niño/La Niña.

La distribución de las especies en el plano de componentes principales (Figura 25) muestra cuatro grandes grupos: 1) Cinco especies invernales comunes y raras con diferentes tendencias en su abundancia, la mayoría de las cuales presentan crianza y ocurren en promedio en PDO negativo; 2) Cinco especies raras que pueden presentarse todo el año o sólo en otoño, pocas de las cuales crían y la mayoría de las cuales ocurren en promedio en PDO positivo; 3) Seis especies de comunaleza variable, que ocurren todo el año o sólo en el verano, con crianza y sin ella y todas las cuales ocurren en promedio en PDO positivo;

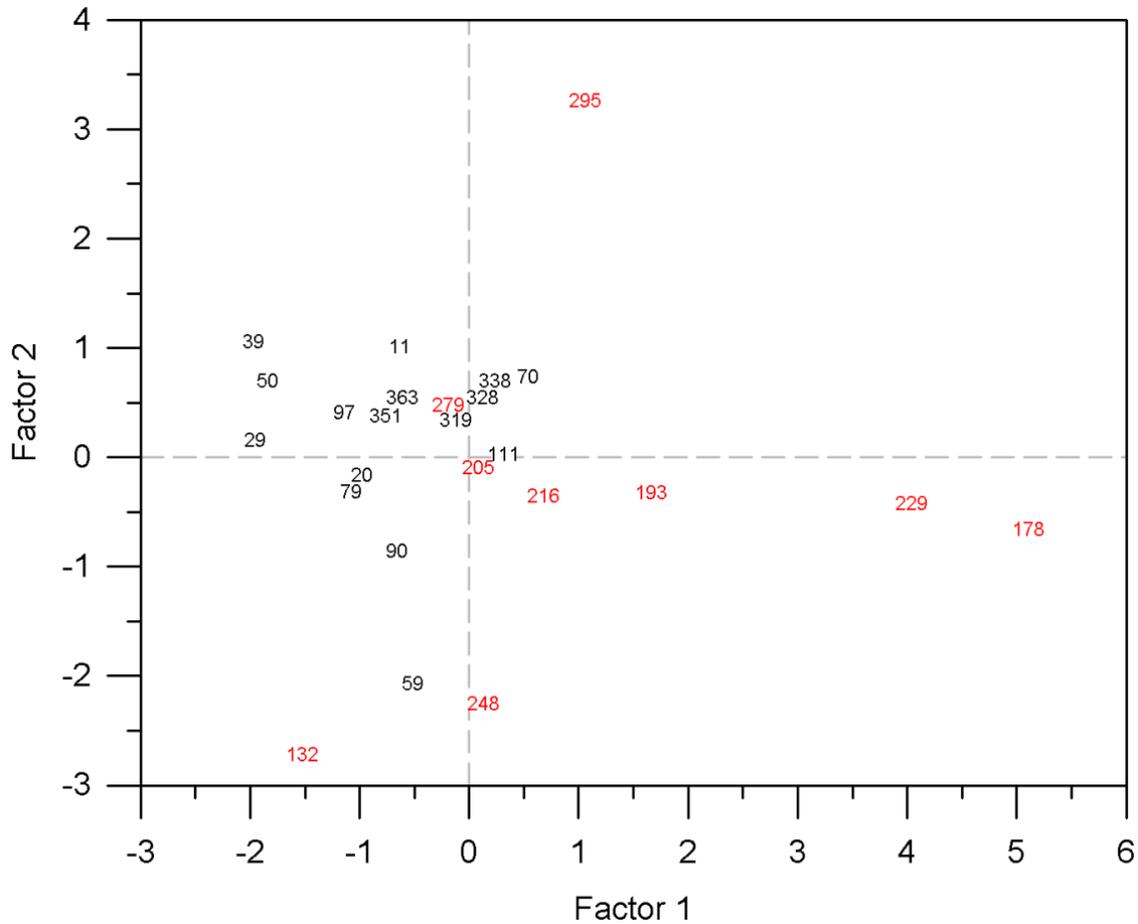


Figura 23. Distribución de las fechas del año en el plano de componentes principales de la variación estacional y anual de la abundancia de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Los números en negro corresponden a fechas en la estación de secas y los números en rojo corresponden a la estación de lluvias.

4) Cuatro especies que ocurren todo el año o sólo en invierno o verano, con crianza y sin ella y que ocurren en promedio en PDO positivo. Los grupos 1 y 2 presentan perfiles de abundancia anual diferentes pero su abundancia general no se ha modificado durante cuatro décadas. Las especies de los grupos 3 y 4 en cambio, presentan una tendencia general de disminución en su abundancia la cual ha ocurrido fundamentalmente a partir de la década de 1990 (Figura 26, Tabla 4).

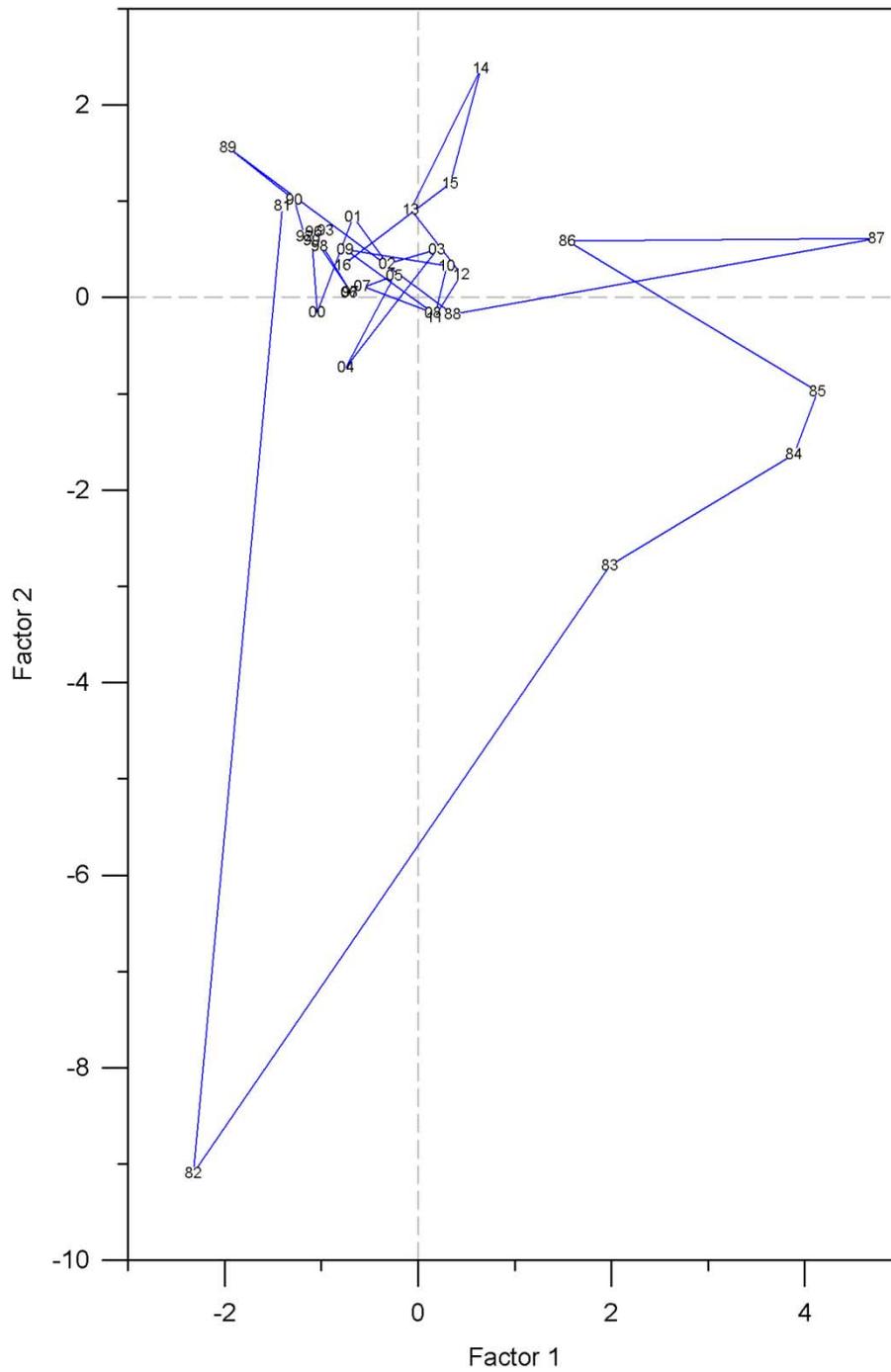


Figura 24. Distribución de los años en el plano de componentes principales de la variación estacional y anual de la abundancia de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Se indican las trayectorias de tiempo.

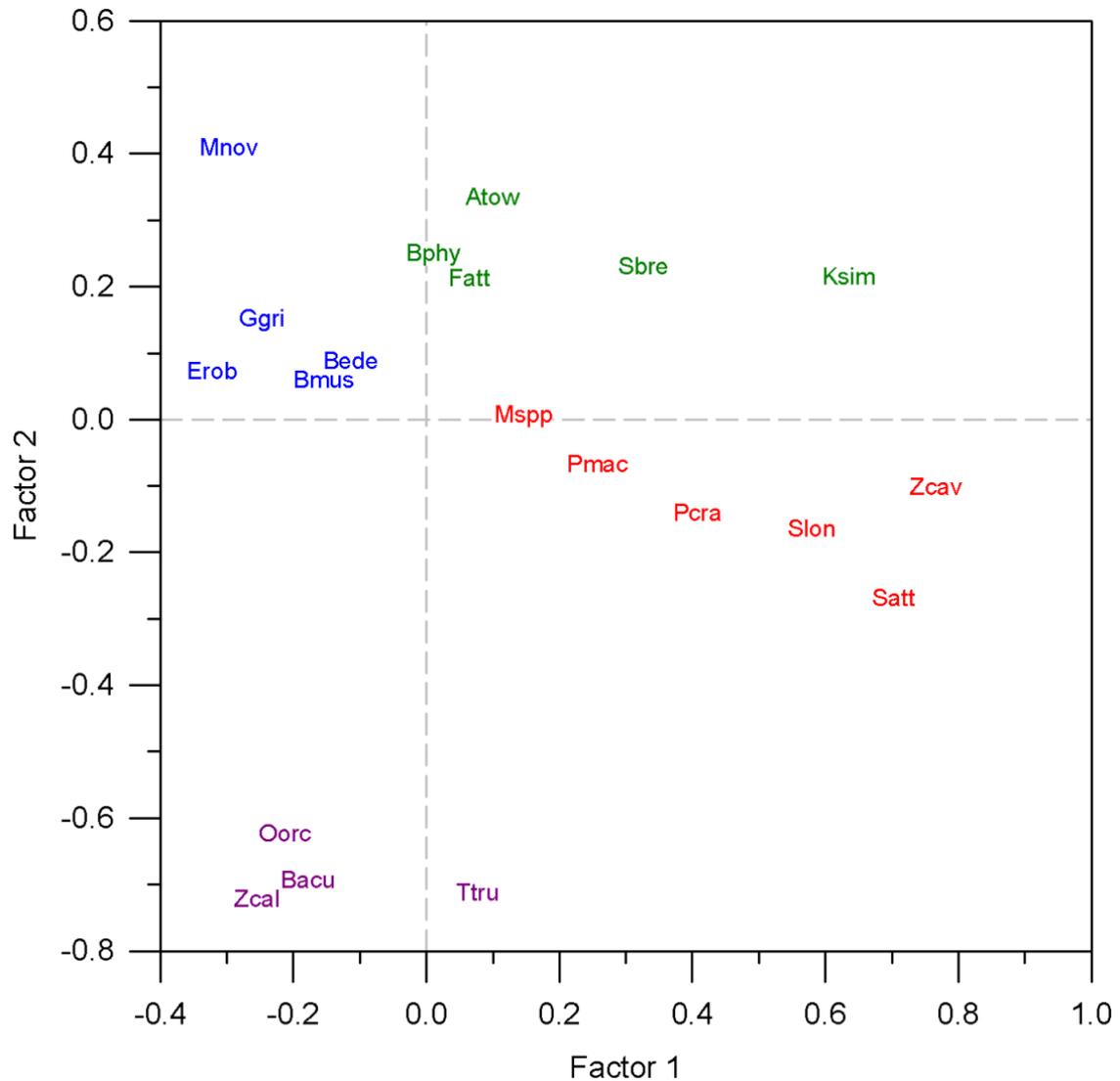


Figura 25. Distribución de las especies en el plano de componentes principales de la variación estacional y anual de la abundancia de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Se indican los grupos de las Figuras 14, 26 y 27, y Tabla 4.

