



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR
ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA

TESIS

**“RELACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE MISTICETOS, CON
ALGUNOS PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA COSTA SUR-OCCIDENTAL
DEL GOLFO DE CALIFORNIA (ENERO2004-NOVIEMBRE2005)”**

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGA MARINA

PRESENTA:

LILIA ALONSO LOZANO

DIRECTOR:

DR. ENRIQUE ALEJANDRO GÓMEZ GALLARDO UNZUETA

LA PAZ, B.C.S. ENERO DE 2014.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi director de tesis: Dr. Alejandro Gómez Gallardo Unzueta por la infinita paciencia que me tuvo, las mil y un preguntas con sus respuestas; porque aparte de ser un coordinador de tesis, fue un excelente maestro y quien me introdujo a este mundo de las ballenas ayudándome en mi primer viaje a la Laguna San Ignacio. Al comité asesor: Dr. Christian Salvadeo, por los ánimos, las ideas, comentarios y todos los artículos que me ayudaron a la elaboración de la tesis. Al Dr. Jorge Urbán, por permitirme ser parte de PRIMMA y también ser parte de este proyecto.

Lic. Maru, millones de gracias de verdad, porque sin tu ayuda esta tesis simplemente no hubiera sido completada; espero haber sido un buen experimento de aprendizaje con el ARC!!! Dr Hiram Rosales, simplemente gracias por todo, por tu paciencia, por tomarte el tiempo de sentarte tantas veces conmigo, por ser mi mentor en campo, por escucharme, por aconsejarme, por todo.

A cada persona que de alguna u otra manera aportó para la elaboración del escrito (PRIMMA, Laboratorio de Sistemas Arrecifales y Laboratorio de Ecología y Sistemas Costeros, gente de la biblioteca) INFINITAS GRACIAS!

A mi familia paceña: Diego, Ceci, Tony, Ara, Rubén, María, Jessenia, Marisol, que antes o después llegaron a mi vida, pero en el momento indicado, compartiendo este camino lleno de momentos únicos e inigualables. Fueron y serán siempre parte de mí, gracias por estar invariablemente ahí. Los adoro!

A mi familia jarocho: Mely, Mitzy, Dulma, Lau, César, Arllemy, Mario (y obvio los sobris), los adoro con todo mi corazón y me encanta saber que no importa donde estemos ni el tiempo que ha pasado, seguimos siendo nosotros. Gracias por estar en mi vida y permitirme estar en la de ustedes, por cada momento que hemos compartido, las alegrías, las tristezas, los consejos, muestras de cariño y por enseñarme el sentido de la verdadera amistad y apoyo incondicional.

“When i was 5 years old, my mother always told that happiness was the key to life. When i went to school, they asked me what i wanted to be when i grew up. I wrote down “happy”. They told me i didn’t understand the assignment, and i told them they didn’t understand life”. John Lenon

Dedicatoria

Cuando estaba escribiendo la dedicatoria alguien me dijo que pensara en quien me da fuerza para seguir adelante a pesar de todo. Dios me mandó un ser humano excepcional, alguien que estuvo junto a mí en cada segundo de mi vida, por quien hoy soy quien soy, y no existe el espacio suficiente para dar y escribir un gracias. Mamá, este paso más en mi vida es gracias a ti, a tu esfuerzo, empeño, amor, dedicación. Sabes que hubieron momentos en los que quería salir corriendo porque sentía que no podía más y tú siempre estuviste ahí, así que ni esta ni ninguna tesis me alcanzaría para darte las gracias y decirte todo lo que te amo.

A mi otro apoyo de locuras, mi papá, gracias por apoyarme todo este tiempo, por las tantas pláticas que me hacían pensar sobre mi camino, por ayudarme a descubrir en mí que era capaz de mucho y ayudarme a entender un poquito más de todo. Te quiero mucho.

Por supuesto, a mis abuelitos, que son mis segundos padres y sin su apoyo y amor incondicional mi vida no sería igual. Papi sé que desde donde estés siempre estás conmigo cuidándome, y como dice la canción “Amor eterno e inolvidable tarde o temprano estaré contigo para seguir amándonos”. Los adoro.

A mis tíos, primos, mi negrito (quien me enseñó lo que es querer a alguien de la nada), muchas gracias por ser mi familia; dicen que la familia no se escoge, pues yo creo que sí y doy gracias a Dios por ustedes. Los quiero mucho.

La vida me puso en mi camino a una personita con la que compartí 7 increíbles años, quien fue mi bastón, mi apoyo, mi pañuelo de lágrimas de alegría y tristeza, con quien compartí momentos INCREÍBLES, miradas que no necesitan palabras, abrazos sinceros y, más que una amiga es mi hermana y la ADORO. Flaca, de verdad no sé ni cómo darte las gracias por TODO; estoy muy agradecida con Dios por haberme permitido conocer a un ser humano como tú. No sabemos a dónde iremos, qué haremos ni nada, pero ten por seguro que en mi corazón siempre estará tu sonrisa y todo el amor de hermandad por ti. GRACIAS

“Ten la suavidad de la brisa, la fuerza de la ola, el enigma y misterio de las profundidades del mar, la sabiduría de Neptuno. Que tu alma sea cual playa virgen llena de vida y alegría, pero sobretodo que conserve la claridad y la paz”. (Anónimo)

Índice

Índice	i
Índice de figuras	iii
Índice de tablas	v
Resumen	vi
Abstract.....	vii
Introducción.....	1
Antecedentes.....	2
Justificación	7
Objetivos.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos particulares	8
Hipótesis.....	8
Área de estudio	9
Golfo de California	9
Bahía de La Paz.....	10
Isla San José	11
Bahía de Loreto	12
Metodología.....	14
Trabajo de Campo.....	14
Trabajo de escritorio	17
Datos ambientales	17
Análisis de datos	20
Análisis espacial.....	20

Análisis temporal.....	22
Análisis de diversidad	22
Análisis estadísticos	24
Datos ambientales	24
Análisis temporal.....	24
Análisis espacial	24
Relación entre las variables ambientales y la abundancia relativa de ballenas.....	25
Resultados.....	26
Datos ambientales	26
Análisis temporal	28
Análisis espacial	33
Relación entre las variables ambientales y la abundancia relativa de ballenas.....	39
Discusión	49
Análisis temporal	51
Análisis espacial	54
Conclusiones.....	58
Referencias	59

Índice de figuras

Figura 1. Área de estudio (Tomado de Salvadeo 2008).	13
Figura 2. Esfuerzo realizado durante el año 2004.	15
Figura 3. Esfuerzo realizado durante el año 2005.	16
Figura 4. Datos de Chla (A) y TSM (B), ejemplificando las características del área de estudio para las estaciones fría (izquierda) y cálida (derecha).	18
Figura 5. Batimetría del área de estudio.	19
Figura 6. Delimitación de zonas del Área de estudio (dividida en 61 cuadrantes) mediante el análisis de clasificación.	20
Figura 7. Zonas en las que se dividió el área de estudio: Zona superior incluye la Bahía de Loreto; Zona media y Zona inferior incluye desde la Isla San José hasta la Bahía de La Paz.	21
Figura 8. Ciclo anual que muestra los picos de clorofila superficial y temperatura superficial del mar por mes, en las temporadas cálida y fría durante 2004-05 en el área de estudio.....	26
Figura 9. Comparación de la abundancia relativa de misticetos durante los años de estudio. <i>B.p.</i> : <i>Balaenoptera physalus</i> ; <i>B.e.</i> : <i>Balaenoptera edeni</i> ; <i>B.m.</i> : <i>Balaenoptera musculus</i> ; <i>B.a.</i> : <i>Balaenoptera acutorostrata</i> ; <i>M.n.</i> : <i>Megaptera novaeangliae</i>	30
Figura 10. Distribución de los misticetos encontrados en el área de estudio desde agosto de 2004 a julio 2005.	34
Figura 11. Abundancia relativa en las tres zonas en que se dividió el área de estudio durante las temporadas y años.	35
Figura 12. Abundancia relativa de misticetos durante la temporada fría 2004-2005 en las tres zonas del área de estudio. <i>B.p.</i> : <i>Balaenoptera physalus</i> ; <i>B.e.</i> : <i>Balaenoptera edeni</i> ; <i>B.m.</i> : <i>Balaenoptera musculus</i> ; <i>B.a.</i> : <i>Balaenoptera acutorostrata</i> ; <i>M.n.</i> : <i>Megaptera novaeangliae</i>	36
Figura 13. Variación mensual de la abundancia relativa de misticetos y promedio mensual de temperatura superficial marina.	39
Figura 14. Variación mensual de la abundancia relativa de misticetos y promedio mensual de clorofila a.	40

Figura 15. Distribución de Misticetos relacionada a la Chla durante la temporada Fría (A) y Cálida (B) del 2004.	42
Figura 16. Distribución de Misticetos relacionada a la TSM durante la temporada Fría (A) y Cálida (B) del 2004.	43
Figura 17. Distribución de Misticetos relacionada a la Chla durante la temporada Fría (A) y Cálida (B) del 2005.	44
Figura 18. Distribución de Misticetos relacionada a la TSM durante la temporada Fría (A) y Cálida (B) del 2005.	45
Figura 19. Distribución de los Misticetos relacionada a la Batimetría.....	46

Índice de tablas

Tabla I. Prueba de suma de rangos de Mann-Whitney de los parámetros ambientales.	27
Tabla II. Listado taxonómico de las especies de mysticetos observados en el presente estudio.....	28
Tabla III. Riqueza de especies que se obtienen durante el estudio.	29
Tabla IV. Abundancia de las especies encontradas durante el presente trabajo.....	29
Tabla V. Índices de diversidad obtenidos.....	31
Tabla VI. Prueba t de student para el Índice de Shannon-Weinner. Df: grados de libertad.	31
Tabla VII. Comparación estadística mediante la prueba de suma de rangos de Mann-Whitney de las abundancias relativas de todas las ballenas durante las temporadas cálida y fría para los años 2004 y 2005.....	32
Tabla VIII. Prueba de suma de rangos de Mann-Whitney para la comparación de las abundancias relativas por especie durante las temporadas cálida y fría para la totalidad del periodo de estudio (incluye los años 2004 y 2005).	32
Tabla IX. Riqueza de especies en las tres zonas en las que se dividió el área de estudio.	35
Tabla X. Índices de diversidad (Simpson/Shannon-Weiner) durante las temporadas y años en cada zona.....	37
Tabla XI. Prueba estadística de Kruskal-Wallis entre las zonas en las que se dividió el área de estudio para cada temporada durante el periodo de estudio.	37
Tabla XII. Comparación estadística de suma de rangos de Mann-Whitney entre temporadas de ambos años (2004 y 2005) para cada zona en las que se dividió el área de estudio.....	38
Tabla XIII. Comparación estadística de Kruskal-Wallis, entre temporadas, años y zonas para cada especie. Los valores que poseen un asterisco (*) señalan que a pesar de que el estadístico presentó diferencias significativas, la prueba <i>a posteriori</i> no marcó dichas diferencias por falta de datos.	38
Tabla XIV. Correlación de Spearman entre las abundancias relativas de los mysticetos con variables ambientales durante las temporadas cálida y fría para ambos años de estudio.....	47
Tabla XV. Correlación de Spearman entre las abundancias relativas de cada especie encontrada con variables ambientales durante las temporadas cálida y fría para ambos años de estudio. Bat: Batimetría.	48

Resumen

El conocimiento sobre mecanismos ambientales que influyen los rangos de distribución de misticetos, son esenciales para definir áreas de interés para manejo y conservación. El Golfo de California es un mar subtropical con una marcada estacionalidad. El objetivo principal fue determinar la relación de la distribución espacio-temporal y diversidad de Misticetos con la Temperatura Superficial del Mar (TSM), concentración de Clorofila-a (Chla) y batimetría. Se utilizaron imágenes satelitales de TSM y Chla, la profundidad se obtuvo de un modelo batimétrico. El área se dividió en 61 cuadrantes de 23 x 23 km, un análisis de clasificación permitió además agrupar estos cuadrantes en tres zonas latitudinales. Se estimaron la abundancia relativa y los índices de Simpson y Shannon-Wiener. Se observaron dos estaciones: cálida ($TSM > 25.06^{\circ}\text{C}$; con baja productividad primaria) y fría ($TSM < 25.06^{\circ}\text{C}$; con alta productividad primaria). Durante ambos periodos y años, las cinco especies de misticetos observadas se distribuyeron principalmente dentro de la Bahía La Paz llegando hasta la Isla San José. La riqueza presentó cambios estacionales, mostrando un aumento durante la temporada fría, relacionándose con la ocurrencia de especies migratorias. El rorcual común presentó valores de ab/rel más altos y una correlación positiva con la Chla. La ballena azul tuvo correlación negativa y positiva con la Chla durante la F04 y C05, respectivamente; y negativa con la TSM durante la C05. La ballena jorobada obtuvo una correlación positiva con la batimetría. Se observó un individuo de la ballena Minke, probablemente relacionada a un cambio en la CCR. El rorcual tropical no presentó relación con ningún parámetro, ya que está presente durante todo el año. Establecer una asociación solamente con parámetros ambientales es insuficiente, ya que varían a través del tiempo, y por lo tanto, la ubicación y extensión espacial del hábitat de cada especie puede ser modificado.

Abstract

The knowledge about environmental mechanisms that influence the distribution ranges of baleen whales, are essential to define areas of interest for management and conservation. The Gulf of California is a subtropical sea with marked seasonality. The main objective of this paper was to determinate if there is a connection of spatial-temporal distribution and abundance of baleen whales to the Superficial Sea Temperature (SST) and Surface water Chlorophyll-a concentration (Chla) and bathymetry. Satellite images of SST and Chla were used, depth was obtained from a bathymetric model. The area was divided into 61 squares of 23x23 km, a classification analysis also allowed grouping these squares into three zones. Relative abundance and the Simpson and Shannon-Wiener indices were calculated. There were two seasons: warm ($SST > 25.06^{\circ}\text{C}$; with low primary productivity) and cold ($SST < 25.06^{\circ}\text{C}$; with high primary productivity). During both periods and years, the five mysticeti species observed were mainly distributed within Bahia La Paz arriving to Isla San Jose. Richness showed season changes due to an increase during the cold seasons, relating to migratory especies. Fin whale had the highest ab/rel values and a positive correlation with Chla during the C05. Blue whale presented negative and positive correlation with the Chla during F04 and C05 respectly, and negative with the SST during the C05. The humpback whale obtained a positive correlation with bathymetry. We observe an individual Minke whale, probably related to a change in the CCR. The Bryde whale did not presented a connection with any parameter, since it is present throughout the year. Establish a connection only with environmental parameters is insufficient, as they vary over time, and therefore, the location and spacial extent of the habitat of each species can be modified.

Introducción

Los ecosistemas marinos son heterogéneos y dinámicos, esto se evidencia en los patrones de abundancia y distribución de las especies (Ferguson 2005). Dicha distribución regularmente está asociada a la compleja oceanografía generada por variables físicas y biológicas que determinan la disponibilidad de su alimento (Baumgartner *et al.* 2001).

El Golfo de California es un mar subtropical con áreas muy productivas a lo largo del año, donde habitan una gran cantidad de especies de misticetos y odontocetos (Tershy *et al.* 1990). Los Mysticeti (ballenas barbadas) comprenden uno de los dos subordenes recientes de los cetáceos. Difieren del otro suborden Odontoceti, en que no tienen dientes, si no unas láminas córneas y elásticas que se encuentran en la mandíbula superior, parecidas a peines conocidas como barbas, a través de las cuales filtran el agua para obtener su alimento, basado en zooplancton y peces pequeños (Rice 2002; Frish 2009).

En el Golfo de California habitan representantes de dos de las cuatro familias de misticetos: Balaenopteridae y Eschrichtidae. Dentro de estas familias, se encuentran siete especies descritas en dicha zona: la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), la ballena de aleta o rorcual común (*Balaenoptera physalus*), la ballena de Bryde o rorcual tropical (*Balaenoptera edeni*), la ballena de Sei (*Balaenoptera borealis*), la ballena Minke (*Balaenoptera acutorostrata*), la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) (Guerrero-Ruíz *et al.* 2006), todas registradas en la Bahía de La Paz y zona oceánica adyacente.

Entre estas especies encontramos algunas residentes y otras migratorias. Las primeras utilizan la Bahía de La Paz y áreas oceánicas adyacentes la mayor parte del año; mientras que las migratorias llegan a esta región durante la temporada de invierno-primavera (Diciembre a Mayo) como parte de su ciclo migratorio (Chávez-Andrade 2006, Pardo, 2009; Salvadeo *et al.* 2011).

El presente trabajo pretende conocer la distribución y abundancia de misticetos y sus posibles relaciones con algunos parámetros ambientales entre la Bahía de Loreto y la Bahía de La Paz, de junio de 2004 a julio de 2005, con el fin de contribuir al conocimiento que permita un adecuado manejo y conservación de dichos cetáceos.

Antecedentes

El interés por la distribución espacial de las ballenas en el mundo data desde el siglo XIX. Los cuadernos de bitácora de los cazadores de esa época representan una fuente de registros con información adicional, sobre la distribución de las ballenas; en éstos incluían la latitud, longitud, mes, movimientos de las ballenas (de acuerdo a la temporada), así como la localidad donde realizaban las capturas de especies de interés comercial como: cachalote, ballena de Groenlandia, ballena franca y ballena jorobada (Townsend 1935).

El movimiento de los organismos entre las áreas en las que sus requerimientos metabólicos y reproductivos son satisfechos, determinará que la estructura de las comunidades que integran, cambie a distintas escalas de espacio y tiempo (Flores-Ramírez *et al.* 1996). Los primeros trabajos en entender la relación entre la distribución de las ballenas con parámetro oceanográficos fue el de Uda (1954), quien identificó cuatro tipo de frentes oceánicos en el Océano Austral que se encontraban correlacionados con la presencia de dichos organismos. Nasu (1966) describió las condiciones oceanográficas (principalmente temperatura y corrientes) que favorecían la caza de ballenas en el Pacífico norte y describió los efectos estacionales de temperatura y corrientes en la distribución de ballena azul, ballena de aleta, ballena jorobada y ballena Sei.

Los cetáceos son depredadores móviles que se alimentan de agregaciones de zooplancton y pelágicos menores. Diversas investigaciones han demostrado que dichos organismos no se distribuyen de manera azarosa, sus patrones de ocurrencia y movimientos están definidos y relacionados con la variabilidad estacional, tendiendo a ser más abundantes en zonas altamente productivas con gran disponibilidad de presas (Uda, 1954; Nasu, 1966; Smith *et al.* 1986; Wade y Gerrodete 1993; Barlow 1994; Flores-Ramírez *et al.* 1996; Salvadeo 2008, 2009; Munger *et al.* 2009); esta variabilidad estacional puede verse afectada, por cambios oceanográficos debido a variaciones climáticas de diferentes escalas como El Niño Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en ingles). En ese sentido, se ha observado que durante El Niño, la distribución de la sardina se contrae al norte del Golfo de California, donde la producción primaria se mantiene elevada gracias a los procesos de mezcla y corriente de marea, por lo que la abundancia relativa del rorcual común y el

rorcual tropical aumenta en dicha zona. Mientras que, durante La Niña, una mayor productividad primaria permite a la sardina expandirse hacia el sur del Golfo, y junto con ellas ambos rorcuales (Tershy *et al.* 1991; Tershy *et al.* 1993; Salvadeo *et al.* 2011).

Jaume (2004) determinó que existe un cambio estacional en la dieta del rorcual común entre temporadas fría y cálida con el uso de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Durante el invierno-primavera consumen eufáusidos, a diferencia de la temporada cálida que consumen organismos de mayor nivel trófico que podrían ser sardinas. Del Ángel-Rodríguez (1997), mediante la identificación de mandíbulas de eufáusidos provenientes de heces fecales recolectadas en Bahía de La Paz, concluyó que aunque tanto el rorcual común como la ballena azul se alimentan de *N. simplex*, difieren en el uso espacial y en mayor medida del temporal, el primer cetáceo prefiere zonas más someras y cercanas a la costa, ocupando la bahía en periodos más amplios que la ballena azul, la cual fue observada en zonas más oceánicas sólo durante dos o tres meses. El mismo patrón espacial para ambas especies fue encontrado por Zavala-Hernández (1996), pero en la costa oriental y occidental de la península de Baja California.