Este resultado particularmente sugiere la existencia de cambios en la diversidad de la mastofauna marina de la Bahía de Banderas a largo plazo que podría asociarse al fuerte desarrollo de actividades humanas en la región, particularmente turísticas, a partir de los 1990.

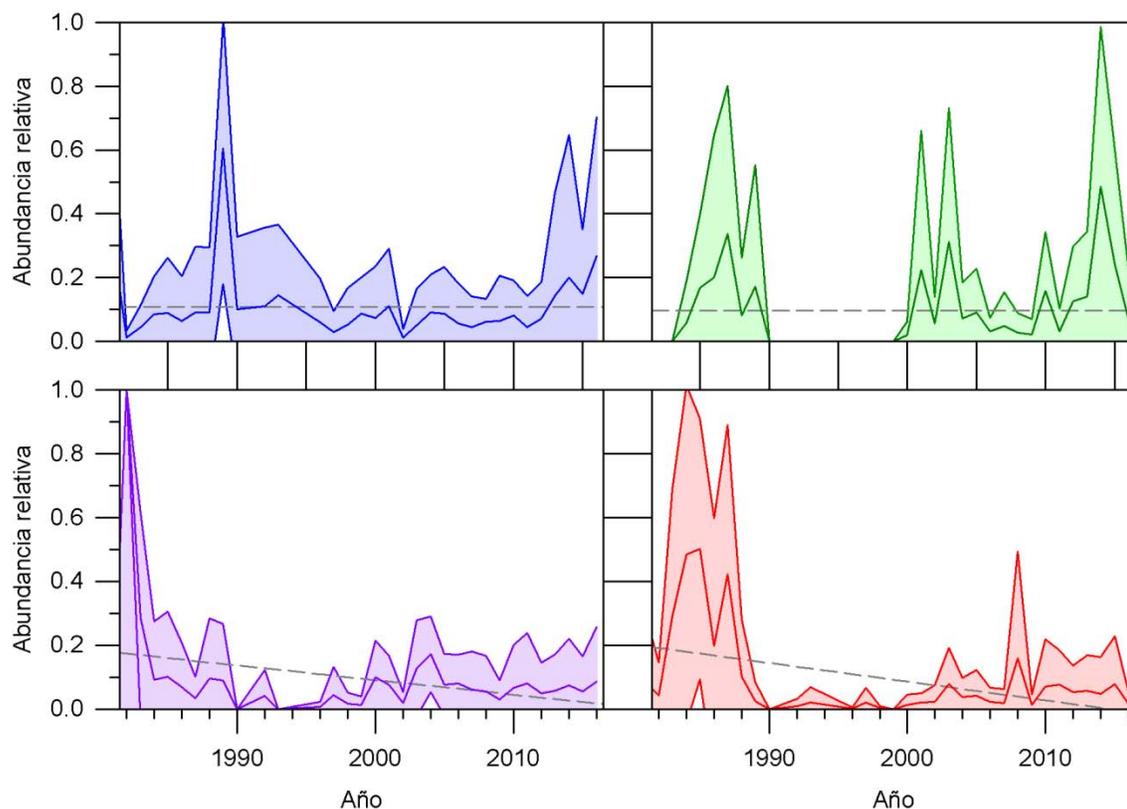


Figura 26. Abundancia anual de los conjuntos de especies identificados en la Figura 24 según su ocurrencia anual y estacional en la Bahía de Banderas en el periodo 1981-2016.

Tabla 4. Parámetros de regresión de la variación anual de la abundancia de los cuatro grupos de mamíferos marinos identificados por su ocurrencia temporal en la Bahía de Banderas en el periodo 1981-2016 (Figuras 25 y 26).

Grupo	Ordenada	Pendiente	r²
1 (azul)	0.10	0.0000	0.0021
2 (verde)	0.10	0.0000	0.0000
3 (rojo)	11.80	-0.0059	0.2193
4 (morado)	9.27	-0.0046	0.0849

Este cambio podría deberse al efecto diferencial de las actividades humanas sobre el uso que hacen del espacio las diferentes especies de mamíferos marinos y su importancia para ellas. Este posible efecto antrópico estaría mediado por cambios ambientales de largo plazo.

Al examinar la relación de la desviación estándar de PDO en que ocurren las especies (una medida de su tolerancia ambiental) con la tendencia general de cambio en su abundancia anual, se observa una relación paralela con la excepción de *P. crassidens* cuya tendencia general de cambio es negativa. Se negligén seis especies raras cuya ocurrencia en la región no tiene abundancia asociada (Figura 27).

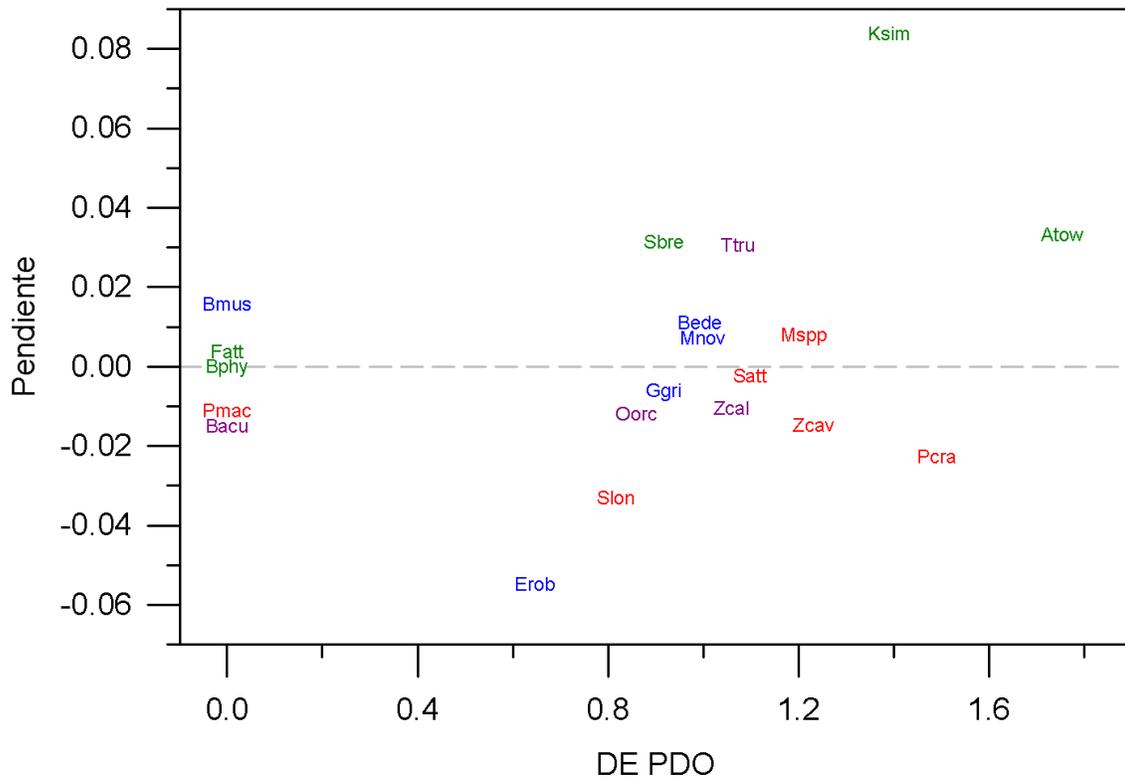


Figura 27. Tolerancia ambiental de las especies definida por su desviación estándar de PDO (DE PDO; Figura 14) y tendencia general de cambio anual de la abundancia (Figura 21). Los colores indican la clasificación de las especies según su ocurrencia estacional y anual en la Figura 25.

6.4. Variación estacional y decadal de la diversidad

La estacionalidad aparece como el mayor componente de variación en la ocurrencia de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes, y asimismo no hay tendencias anuales sostenidas sino cambios

asociados a años inusuales, típicamente con eventos fuertes de la oscilación El Niño/La Niña, así como cambios de largo plazo, especialmente en la transición 1980-1990 cuando en la región se intensificó el turismo y surgió particularmente la observación turística de mamíferos marinos. Por ello, se examinó la variación estacional y decadal en la diversidad de la mastofauna marina en tres análisis: 1) Análisis de diversidad por estación y década; 2) Relación de la diversidad con la variación ambiental medida con el PDO y 3) Análisis de clasificación de acuerdo con la composición de especies por estación y década.

Las curvas de acumulación de riqueza muestran una mayor diversidad de mamíferos marinos para las lluvias ($R_{\max}=21$) comparadas con las secas ($R_{\max}=16$). De la década 1980 a la 2000, hay una considerable caída de riqueza estimada en las lluvias con $R_{\max}=21$ para la década 1980 (lo que es lo mismo que el total) y $R_{\max}=12$ para la década 2000. En las secas, no hay una tendencia general de cambio en la diversidad sino una alternancia teniendo las décadas 1980 y 2000 sendos valores de 16 y 18 especies en R_{\max} y las décadas 1990 y 2010 valores respectivos de 15 y 14. La diversidad de Shannon es igualmente mayor en lluvias que en secas y manifiesta asimismo una tendencia general de disminución en lluvias así como una alternancia en secas (Figuras 28 y 29, Tabla 5).

Sin embargo, los valores decadales de mayor diversidad de Shannon en las secas coinciden con mayores valores de igualdad mientras que la mayor diversidad en las lluvias de 1980, tienen una igualdad menor comparada a las lluvias de 2000 (Tabla 5). Esto significa que las variaciones de diversidad en las secas han afectado más a las especies menos abundantes mientras que la disminución de diversidad en las lluvias de 1980 a 2000 ha afectado más a las especies más abundantes.

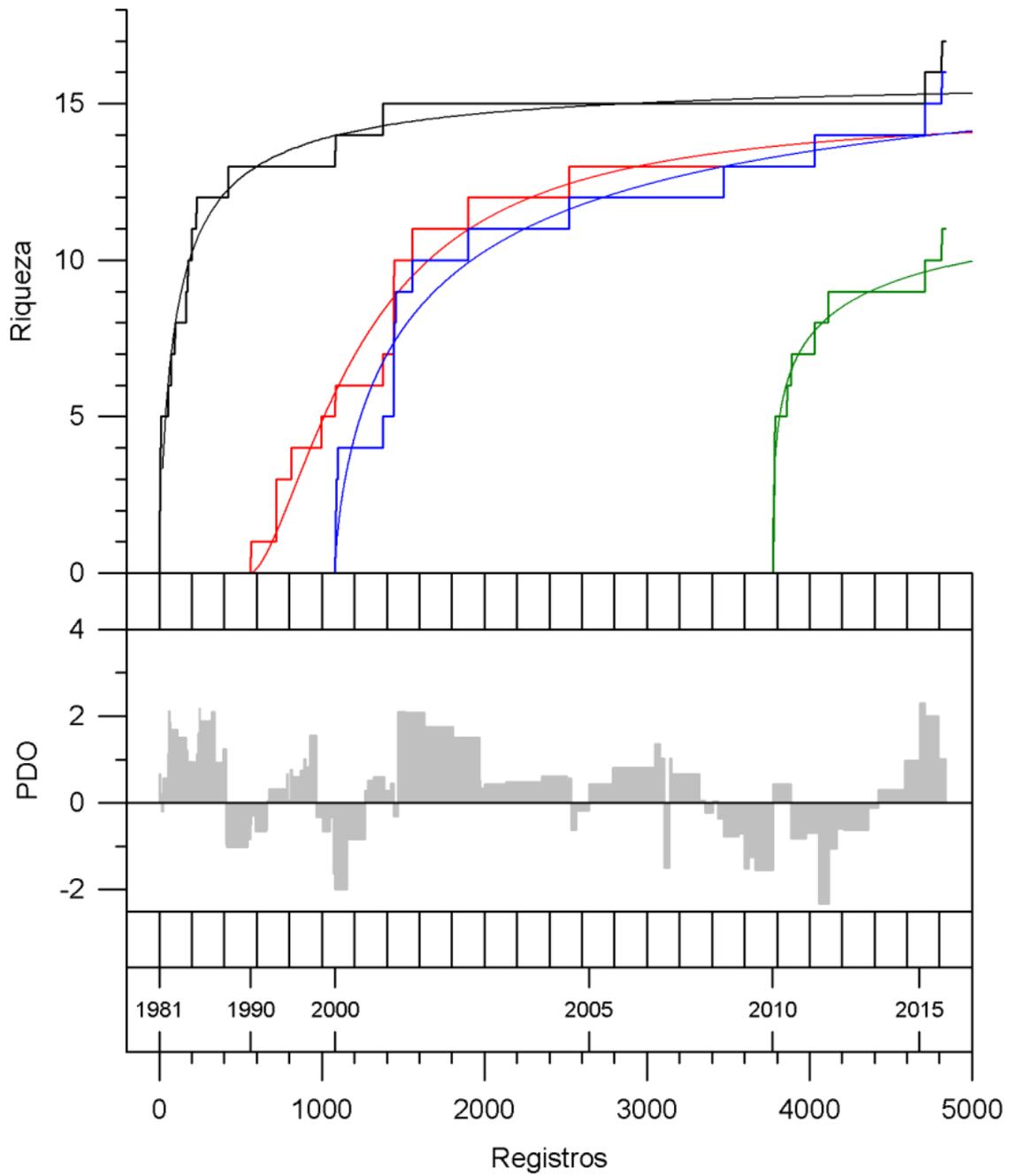


Figura 28. Curvas de acumulación de especies de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas durante cuatro décadas en la estación de secas. Se indican los ajustes a la ecuación de Hill así como el PDO. Los parámetros de ajuste se muestran en la Tabla 5.

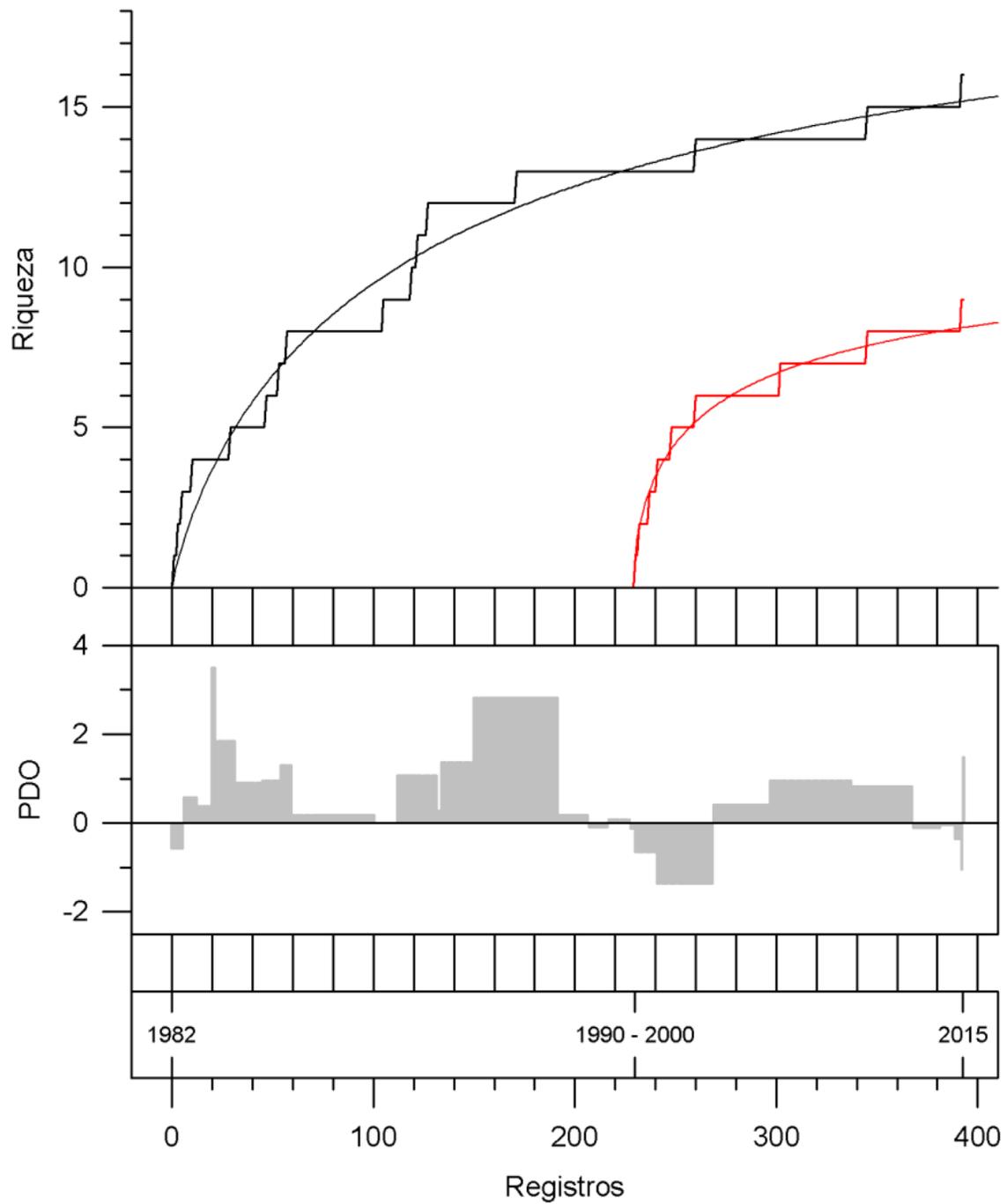


Figura 29. Curvas de acumulación de especies de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas durante dos décadas en la estación de lluvias. Se indican los ajustes a la ecuación de Hill así como el PDO. Los parámetros de ajuste se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de diversidad informática observada y máxima (S , S_{\max}), igualdad (I), riqueza observada (R_{obs}), riqueza estimada (R_{\max}), parámetros de ajuste al modelo de Hill (k , n , r^2) y tamaño de muestra (N) de los mamíferos marinos de la Bahía de Banderas durante las estaciones de secas (s) y lluvias (l) de las décadas 1980, 1990, 2000 y 2010.

	1980s	1990s	2000s	2010s	1980l	2000l	Total s	Total l	Total
S	1.78	0.47	1.32	1.44	1.87	1.73	1.36	1.87	1.53
S_{\max}	3.70	2.32	3.70	3.46	3.70	3.17	4.09	4.00	4.32
I	0.48	0.20	0.36	0.42	0.50	0.55	0.33	0.47	0.35
R_{obs}	13	5	13	11	13	9	17	16	20
R_{\max}	15.95	14.81	17.87	14.03	21.00	12.12	15.95	21.00	20.71
k	40.77	32210	91.80	9.42	58.10	10.50	40.77	58.10	19.61
n	0.81	1.59	0.71	0.44	0.85	0.60	0.81	0.85	0.61
r^2	0.94	0.97	0.92	0.91	0.97	0.95	0.94	0.97	0.95
N	4836	4273	3754	1061	393	164	4836	393	5229

El orden de reacción en las curvas de acumulación fue en general cercano a la unidad aunque con un valor considerablemente mayor en las secas de 1990 y valores considerablemente menores a la unidad en las secas de 2010 y lluvias de 2000. La tasa general de acumulación de especies fueron asimismo extremas para estos periodos siendo $k=32\ 210$ para las secas de 1990, $k=9.4$ para las secas de 2010 y $k=10.5$ para las lluvias de 2000.

El análisis de cúmulos de la composición de especies (Figura 30) muestra una distinción primaria entre las estaciones aunque con una mayor distinción de las lluvias de 2000 que se caracterizan por una mayor ocurrencia de *B. edeni* y *S. bredanensis* así como con una menor ocurrencia de varios odontocetos. Entre las secas, la década 1980 es la más distintiva guardando una distancia notable al resto de las décadas y estando caracterizada por una mayor diversidad de especies como ya se dijo. Esta distancia que podría reflejar los efectos faunísticos de los fuertes eventos de El niño en 1982 y La Niña en 1989, podría también reflejar los efectos antrópicos en la diversidad asociados a la intensificación de las actividades humanas a partir de los 1990. Esos dos mismos efectos podrían también explicar la disminución de diversidad en las lluvias entre 1980 y 2000.

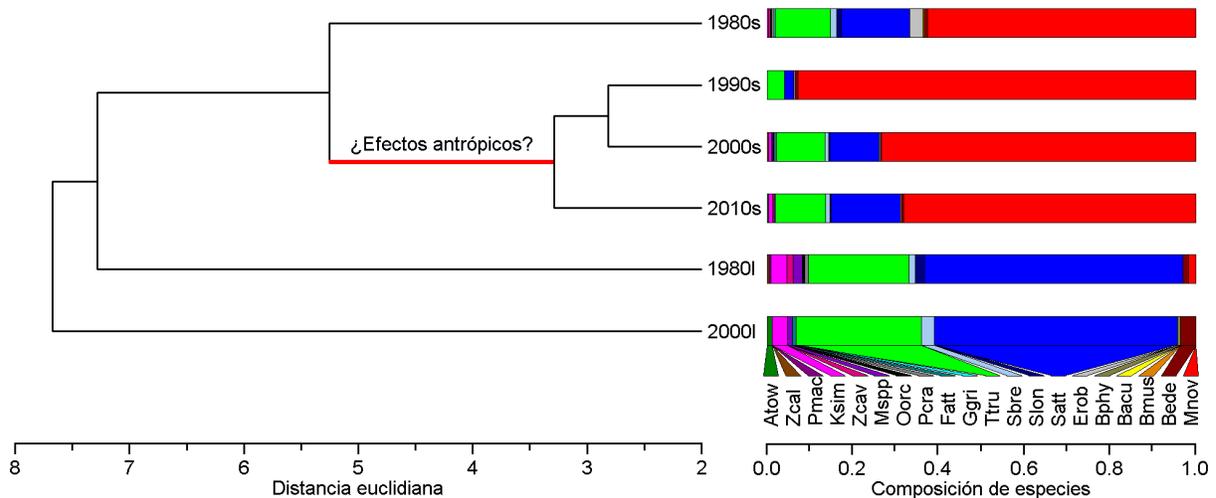


Figura 30. Clasificación de estaciones y décadas de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes por su composición de especies de mamíferos marinos. Los acrónimos se definen en la Tabla 2.