Tershy *et al.* (1990, 1992) estudiaron en el Canal de Ballenas, la distribución, abundancia, composición y uso del hábitat de ballenas barbadas en la temporada fría (noviembre a mayo) y cálida (junio a octubre) asociadas a variables de temperatura y profundidad. Las ballenas más frecuentes fueron el rorcual tropical, siendo más abundante durante el verano y otoño y sus números correlacionados positivamente con la temperatura superficial del mar, y el rorcual común con mayor abundancia durante invierno y primavera y correlacionados negativamente con la temperatura. Así mismo registraron la presencia de la ballena azul, sobre todo durante los meses de abril y mayo y de la ballena Minke con una abundancia similar durante todo el año. Urbán y Flores (1996), también determinaron la abundancia del rorcual tropical en el Golfo de California e igualmente observaron diferencias en su distribución relacionadas a las preferencias alimenticias y a la temperatura influenciada por la presencia de fenómenos como el ENSO, sugiriendo la posible presencia de dos stocks, uno restringido al Golfo de California y otro con una distribución más amplia en la costa oeste de la península de Baja California y el Pacífico oriental tropical.

Chávez-Andrade (2006), determinó la asociación entre la distribución espacial y la abundancia de los grandes cetáceos con algunas variables ambientales durante el invierno del 2005 en el Golfo de California, siendo la profundidad (costa-océano), temperatura y biomasa zooplanctónica, los factores que ejercen una mayor presión sobre el rorcual común, rorcual tropical, ballena azul y ballena jorobada. Un trabajo similar es el desarrollado por Troyo (2008), quien describió la variación estacional de la estructura comunitaria de los cetáceos en el extremo suroccidental del Golfo de California en el invierno del 2005, de acuerdo a su relación con la concentración de clorofila, temperatura superficial marina, profundidad promedio y pendiente del fondo marino. Dicho autor encontró que durante la estación templada, los mysticetos mostraron una preferencia por temperaturas del agua alrededor de los 23°C y se distribuyeron preferentemente cerca de la costa a profundidades menores a los 1000 m, siendo la ballena jorobada la única que se presentó en todos los meses de esta temporada; durante el mes de transición (mayo), se presentó la diversidad de mysticetos más alta y estos se vieron favorecidos por la concentración de clorofila. Durante la estación cálida no tuvieron correlaciones significativas con las variables ambientales, siendo el rorcual común la única especie avistada en esta temporada.

Además de la relación espacial de los cetáceos con rasgos oceánicos, existe una dinámica temporal compleja que involucra diversos procesos físicos y respuestas biológicas que afectan la presencia de cetáceos en diversos ambientes. Pardo (2009), analizó la relación temporal entre la abundancia de cetáceos y los cambios del hábitat en la Cuenca Alfonso en Bahía de La Paz, a partir de parámetros fisicoquímicos y biológicos durante un ciclo anual. Bahía de La Paz fue en general más rica en biomasa fitoplanctónica que el resto de la costa oeste del Golfo, especialmente durante los periodos de mezcla y ascenso. Esta sucesión ambiental parece modular la segregación temporal de las especies de cetáceos más abundantes. Las ballenas azules dominaron en los periodos de mezcla y surgencias, los rorcuales comunes fueron más abundantes en condiciones estratificadas y los rorcuales tropicales se presentaron en todos los periodos con biomasa bajas.

La mayoría de los misticetos realizan migraciones reproductivas y tróficas, con patrones relativamente constantes a lo largo de los años. La migración trófica depende de cuándo y donde se concentra su presa, lo cual está determinado por las características del ecosistema marino y la dinámica del clima y procesos oceánicos (Forcada 2002; Munger *et al.* 2009). El Golfo de California, particularmente Bahía de Loreto, es un área de reproducción y cuidado de crías muy importante donde se tienen registros año con año, durante invierno y primavera, de ballena azul (Vidal *et al.* 1993). Sin embargo, debido a los altos requerimientos metabólicos de esta especie, se sabe que no sólo viene a reproducirse a las aguas del golfo y que constantemente está en búsqueda de alimento. Reilly y Thayer (1990), analizaron la distribución de la ballena azul en el Pacífico Este Tropical, más del 90% de los avistamientos correspondían a la costa de la Península de Baja California y a las inmediaciones del Domo de Costa Rica, y el resto se realizaron cerca de las Islas Galápagos, las costas de Ecuador y norte de Perú. Debido a que todos los avistamientos ocurrieron en aguas relativamente frías y de surgencias, los autores sugieren que las ballenas azules a bajas latitudes, como lo es la parte occidental de Baja California, seleccionan hábitats que les permiten realizar actividades de forrajeo en búsqueda de eufáusidos, ocupando esta área estacionalmente, con un pico en los avistamientos que coincide con el máximo de surgencias y producción biológica en primavera. El mismo resultado fue encontrado por Gendron (1990), observó en un ciclo anual (marzo-abril, julio-agosto y noviembre-diciembre), que la ballena azul está asociada a las agregaciones superficiales de *N. simplex* dirigidas a eventos de surgencia y de alta productividad fitoplanctónica, con una máxima abundancia y biomasa del eufáusido durante marzo-abril a lo largo de las costas de Baja California en la región de las islas del Carmen, Danzante, Monserrat y Bahía de La Paz.

Durante el invierno-primavera una parte de la población de ballena jorobada del Pacífico Norte, visita la costa oeste de Baja California, principalmente desde el sur de Isla Cedros hasta Cabo San Lucas, y alrededor de la parte norte de la Isla San José en el Golfo de California con fines reproductivos (Johnson y Wolman 1984). Salinas (1999), evaluó la distribución y el cambio espacio-temporal de la abundancia relativa y estructura grupal de la ballena jorobada con relación a los cambios de temperatura superficial marina y fisiografía del área de Los Cabos, Baja California Sur, durante las temporadas de

reproducción de 1989 a 1993. La especie presentó una tendencia ascendente hacia el final del periodo de estudio, asociada al aumento de temperatura. Otro estudio fue el realizado por Ladrón de Guevara (2001), en Bahía Banderas, Nayarit-Jalisco (1989 a 1996) e Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo (1989 a 1992 y de 1995 a 1996). La autora reportó que la mayor densidad de animales ocurrió cuando la temperatura superficial marina fue cercana a los 25°C y que los cambios de abundancia fueron más notables a escala anual que semanal. Jiménez-López (2006), también con ballenas jorobadas y durante el invierno del 2004, determinó la relación de la distribución espacial en las áreas de congregación de madres con cría y machos en relación a la profundidad, distancia a la línea de la costa y temperatura superficial marina. Los resultados muestran que la principal variable indicadora sobre la distribución de las ballenas fue la profundidad para madres con cría y las que son acompañadas de uno o más individuos, y la otra variable fue la línea de costa. En cuanto a los hábitos alimentarios de la ballena jorobada en el Golfo de California, Gendron y Urbán (1993), reportan que habita áreas costeras y que en el suroeste de esta región es inusual que se alimente de eufáusidos. Sin embargo durante el periodo de estudio (1988-1991), observaron tres ballenas en Banco Gorda, San José del Cabo, todas alimentándose durante marzo (1988, 1990, 1991). Los autores concluyen que las ballenas jorobadas se alimentan oportunísticamente en las zonas de reproducción de Baja California aprovechando la alta productividad local que se da durante el invierno y la primavera en esta zona.

Justificación

Se considera que los mysticetos son indicadores de la productividad primaria y de la salud de los ecosistemas en que viven. En este sentido la escasez de crías y eventos atípicos de mortalidad, han sido relacionados con la existencia de fenómenos que provocan cambios en la cantidad de alimento disponible y que alteran de manera general la cadena alimenticia, por lo que el caracterizar el hábitat de estos animales y explorar las razones que determinan sus patrones de distribución, contribuirá a detectar cambios que afecten la abundancia y distribución de las especies que contribuyan en la toma de decisiones sobre el manejo, la planeación y la ejecución de programas y políticas de conservación de las ballenas y sus hábitats, como lo son las Normas Oficiales (NOM-050-ECOL-2001, DOF 6 Marzo 2002) (Guerrero-Ruíz *et al.* 2006; Redfern *et al.*, 2006).

Estudios recientes han mostrado que en el Golfo de California reside una población de rorcual común, aislada y evolutivamente independiente (Berube *et al.* 2002), y que el rorcual tropical está presente todo el año (Urbán y Flores 1996; Guerrero-Ruiz *et al.* 2005). Al ser ambas especies residentes del golfo, pueden considerarse como indicadores de cambios ambientales, por lo que su monitoreo poblacional es relevante en términos de conservación y manejo, además de contribuir con el conocimiento de la biología y ecología de las especies.

En la península de Baja California una de las formas de aprovechar a las ballenas como recurso natural es observarlos en su hábitat. Si se considera el hecho de que el turismo de observación de ballenas o “whale watching”, ha tenido un incremento significativo en los últimos años en nuestro país, dejando ingresos importantes de divisas para la población, en particular en sitios donde algunas de las especies se congregan, como son Los Cabos y Bahía de Loreto, se vuelve importante desde el punto de vista ambiental y social contar con información básica de la distribución, abundancia y de los requerimientos ecológicos de las especies de ballenas que viven en aguas del Golfo de California, por lo que la información generada en el presente trabajo pretende aportar elementos que coadyuven en la conservación y el manejo de estos animales.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la distribución, abundancia relativa y diversidad de los misticetos y su relación con algunas variables oceanográficas en la porción sur-occidental del Golfo de California.

Objetivos particulares

- ✓ Describir la distribución y diversidad espacio-temporal de los misticetos.
- ✓ Describir la variación espacial y temporal del ambiente.
- ✓ Describir la relación entre la distribución de los misticetos y la variación en el ambiente.

Hipótesis

La distribución de los misticetos en el área de estudio, está relacionada con características físicas y biológicas del ambiente indicativas de una elevada producción primaria y concentración de presas.

Área de estudio

Golfo de California

El Golfo de California (GC en adelante) está ubicado entre los 20° 15' y 20° 47' de latitud Norte y los 105° 15' y 105° 42' de longitud Oeste. Está limitado al oeste por la Península de Baja California y al este por los estados de Sonora, Sinaloa, Nayarit y Jalisco. Tiene una longitud y anchura cercanas a los 1,400 y 150 km, respectivamente, una superficie de 258,593 km² y alberga en su interior a más de 900 islas e islotes (Brusca *et al.* 2005). Es un mar subtropical y está considerado como una cuenca semi-cerrada desde el punto de vista oceanográfico y meteorológico, debido a que se encuentra casi totalmente rodeado por elevaciones montañosas y sólo está conectado al Pacífico oriental tropical (POT) por su extremo sur. El clima que impera dentro del golfo se caracteriza por ser más continental que oceánico. Estas propiedades, junto con el hecho de encontrarse en una zona transicional templado-tropical, resultan en un juego de características atmosféricas, oceanográficas y ecológicas únicas (Roden 1964; Lluch-Cota 2000).

Las características hidrográficas varían a lo largo del golfo. La región norte (Alto Golfo) se caracteriza por tener altas salinidades superficiales y temperaturas que oscilan de 10°C a 32°C de invierno a verano (Soto-Mardones *et al.* 1999). Tiene una profundidad somera de 200 m y está separada de las cuencas más profundas hacia el sur por las Grandes Islas (Lluch-Cota *et al.* 2007; Pegau *et al.* 2002). En la región central, la temperatura superficial muestra una marcada diferencia entre el invierno y el verano, alcanzando valores de 16°C y 31°C, respectivamente (Robles Gil-Mestre y Marinone 1987). En esta región ocurren mínimos de salinidad en la capa superficial, cuyo origen probable es una corriente que fluye a lo largo de la costa este hacia el noroeste (Roden 1964). Finalmente, la región sur tiene una profundidad de 3600 m, incluye la cuenca de Guaymas en el norte y una serie de cuencas que se extienden a la boca del golfo (Lluch-Cota *et al.* 2007; Pegau *et al.* 2002).

En términos generales, el GC presenta una señal estacional en la temperatura superficial del mar (TSM) y concentración de clorofila a (Chla) por lo que se presentan dos

periodos uno frío (invierno y primavera) y otro cálido (verano-otoño). (Soto-Mardones *et al.* 1999). Durante la temporada fría, la TSM se encuentra dentro del intervalo de 14° y 21° C, siendo febrero el mes más frío. Prevalecen los vientos del noroeste con intensidades medias de 4 m s⁻¹ y las surgencias ocurren frente a la costa oriental de Baja California. Mientras en la temporada cálida, la TSM va desde los 28° y 31° C, siendo agosto el mes más cálido. Los vientos cambian de dirección, ahora son del sureste con intensidades medias de 2 a 3 m s⁻¹ y las surgencias se presentan del lado occidental de la costa de Baja California. Entre ambas temporadas, se consideran junio y noviembre como periodos de transición (Roden 1964; Álvarez-Borrego y Schwartzlose 1979).

La producción primaria, distribución y abundancia de fitoplancton presentan una variación relacionada con tres mecanismos: surgencias inducidas por el viento, los procesos de mezcla de las masas de agua debidos a las corrientes ocasionadas por las mareas, y la circulación termohalina (estratificación). Ésta última está relacionada directamente por la salinidad de las masas de agua y el flujo de calor debido a la radiación solar, por lo que, durante el verano, las capas superficiales tienden a ganar calor mientras que durante el invierno el proceso se invierte (Mann y Lazier 1996; De Silva 1997). La pérdida de calor de las capas superficiales durante el invierno produce una homogeneización y fertilización de la columna de agua que favorecen procesos de mezcla vertical. De esta manera, y en conjunto con los vientos dominantes del norte durante el invierno y la primavera, se presentan valores máximos en la producción primaria (16 mg C m⁻³ h⁻¹) y una relativa baja estratificación, que va aumentando poco a poco debido a una mayor radiación solar encontrando menores concentraciones en verano (2 y 5 C m⁻³ h⁻¹) (Martínez-López *et al.* 2001; Reyes-Salinas *et al.* 2003).

Bahía de La Paz

La Bahía de La Paz está situada en la región suroccidental del GC, localizada geográficamente entre los paralelos 24°10' y los 24°47'N y los meridianos 110°20' y los 110° 44'W (Fig. 1). Cubre aproximadamente 2635 km² y está limitada al norte por la isla

San José, al sur por la Ensenada de La Paz y la barrera de arena conocida como “El Mogote”, al oriente por las islas Espíritu Santo y La Partida y al occidente por la península de Baja California (Reyes-Salinas 1999).

Tiene un clima semidesértico, con una precipitación promedio anual menor a 200 mm, siendo septiembre el mes más lluvioso (<100 mm) (Robles Gil-Mestre 1998). La distribución superficial de la temperatura es generalmente uniforme, especialmente existen ligeras variaciones en la parte somera (sur de la bahía) y Canal de San Lorenzo los cuales son debidas a la mezcla inducida por la turbulencia derivada de la interacción de las corrientes de marea de fondo (Reyes-Salinas *et al.* 2003). El promedio anual de temperatura del agua es de 24.7°C con un intervalo de 20-29.5°C y mantiene un rango de salinidad entre 34.5‰ y 37‰ (Monteforte 2005; De Silva 1997).

Respecto a la batimetría de la bahía de La Paz, la parte sur es somera y se va haciendo más profunda hacia el norte, destacando la Cuenca Alfonso, una depresión con una profundidad máxima de 450 m. En su parte central, una falla con rumbo suroeste parte del extremo norte de la Isla La Partida, así como un cadena de montes submarinos constituida por tres promontorios con cimas entre 250 y 300 m de profundidad, entre Isla San José y el complejo insular La Partida-Espíritu Santo. (Cruz-Orozco *et al.*, 1990; Cruz-Orozco 1996).

Gracias a la dinámica de las condiciones de verano y a las condiciones de invierno mencionadas anteriormente, se presentan dos épocas en el ciclo estacional de la productividad primaria en la Bahía de La Paz: una de alta productividad de marzo-agosto y otra de baja productividad de septiembre-febrero, cuya estructura depende, entre otros factores, de la variabilidad estacional de la penetración de luz y de la estratificación de la columna de agua (Cervantes-Duarte *et al.*, 2005).

Isla San José

La isla San José se encuentra en los 24° 59' latitud norte y 110° 37' longitud oeste, está ubicada en el Gc, al norte de la bahía de La Paz, separada del macizo peninsular por el estrecho canal de San José, mide 28 km de largo por 7,5 km de ancho y es de las islas más

grandes de la costa oriental de Baja California Sur (Fig.1). Su costa presenta acantilados en la parte occidental, algunas caletas protegidas y pequeñas playas. La costa en sus porciones oriental y sur tiene playas arenosas extensas (Holguin *et al.* 2008).

Bahía de Loreto

La Bahía de Loreto se ubica en el GC entre las coordenadas 25° 35' 18.41" y 26° 07' 48.72" latitud norte y 110° 45' 00" y 111° 21' 08.67" de longitud oeste (Fig.1) (ANÓNIMO 2000). Se encuentra situada en la parte centro-sur del GC y es delimitada por las islas Coronado, Carmen, Monserrat y Danzante (Velázquez 2005).

El clima que presenta es muy árido, cálido con régimen de lluvias de verano, extremoso con oscilaciones térmicas diurnas entre 7 y 14°C, con un promedio mensual de oscilación de 12°C. El régimen pluvial se caracteriza por presentar el estiaje entre los meses de febrero a junio y el periodo de lluvias de agosto a septiembre. La precipitación media anual es del orden de 190 mm con promedio mensual de 16 mm (ANÓNIMO 2000).

Respecto a las características específicas de la bahía, la temperatura del agua en la superficie, oscila entre 26° y 33°C, los registros de temperaturas altas han sido en zonas de menor profundidad. La salinidad presenta pequeñas fluctuaciones a lo largo de año, así que la variación entre máximo y mínimo superficial es menor a 1.0 ‰ (34.94 UPS en abril-mayo y 35.11 UPS en julio-agosto) (ANÓNIMO 2000).

Entre Bahía de Loreto y el Canal San José existe un área estructuralmente compleja y heterogénea, en la que la presencia de fosas y montes submarinos se conjuga con las islas de origen volcánico y con una plataforma continental irregular en su amplitud, la cual no rebasa los 5 km (Lanza-Espino 1991).