La comparación directa de riqueza estimada de especies y PDO promedio por estaciones y décadas arroja una relación directa en la que secas y lluvias de 1980 muestran mayor diversidad y PDO promedio mientras que las lluvias de 2000 y las secas de 2010 tienen los menores valores de diversidad y PDO. Los cambios de riqueza de la mastofauna marina en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes parecen así asociados a cambios ambientales de largo plazo y tal vez a un efecto antrópico en la transición de las décadas 1980 a 1990 (Figura 31).

El análisis de componentes principales también distingue primariamente las estaciones de secas y lluvias, así como la tendencia aparente de variación en las lluvias entre 1980 y 2000 y el carácter oscilante de la diversidad en las secas entre 1980 y 2010 (Figura 32). Las especies en este análisis se distinguen en el factor 1 por un eje que en un extremo tiene a las especies más invernales y en el otro a las más comunes a lo largo del año estando en el centro especies que no ocurren todo el año y no en el invierno.

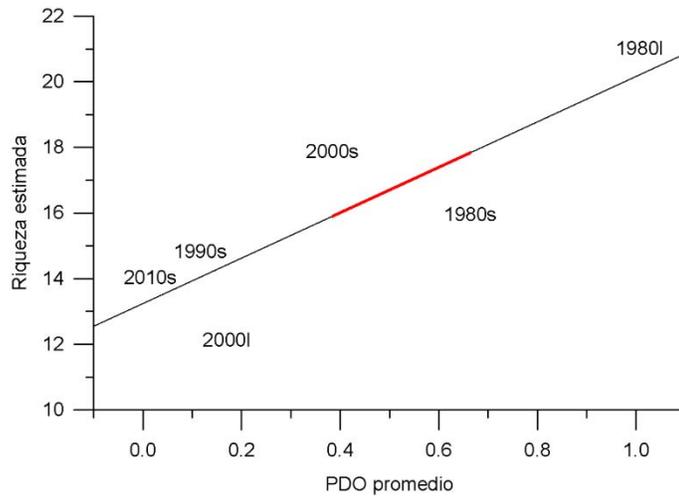


Figura 31. Variación ambiental y diversidad de la mastofauna marina de la Bahía de Banderas por estaciones y décadas. Se muestra la línea de regresión en la que el trazo rojo señala el posible efecto antrópico en la diversidad mostrado en la Figura 30. Los parámetros de la regresión son ordenada al origen 13.24, pendiente 69.21, $r^2=0.7055$.

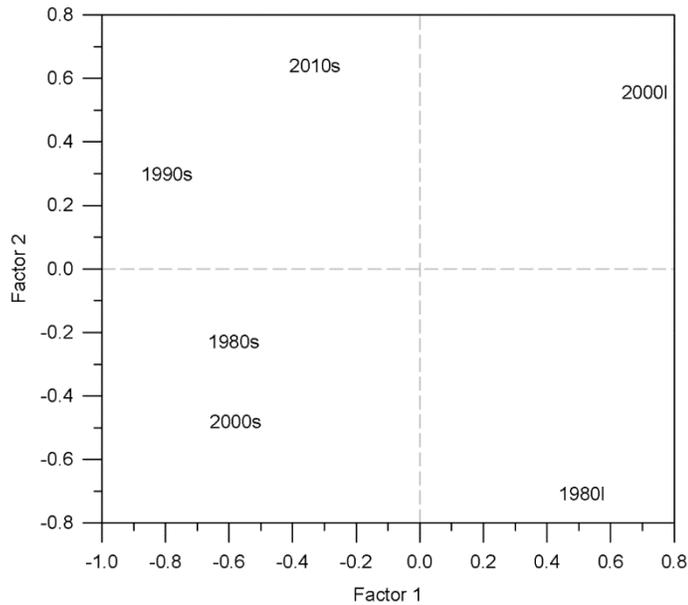


Figura 32. Distribución de estaciones y décadas en el plano de componentes principales de la composición de especies de mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes.

Esto significa que la estacionalidad es el mayor componente de variación en la composición de especies con un autovalor de 36.30%.

El factor 2 separa claramente a las especies que tuvieron tendencia general positiva o negativa en su abundancia anual y tiene un autovalor de 26.55% para un total acumulado del plano de 62.85% de la variación. Nótese que en las especies muy raras, el factor 2 no corresponde a su abundancia sino al tiempo en que éstas fueron registradas. Las especies raras que se registraron entre 2002 y 2016 (*B. physalus*, *F. attenuata*, *A. townsendi* y *B. musculus*) aparecen por ese motivo en la parte superior del plano de componentes principales (Figura 33).

6.5. Distribución espacial de la diversidad

La mayor diversidad de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes se concentra principalmente alrededor de las Islas Marietas así como al interior de la bahía cerca de la Cruz de Huanacastle en aguas someras al norte y las aguas profundas en las cercanías entre Yelapa y Quimixto al sur (Figura 34).

En las aguas someras al norte de la bahía y cerca de las Islas Marietas es en donde predominan las seis especies registradas de misticetos (Tabla 2). Existe sin embargo una cantidad considerable de registros de *M. novaeangliae* en la mitad sur de la bahía así como en aguas profundas mar adentro. Varios delfines son asimismo frecuentes en la parte norte de la bahía y los alrededores de las Marietas lo cual incluye a *S. attenuata*, *T. truncatus*, *P. crassidens* y *O. orca*. La preferencia de estas últimas dos especies por aguas someras pudiera más bien reflejar la preferencia de sus presas.

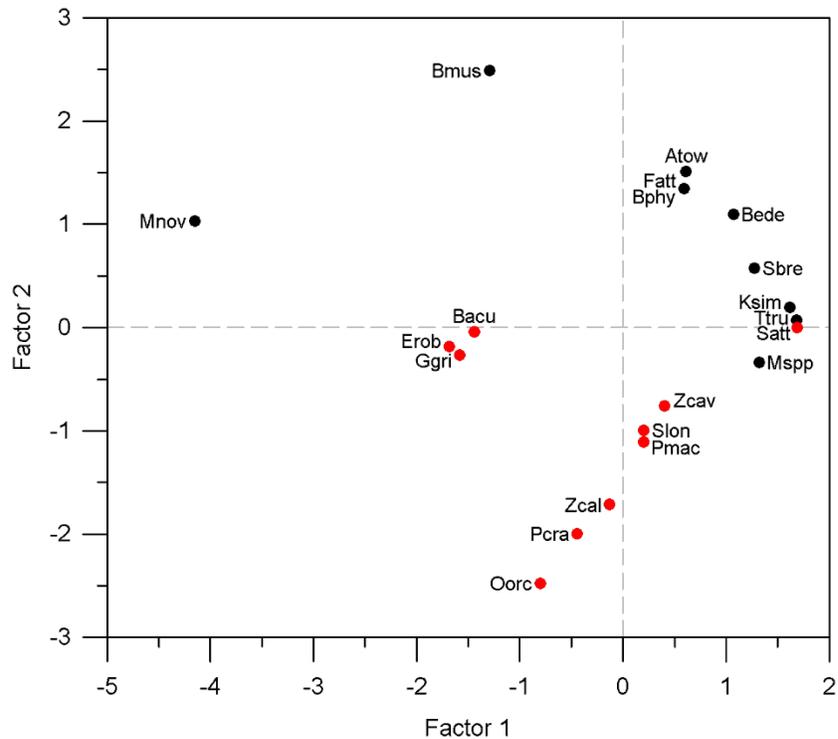


Figura 33. Distribución de especies en el plano de componentes principales de la composición de especies de mamíferos marinos de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes a través de estaciones y décadas. Las especies indicadas en negro tuvieron tendencias anuales de abundancia positivas y las indicadas en rojo tuvieron tendencias negativas (Tabla 3).

En la parte sur de la bahía en donde se encuentra un cañón submarino (Figura 1B), se observan cetáceos de aguas profundas como *Mesoplodon spp*, *Z. cavirostris* y *K. sima* además de *M. novaeangliae* y varios delfines que en el caso de *T. truncatus*, parece tratarse de una forma oceánica de amplia distribución en contraste a una forma aparentemente local abundante en el norte e interior de la bahía (Viloria-Gómora y Medrano-González 2015). Algunos delfines con afinidades por aguas oceánicas y/o profundas como *S. longirostris*, *S. bredanensis*, *G. griseus* y *F. attenuata*, suelen encontrarse en la mitad sur de la bahía o en mar adentro pero no es raro encontrarlas en la parte norte de la bahía y alrededores de las Marietas. *B. musculus* y *P. macrocephalus* se han encontrado sólo mar adentro.

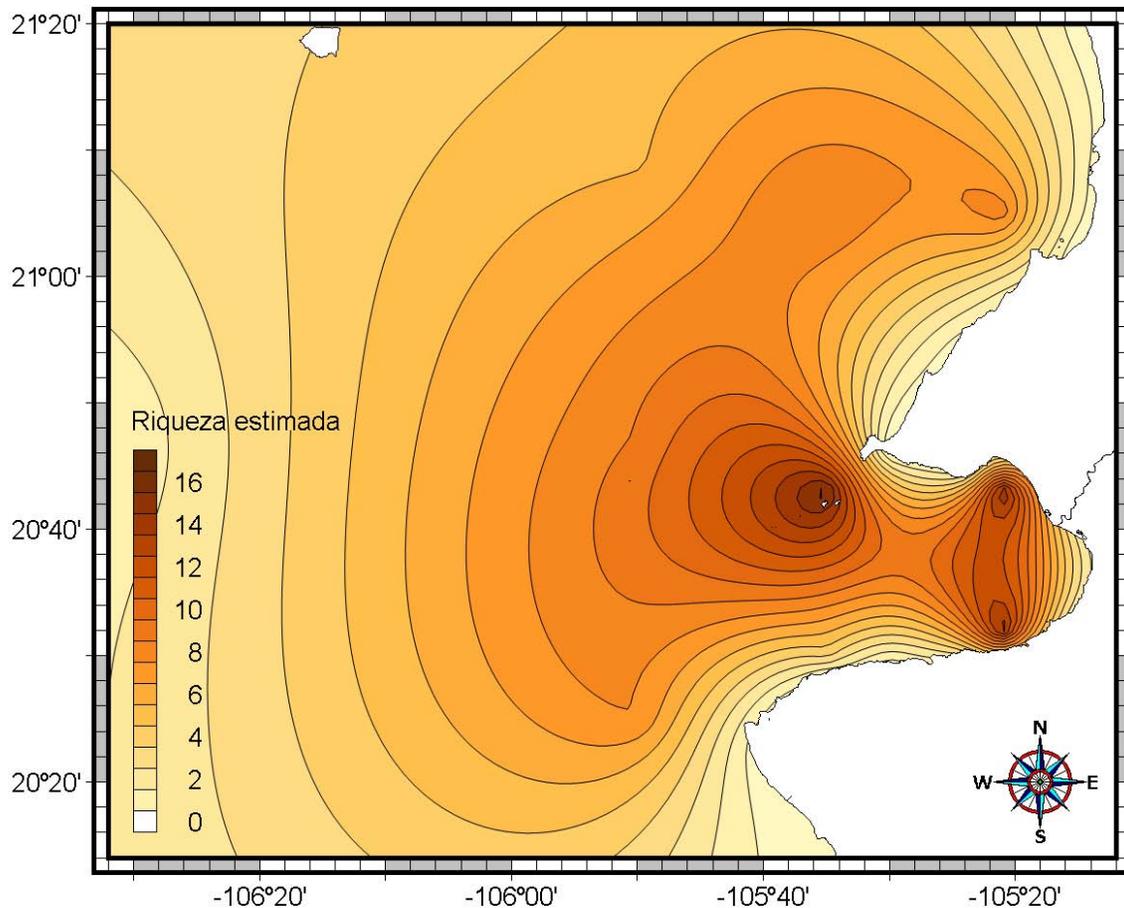


Figura 34. Distribución de la riqueza de mamíferos marinos en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes.

Nótese que en el mapa de diversidad, la riqueza máxima para una zona es de 17 especies lo cual, siendo menor a la riqueza observada de 20 especies en toda la región, indica que hay una diferenciación ecológica dentro de la región en lo que a mastofauna marina se refiere. De acuerdo con la Figura 34, las zonas mastofaunísticas de la región pudieran definirse como sigue: 1) Parte somera del norte de la bahía y aguas someras al norte y mar adentro; 2) Parte profunda al sur de la bahía; 3) Aguas profundas mar adentro. Las regiones 1 y 2 confluyen en la parte más interna de la bahía, frente a la costa de Puerto Vallarta, en donde se han descrito cañones. Por dicha confluencia faunística, esta región tiene o pudo haber tenido una mayor diversidad de mamíferos

marinos pero en el mapa aparece como una zona de baja diversidad por el efecto de contorno de tierra (Figura 34). Esta pequeña región por lo tanto, requiere de un estudio detallado en tanto que sería la zona mayormente y más tempranamente afectada por el desarrollo del turismo a gran escala en la región a partir de la década 1960 y especialmente por su intensificación y el desarrollo de la observación turística de ballenas a partir de la década 1990 el cual ha sido de los más desordenados en el país.

6.6. Distribución espacial de la crianza

Globalmente entre las 11 especies de cetáceos que crían en la región de la Bahía de Banderas, la crianza de recién nacidos ocurre fundamentalmente, en la parte más interna de la bahía, en la mitad somera del norte, en las aguas costeras al norte de la bahía y alrededor de las Islas Marietas así como en aguas someras al oeste de estas islas y aguas someras aledañas al Cabo Corrientes (Figura 35).

La ballena jorobada cría fundamentalmente en aguas interiores de la bahía así como en la mitad protegida y somera del norte de la bahía y aguas costeras al norte fuera de la misma. Se observan asimismo registros de ballenas jorobadas con crías en aguas someras en las cercanías del Cabo Corrientes y al noroeste de la bahía los cuales son pocos en números absolutos pero con un alto valor de fracción de avistamientos con crías en ellos (Figura 36). Estos avistamientos de crías en aguas protegidas podrían estar asociados a la migración de hembras con sus recién nacidos.

El delfín moteado parece tener preferencia para la crianza en aguas internas y en el centro-sur de la bahía, cerca de las costas de Sayulita al norte así como en aguas al oeste de Cabo Corrientes y de las Islas Marietas, esto es en general, aguas alrededor del talud continental lo cual posiblemente se relacionaría con la alimentación de estos animales (Figura 37).

La tonina presenta una crianza marcadamente costera y asociada a aguas someras entre la parte interna al norte de la bahía, las Islas Marietas y la costa al norte casi hasta la Bahía de Jaltemba. Hay crianza asimismo de esta especie alrededor de la roca Corbeteña y al sur de la bahía muy cerca de la costa al oeste de Yelapa y en la parte interna de la bahía junto al Cabo Corrientes (Figura 38).

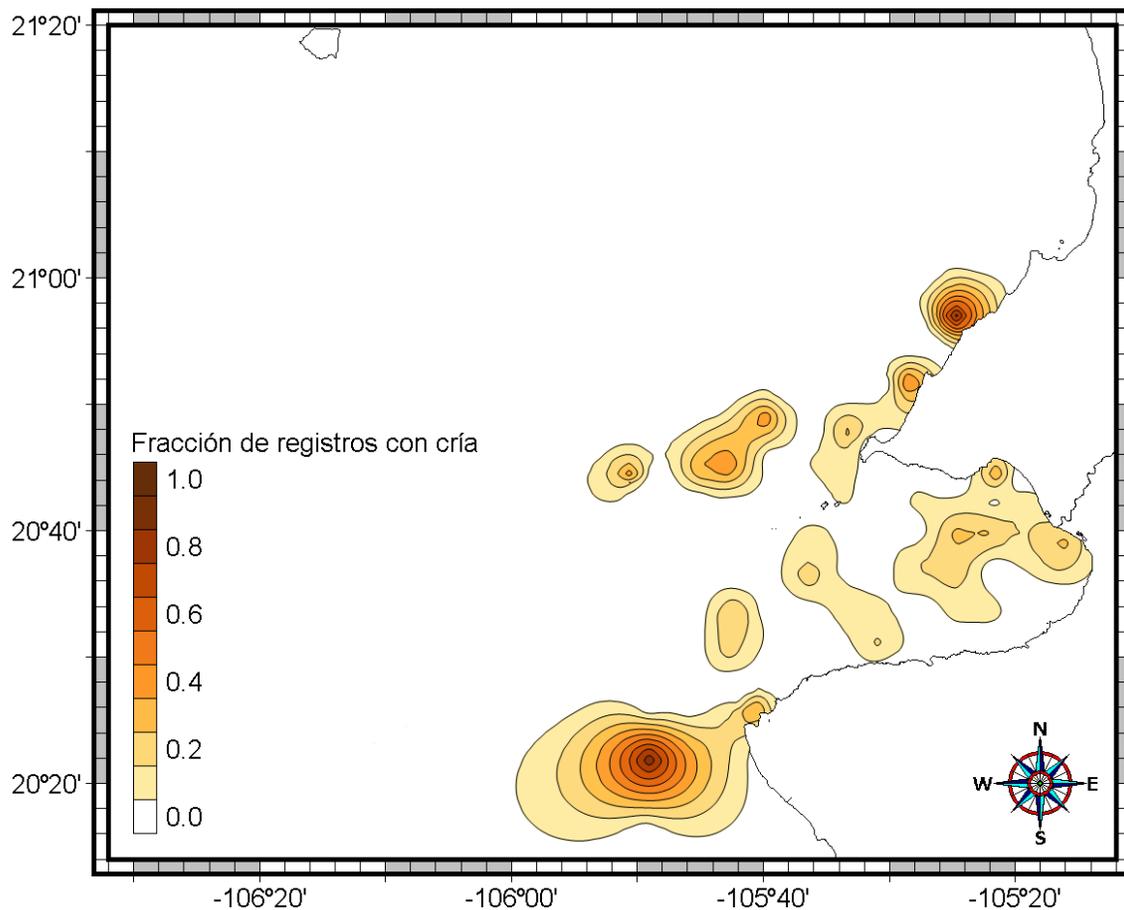


Figura 35. Distribución de la crianza de 11 especies de cetáceos en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes.

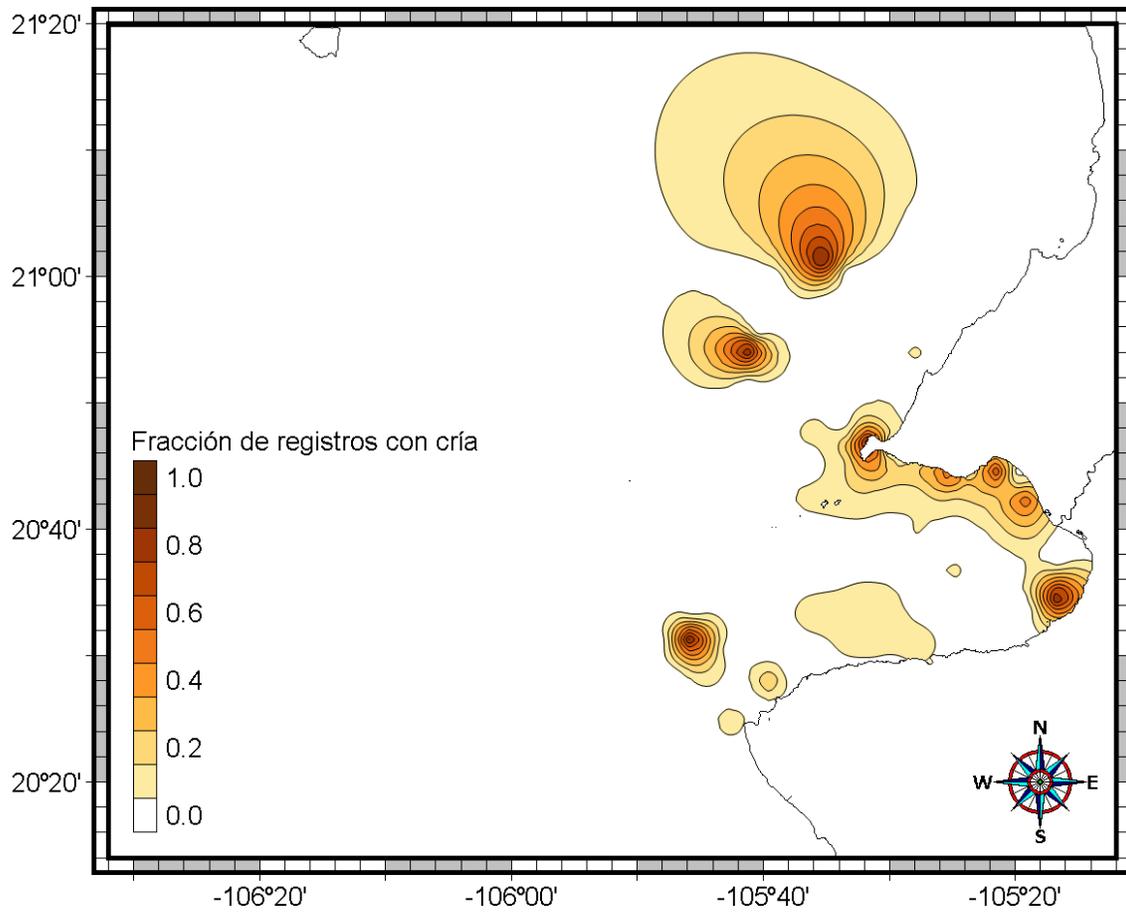


Figura 36. Distribución de la crianza de *M. novaeangliae* en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes.