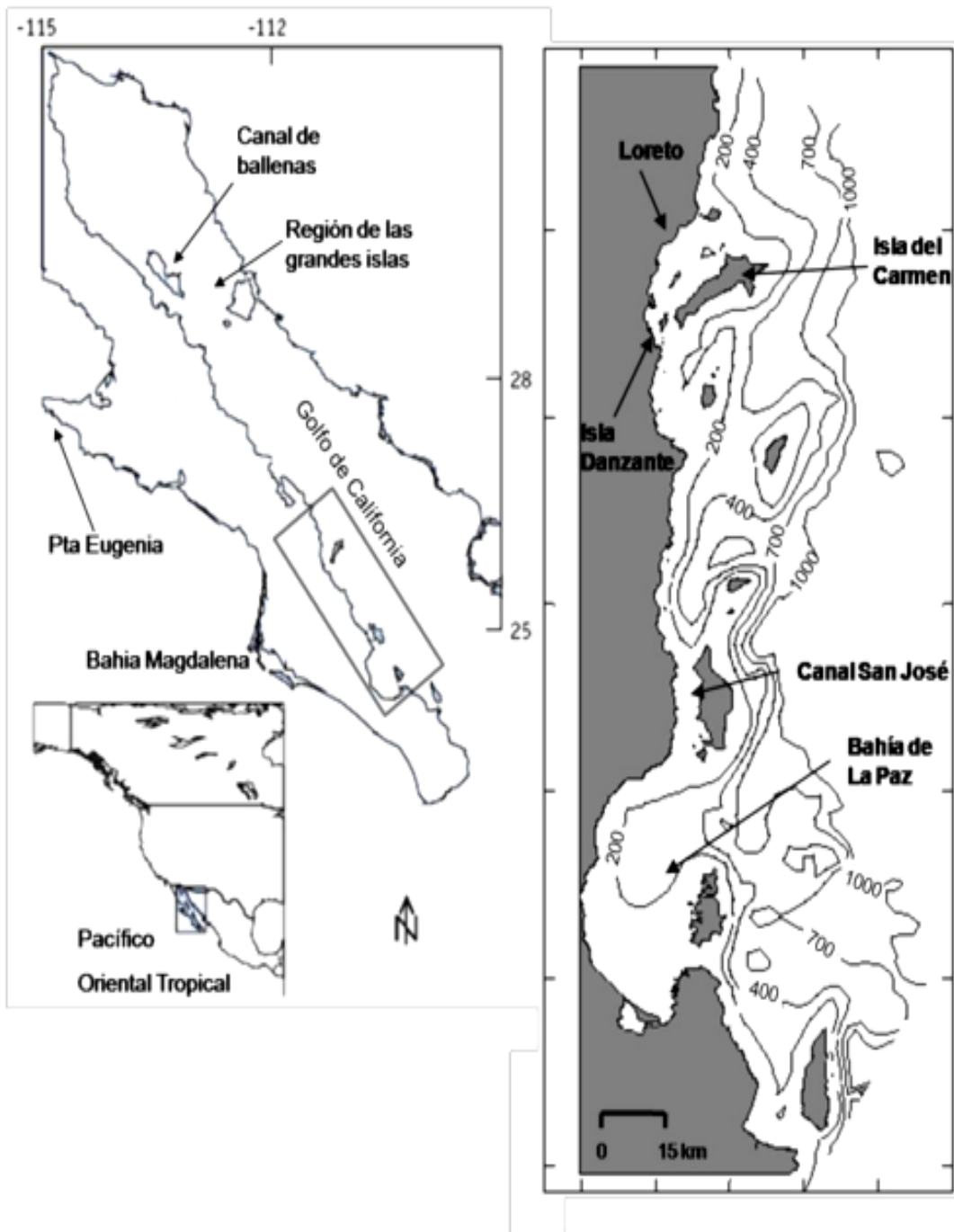


Figura 1. Área de estudio (Tomado de Salvadeo 2008).

Metodología

Trabajo de Campo

Se realizaron navegaciones mensuales con duración de tres días en embarcaciones menores de 7.2 m de eslora, tipo panga, con motor fuera de borda (65-75 Hp). También se realizaron cuatro recorridos durante el año, uno cada tres meses de dos semanas de duración cada uno, abarcando toda el área de estudio alternadamente, en una embarcación mediana de 13.7 m de eslora con capacidad para ocho investigadores y una tripulación de tres personas con una autonomía de al menos diez días y con capacidad de remolcar una panga.

Las navegaciones se hicieron de manera pseudo-aleatoria y paralela a la costa (Fig. 2 y 3) con el fin de abarcar la mayor parte del área de estudio y maximizar las observaciones de cetáceos, con una velocidad media de 11 km/h y en condiciones del mar no mayores a Beaufort tres. Para llevar a cabo los avistamientos durante ambos tipos de salidas, se realizó la búsqueda directa y observación con ayuda de binoculares (7x50).

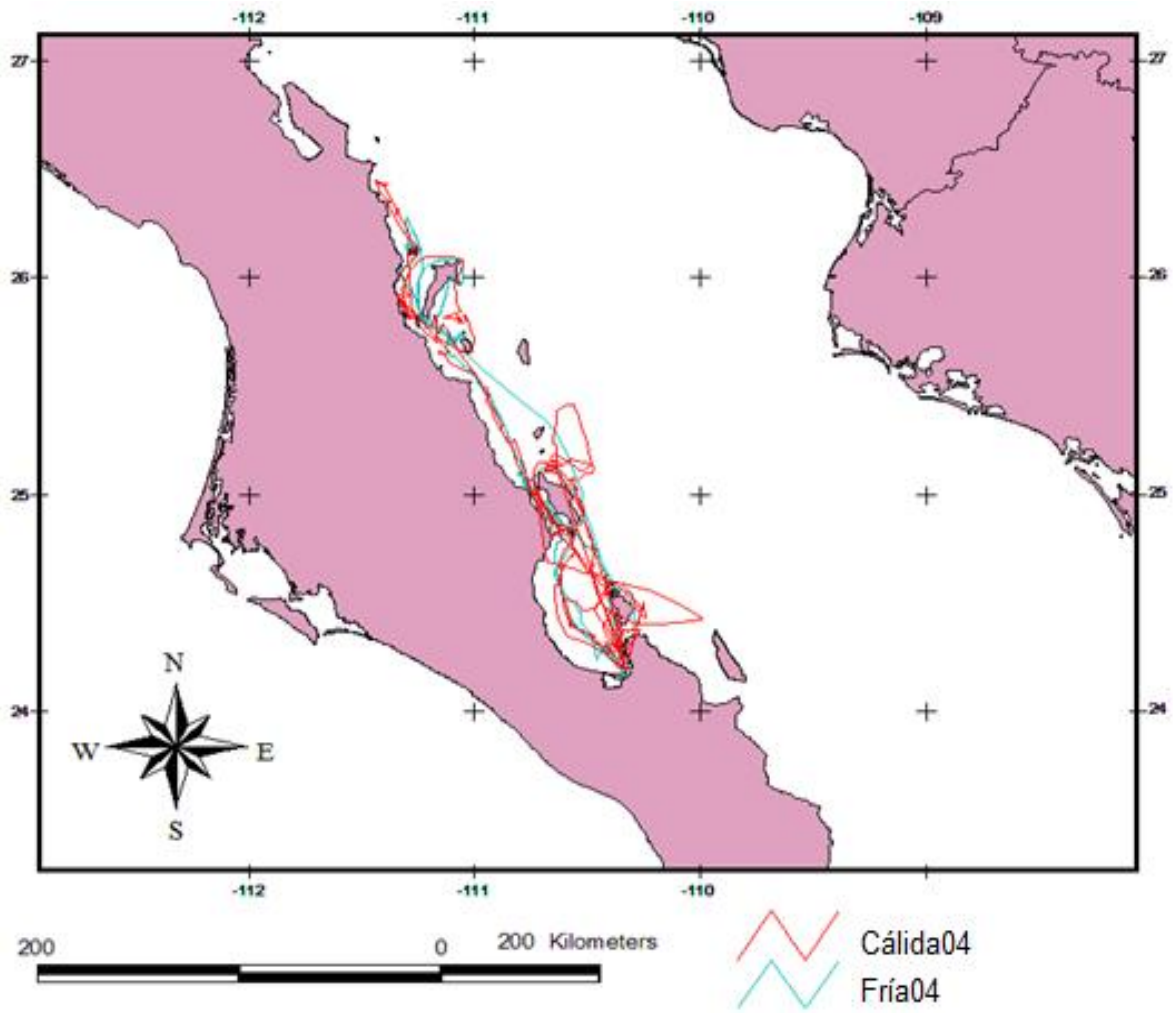


Figura 2. Esfuerzo realizado durante el año 2004.

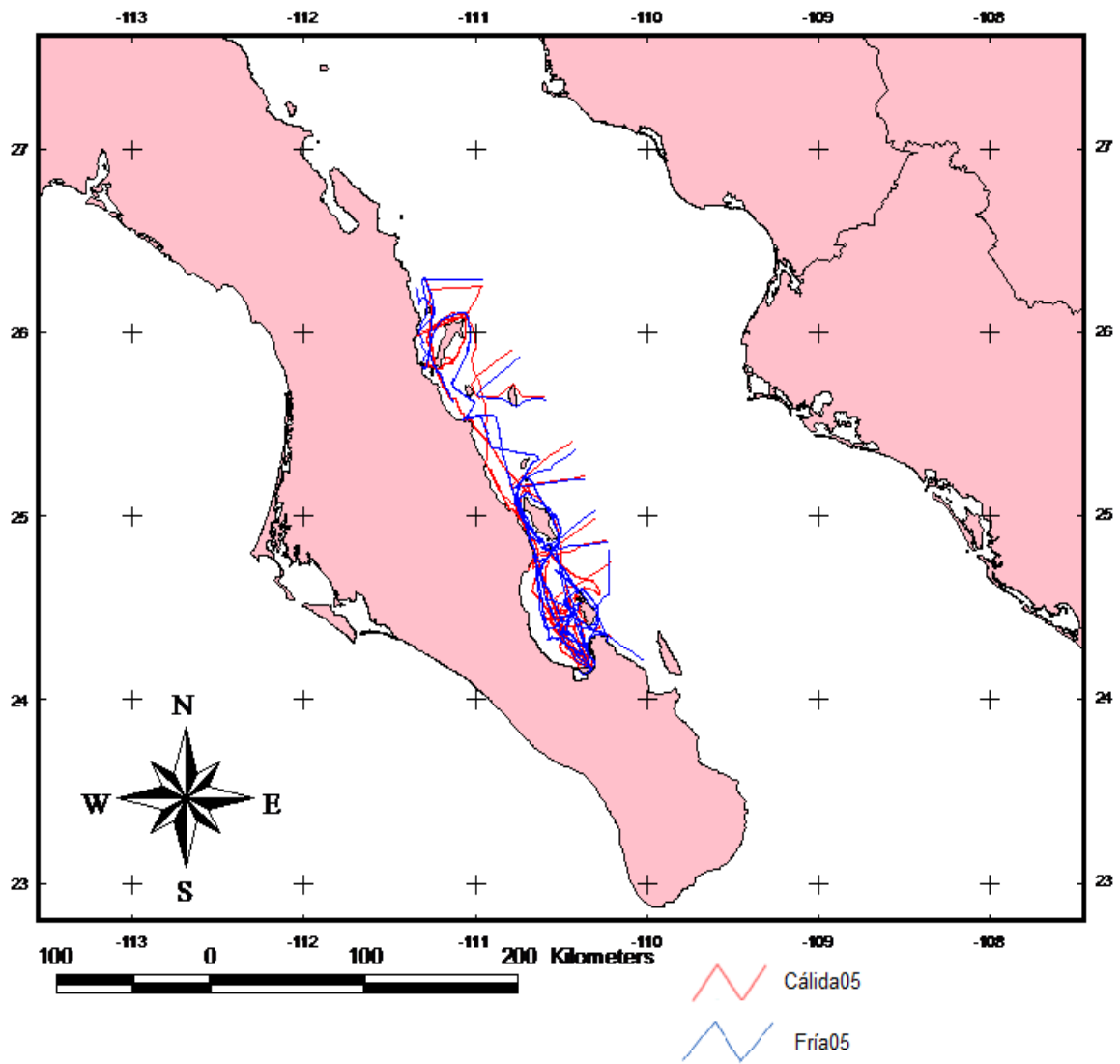


Figura 3. Esfuerzo realizado durante el año 2005.

Tanto en las salidas de duración de tres días como en las navegaciones en la embarcación mediana, asistieron cuatro investigadores, cada uno con una actividad asignada para facilitar el trabajo. Se tuvieron tres puestos de observación fijos (uno al frente y dos a cada lado de la embarcación), para tener la mayor cobertura posible, más un anotador. Se asignaron turnos de máximo una hora de duración, los cuales se rotaron sistemáticamente. Para cada navegación se llevó un registro del recorrido en la Bitácora General de Navegaciones, tomando cada 10 min datos como la hora y posición geográfica (con un GPS), y las condiciones (temperatura superficial del agua, dirección del viento, nubosidad, visibilidad, Beaufort, olas, etc.).

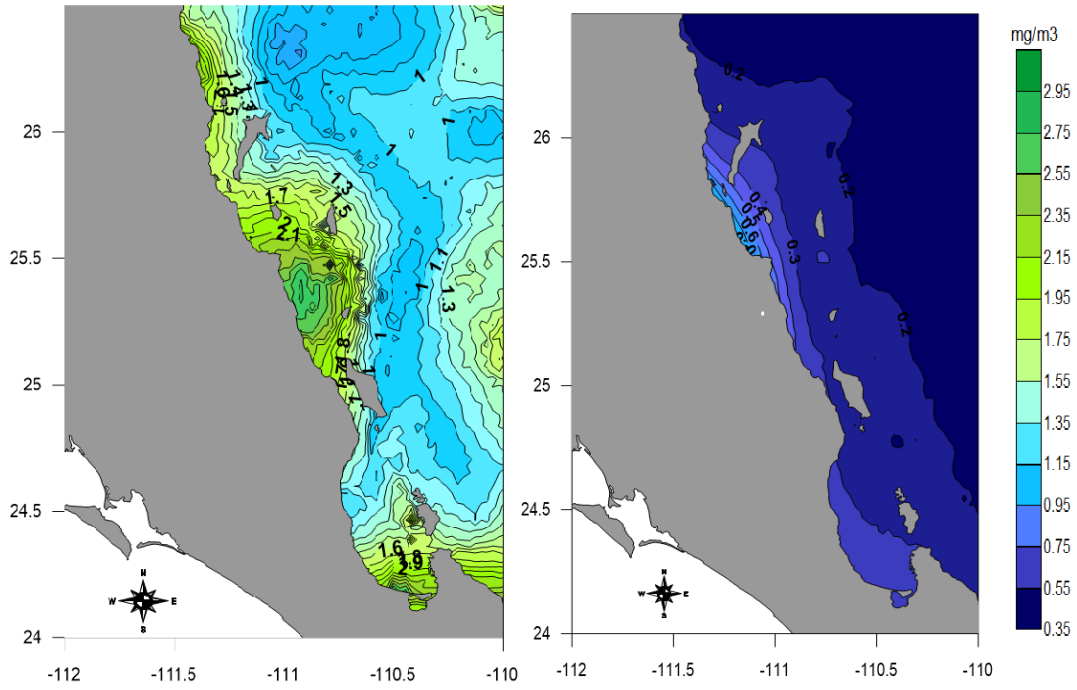
Al observar un cetáceo (avistamiento), se llenó una Bitácora de Avistamiento con los mismos datos que la Bitácora General de Navegaciones, agregando el nombre de la especie, el número de avistamiento a lo largo del día (empezando la numeración cada siguiente día), sus asociaciones, presencia de crías, comportamiento y número de organismos.

Trabajo de escritorio

Datos ambientales

Para la caracterización ambiental, espacial y temporal, se utilizaron imágenes de satélite con valores promedio en intervalos de ocho días, de la temperatura superficial del mar y de la concentración superficial de clorofila a, con 4 km de resolución espacial (Fig. 4). Estas imágenes se obtuvieron a partir del sensor remoto MODIS y suministradas por el Jet Propulsion Laboratory (JPL por sus siglas en inglés) de la NASA, en formato Hierarchical Data Format (HDF por sus siglas en inglés), a través de la página de internet <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>. Los datos de batimetría se obtuvieron de la base de datos ETOPO2v2 del Centro Nacional de Información Geofísica de La NOAA (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers-/01mgg04.html>), creada a partir de información obtenida de radares de altimetría montados en satélites con una resolución espacial de 4 km (Fig. 5).

A)



B)

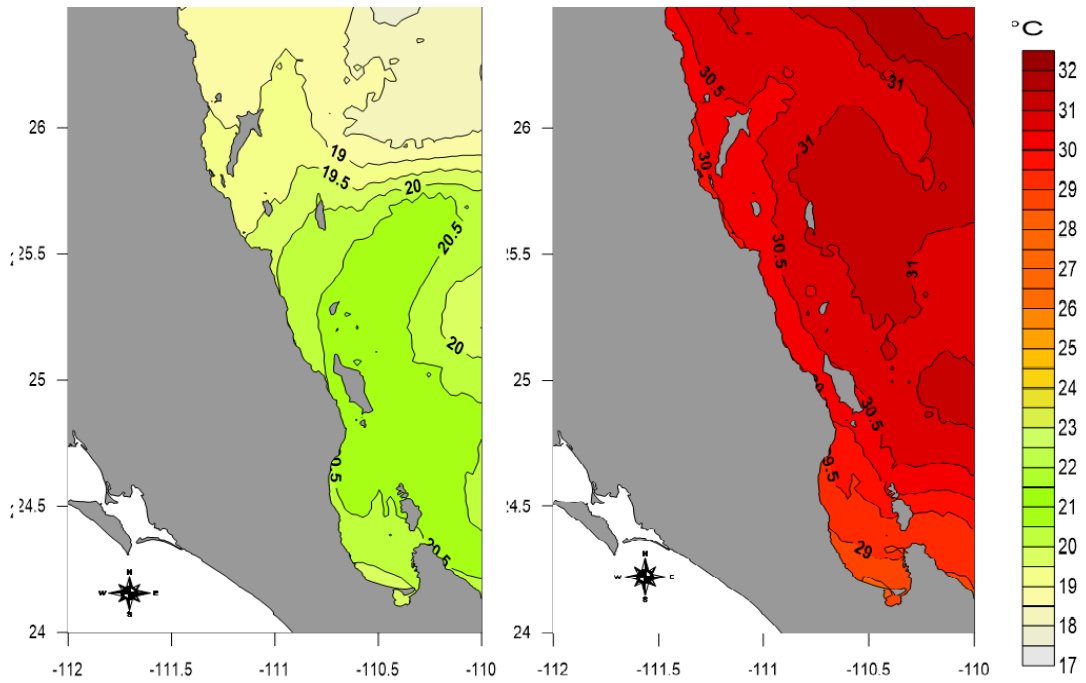


Figura 4. Datos de Chla (A) y TSM (B), ejemplificando las características del área de estudio para las estaciones fría (izquierda) y cálida (derecha).

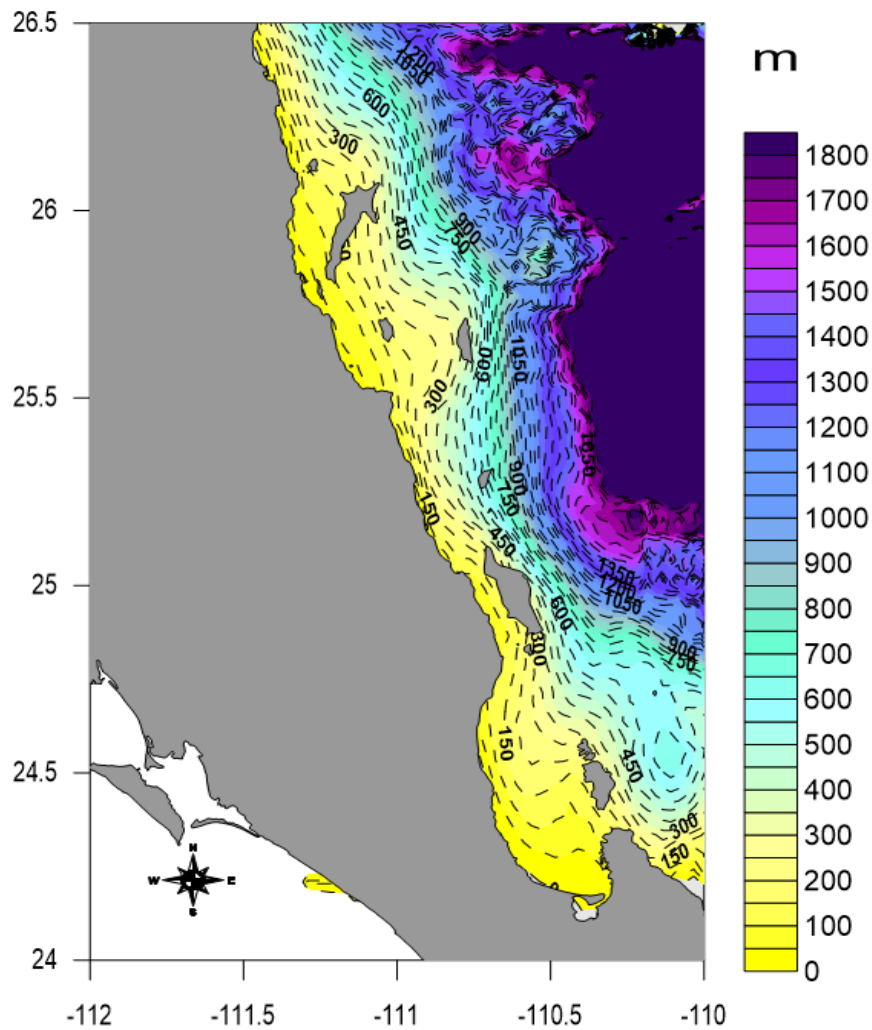


Figura 5. Batimetría del área de estudio.