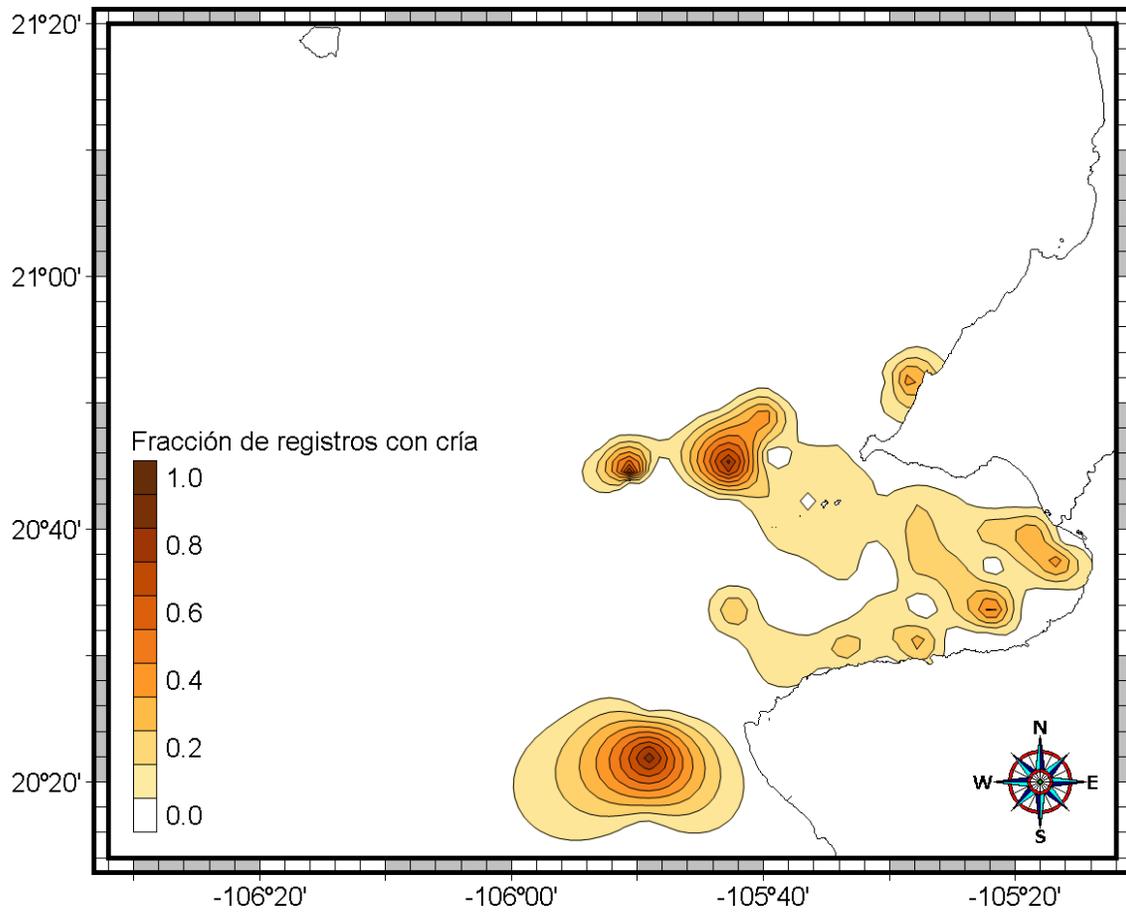


Figura 37. Distribución de la crianza de *S. attenuata* en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes.

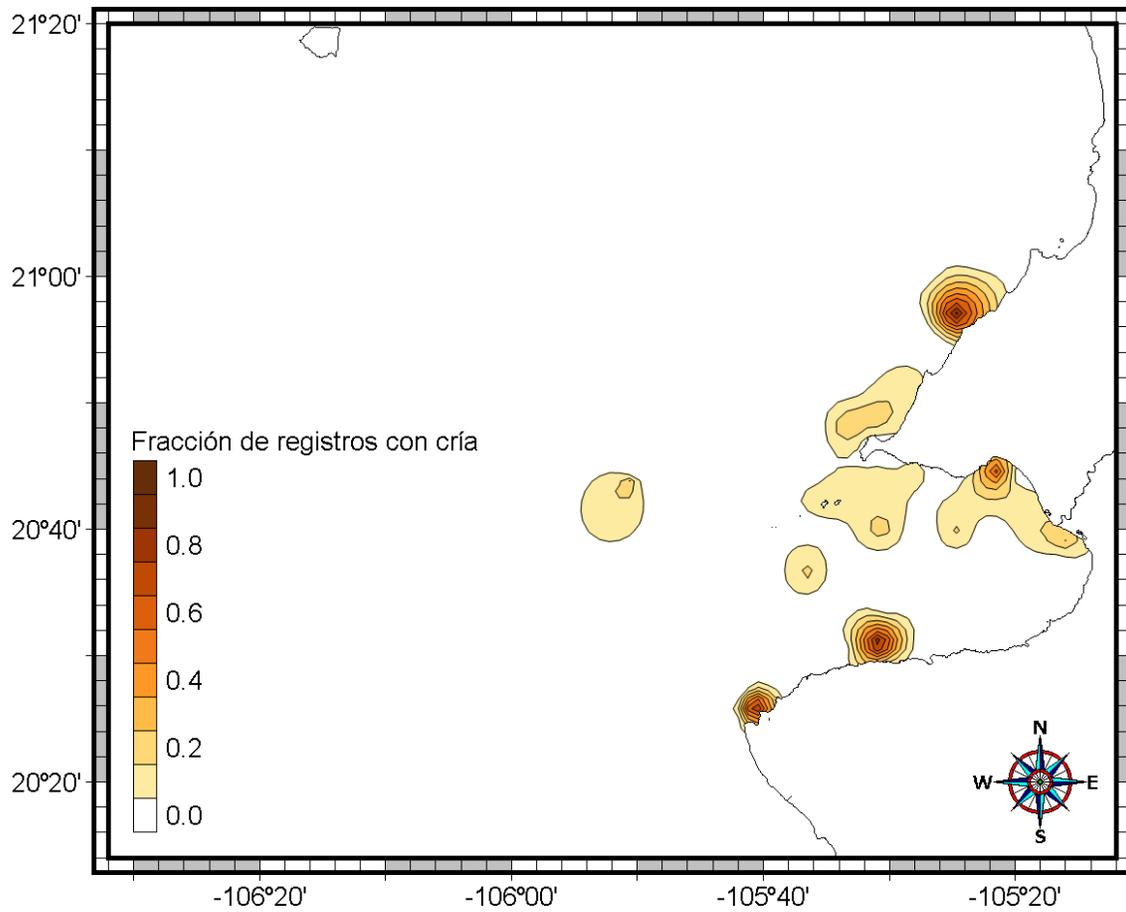


Figura 38. Distribución de la crianza de *T. truncatus* en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes.

7. Discusión y conclusiones

La mastofauna marina de la Bahía de Banderas y aguas adyacentes de acuerdo con los resultados de este trabajo está compuesta por 20 especies; esto es ocho especies más que las reportadas por Salinas Zacarías y Bourillón Moreno (1988) y cuatro especies más que las validadas en la región por distintas revisiones (Tabla 1). El registro del cachalote pigmeo (*Kogia breviceps*) es de un organismo muerto que pudo ser arrastrado desde lejos y por ello no se considera en la cuenta de riqueza. Una especie más podría registrarse de acuerdo con el análisis de acumulación de riqueza. La mastofauna marina registrada consta de 18 cetáceos y dos carnívoros, representa 42% de la riqueza total de la mastofauna marina de México (Ceballos *et al.* 2005, Medrano González *et al.* 2008) y 16% de la diversidad mundial (Jefferson *et al.* 2015). Esta riqueza es mediana comparada con otras regiones del mundo de extensión similar; por ejemplo, 12 especies en la Bahía de La Paz (Flores Ramírez 1996), nueve especies en los fiordos de Chile (Viddi *et al.* 2010), 33 especies en el Golfo de Farallones (Roletto 2001), 13 especies en la costa de Mauricio (Kiszka 2015) y hasta 28 especies en el Mar Mediterráneo (Notarbartolo di Sciara 2016).

La mayor parte de la diversidad de la mastofauna marina de la región se debe a especies de afinidad tropical. La abundancia y diversidad de estas especies son sensibles a variaciones climáticas como la Oscilación Decadal del Pacífico y La Oscilación El Niño/La Niña. Cuando los cambios de fase de ambas oscilaciones coinciden se observan anomalías fuertes en la temperatura del mar (Kuball 2007), a las que se asocian cambios drásticos de abundancia y diversidad de mamíferos marinos tales como disminuciones en los eventos El Niño de 1982-83 y 2015-16 así como incrementos en los eventos La Niña 1988-89 y 2016-17.

La relación entre abundancia y comunaleza de las especies, sugiere que en la Bahía de Banderas los mamíferos marinos pueden ocupar distintos hábitats y

nichos y por ello, la relación entre abundancia y comunaleza muestra efectos cooperativos entre las especies. En contraste, alrededor de la Isla Socorro, los mamíferos marinos compiten por un espacio reducido generando una relación de abundancia y comunaleza que sugiere exclusión (Trejo Albarrán, en elaboración).

En la Bahía de Banderas, el delfín moteado, la tonina y la ballena jorobada son las especies más abundantes y comunes, esta última en forma estacional. En la Isla Socorro la ballena jorobada y la tonina son las especies más abundantes y comunes y se observan diferencias con la Bahía de Banderas entre las que resaltan la ausencia de *S. attenuata* y la relativa alta ocurrencia de *Z. cavirostris* alrededor de la Isla Socorro así como la relativa alta comunaleza de *K. sima* en la Bahía de Banderas (Trejo Albarrán, en elaboración).

La mastofauna marina de la región varía primero en función de la estacionalidad definida en secas, de noviembre a abril, y lluvias, de mayo a octubre. Luego de la estacionalidad, la mastofauna marina varía en cambios decadales derivados de variaciones climáticas como la Oscilación Decadal del Pacífico. Estos cambios decadales en la mastofauna asimismo pueden ser el resultado del impacto de las actividades humanas locales que se intensificaron mucho en los 1990s (Hoyt e Iñíguez 2008, Márquez González 2007).

La riqueza total de especies se acumuló durante todo el tiempo del estudio y el primer registro de varias especies coincide con cambios de fase en el PDO. Algunas especies, como el cachalote y el zifio pigmeo, se empiezan a registrar con frecuencia creciente. Esto significa que la mastofauna marina de la región se ha modificado a través de los años por cambios ambientales, físicos y antrópicos, de largo plazo.

Cada especie de mamífero marino exhibe un patrón propio de abundancia a lo largo de cuatro décadas pero hay una tendencia general negativa que podría deberse a efectos antrópicos. La distribución estacional y anual de las

especies, las clasifica en cuatro grupos. En dos grupos la abundancia general no se ha modificado durante cuatro décadas y en dos grupos se observa una tendencia general de disminución de abundancia la cual ha ocurrido fundamentalmente a partir de los 1990s. Este resultado sugiere la existencia de cambios en la diversidad a largo plazo que podría asociarse al fuerte desarrollo de actividades humanas en la región, particularmente turísticas, a partir de los 1990s (Hoyt e Iñíguez 2008, Márquez González 2007).

El delfín moteado, la tonina, el cachalote enano y tal vez el delfín de dientes rugosos parecen tener poblaciones locales en la región (Esquivel Macías 1989, Pompa Mansilla 2007, Vilorio Gómora y Medrano González 2015). Otras especies de mamíferos marinos utilizan la zona para otras actividades siendo la crianza una de las más importantes.

Once especies de cetáceos crían a sus recién nacidos en la Bahía de Banderas. Algunas especies, como el delfín tornillo, muestran una alta proporción de grupos con cría lo que sugiere que su ocurrencia en la bahía obedece primariamente a la crianza (Medrano González *et al.* 2007).

La mayor parte de la crianza ocurre en las aguas someras a sotavento dentro de la bahía, especialmente en la ballena jorobada y la tonina, así como en aguas someras alrededor de las Islas Marietas y al norte de la bahía (Salinas Zacarías y Bourillón Moreno 1988).

La mayor riqueza de mamíferos marinos ocurre alrededor de las Islas Marietas así como en el interior de la bahía. La pequeña zona alrededor de Puerto Vallarta requiere un estudio detallado en tanto que puede o pudo ser una zona con alta diversidad de mastofauna marina y sería también la zona mayormente y más tempranamente afectada por el desarrollo del turismo a gran escala en la región a partir de los 1960s (Hoyt e Iñíguez 2008, Márquez González 2007).

Las zonas de la Bahía de Banderas con más crianza y riqueza de mamíferos marinos son el interior de la bahía, la parte somera en el norte dentro y fuera

de la bahía así como los alrededores de las Islas Marietas. Estas zonas son también las más afectadas por el intenso uso turístico de la región (Díaz Gamboa 2007, Chávez García 2016) lo cual hace necesario una regionalización y políticas de uso del espacio social y ambientalmente responsables.

Los mamíferos marinos son animales con altas capacidades de regulación fisiológica, aprendizaje y dispersión. Por ello, la distribución de estos animales es compleja en el sentido de que tiene especificaciones ambientales de distinta escala geográfica, y asimismo es dinámica. Los resultados de este trabajo muestran que la mastofauna marina de la región de la Bahía de Banderas es una comunidad cambiante y que por lo tanto, requiere de estudios a largo plazo para identificar los procesos físicos y antrópicos que la afectan. Una perspectiva de largo plazo y con especificaciones dinámicas de distinta escala geográfica, deben ser necesarias para desarrollar políticas responsables de conservación y desarrollo humano.

8. Referencias

- Aguilar-Aguilar R. y Contreras-Medina R. 2003. La distribución de los mamíferos de México: un enfoque panbiogeográfico. Pp 197-211. En: Llorente-Bousquets J. y Morrone J.J. (eds). Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Arellano Peralta V.A. y Medrano González L. 2013. Mamíferos marinos en el Golfo de California. Macroecología, impacto y su perspectiva hacia la conservación. Colección Posgrado 43. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Arroyo-Cabrales J., León-Paniagua L., Ríos Muñoz C.A., Espinosa-Martínez D.V. y Medrano-González L. 2015. Mamíferos de Nayarit. Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época 5(1): 33-62.
- Auriolles G.D. 1993. Biodiversidad y estado actual de los mamíferos marinos de México. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. Volumen especial 44: 397-412.
- Avila-Foucat V.S. 1998. Propuesta de lineamientos y estrategias para la observación turística de ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en Bahía de Banderas Nayarit-Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, DF. 58 pp.
- Ballance L.T., Pitman R.L., y Fiedler P.C. 2006. Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the Eastern tropical Pacific: A review. Progress in Oceanography 69: 360-390.
- Begon M., Harper J.L. y Townsend C.R. 2001. Ecology. Individuals, populations and communities. 3a ed. Blackwell Science. Malden, MA. 1068 pp.
- Berta A., Sumich J.L., y Kovacs K.M. 2015 Marine mammals: Evolutionary Biology. 3a ed. Academic Press. San Diego, CA. 789 pp.
- Brown J.H. 1981. Two Decades of Homage to Santa Rosalia: Toward a General Theory of Diversity. Am. Zool. 21: 877-888.
- Ceballos G., Arroyo-Cabrales J., Medellín R.A., Medrano González L. y Oliva, G. 2005. Diversidad y conservación de los mamíferos de México. Pp 21-66. En: Ceballos G. y Oliva G (coords). Los mamíferos silvestres de México. CONABIO-FCE. México D.F.
- Cupul-Magaña AL, Aranda-Mena OS, Medina-Rosas P, Vizcaino-Ochoa V. 2000. Comunidades coralinas de las islas Marietas, Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. Mexicoa 1: 15-22.
- Chávez García A.J. 2016 Efectos de la observación turística en los patrones de conducta y ventilación del rorcual jorobado (*Megaptera novaeangliae*) en el Pacífico mexicano. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. Cd. México. 91 pp.
- De la Lanza Espino G. (comp). 1991. Oceanografía de mares mexicanos. AGT Editor. México, D.F. 569pp.

- De la Lanza Espino G y Gómez Rojas J.C. 2004. Características físicas y químicas del Golfo de México. Pp 105-136. En: Caso M. Pisanty I. y Ezcurra E. (comps). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. SEMARNAT-INE-IE, AC.-Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Vol. 1. México, D.F.
- Díaz Gamboa I.C. 2005. Hábitos de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en interacción con la actividad turística en la costa sur de Nayarit y norte de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 90 pp.
- Drake J.A., Zimmerman C.R., Purucker T. y Rojo C. 1999. On the nature of the assembly trajectory. pp. 233-250. En E. Weiher & P. Keddy (Eds.). Ecological Assembly Rules. Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Eldredge N. 1988. La vida en la cuerda floja. La humanidad y la crisis de la biodiversidad. Metatemas 66. Tousquets Editores. Barcelona (2001).
- Esquivel Macías C. 1989. Contribución al conocimiento del cráneo de la estenela moteada costera, (*Stenella graffmani Lönnberg*; 1934 *Cetacea; Delphinidae*). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 113 pp.
- Gee J.H.R. y Giller P.S. (eds). 1987. Organization of communities. Past and Present. Blackweel Scientific Publications, Oxford. 576 pp.
- Godínez E.G., González-Ruiz N. y Ramírez-Pulido J. 2011. Actualización de la lista de los mamíferos de Jalisco, México: implicaciones de los cambios taxonómicos. *Therya* 2(1): 07-35.
- González Gómez F.J. 1975. Estudio de la calidad del agua en Bahía de Banderas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas, UNAM. México, D.F. 116 pp.
- Haley D. (ed). 1978. Marine mammals of eastern North Pacific and Arctic waters. Pacific Search Press. Washington, D.C. 225 pp.
- Hoyt E. e Iñíguez M. 2008. The state of whale watching in Latin America. WDCS, IFAW, Global Ocean, London.
- INEGI. 2007. Carta Topográfica F13-11 (Puerto Vallarta) Escala 1:250 000 Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Ciudad de México.
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825711955>
- Iñíguez L.I. y Santana E. 2005. Análisis mastofaunístico del estado de Jalisco. Pp. 253-268 En: Contribuciones Mastozoológicas en Homenaje a Bernardo Villa (Sánchez-Cordero, V., y R. A. Medellín, eds.). Instituto de Biología, Instituto de Ecología y CONABIO. México, D.F.
- IUCN 2014. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1.
- Jefferson T.A., Webber M.A. y Pitman R.L. 2015. Marine Mammals of the World: A Comprehensive Guide to Their identification, 2da ed. Oxford UK: Elsevier Academic Press. 573 pp.

- Kiszka J. 2015. Marine mammals. A review of status, distribution and interaction with fisheries in the Southwest Indian. Ocean. Pp. 306-322. En Van der Elst R. y Everett B. (eds) Offshore fisheries of the Southwest Indian Ocean: their status and the impact on vulnerable species. Oceanographic Research Institute. Special Publication 10. 448pp.
- Krebs C.J. 1999. Ecological Methodology. 2a ed. The Benjamin/Cummings series in the life sciences. Menlo Park, CA. 620pp.
- Kuball C.D. 2007. Diagnosis of the Pacific Decadal Oscillation in Global Climate Models. Tesis Senior. Iowa State University. Ames, IA. 16 pp
- Ladron de Guevara Porrás P. 2001. Distribución temporal y estructura de las agrupaciones de los rorcuales jorobados (*Megaptera novaeanglie*) en dos áreas de reproducción del Pacífico Mexicano. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 140 pp.
- Lara-Lara J.R., Arena Fuentes V., Bazán Guzmán M.D.C., García Abad M. de la C., Díaz Castañeda V.M., Escobar Briones E., Gaxiola Castro G., Robles Jarero E.G., Sosa Avalos R., Soto González L.A., Tapia García M. y Valdez Holguín J.E. 2008. Los Ecosistemas Marinos. Pp. 135-159 En: Capital Natural de México Vol. 1. Conocimiento actual de la biodiversidad. Soberón J., Halffter G. y Llorente-Bousquets J.(eds). CONABIO. México, D.F.
- Leatherwood S., Reeves R.R. y Foster L. 1983. The Sierra Club Handbooks of Whales and Dolphins. Sierra Club Books. San Francisco. 302 pp.
- MacArthur R.H. y Wilson. E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 224pp
- Mantua N.J. y Hare S.R. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. Journal of Oceanography 58: 35-44 DOI:10.1023/A:1015820616384
- Márquez González A.R. 2007 La expansión del turismo costero en Bahía de Banderas, Nayarit: un análisis de deterioro ambiental. Tesis de Doctorado. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D.F. 174 pp.
- Medellín R., Equihua M. y Amin M. 2000. Bat Diversity and Abundance as Indicators of Disturbance in Neotropical Rainforests. Conservation. Biology.14: 1666-1675.
- Medrano González L., Peters Recagno E., Vázquez Cuevas M.J. y Rosales Nanduca H. 2007. Los mamíferos marinos ante el cambio ambiental en el Pacífico Tropical Mexicano. Biodiversitas 75: 8-11.
- Medrano González L., Rosales Nanduca H., Vázquez Cuevas M.J., Urbán Ramírez J., Rojas Bracho L., Salinas Zacarías M.A., Bourillón Moreno L.F., Vilorio Gómora L., Peters Recagno E.M. y Aguayo Lobo A. 2008. Diversidad, composiciones comunitarias y estructuras poblacionales de la mastofauna marina en el Pacífico mexicano y aguas circundantes. Pp 469 – 492. En: Avances en el estudio de los mamíferos de México II. Lorenzo C., Espinoza E. y Ortega J. (eds). Asociación Mexicana de Mastozoología AC. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- Notarbartolo Di Sciara G. 2016. Mediterranean Marine Mammal Ecology and Conservation. Advances in Marine Biology 75: 1-36. Notarbartolo Di Sciara G., Podestà M. y Curry B.E. (eds).

- Perrin W.F., Würsig B. y Thewissen J.G.M. 2009. Encyclopedia of Marine Mammals, 2da ed. Academic Press. San Diego, CA. 1414 pp.
- Pompa Mansilla S. 2007. Distribución y abundancia de los géneros *Kogia* y *Steno* en la Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 74 pp.
- PROCEAM I, 2004. Estudio prospectivo oceanográfico frente a las costas del Pacífico Central Mexicano. Métodos de muestreo en la investigación oceanográfica. Informe de campaña oceanográfica. Posgrado en Ciencias del mar y Limnología, UNAM; México, DF. 99 pp.
- Redfern J.V., Ferguson M.C., Becker E.A., Hyrenbach K.D., Good C., Barlow J., Kashner K., Baumgartner M.F., Forney K.A. Ballance L.T., Fauchald P. Halpin T. Hamazaki A.J., Pershing S.S., Qian A., Read S.B., Reilly L., Torres y Werner, F. 2006. Techniques for cetacean-habitat modeling. Marine Ecology Progress Series. 310: 271- 295.
- Reddy M.L., Dierauf L.A., y Gulland F.M. D. 2001. Marine Mammals as sentinels of ocean health. Pp. 3-13 En: Dierauf L.A. y Gulland F.M.D. (eds). Marine Mammals Medicine 2a ed. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Rice D.W. 1998. Marine Mammals of the World. Systematics and Distribution. Society for Marine Mammalogy. Special publication Number 4. Lawrence, KS. 231 pp.
- Roletto J. 2001. Marine mammals. Pp. 48-52 En: Eds. Herman A.K., Chin J.L., Ueber E., Stauffer P.H. y Hendley II J.W. (eds). Beyond the Golden Gate – Oceanography, Geology, Biology, and Environmental Issues in the Gulf of the Farallones. USGS . Reston, Virginia.
- Rosales-Nanduca H., Gerrodette T, Urbán-R. J., Cárdenas-Hinojosa G. y Medrano González L. 2011. Macroecology of marine mammal species in the Mexican Pacific Ocean: diversity and distribution. Marine Ecology Progress Series 431: 281-291. DOI: 10.3354/meps09120.
- Rosen B.R. 1988. Process, pattern and scale in biogeography. Pp. 248-249. En: Myers A.A. y Giller P.S. (eds) Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions. Chapman and Hall. New York, NY.
- Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. CONABIO [2006] México, D.F. 417 pp.
- Scammon C.M. 1874. The marine mammals of the northwestern coast of North America. Dover [1968]. New York, NY. 319 pp.
- Salinas Zacarías M.A. y Bourillón Moreno L.F. 1988. Taxonomía, diversidad y distribución de los cetáceos de la Bahía de Banderas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, DF.
- Salinas Zacarías M.A. y Ladrón de Guevara P.P. 1993. Riqueza y diversidad de los mamíferos marinos. Ciencias. Número especial 7: 85-93.
- Salinas Zacarías M.A. 2005. *Kogia breviceps*. Pp. 471–472 En: Ceballos G. y Oliva G (coords). Los mamíferos silvestres de México. CONABIO-FCE. México D.F.