Una vez que se obtuvieron las imágenes de temperatura superficial del mar, clorofila y batimetría, éstas fueron procesadas y recortadas con el programa Windows Image Manager (WIM) 6.36, para lo cual se utilizaron como coordenadas base los 24°-26.2° de latitud y los 110°-111.2° de longitud. Posteriormente, con ayuda de la herramienta ArcView GIS 3.2, se manejaron dichas imágenes para la exportación de la información.

Análisis de datos

Análisis espacial

El área de estudio fue dividida en una cuadrícula de 61 cuadrantes de 23 x 23 km cada uno (Fig. 6); las coordenadas centrales de cada cuadrante se tomaron de Salvadeo (2008). Las diferencias oceanográficas latitudinales en el área de estudio se determinaron mediante un análisis de clasificación realizado con el programa Paleontological Statistics Software (PAST) 2.2 (usando la medida de similitud Euclidiana y el algoritmo de encadenamiento medio), a partir de la cual se establecieron las zonas superior (Bahía de Loreto), media e inferior (Bahía de La Paz). Se calculó para cada zona, la abundancia relativa de especies presentes en cada uno de sus respectivos cuadrantes, así como los índices de diversidad, ambos por estación y año (Fig. 7).

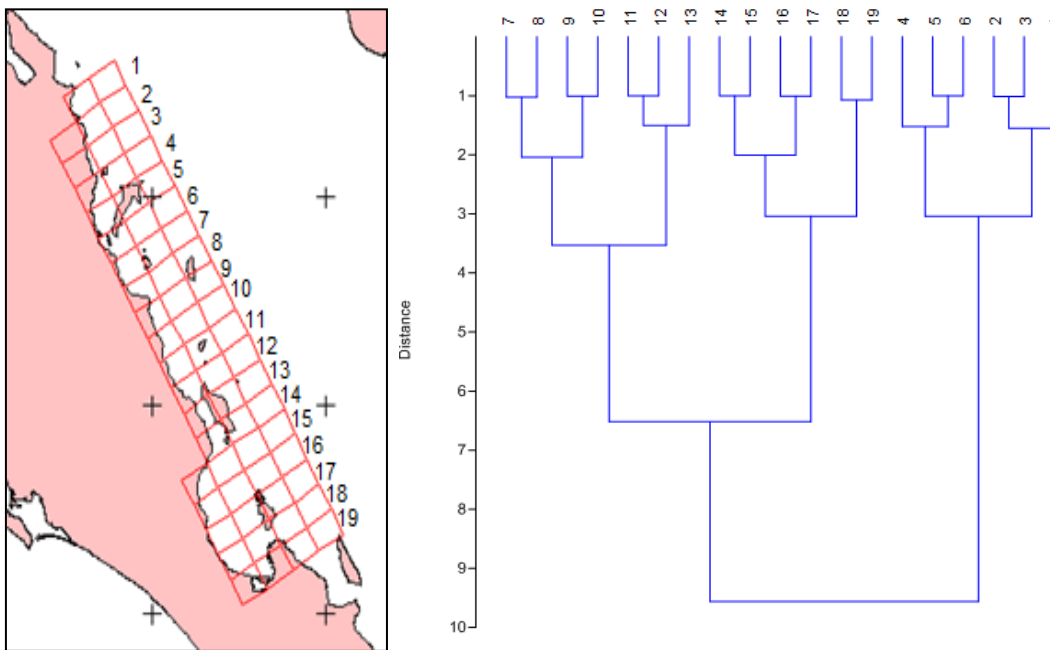


Figura 6. Delimitación de zonas del Área de estudio (dividida en 61 cuadrantes) mediante el análisis de clasificación.

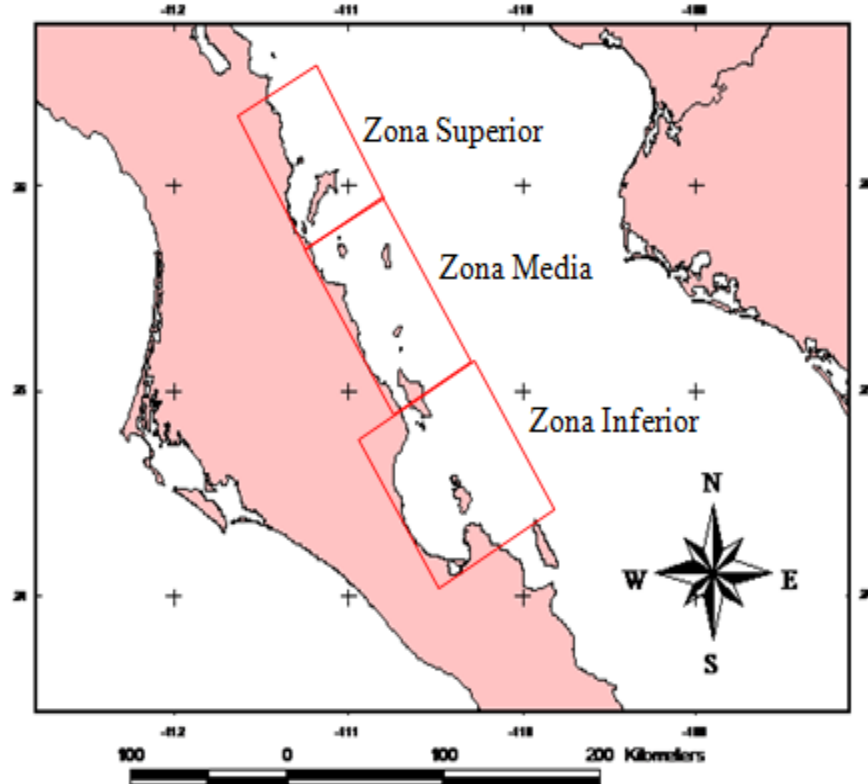


Figura 7. Zonas en las que se dividió el área de estudio: Zona superior incluye la Bahía de Loreto; Zona media y Zona inferior incluye desde la Isla San José hasta la Bahía de La Paz.

Se midió el esfuerzo realizado (distancia navegada en km) para cada cuadrante y por cada salida, siguiendo el criterio de Salvaedo (2008). Este esfuerzo fue estandarizado, ya que provenía de diferentes tipos embarcaciones (panga y barco), donde los km recorridos en panga fueron multiplicados por 0.5 (Salvaedo 2008). Para cada cuadrante se estimó la abundancia relativa de especies y el promedio de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$), de la clorofila superficial (mg/m^3) y de la batimetría (m).

Análisis temporal

Los parámetros ambientales y los avistamientos obtenidos de las salidas de campo se agruparon de manera estacional, teniendo un ciclo anual compuesto por dos temporadas: una cálida y una fría de acuerdo al criterio de Salvaedo (2008). Aquellos meses cuyas temperaturas fueron mayores al promedio general, se consideraron como temporada cálida y como temporada fría a los que presentaron temperaturas menores. Los meses en que la temperatura era igual a la del promedio, son los considerados como meses de transición, usualmente junio y noviembre.

Posteriormente se procedió a realizar el análisis de diversidad por temporada: cálida y fría y por año: 2004 y 2005 (de ahora en adelante C04, F04, C05, F05), con base en la estimación de los índices de Simpson y Shannon-Wiener, abundancia, abundancia relativa y riqueza específica por especie explicados a continuación.

Análisis de diversidad

Con el fin de conocer la abundancia entre las especies, es decir, cuántos organismos por especie hay en la zona de estudio en cada uno de los intervalos de tiempo, se estimó su abundancia relativa estacional y espacial mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Índice A.R.} = \frac{\text{número de organismos por especie}}{\text{Esfuerzo (km recorridos)}}$$

Para conocer el número de especies de misticetos que ocuparon el área de estudio, se determinó la riqueza específica por estación como el número total de especies observadas. El análisis de la diversidad se llevó a cabo con la estimación de los índices de Simpson y Shannon-Wiener por año, estación y zona a partir de la abundancia de cada especie. El Índice de Simpson plantea la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente en una comunidad infinita corresponden a la misma especie. Concede

relativamente poca importancia a las especies no abundantes, y mayor significación a la que sí lo son (Krebs 1985).

$$D = \sum p_i^2$$

Donde:

D = Índice de diversidad de Simpson.

p_i = proporción de individuos de la especie i en la comunidad.

Conceptualmente, para que la comparación entre el índice de Simpson y de Shannon-Wiener fuera más sencilla, se utilizó el inverso de D, es decir, 1-D.

El índice de Shannon-Wiener expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra (Moreno 2001).

$$H' = -\sum(p_i)(\ln p_i)$$

Donde:

H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener.

p_i = proporción del total de la muestra que corresponde a la especie i .

Análisis estadísticos

Datos ambientales

Se utilizó el programa Sigma Plot 10 para graficar los datos mensuales de los años 2004 y 2005 de la clorofila y la temperatura superficial marina, con el fin de observar si los datos presentaban una relación directa o inversa entre sí.

Con el programa Sigma Stat 3.5 se hicieron todas las pruebas estadísticas. Se efectuó una prueba de normalidad, la cual fue rechazada ($p > 0.05$) y se elaboró una prueba de suma de rangos de Mann-Whitney para determinar si existían diferencias significativas en los valores de TSM y Chla entre las mismas temporadas y años.

Análisis temporal

Para observar cambios estacionales y anuales, se graficó la variación de la abundancia relativa por especie entre las temporadas (cálida y fría) y sus respectivos años (2004 y 2005).

Las salidas fueron agrupadas en periodos de ocho días (unidad de muestreo), debido a que las imágenes satelitales son promedios de este mismo periodo; la prueba de normalidad fue rechazada ($p < 0.05$), por lo que se elaboró una prueba de suma de rangos de Mann-Whitney para determinar si existían diferencias significativas en los valores de abundancia relativa de todos los misticetos entre las temporadas y entre años. Se llevó a cabo un ANOVA por rangos de Kruskal Wallis para comparar las dos temporadas y los dos años de estudio y determinar si hubo diferencias significativas entre las especies estudiadas durante esos periodos.

Análisis espacial

Para observar cambios espaciales, se graficó la variación de la abundancia relativa por especie en las tres diferentes zonas entre las temporadas (cálida y fría) para cada año (2004 y 2005).

Se realizó una prueba de normalidad la cual fue rechazada ($p < 0.05$) y posteriormente una prueba de suma de rangos de Mann-Whitney para comparar si existían

diferencias significativas en las abundancias relativas de todos los mysticetos entre cada zona correspondiente a su temporada y año. Se elaboró un ANOVA por rangos de Kruskal Wallis para determinar si existían diferencias significativas en las abundancias relativas de cada especie entre las tres zonas por temporada y de ambos años.

Relación entre las variables ambientales y la abundancia relativa de ballenas.

Para observar la relación entre la abundancia y los parámetros ambientales, se graficó la variación de la abundancia relativa de los mysticetos y los promedios mensuales de la clorofila y la temperatura superficial marina.

Con base en la estratificación espacial en cuadrantes de 23 km², se llevó a cabo una correlación de Spearman para determinar si existía una relación entre las variables ambientales utilizadas en este trabajo, con la abundancia relativa de las ballenas. Este análisis se efectuó considerando la temporada y el año de estudio.

Se utilizó el programa Sufer 9 para ilustrar la ubicación de los mysticetos en relación a las tres zonas de estudio y los parámetros ambientales.

Resultados

Datos ambientales

El promedio de la temperatura superficial del mar en el área de estudio para todo el periodo fue de 25.06°C , con 19°C y 30°C como mínima y máxima respectivamente. Se observó un ciclo anual en los cambios de temperatura con dos temporadas, una cálida ($\text{TSM} > 25.06^{\circ}\text{C}$) que va de junio a noviembre y una fría ($\text{TSM} < 25.06^{\circ}\text{C}$) de diciembre a mayo. La clorofila superficial para ambos años presentó un promedio de 0.81 mg/m^3 , 0.26 mg y 2.11 mg/m^3 como una mínima y máxima respectivamente, donde en general se observó un periodo de elevada producción durante la temporada fría y uno de baja durante la temporada cálida (Fig. 8).

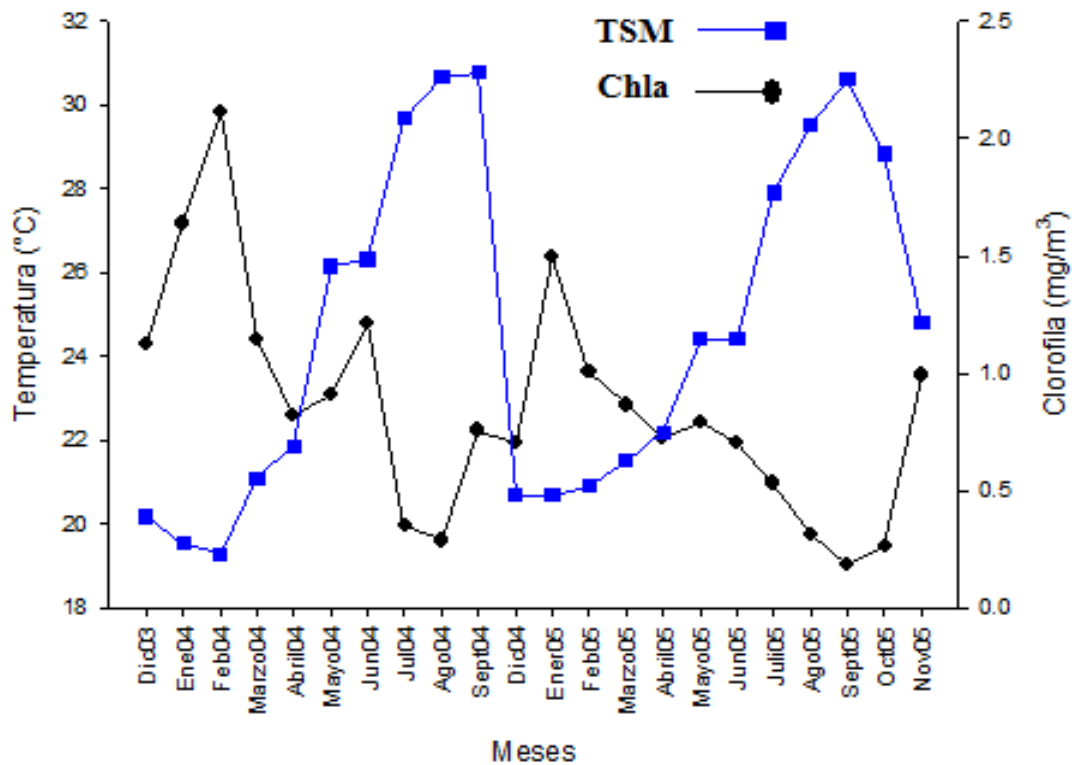


Figura 8. Ciclo anual que muestra los picos de clorofila superficial y temperatura superficial del mar por mes, en las temporadas cálida y fría durante 2004-05 en el área de estudio.

La comparación estadística de la Chla y TSM, mostró diferencias significativas para ambos parámetros durante la misma temporada y entre años (Tabla I). La Chla fue significativamente más alta durante el año 2004, tanto para la temporada fría como para la cálida, en comparación con la del 2005. De manera inversa, la variable TSM mostró valores significativamente más bajos durante el año 2004 para las temporadas fría y cálida en comparación con el año 2005.

Tabla I. Prueba de suma de rangos de Mann-Whitney de los parámetros ambientales.

Parámetro	Temporada/año		Temporada/año	N	U	$p < 0.05$
Chla	F04	vs	F05	22305	41940424.500	0.001
	C04	vs	C05	19019	43990323.500	0.001
TSM	F04	vs	F05	25368	107986019.500	0.001
	C04	vs	C05	20956	17234110.500	0.001

Análisis temporal

Se recorrieron un total 5,028.5 km en barco y 1,126.6 km en panga durante 72 días, entre agosto del 2004 y mayo del 2005, en los que se observaron 142 mysticetos en 37 avistamientos, identificándose cinco especies que pertenecen a la misma familia (Tabla II).

Tabla II. Listado taxonómico de las especies de mysticetos observados en el presente estudio.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Balaenopteridae	<i>Balaenoptera physalus</i>	Rorcual común
	<i>Balaenoptera edeni</i>	Rorcual tropical
	<i>Balaenoptera musculus</i>	Ballena azul
	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Ballena Minke
	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Ballena jorobada

La estructura de la comunidad presentó un dinamismo temporal representado en los cambios en la riqueza y abundancia de especies; la mayor riqueza de especies se obtuvo durante las temporadas frías, seguida de la C05 y finalmente la que presentó menor cantidad de especies fue la C04 (Tabla III). La mayor abundancia la presentó el rorcual común durante la temporada C05; por su parte, el rorcual tropical y la ballena Minke presentaron la menor abundancia con un individuo durante la C04 para la primera especie y durante la F05 para la segunda especie (Tabla IV). Hay que mencionar que debido a que la ballena Minke sólo presentó un individuo durante el estudio, no se tomó en cuenta para la comparación estadística.

Tabla III. Riqueza de especies que se obtenidas durante el estudio.

Temporada	Riqueza
Fría 04	4
Cálida 04	2
Fría 05	4
Cálida 05	3

Tabla IV. Abundancia de las especies encontradas durante el presente trabajo.

Temporada	Especie	Abundancia
Fría04	Rorcual común	6
	Rorcual tropical	14
	Ballena azul	35
	Ballena jorobada	5
Cálida04	Rorcual común	3
	Rorcual tropical	1
Fría05	Rorcual común	10
	Rorcual tropical	5
	Ballena Minke	1
	Ballena jorobada	12
Cálida05	Rorcual común	39
	Rorcual tropical	4
	Ballena azul	7
Total		142

Al comparar la abundancia relativa por especie durante las temporadas y años, la C04 tuvo menor abundancia relativa en comparación a la fría del mismo año, para el año 2005 fue lo contrario, la temporada cálida mostró mayor abundancia relativa de ballenas, además que fue la temporada con mayor abundancia para todo el estudio. La especie que presentó mayor abundancia relativa durante todo el estudio fue rorcual común con 1.4 individuos/km durante la temporada C05. Por otro lado, el rorcual tropical tuvo la menor

abundancia con 0.05 ballenas/km durante la temporada C04, exceptuando las especies que estuvieron ausentes en alguna temporada (Fig. 9).

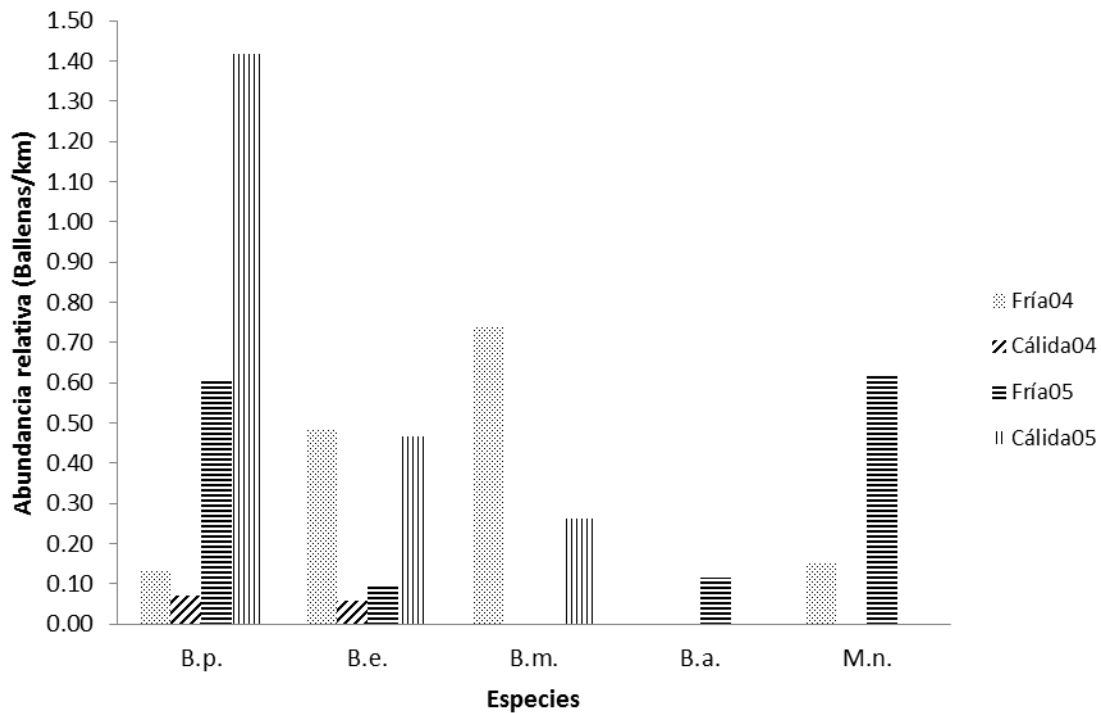


Figura 9. Comparación de la abundancia relativa de misticetos durante los años de estudio. B.p.: *Balaenoptera physalus*; B.e.: *Balaenoptera edeni*; B.m.: *Balaenoptera musculus*; B.a.: *Balaenoptera acutorostrata*; M.n.: *Megaptera novaeangliae*.

El Índice de Simpson (1-D) mostró que durante la temporada F05 hubo una mayor diversidad, y de manera opuesta, durante la C05 se obtuvo la menor. De acuerdo al Índice de Shannon-Wiener, la mayor diversidad se alcanzó durante la F05 y la menor se observó en la C04 (Tabla V). Esta diferencia para el último índice se corroboró con una prueba t de student entre temporadas para ambos años, mostrando diferencias significativas (Tabla VI).

Tabla V. Índices de diversidad obtenidos.

Temporada	Índice de Simpson	Índice de Shannon-Wiener
F04	0.598	1.091
C04	0.500	0.562
F05	0.699	1.157
C05	0.374	0.678

Tabla VI. Prueba t de student para el Índice de Shannon-Weinner. Df: grados de libertad.

Temporada		Valor t	Grados de libertad	$p < 0.05$	
Fría 04-05	vs	Cálida 04-05	10.627	1191.54	0.000

La comparación estadística de las abundancias relativas de las ballenas en general con respecto a las temporadas y los años, muestra que hubo diferencias significativas entre la temporada fría del 2004 en comparación de la cálida de ambos años, y entre la misma temporada fría durante ambos años (Tabla VII).

Tabla VII. Comparación estadística mediante la prueba de suma de rangos de Mann-Whitney de las abundancias relativas de todas las ballenas durante las temporadas cálida y fría para los años 2004 y 2005.

	F04	C04	F05	C05
F04		p= 0.001 N=165 U=3984.5	p=0.136 N=166 U=3647	p= 0.009 N=187 U=5012.5
C04			p= 0.025 N=133 U=2476	p=0.179 N=154 U=3075.5
F05				p=0.317 N=155 U=2786
C05				

Al comparar estadísticamente las abundancias relativas por especie entre temporadas cálida y fría, la ballena jorobada fue la única con diferencia significativa ya que sólo estuvo presente durante la temporada fría en ambos años (Tabla VIII).

Tabla VIII. Prueba de suma de rangos de Mann-Whitney para la comparación de las abundancias relativas por especie durante las temporadas cálida y fría para la totalidad del periodo de estudio (incluye los años 2004 y 2005).

Especie	Temporada/año		Temporada/año	N	U	p<0.05
Rorcual común	Cálida	vs	Fría	389	18183	0.081
Rorcual tropical	Cálida	vs	Fría	389	19509	0.102
Ballena azul	Cálida	vs	Fría	389	19343	0.167
Ballena jorobada	Cálida	vs	Fría	389	20038.5	0.001

Análisis espacial

A partir del resultado del análisis de clasificación, el área de estudio se dividió en las tres zonas, mencionadas anteriormente, de acuerdo a las similitudes y diferencias presentadas por los parámetros de Chla y TSM. La batimetría no fue tomada en cuenta para este análisis ya que no mostró diferencias entre las zonas.

La estructura de la comunidad presentó un dinamismo espacial representado en los cambios de riqueza y abundancia de especies; las cinco especies de misticetos observadas se distribuyeron principalmente dentro de la Bahía de La Paz llegando hasta la Isla San José y en las aguas localizadas entre Isla Monserrat e Isla de Carmen en la zona de Loreto (Fig. 10). La mayor riqueza de especies se obtuvo en la zona inferior para las dos temporadas y años (Tabla IX). De la misma forma, la mayor abundancia relativa se observó en la zona inferior (Fig. 11), siendo el rorcual común quien presentó la mayor abundancia relativa en dicha zona para ambas temporadas y años (Fig. 12).

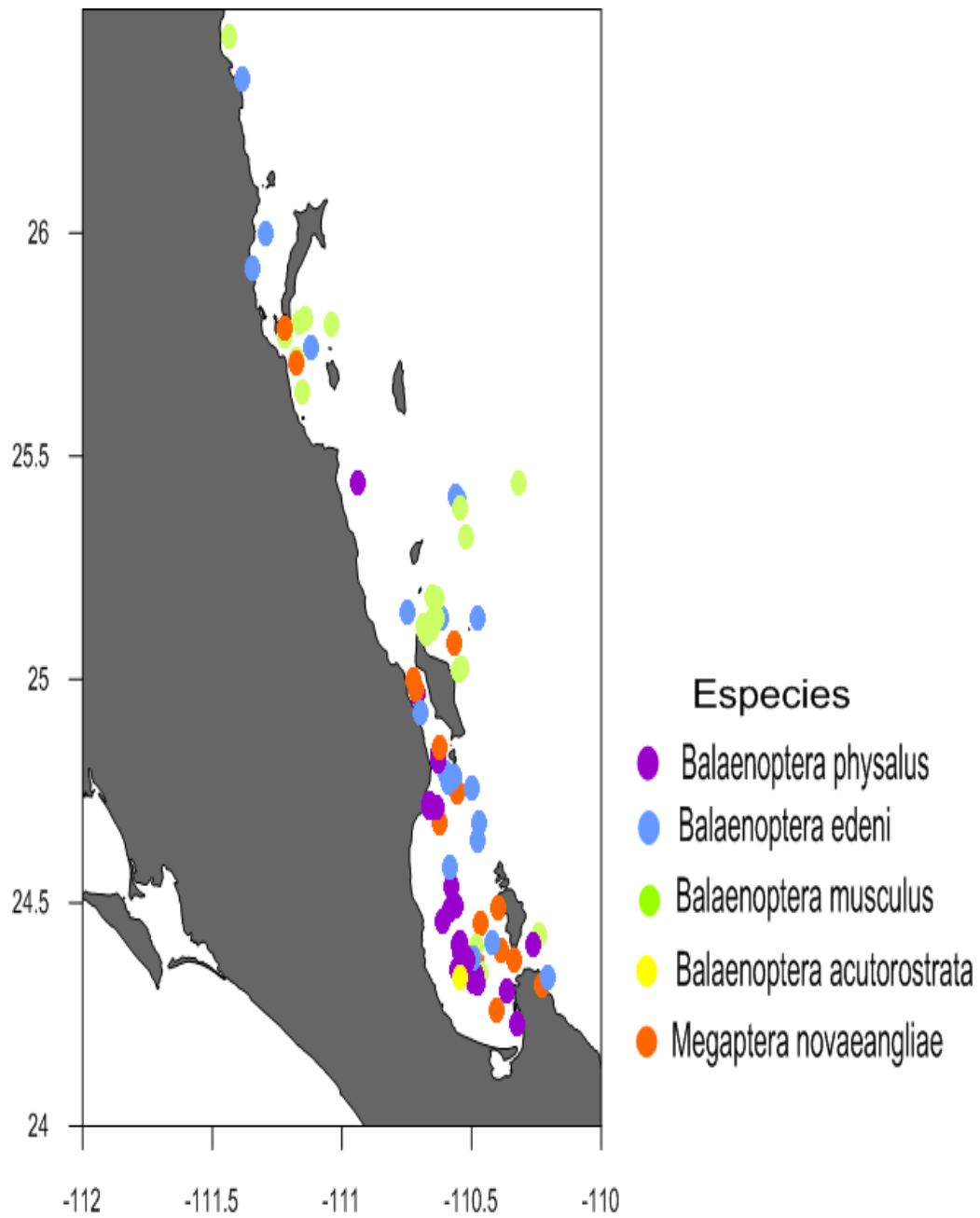


Figura 10. Distribución de los mysticetos encontrados en el área de estudio desde agosto de 2004 a julio 2005.

Tabla IX. Riqueza de especies en las tres zonas en las que se dividió el área de estudio.

Zona	Temporada			
	Fría04	Cálida04	Fría05	Cálida05
Superior	2	0	2	0
Media	2	1	1	0
Inferior	4	2	4	3

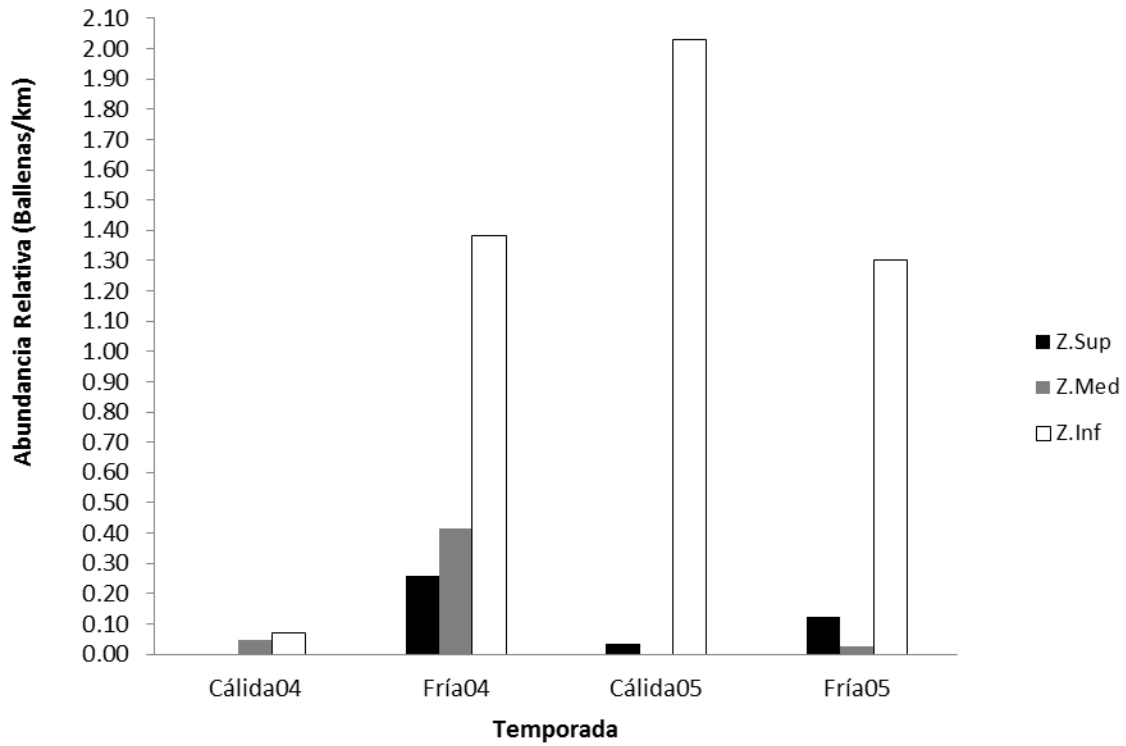


Figura 11. Abundancia relativa en las tres zonas en que se dividió el área de estudio durante las temporadas y años.

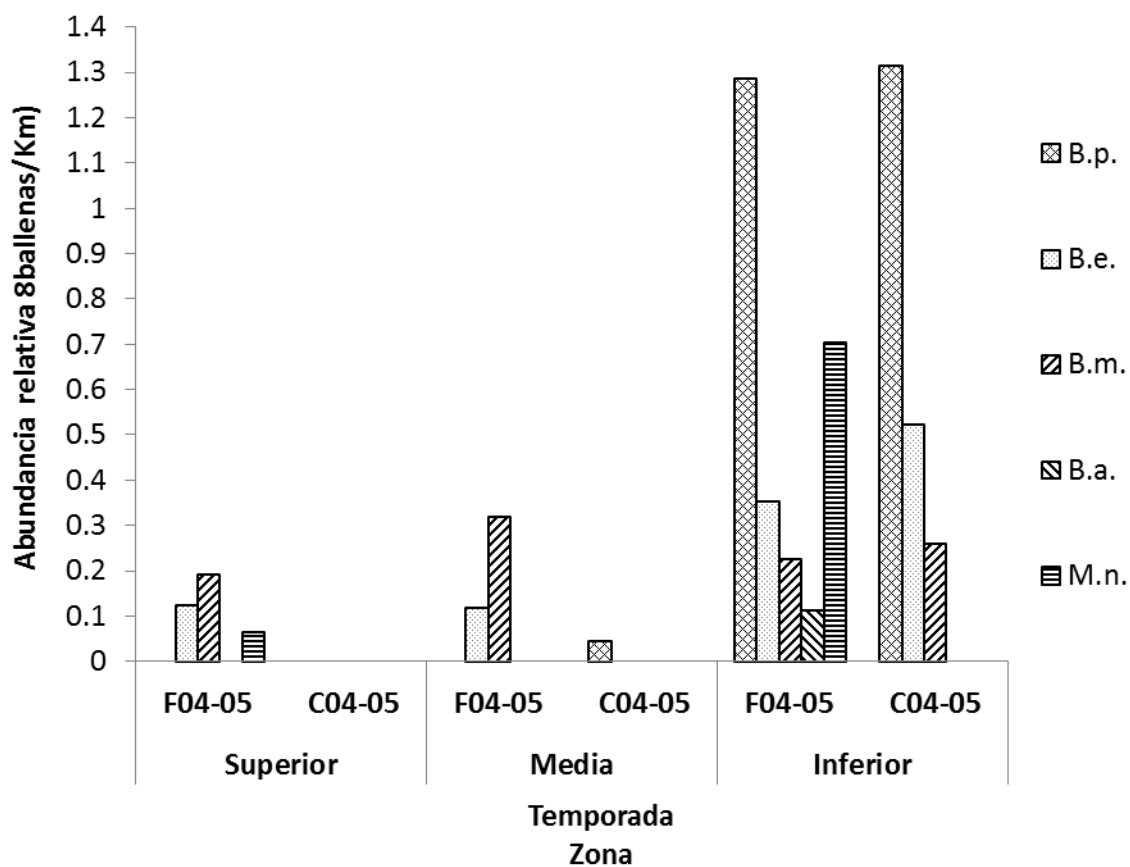


Figura 12. Abundancia relativa de misticetos durante la temporada fría 2004-2005 en las tres zonas del área de estudio. *B.p.*: *Balaenoptera physalus*; *B.e.*: *Balaenoptera edeni*; *B.m.*: *Balaenoptera musculus*; *B.a.*: *Balaenoptera acutorostrata*; *M.n.*: *Megaptera novaeangliae*.

Tanto la diversidad de Simpson (1-D) como la de Shannon-Wiener, mostraron que la zona inferior fue la más diversa para los dos años y las dos temporadas, sin embargo en la zona superior en la temporada fría del 2005, se observaron valores similares a los de la zona inferior (Tabla X).

Tabla X. Índices de diversidad (Simpson/Shannon-Weiner) durante las temporadas y años en cada zona.

Zona	Temporadas			
	Fría04	Cálida04	Fría05	Cálida05
Superior	0.436 / 0.586	0 / 0	0.666 / 0.693	0 / 0
Media	0.270 / 0.429	0 / 0	0 / 0	0 / 0
Inferior	0.778 / 1.639	0.666 / 0.636	0.640 / 1.073	0.381 / 0.687

La comparación estadística entre la abundancia relativa de las ballenas y las tres zonas muestra que no hubo diferencias significativas entre éstas durante la temporada fría. Sin embargo, para la temporada cálida sí se observaron diferencias significativas, la prueba a posteriori indicó diferencias entre las zonas inferior con la media y superior, siendo más abundante la inferior para ambos casos (Tabla XI).

Tabla XI. Prueba estadística de Kruskal-Wallis entre las zonas en las que se dividió el área de estudio para cada temporada durante el periodo de estudio.

Temporada y año	Zonas			$p < 0.005$
Fría04-05	Superior	vs	Media	0.560
Cálida04-05	Superior	vs	Media	0.001

Al realizar la comparación entre temporadas en cada zona, se observó que hubo diferencias significativas en la superior y media, siendo la temporada fría la que tuvo una abundancia relativa más alta respecto a la cálida para ambas zonas (Tabla XII).

Tabla XII. Comparación estadística de suma de rangos de Mann-Whitney entre temporadas de ambos años (2004 y 2005) para cada zona en las que se dividió el área de estudio.

Zona	Temporada	Temporada	N	U	$p < 0.05$
Superior	Cálida	Fría	14	45	0.003
Media	Cálida	Fría	23	86	0.046
Inferior	Cálida	Fría	45	205	0.288

Para determinar si existían diferencias dentro y entre las temporadas cálida y fría para las tres zonas oceanográficas, se utilizaron los datos de los dos años (2004 y 2005). Los resultados indicaron que el rorcual común tuvo una mayor abundancia en la zona inferior en ambas temporadas, en comparación con las otras zonas. Mientras la ballena azul presentó una mayor abundancia en la zona media también en ambas temporadas. Finalmente la ballena jorobada exhibió mayor abundancia en la zona inferior durante las temporadas frías en relación a las demás zonas (Tabla XIII).

Tabla XIII. Comparación estadística de Kruskal-Wallis, entre temporadas, años y zonas para cada especie. Los valores que poseen un asterisco (*) señalan que a pesar de que el estadístico presentó diferencias significativas, la prueba *a posteriori* no marcó dichas diferencias por falta de datos.

Especie	Temporada (04-05)		
	$p < 0.05$		
	Fría vs Fría	Cálida vs Cálida	Fría vs Cálida
Rorcual común	0.140	0.029*	0.022*
Rorcual tropical	0.347	0.194	0.150
Ballena azul	0.029*	0.124	0.020*
Ballena jorobada	0.545	1.0	0.007*

Relación entre las variables ambientales y la abundancia relativa de ballenas.

En general, al observar la variación mensual de las abundancias relativas de las ballenas junto con los parámetros ambientales, éstas presentaron picos temporales inversos con respecto a la TSM, en los meses donde se presentó mayor abundancia se encontró menor temperatura (Fig. 13). Para la Chla, los picos temporales son directos con respecto a la abundancia relativa de los misticetos (Fig. 14). En algunos meses no se cumple con lo mencionado anteriormente debido a la falta de datos; por otro lado, hay meses donde la abundancia relativa es cero como en el caso de abril, junio, julio y diciembre del año 2004 así como agosto del 2005, ya que en esos meses no se realizaron salidas en el área de estudio.