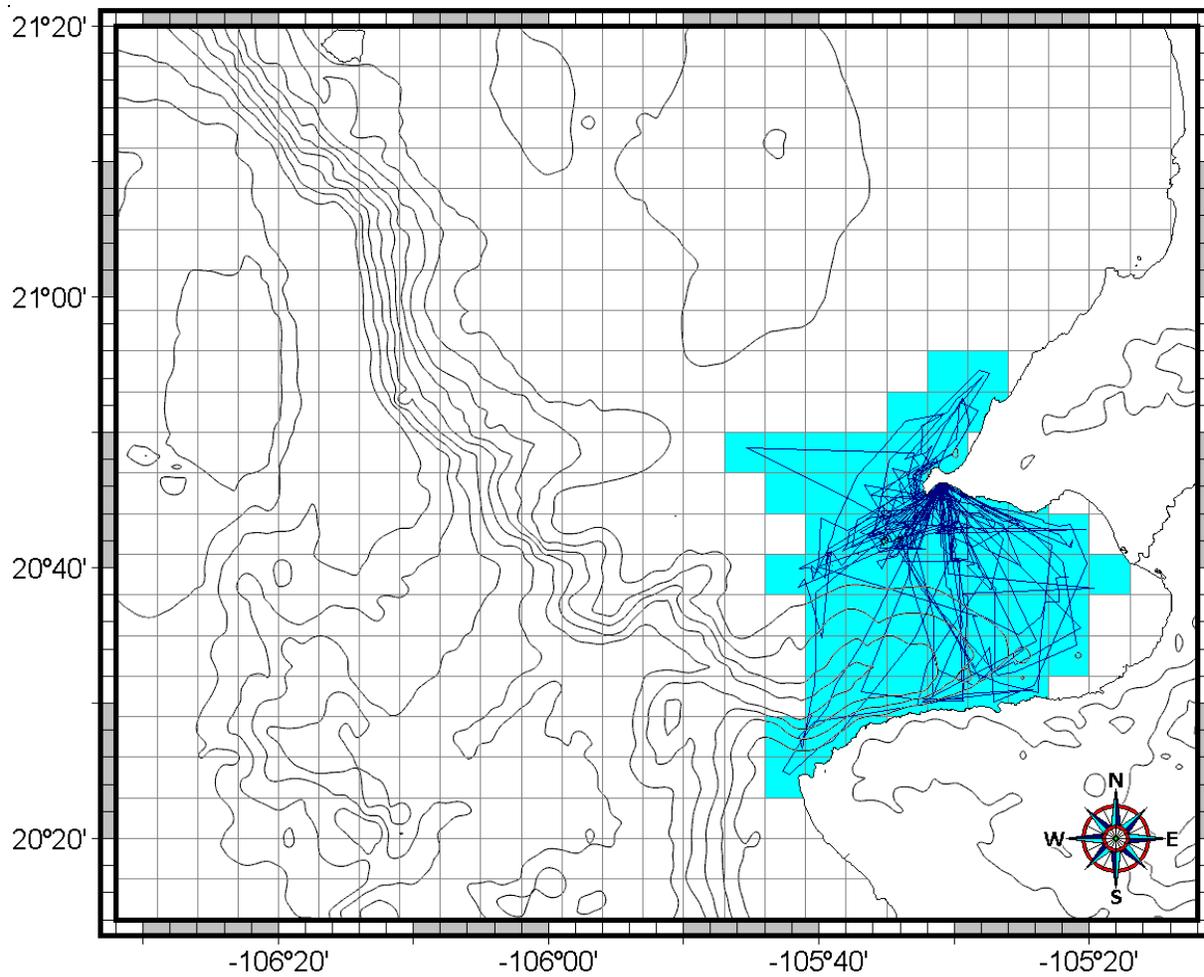
- Sánchez Talavera L.R. 2009. Cambios en la estructura de la comunidad de murciélagos de la Estación Biológica La Selva, Costa Rica: 1973 y 2005. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 88 pp.
- Sánchez-Cordero V., Botello F., Flores-Martínez J.J., Gómez-Rodríguez R.A.; Guevara L., Gutiérrez-Granados G., Rodríguez-Moreno Á. 2014. Biodiversidad de Chordata (Mammalia). *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Supl. 85: 496-504. DOI: 10.7550/rmb.31688
- Smith W.H.F. y Sandwell D.T. 1997. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science* 277: 1957-1962.
- Smith R.L. y Smith T. 2006. *Ecología*. 6ta ed. Pearson Educación, S.A., Madrid. 653 pp.
- Torres A., Esquivel C. y Ceballos G. 1996. Diversidad y conservación de los mamíferos marinos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 1: 22-43.
- Vaughan T.A., Ryan J.M. y Czaplewski N.J. 2014. *Mammalogy*. 6a ed. Jones and Bartlett. Burlington, MA. 756 pp
- Vidal O., Findley L.T. y Leatherwood S. 1993. Annotated checklist of marine mammals of the Gulf of California, México. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History*. 28, 1-16.
- Viddi F.A., Hucke-Gaete R., Torres-Florez J.P. y Ribeiro S. 2010. Spatial and seasonal variability in cetacean distribution in the fjords of northern Patagonia, Chile. *Journal of Marine Science*. 67: 959-970.
- Viloria-Gómora L. y Medrano-González L. 2015. Population ecological traits of *Tursiops truncatus* putative morphotypes in the transitional region of the Mexican Pacific Ocean. *Therya* 6(2): 351-370. DOI: 10.12933/therya-15-276.
- Weiher E. y Keddy P. 2001. *Ecological assembly rules: perspectives, advances, retreats*. Cambridge University Press. New York, NY. 403 pp
- Whittaker R.H. 1970. *Communities and ecosystems*. Macmillan, New York NY. 162 pp.
- Wiens J.A. 1986. Spatial scale and temporal variation in studies of shrubsteppe birds. pp. 154-172. En: Diamond J. y Case T.J. (eds.). *Community Ecology*. Harper y Row. Nueva York, NY.
- Wyrтки K. 1965. The Average Annual Heat Balance of the North Pacific Ocean and Its Relation to Ocean Circulation. *Journal of Geophysical Research*. 70(18), 4547-4559, doi:10.1029/JZ070i018p04547.
- Zhang Y., Wallace J.M. y Battisti D.S. 1997. ENSO-like interdecadal variability. *J. Climate*, 10, 1004-1020.

10. Apéndices

9.1. Resumen de esfuerzo de 1981 a 2016

Año	Navegaciones	Días	Horas	Registros Id.
1981	2	3	2.02	5
1982	14	13	41.42	39
1983	36	32	67.30	120
1984	36	21	69.58	118
1985	25	17	90.13	79
1986	15	13	23.10	33
1987	17	14	70.33	131
1988	18	17	50.37	95
1989	24	20	71.62	167
1990	33	31	76.27	101
1992	32	25	78.02	124
1993	8	8	35.50	25
1996	25	25	106.23	87
1997	3	3	18.13	11
1998	18	18	70.80	52
1999	45	45	182.12	117
2000	45	40	211.75	246
2001	49	33	301.40	177
2002	37	18	225.93	77
2003	82	69	547.02	560
2004	102	80	620.30	663
2005	61	51	395.93	496
2006	43	26	282.42	271
2007	17	5	85.97	72
2008	42	18	250.55	196
2009	18	3	106.93	106
2010	31	10	183.93	204
2011	27	9	146.05	142
2012	25	9	138.92	89
2013	18	9	91.12	213
2014	15	10	81.62	258
2015	23	6	94.33	117
2016	12	9	32.48	41
Total	998	711	4849.58	5232

9.2. Navegación del autor



9.3. Ilustraciones de las especies registradas

Ilustraciones de Iván Canek Díaz Gamboa por cortesía de Verónica Araceli Arellano Peralta



Megaptera novaeangliae
Ballena jorobada



Balaenoptera edeni
Ballena sardinera



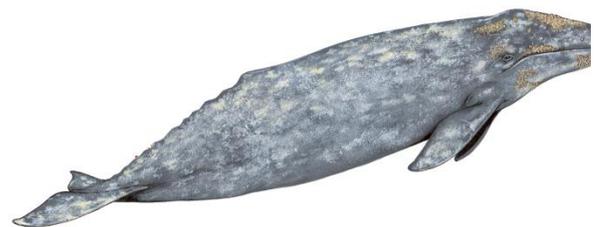
Balaenoptera acutorostrata
Ballena de Minke



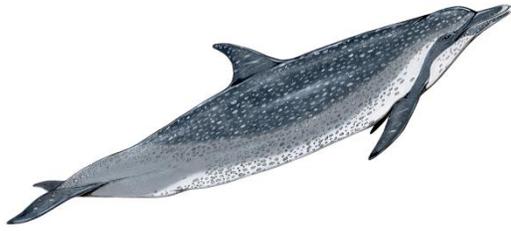
Balaenoptera physalus
Ballena de aleta



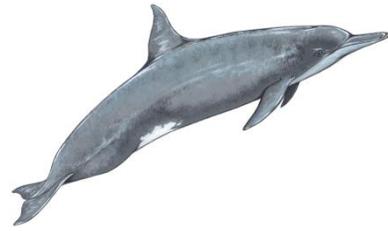
Balaenoptera musculus
Ballena azul



Eschrichtius robustus
Ballena gris



Stenella attenuata
Delfin moteado pantropical



Stenella longirostris
Delfin tornillo



Tursiops truncatus
Tonina



Steno bredanensis
Delfin de dientes rugosos



Grampus griseus
Delfin de Risso



Feresa attenuata
Orca pigmea



Pseudorca crassidens
Orca falsa



Orcinus orca
Orca



Mesoplodon peruvianus
Zifio pigmeo



Ziphius cavirostris
Zifio de Cuvier



Physeter macrocephalus
Cachalote



Kogia sima
Cachalote enano



Macho



Hembra

Zalophus californianus
Lobo marino de California



Macho



Hembra

Arctocephalus townsendi
Lobo fino de Guadalupe