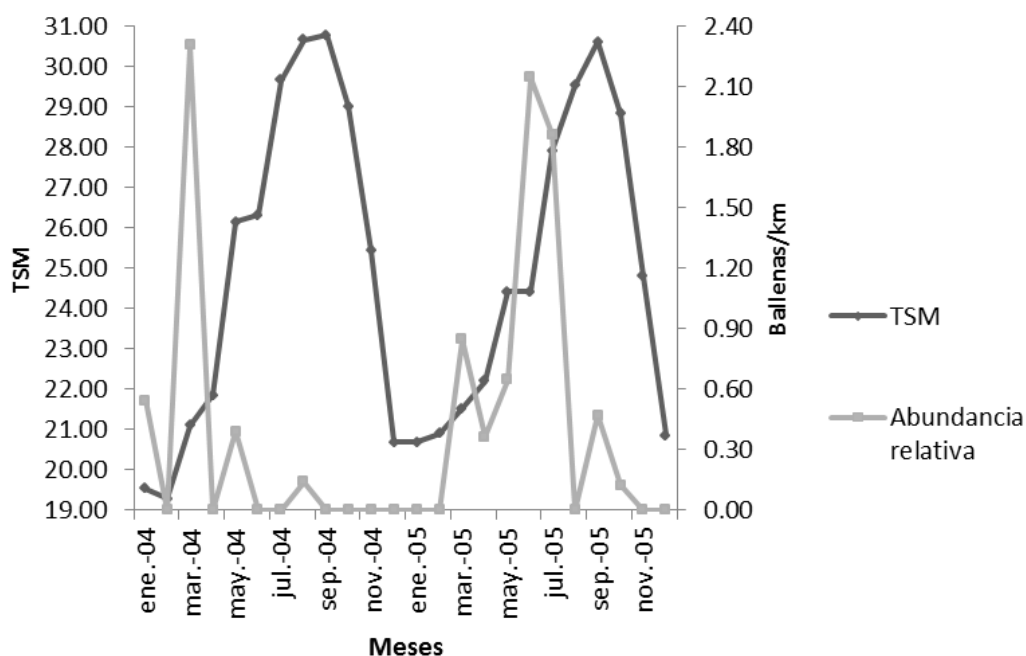


Figura 13. Variación mensual de la abundancia relativa de misticetos y promedio mensual de temperatura superficial marina.

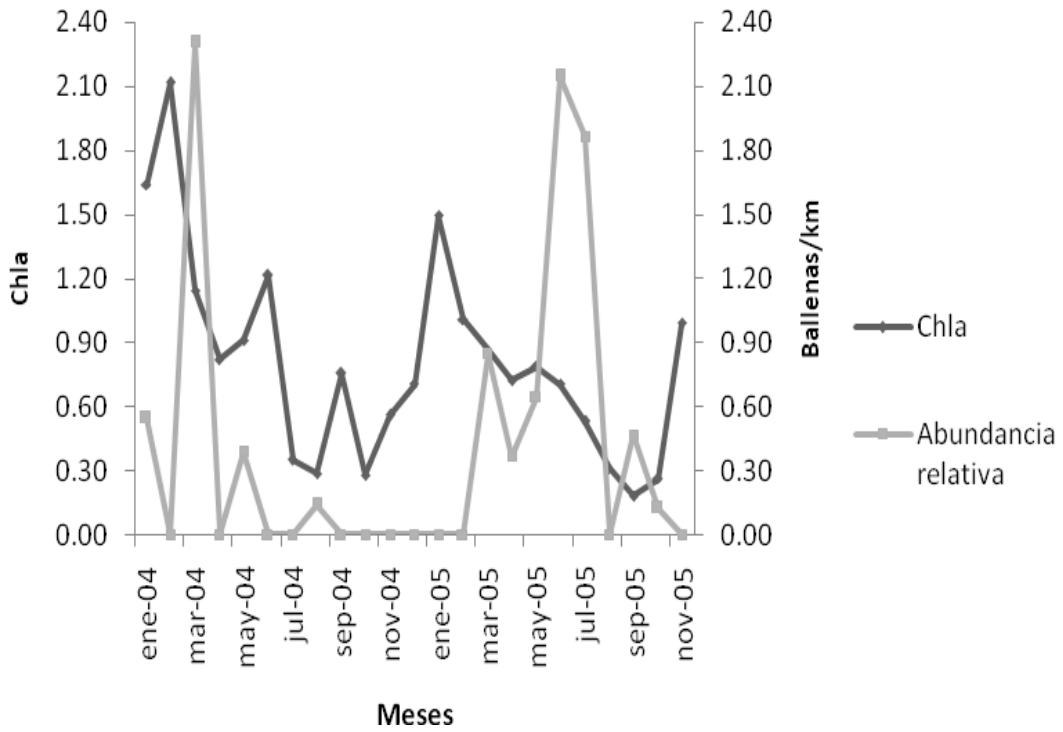


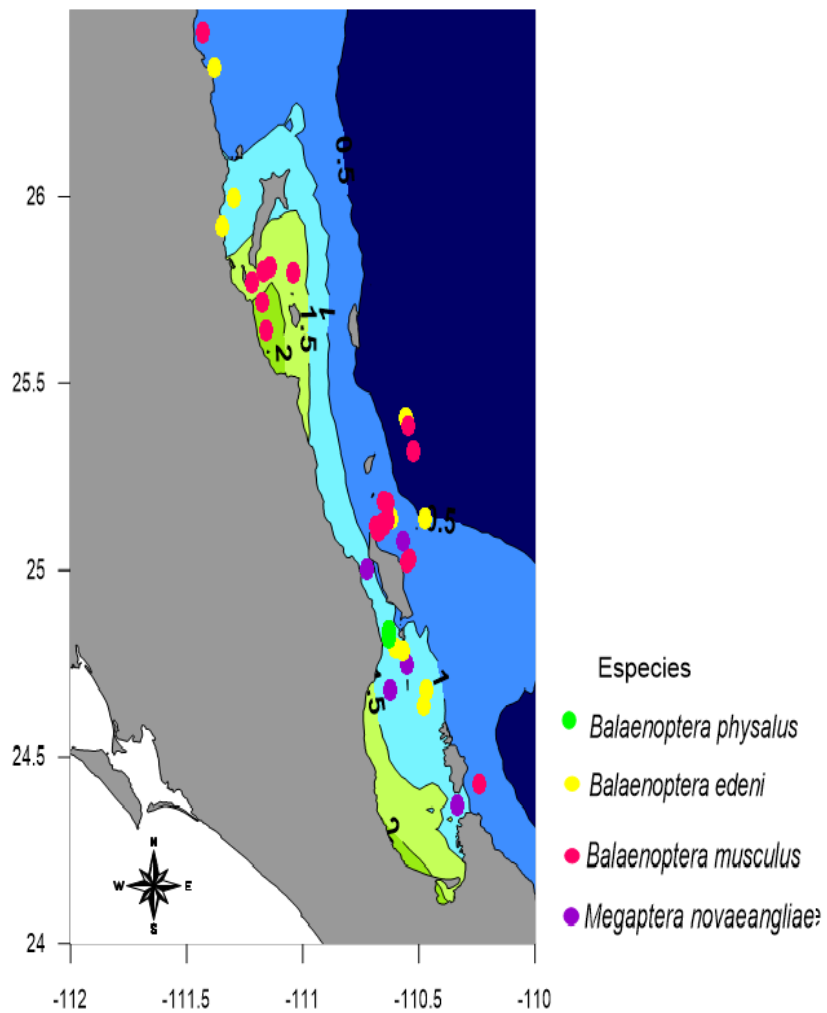
Figura 14. Variación mensual de la abundancia relativa de misticetos y promedio mensual de clorofila a.

Como se observa en la figura (15 A), durante la temporada F04 la mayoría de las ballenas se encontraron cerca de la costa en toda el área de estudio, donde los valores de clorofila son significativos entre 0.5 y 2.0 mg/m³. Durante la temporada C04, el mayor número de ballenas se observó en la zona media, con valores de clorofila de hasta casi 2 mg/m³ (Fig. 15 B). Para el parámetro de la TSM, las ballenas se distribuyen entre los 18 y 21°C durante la temporada F04 y para la C04, entre los 29 y 30.5°C (Fig. 16 A y B respectivamente).

Durante el año 2005 y para la temporada fría, la distribución de los Mysticetos estuvo relacionada a concentraciones de clorofila entre 0.5 y 1.5 mg/m³ sobre todo en Bahía de La Paz (Fig. 17 A); y para la cálida del mismo año la mayoría de las especies se relacionaron a variaciones de 0.5 y 1.0 aunque algunas alcanzaron valores de hasta 1.5 mg/m³ en la misma zona (Fig. 17 B). Por otro lado, las ballenas mostraron una distribución entre los 20 y 22°C de TSM, concentrándose su mayoría en La Bahía de La Paz para la temporada fría (Fig. 18 A), y para la cálida el rango de distribución estuvo determinado hasta los 26°C en la misma área (Fig. 18 B).

Respecto a la batimetría (Fig. 19), los Mysticetos se distribuyeron dentro de los primeros 500 metros y cerca de la costa; sin embargo, el rorcual tropical y la ballena azul alcanzaron profundidades de hasta 1,411 para el primero y 1087 metros estando ambos alejados de la costa.

A)



B)

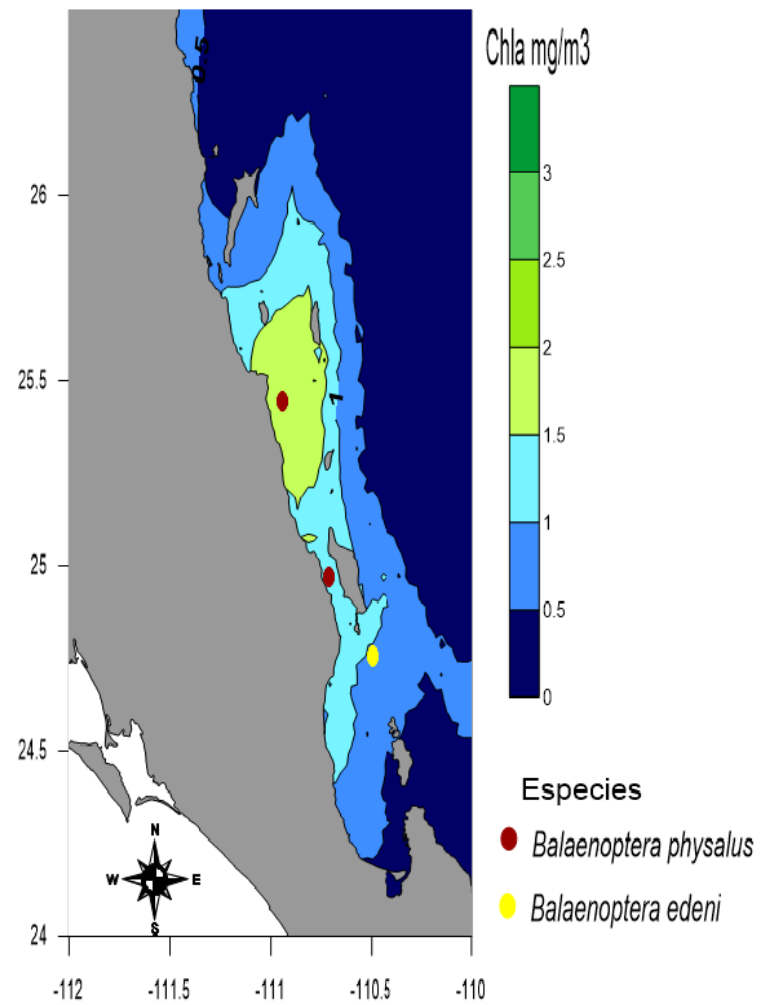


Figura 15. Distribución de Mysticetos relacionada a la Chla durante la temporada Fría (A) y Cálida (B) del 2004.

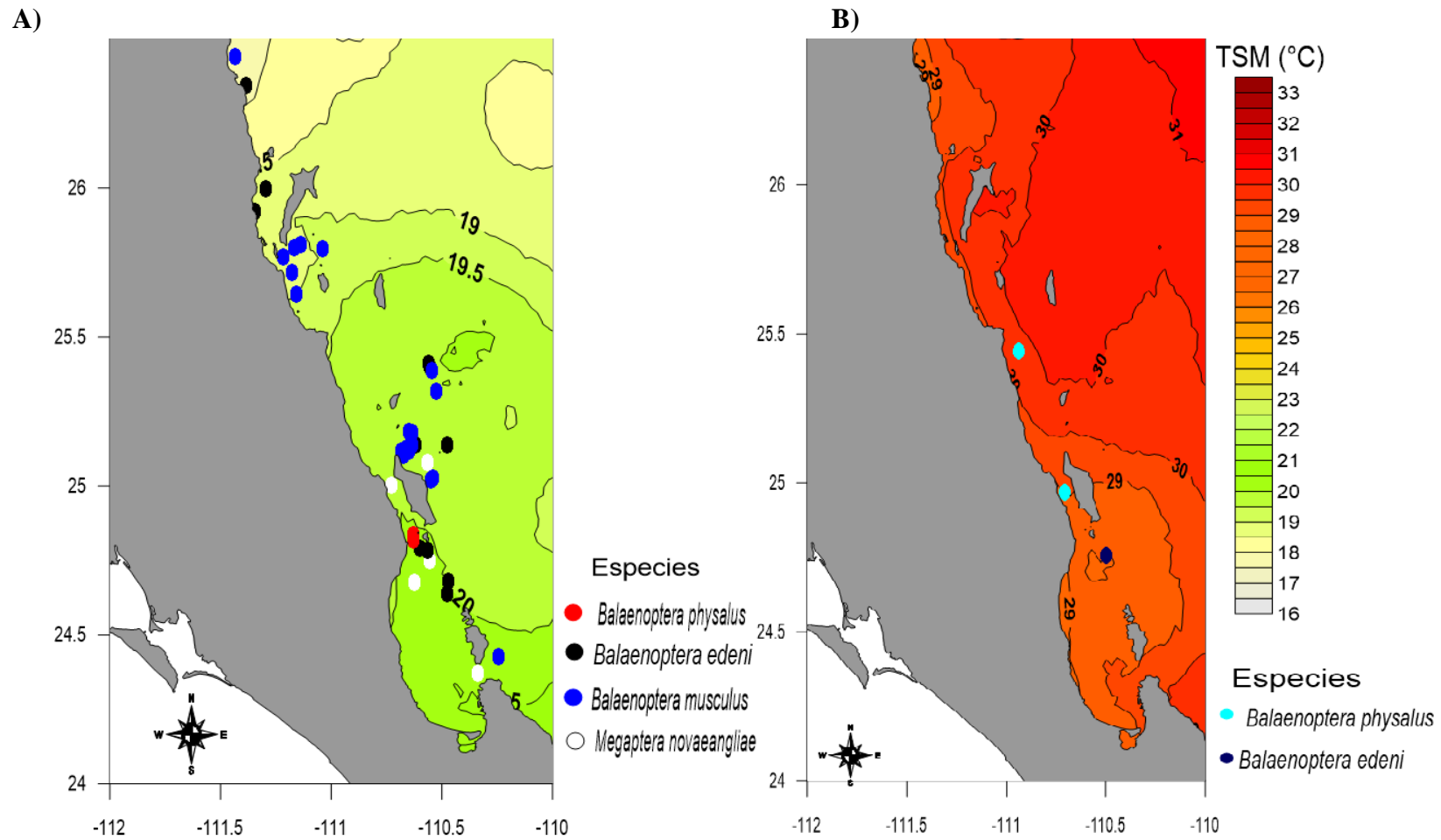
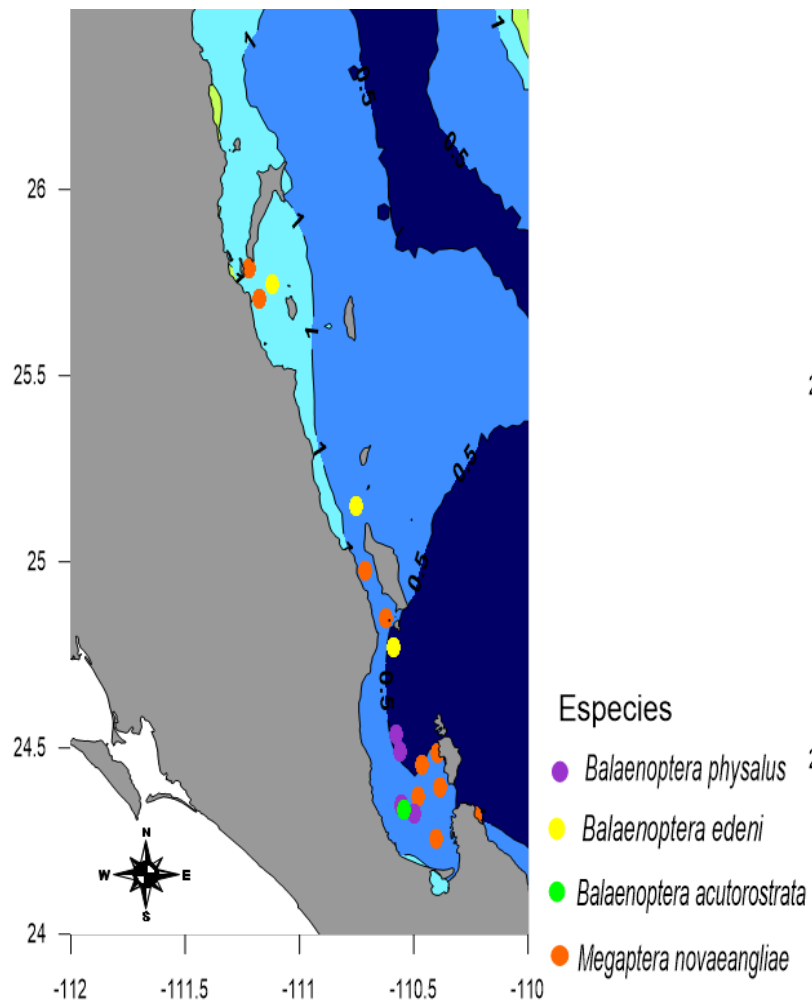


Figura 16. Distribución de Mysticetos relacionada a la TSM durante la temporada Fría (A) y Cálida (B) del 2004.

A)



B)

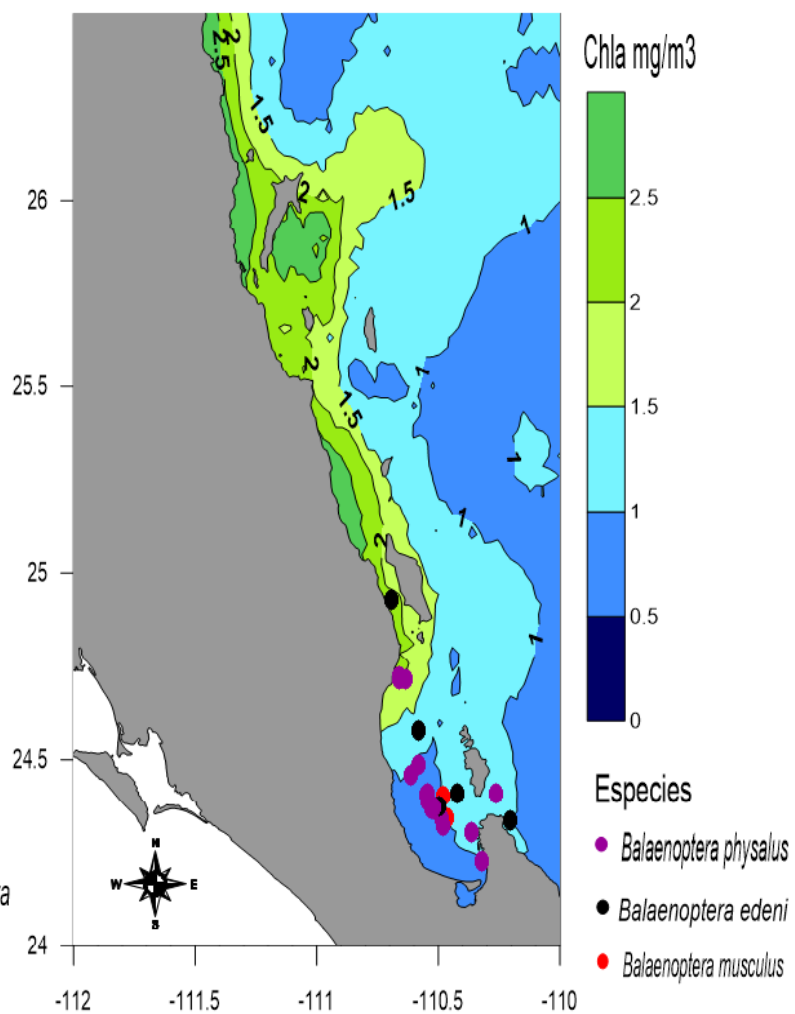


Figura 17. Distribución de Mysticetos relacionada a la Chla durante la temporada Fría (A) y Cálida (B) del 2005.

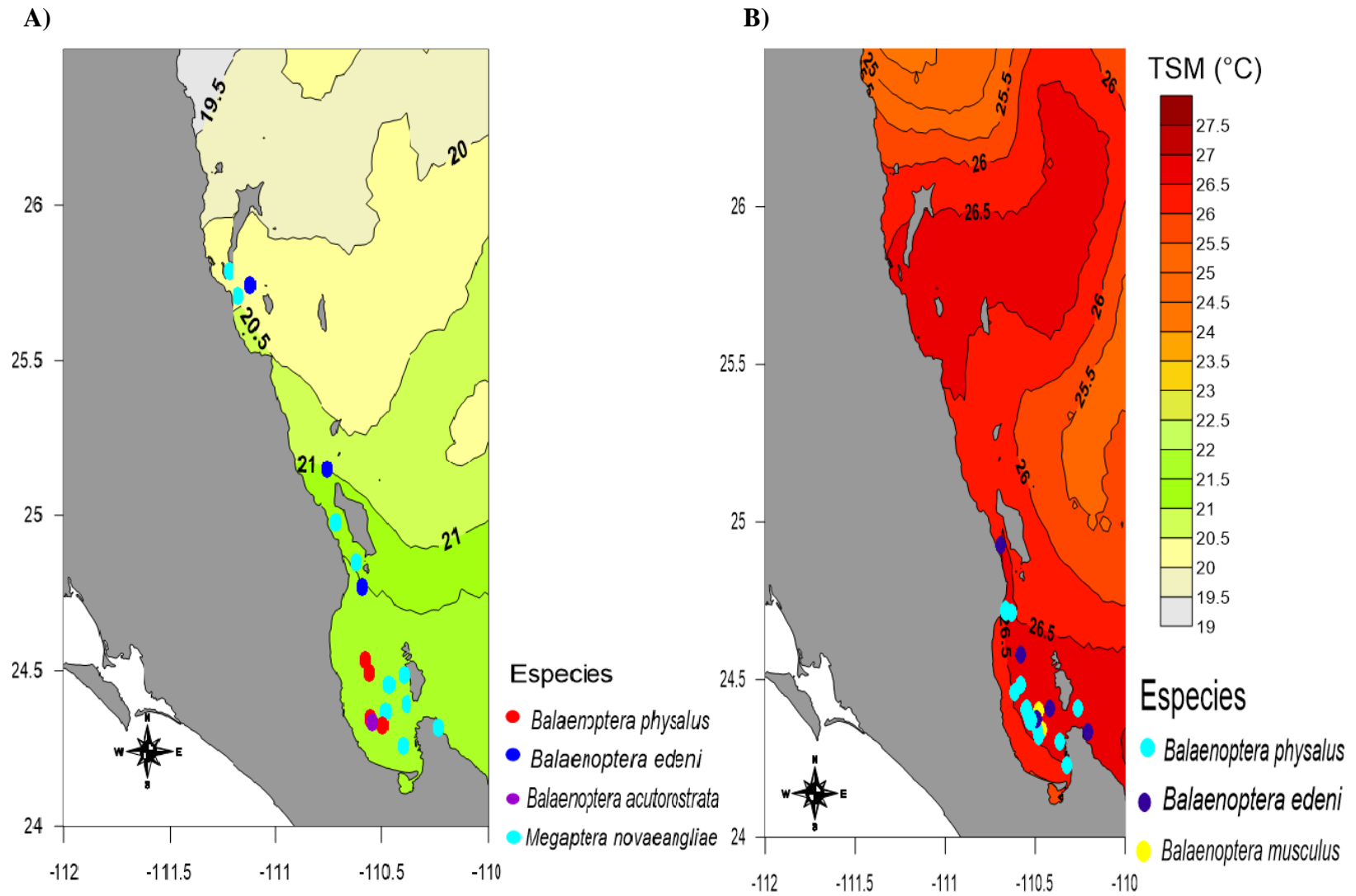


Figura 18. Distribución de Mysticetos relacionada a la TSM durante la temporada Fría (A) y Cálida (B) del 2005.

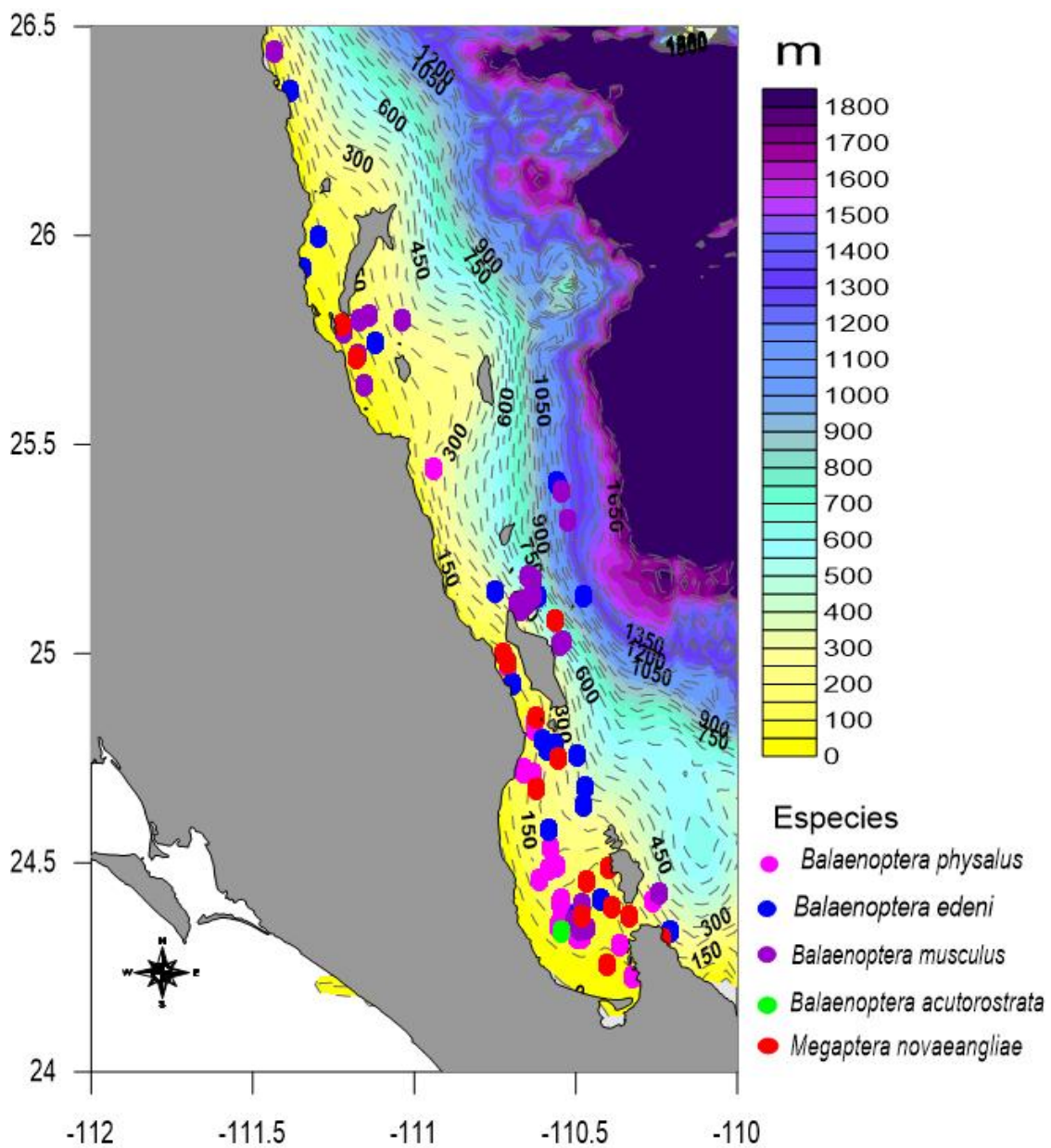


Figura 19. Distribución de los Mysticetos relacionada a la Batimetría

El análisis de la abundancia relativa de las ballenas sin distinguir entre especies con respecto a los parámetros ambientales, mostraron que para las temporadas F04 y C04, la abundancia mostró una correlación negativa significativa con la Chla. Durante la temporada F05 hubo una correlación positiva entre la abundancia y la batimetría. Finalmente, para la temporada C05 se encontró una correlación positiva con los parámetros de clorofila y batimetría con la abundancia y negativa con la temperatura (Tabla XIV).

La correlación entre la abundancia relativa de las especies, los parámetros ambientales y la estacionalidad, fue muy heterogénea. La ballena azul tuvo correlación positiva con la Chla en la estación fría de 2004, con la cálida en 2005, y con la TSM en 2005. El rorcual común sólo presentó correlación estadísticamente significativa con Chla en 2005 durante la estación cálida. La ballena jorobada únicamente tuvo correlación con significancia estadística con la batimetría. Por último los resultados indicaron que el rorcual tropical no presentó correlación con ninguna de las variables analizadas en ninguna de las estaciones (Tabla XV).

Tabla XIV. Correlación de Spearman entre las abundancias relativas de los mysticetos con variables ambientales durante las temporadas cálida y fría para ambos años de estudio.

Ab.Rel.	Chla	TSM	Bat.
F04	$r=-0.330$ $p=0.001$	$r=-0.074$ $p=0.466$	$r=-0.116$ $p=0.295$
C04	$r=-0.251$ $p=0.049$	$r=-0.043$ $p=0.726$	$r=-0.063$ $p=0.613$
F05	$r=0.114$ $p=0.236$	$r=0.046$ $p=0.624$	$r=0.263$ $p=0.005$
C05	$r=0.335$ $p=0.000$	$r=-0.259$ $p=0.004$	$r=0.205$ $p=0.025$

Tabla XV. Correlación de Spearman entre las abundancias relativas de cada especie encontrada con variables ambientales durante las temporadas cálida y fría para ambos años de estudio. Bat: Batimetría.

Especie	Temporada año	Chla F04	TSM F04	Chla C04	TSM C04	Chla F05	TSM F05	Chla C05	TSM C05	Bat.
R. común	F04	r=-0.081 <i>p</i> =0.429	r=0.058 <i>p</i> =0.566							r=0.120 <i>p</i> =0.235
	C04			r=-0.139 <i>p</i> =0.283	r=-0.113 <i>p</i> =0.371					r=0.069 <i>p</i> =0.582
	F05					r=0.162 <i>p</i> =0.092	r=0.103 <i>p</i> =0.279			r=0.107 <i>p</i> =0.263
	C05							r=0.189 <i>p</i>=0.041	r=-0.135 <i>p</i> =0.141	r=0.151 <i>p</i> =0.100
R. tropical	F04	r=-0.196 <i>p</i> =0.055	r=-0.033 <i>p</i> =0.744							r=-0.129 <i>p</i> =0.201
	C04			r=-.218 <i>p</i> =0.088	r=0.081 <i>p</i> =0.515					r=-0.202 <i>p</i> =0.104
	F05					r=-0.003 <i>p</i> =0.975	r=-0.018 <i>p</i> =0.850			r=0.109 <i>p</i> =0.253
	C05							r=0.071 <i>p</i> =0.446	r=-0.007 <i>p</i> =0.931	r=0.018 <i>p</i> =0.839
B. azul	F04	r=-0.223 <i>p</i>=0.028	r=-0.174 <i>p</i> =0.084							r=-0.104 <i>p</i> =0.305
	C05							r=0.301 <i>p</i>=0.001	r=-0.294 <i>p</i>=0.001	r=0.172 <i>p</i> =0.060
B. jorobada	F04	r=-0.028 <i>p</i> =0.781	r=0.056 <i>p</i> =0.575							r=0.084 <i>p</i> =0.407
	F05					r=0.007 <i>p</i> =0.938	r=-0.011 <i>p</i> =0.901			r=0.228 <i>p</i>=0.015

Discusión

Numerosos investigadores definen el hábitat de los cetáceos basándose en variables ambientales (Baumgartner 1995), las imágenes satelitales han sido utilizadas en los últimos años para este tipo de estudios con mamíferos marinos (Rubio-Cisneros 2002; Moncada-Cooley 2005; Salvadeo 2008; Pardo 2009), ya que poseen ventajas dada su amplia cobertura espacial y temporal, así como sus altos niveles de sensibilidad radiométrica y espectral, como es el caso del sensor MODIS (NOAA 2012).

Cualquier estudio que analice la abundancia y la distribución de los cetáceos debe considerar el esfuerzo de búsqueda, especialmente cuando se utiliza un patrón de búsqueda no sistemático como el realizado en esta investigación (Hooker *et al.* 1999). En el caso del presente trabajo, se consideraron los kilómetros recorridos por la embarcación para estimar la medida de abundancia relativa

Chávez-Andrade (2006), menciona que la elevada riqueza de cetáceos en el GC probablemente sea propiciada por cuatro razones principales: 1) elevadas tasas de producción primaria durante todo el año, las cuales sustentan tramas alimenticias complejas y productivas; 2) una gran diversidad de hábitats como resultado de la compleja topografía y oceanografía, lo que permite la presencia de especies tanto costeras como oceánicas; 3) características oceanográficas subtropicales, con aguas relativamente cálidas durante invierno (comparadas con las altas latitudes), las cuales son favorables para especies migratorias y residentes y 4) la alta variación estacional en la temperatura, producción primaria y la gran circulación oceánica entre las distintas masas de agua, que favorecen la proliferación y residencia de especies templadas, subtropicales y tropicales. Por otro lado investigaciones recientes dentro del área de estudio han reportado entre cuatro y siete especies de misticetos (Flores-Ramírez *et al.* 1996; Rubio-Cisneros 2002 y Pardo 2009), de las cuales dos no fueron observadas en el presente estudio, la ballena gris y la ballena de Sei. La diferencia en el número de especies registradas entre trabajos se pudo deber a distintos factores, como son la experiencia de los observadores en la identificación, diferencias en las condiciones oceanográficas, al período en el que se realizaron las navegaciones o al hecho de que existe una variación real en la presencia de especies en los distintos años. Los resultados coinciden con la idea de que en el área co-existen especies residentes como son los rorcuales común y tropical, y especies visitantes como las ballenas

Minke, azul y jorobada, que ingresan al área durante condiciones oceanográficas específicas (Urbán et al. 1997; Salvadeo 2008).

Al igual que en trabajos previos dentro del área (Flores-Ramírez *et al.* 1996; Rubio-Cisneros 2002) y en otras áreas del Pacífico mexicano, como Bahía de Banderas (Salinas y Bourillón 1988; Moncada-Cooley 2005), la riqueza de mysticetos presentó cambios estacionales, mostrando un aumento durante la temporada fría, relacionándose con la ocurrencia de especies migratorias (Tabla III). La mayoría de las comunidades naturales contienen muy pocas especies con grandes números de individuos que se denominan especies comunes y muchas especies representadas con pocos individuos, las denominadas especies raras (Odum 1972). En el caso de la región comprendida entre Bahía de La Paz y Bahía de Loreto, los resultados concuerdan con el hecho de que los rorcuales común y tropical se encuentran durante todo el año dentro del GC, apoyando lo ya demostrado por estudios moleculares que estas especies tienen poblaciones residentes (Leatherwood *et al.* 1988; Flores *et al.* 1996; Urbán 1997; Rice 1998; Bérubé *et al.* 2002). Por el contrario el resto de las especies registradas pueden considerarse como especies migratorias o raras dado que su presencia es estacional (Tabla IV). Se ha propuesto que las especies raras son determinantes en la alta riqueza específica de mysticetos encontrada en el GC (Flores et al. 1996). Los valores más altos de diversidad obtenidos con el índice de Shannon-Wiener y Simpson para el invierno (Tabla V), coinciden con lo encontrado por otros autores para la comunidad de cetáceos de Bahía de La Paz (Flores *et al.* 1996; Rubio-Cisneros 2002).

Análisis temporal

Smith y colaboradores (1986), así como Munger *et al.* (2009), mencionan que los cetáceos están asociados con aguas frías y se distribuyen en las zonas donde hay una mayor concentración de clorofila. Sin embargo, la abundancia relativa de los mysticetos tuvo una relación tanto directa como inversa de la clorofila, e inversa a con la TSM, siendo mayor durante las temporadas frías y una leve repuntada en el mes de mayo con relación a la Chla (Fig. 13 y 14). Establecer una asociación solamente con parámetros ambientales es insuficiente, ya que varían a través del tiempo, y por lo tanto, la ubicación y extensión espacial del hábitat de cada especie puede ser modificado. Por lo que es necesario tomar en cuenta otros factores como las corrientes, surgencias, remolinos, aportación de nutrientes, etc, que proveen alimentación constante a los cetáceos a través de las interacciones tróficas locales (Baumgartner *et al.* 2001).

La presencia de los rorcuales común y tropical fueron constantes (Fig. 9), sin mostrar diferencias significativas en la abundancia relativa. Vidal y colaboradores (1993), mencionan que en el GC el rorcual común fue el mysticeto con más avistamientos durante todas las temporadas y la mayoría de meses, así como el más abundante y ampliamente distribuido, y que sus picos de abundancia son durante la estación fría, disminuyendo un poco en el verano, lo cual coincidió con lo encontrado en este trabajo sugiriendo un patrón que se mantiene en lo general a través del tiempo. Lo anterior también concuerda con la evidencia que sugiere la existencia de una población residente y aislada del rorcual común dentro del GC (Tershy *et al.* 1993; Bérburé *et al.* 2002).

Lo documentado para el rorcual tropical en este trabajo coincide con lo propuesto por Urbán y Flores (1996), quienes mencionan que en Bahía de La Paz, la abundancia de esta especie parece no estar correlacionada con la temperatura del agua en una escala estacional. Estos rorcuales parecen estar presentes todo el año, siendo más abundantes al inicio de la temporada templada, con un incremento de nuevo durante el mes de mayo, en la porción Suroccidental del GC. Se ha propuesto que la presencia anual de esta especie se debe a su ecología (Dizon *et al.* 1995; Lockyer y Brown 1981; Urbán y Flores 1996), la cual es influenciada por los cambios en la disponibilidad de presas relacionado con los procesos oceánicos.

La presencia de la ballena azul dentro del GC está relacionada principalmente con sus hábitos migratorios y es durante la temporada fría cuando presenta mayor abundancia, no obstante se han reportado avistamientos de esta especie durante la temporada cálida (Sears 1987; Gendron 1990; Vidal *et al.* 1993). Lo anterior coincide con lo encontrado en este trabajo durante ambas temporadas, ya que durante la fría del 2004 fue la especie más abundante teniendo en el mes de marzo un total de 24 individuos de los 35 que se documentaron, coincidiendo con los picos de mayor productividad (Fig. 15 A), y al inicio de la temporada C05 se observaron siete individuos.

Por otro lado, se observaron correlaciones entre esta especie, la Chla y la TSM durante las temporadas cálidas y frías. Durante la fría del 2004, la correlación fue negativa con la Chla (Tabla XV); Chávez-Andrade (2006), encontró el mismo patrón en el GC durante la temporada fría del 2005, proponiendo que la ballena azul tendió a habitar aguas no asociadas a altas concentraciones de clorofila sino a aguas con elevadas abundancias de eufáusidos. Munger y colaboradores (2009), documentaron en el Sur de California cambios en la distribución de esta especie, relacionándolo también con la disponibilidad y distribución del zooplancton, y obtuvieron una correlación negativa con la temperatura, como lo sucedido durante la temporada C05 del presente trabajo.

La ballena Minke se encuentra en todos los océanos del mundo, tiene marcada preferencia por aguas templadas y frías, y es poco frecuente en aguas tropicales (Urbán *et al.* 1997). En el GC, es poco frecuente y la mayoría de sus registros corresponden al Canal de Ballenas donde, de acuerdo a Tershy *et al.* (1990), se les puede encontrar preferentemente durante la primavera, aunque fueron observadas durante todo el año, con una tasa relativamente alta de avistamiento. Por otro lado, Flores *et al.* (1996), encontraron que la ballena Minke se presentó esporádicamente en la transición en la estaciones entre las estaciones cálida y templada; de igual forma, en el presente estudio se obtuvo un registro de un individuo durante el último día de mayo de 2005 (Tabla IV) a una temperatura de 22°C (Fig. 18 A). Debido a que su alimentación se basa en peces pelágicos menores, eufáusidos y copépodos (Urbán *et al.* 1997), se esperaría que durante la temporada fría se encontraran avistamientos, aunque raros, de esta especie, ya que como se mencionó, es durante esta época cuando hay una mayor concentración de alimento.

Durante el 2005, en la región de la Corriente de California (CCR por sus siglas en inglés), se presentaron bloqueos de vientos del sureste a lo largo de la costa durante primavera y verano, afectando la distribución y abundancia de las comunidades neotónicas expandiendo hacia el norte los rangos de hábitat de desove de especies como la sardina y anchoveta (Brodeur *et al.* 2006). Probablemente algunos rorcuales migraron hacia el sur ingresando a la bahía durante la primavera; el hecho de tener un solo individuo de ballena Minke no significa la ausencia total en la zona, por lo que no se puede descartar la posibilidad de que las fechas en que se realizaron los muestreos, no hayan coincidido con la presencia de dicha ballena, o que hayan estado en zonas fuera del área de estudio.

Análisis espacial

La estructura física del área de estudio podría determinar cambios notables en la estructura comunitaria de los cetáceos, y quedó definida por tres zonas con características oceanográficas contrastantes y una posible interacción entre condiciones locales y estacionales, determinando así una heterogeneidad ambiental hasta cierto punto compleja, la cual es influenciada por la entrada y salida estacional de las masas del Agua del Golfo de California, Agua Superficial Ecuatorial y Agua Subsuperficial Subtropical (Moncada-Cooley 2005; Álvarez-Borrogo 2010).

Brusca (2005), divide el GC en tres regiones de acuerdo a la diversidad de fauna presente, Norte, Centro y Sur de manera ascendente. La zona inferior de este trabajo, Bahía de La Paz, se ubica dentro de la región Centro, área donde la riqueza (Tabla IX) y abundancia (Fig. 11) fue mayor para todo el trabajo, sobre todo durante las temporadas frías, patrón encontrado también por Flores y colaboradores (1996). Bahía de La Paz presenta una productividad y disponibilidad espacial y temporal alta de alimento, determinado por la influencia de procesos oceanográficos, permitiendo que sea el área biológicamente más rica en comparación al Golfo circundante durante el periodo templado (Flores *et al.* 1996; Pardo 2009). Esto se vio reflejado con los índices de Shannon-Wiener y Simpson, la temporada fría del 2004 exhibió la mayor diversidad en la zona inferior debido a la similitud de la distribución de los individuos en las especies, y la menor en la zona media, por la predominancia de 22 individuos de ballena azul (Tabla X).

Bahía de La Paz está caracterizada por ser un Centro Biológico Activo (BAC por sus siglas en inglés); en términos generales, un BAC es definido como una región relativamente pequeña en los océanos cuya característica más relevante es la alta producción biológica, que contrasta con la de masas de agua adyacente, y que trasciende dentro y hacia otros ecosistemas. Esto motiva la existencia de importantes concentraciones de biomasa de organismos, muchos de ellos de importancia comercial (Arreguín-Sánchez 2000). Esto significa que en La Bahía de La Paz haya la presencia de algunas ballenas como el rorcual común y tropical y la ballena azul durante los meses cálidos (Fig. 12). La población del rorcual común en el GC no tiene una distribución uniforme en el espacio, ni a través del tiempo, sin embargo, el área comprendida entre Bahía de La Paz e Isla del

Carmen, es una de las zonas con mayor concentración de organismos de esta especie (Vidal *et al.* 1993). Esta distribución se observó en el presente estudio, aunque con una mayor abundancia relativa en el área centro y sureste de Bahía de La Paz (Fig. 10) como lo reportado por Del Ángel-Rodríguez (1997) y Díaz-Guzmán (2006), quienes mencionan que es igualmente abundante durante el invierno y el verano.

El patrón de presencia y movimiento interanual del rorcual tropical en el GC, parece estar relacionado con la presencia de la sardina de monterrey (*Sardinops sagax*), inferida a partir de las capturas comerciales en el Golfo (Salvadeo 2011). En la región suroeste del GC y durante invierno, se espera la presencia de sardina en la Bahía de acuerdo a su patrón de migración dentro del Golfo, ya que es cuando los adultos se dirigen hacia el sur para desovar; en verano las sardinias adultas tienden a migrar hacia el norte, y los huevecillos y larvas son transportados hacia ésta misma región. Así, a finales de verano, la mayoría de las sardinias están concentradas en las aguas relativamente frías de las Grandes Islas (Lluch-Belda *et al.* 1986; Lluch-Belda *et al.* 2003). Por otro lado, Félix-Uraga y colaboradores (2004), proponen una posible presencia de un stock de sardinias proveniente del Pacífico durante la primavera e inicios de verano, si esto es cierto, podría explicar la aún presencia del rorcual tropical en la zona inferior durante la temporada cálida (Fig. 12), en lugar de seguir la migración de las sardinias hacia el norte del golfo.

La abundancia y distribución de la ballena azul varía en los meses durante su presencia en el GC y sus movimientos son de norte a sur a finales de invierno y principios de primavera (Del Ángel-Rodríguez 1997). Leatherwood *et al.* (1988), reportan la presencia de ballena azul en el Golfo de California y particularmente en la zona de las islas del Carmen y San José, misma distribución encontrada en este trabajo (figura 10). El área comprendida entre esta zona y Bahía de La Paz, se caracteriza por presentar una gran cantidad de desniveles debido a la presencia de varias islas en donde se observan con mayor frecuencia agregaciones de eufáusidos, y por ser la región más estable estacionalmente en cuanto a estructura de la comunidad, debido a la presencia de especies de eufáusidos de origen templado y tropical, en especial de *N. simplex*, presa de la ballena azul (Rosas-Cota 1977; Gendron 1990). El hecho de que la ballena azul utilice esta área como sitio de alimentación se basa en: a) observación de heces fecales de las ballenas, b) observación directa de alimento superficial y c) relación de frecuencia del número de

ballenas en función de la presencia de agregaciones superficiales de *N. simplex*; es decir, las ballenas azules sólo están donde hay alimento. (Gendron 1990).

La profundidad es una característica del hábitat que también condiciona la distribución espacial de los cetáceos de acuerdo con sus adaptaciones y requerimientos particulares como ha sido demostrado por Chávez-Andrade (2006), Jiménez-López (2006) y Troyo (2008). La ballena jorobada fue la única especie que mostró una correlación con la batimetría, encontrándose entre los 40.6 como mínimo y 271 metros como máximo (Fig. 19), coincidiendo con lo reportado por Jiménez-López (2006), quien menciona que la profundidad es una variable indicadora sobre la distribución de las diferentes agrupaciones de las ballenas jorobadas, ubicándose cerca de la costa en aguas alrededor de los 200 metros de profundidad, principalmente las madres con cría y madres con cría y escolta.

La presencia de la ballena jorobada en el sur del GC, cómo ya se explicó, está relacionada con actividades de reproducción que todos los años se llevan a cabo en costas del sur de Baja California, es por esto que la abundancia relativa en la zona inferior fue mayor en comparación a las otras zonas durante la temporada fría (Fig. 12). Por otro lado, Gendron y Urbán (1993), reportaron la presencia de esta especie en el área de Loreto durante el mes de marzo mostrando un comportamiento alimentario, y fue asociada a enjambres de *N. simplex*. En el mes de abril se registró un individuo de jorobada en la misma área, concordando con la máxima abundancia y el periodo reproductivo de este eufáusido, por lo que se podría suponer que se estaba alimentando. El grado en que las ballenas barbadas se alimenten durante el invierno en latitudes más bajas, probablemente varía de acuerdo a la localidad y disponibilidad de alimentos; lo que coincide con que la producción primaria y secundaria en el GC durante el periodo de invierno-primavera son particularmente altas para una región subtropical (Gendron y Urbán 1993).

Las ballenas barbadas deben alimentarse en áreas de alta concentración de presas, por lo que se concentran en tres regiones oceánicas altamente productivas tales como los frentes oceánicos, los remolinos y las áreas de surgencias como las costas de Baja California y Perú, las Islas Galápagos y el Domo de Costa Rica, que a su vez rigen la distribución y disponibilidad de las presas preferenciales de cada especie de cetáceo

(Gaskin, 1976). Alguna relación negativa de la abundancia de misticetos hacia áreas frontales puede deberse a que: a) dentro del área de estudio no son los factores que determinan la agregación de presas, b) el alimento está más homogéneamente distribuido y no se está segregando en estructuras de mesoescala y c) el presente trabajo se llevó a cabo en un área más costera que oceánica y los frentes térmicos son áreas importantes en regiones oceánicas (Salvadeo 2008). Por último, es importante mencionar el alcance del presente estudio, ya que los cetáceos son organismos altamente móviles y no restringen su distribución a intervalos de variables, sino que tienden a ocupar hábitats temporales que permiten cubrir sus requerimientos biológicos (Paniagua 2009).

Conclusiones

- ✓ El área de estudio presenta una estacionalidad marcada de dos temporadas, la cálida (junio-noviembre) y la fría (diciembre-mayo), con un pico de Chla en febrero y uno de menor intensidad en mayo-junio, y para la TSM la menor en febrero y la máxima en septiembre.
- ✓ La distribución de misticetos presente en el área de estudio es similar a la encontrada en ésta y otras áreas del GC. Es una comunidad abierta con una riqueza de cinco especies, donde las raras son las migratorias, en este caso la ballena azul, ballena jorobada y ballena Minke, que se presentan en el área de estudio durante condiciones ambientales específicas. Las especies comunes fueron los rorcuales común y tropical, teniendo ambas, población residente en el GC.
- ✓ No hubo un patrón claro de correlación entre las abundancias de las especies y los parámetros ambientales, lo que sugiere que la distribución y abundancia de las especies de misticetos encontradas en el presente trabajo es más compleja que el análisis de una sola variable, si no el conjunto de ellas.
- ✓ La zona inferior fue la que presentó una mayor abundancia relativa durante ambas temporadas, esto gracias a las condiciones oceanográficas que definen a La Bahía de La Paz como una zona BAC.

Referencias

- Álvarez-Borrego S. y R. A. Schwartzlose. 1979. Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 1 y 2: 43-63 pp.
- Álvarez-Borrego S. 2010. Physical, Chemical and Biological Oceanography of the Gulf of California. En: The Gulf of California. Brusca R.C. Ch. Conte y M.A. Dimmit (Eds). The University of Arizona Press. 354 pp.
- ANÓNIMO. 2000. Programa de Manejo. Parque Nacional Bahía de Loreto. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México. 54 pp.
- Arreguín-Sánchez F. 2000. Capítulo 2 Modelación de flujos de biomasa en centros de actividad biológica. En: Lluch-Belda D., J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (Eds). Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México. 357 pp.
- Barlow J. 1994. Abundance of Large Whales in California Coastal Waters: A Comparison of Ship Surveys in 1979/80 and in 1991. *Rep. Int. Whal. Commn.* 44: 399-406 pp.
- Baumgartner M.F. 1995. The distribution of select species of cetaceans in the northern Gulf of Mexico in relation observed environmental variables. Tesis de Maestría. Graduated School of the University of Southern Mississippi. 90 pp.
- Baumgartner M. F., K. D. Mullin, L. N. May y T. D. Leming. 2001. Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. *Fish. Bull.* 99: 219-239 pp.
- Bérburé M., J. Urbán-Ramírez, A.E. Dizon, R. L. Brownell y P. J. Palsboll. 2002. Genetic identification of a small and highly isolated population of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Sea of Cortez, Mexico. *Conservation genetics*. 3: 183-190 pp.
- Brodeur D. R., S. Ralston, R. L. Emmett, M. Trudel, T. D. Auth y A. J. Phillips. 2006. Anomalous pelagic nekton abundance, distribution, and apparent recruitment in the northern California Current in 2004 and 2005. *Geophysical Research Letters*. 33: 1-5 pp.
- Brusca C. R., T. L. Findley, A. P. Hastings, E. M. Hendrickx, T. J. Cosio y M. A. Van Der Heiden. 2005. En prensa. Macrofaunal Diversity in the Gulf of California.

- Cervantes-Duarte, R., G. Verdugo-Díaz y J.E. Valdéz-Holguín. 2005. Modelo estacional de producción primaria estimada mediante fluorescencia natural en una región costera del Golfo de California, México. *Hidrobiológica*. (15): 79-87 pp.
- Chávez-Andrade. M. 2006. Caracterización del hábitat de grandes cetáceos del Golfo de California durante invierno. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 80 pp.
- Cruz-Orozco, R., A. Mendoza-Maravillas y C. Martínez-Noriega. 1990. Profundidades y formas de la Bahía de La Paz. Geonotas. (1). En: Obeso-Niebla, G. Shirasago, J.H. Gaviño-Rodríguez, H. Obeso-Huerta, E.L. Pérez-Lezama y A.R. Jiménez-Illesca (Eds). Hidrografía en la Boca Norte de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*.
- Cruz-Orozco, R., C. Martínez-Noriega y A. Mendoza-Maravillas. 1996. Batimetría y sedimentos de la Bahía de La Paz, B.C.S. *Oceánides*. (1): 21-27 pp.
- Del Ángel-Rodríguez J.A. 1997. Hábitos alimentarios y distribución espacio-temporal de los rorcuales común (*Balaenoptera physalus*) y azul (*Balaenoptera musculus*) en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 68 pp.
- De Silva D. R. 1997. Abundancia y distribución de los eufáusidos y producción larvaria de *Nyctiphanes simplex* Hansen, en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 115 pp.
- Diario Oficial de la Federación. 6 de marzo de 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección-ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio. Lista de especies de riesgo.

- Díaz-Guzmán C F. 2006. Abundancia y movimientos del rorcual común, *Balaenoptera physalus*, en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 49 pp.
- Dizon A. E., C. A. Lux, R. G. Leduc, J. Urbán, M. Henshaew y R. L. Brownell. 1995. En: Guerrero- Ruíz M., J. Urbán-Ramírez y L. Rojas-Bracho (Eds.). Las ballenas del Golfo de California. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). México. 537 pp.
- Félix-Uraga, R., V.M. Gómez-Muñoz, C. Quiñónez-Velázquez, F.N. Melo-Barrera & W. García-Franco. 2004. On the existence of pacific sardine groups off the west coast of Baja California and Southern California. CalCOFI Report. 45: 146-151 pp.
- Ferguson, M. C. 2005. Cetacean Population Density in the Eastern Pacific Ocean: Analyzing Patterns with Predictive Spatial Models. Tesis de Doctorado. Scripps.
- Flores-Ramírez S, R. J. Urbán, V. G. Villareal, J. R. Valles. 1996. Cambios espaciales y temporales de la estructura comunitaria de los cetáceos en la Bahía de La Paz, B. C. S., México (1988-1991). *Ciencias Marinas*. 22: 151-173 pp.
- Frisch J. A. 2009. La ballena jorobada y la observación de ballenas en Bahía de Banderas. CONABIO. *Biodiversitas*. 86: 1-6 pp.
- Forcada, J. 2002. Distribution, 327-333. En: Perrin, W.F., B. Würsig y J.G.M. Thewissen (Eds.) *Encyclopedia of Marine Mammals*, Academic Press. Estados Unidos de América.
- Gaskin D. E. 1976. The evolution, zoogeography and ecology of cetacea. *Oceanogr. Mar. Biol.* 14: 247-346 pp.
- Gendron, D. 1990. Relación entre la abundancia de eufáusidos y de ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) en el Golfo de California. Tesis de maestría, Cicimar, Instituto Politécnico Nacional, La Paz. 64 pp.
- Gendron L. D. y Urbá R. J. 1993. Evidence of feeding by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Baja California breeding ground, Mexico. *Marine Mammal Science*. (1): 76-81 pp.
- Guerrero- Ruíz M., J. Urbán-Ramírez y L. Rojas-Bracho. 2006. Las ballenas del Golfo de California. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). México. 537 pp.

- Hooker K. S., H. Whitehead y S. Gowans. 1999. Marine Protected Area Design and the Spatial and Temporal Distribution of Cetaceans in a Submarine Canyon. *Conservation Biology*. 3: 592-602 pp.
- Holguin Q. E. O., M. F. J. González, M. F. Solís y P. E. F. Félix. 2008. Variación espacio-temporal de Scleractinia, Gorgonacea, Gastropoda, Bivalvia, Cephalopoda, Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea, de fondos someros de la isla San José, Golfo de California. *Rev. Biol. Trop.* 3: 1189-1199 pp.
- Jaume S. M. S. 2004. Hábitos alimentarios del rorcual común *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California mediante el uso de isótopos estables de nitrógeno y carbono. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 78 pp.
- Jiménez-López, M.E. 2006. Uso de hábitat de madres con cría y machos cantores de ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), en la región de los cabos, Baja California Sur, durante el invierno 2004. Tesis de maestro en Ciencias. U.A.B.C.S., La Paz, B.C.S. 72 pp.
- Johnson H. J. y Wolman A. A. 1984. The Humpback Whale, *Megaptera novaeangliae*. *Marine Fisheries Review*. (4): 30-37 pp.
- Krebs C. J. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. Editorial HARLA. España. 753 pp.
- Ladrón de Guevara P. P. 2001. Distribución temporal y estructura de las agrupaciones de los rorcuales jorobados (*Megapeta novaeangliae*) en dos áreas de reproducción del Pacífico Mexicano. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 140 pp.
- Lanza-Espino, G. 1991. Oceanografía de los mares mexicanos. AGT Editor. México. 569pp.
- Leatherwood S, Reeves RR, Perrin WF, Evans WE. 1988. Ballenas, delfines y marsopas del Pacífico nororiental y de las aguas árticas adyacentes: Una guía para su identificación. Comisión Interamericana del Atún Tropical (IATTC), Inf. Esp. No. 8, La Jolla, California, 245 pp
- Lluch-Cota S. E. 2000. Costal upwelling in the eastern Gulf of California. *Oceanologica Acta*. 6: 131-140 pp.

- Lluch-Cota S. E., E. A. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurióles-Gamboa, J. J. Bautista-Romero, R. C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortés-Altamirano, P. De-Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, M. E. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-Cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D. B. Lluch-Cota, J. López-Martínez, S. G. Marinone, M. O. Nevárez-Martínez, S. Ortega-García, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M. Ramírez-Rodríguez, C. A. Salinas-Zavala, R. A. Schwartzlose y A. P. Sierra Beltrán. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography*. 1: 1-26 pp.
- Lockyer C.H. y Brown S.G. 1981. The migration of whales. 105-138 pp. En: Aidley D.J. (Ed.). Animal migration. University of Cambridge. Estado Unidos de América.
- Martínez-López A., R. Cervantes-Duarte, A. Reyes-Salinas y J. E. Valez-Holguín. 2001. Cambio estacional de clorofila a en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. *Hidrobiología*. 1: 45-52 pp.
- Mann K.H y J.R.N. Lazier. 1996. Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans. Editorial Blackwell Science. Boston. 394 pp.
- Moncada-Cooley R. 2005. Cambio espacio temporal de la estructura comunitaria de los cetáceos de Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México 1994-1996. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 50 pp.
- Monteforte S. M. 2005. Ecología, biología y cultivo extensivo de la Madreperla de Calafia, *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856), y la Concha Nácar Arcoiris, *Pteria sterna* (Gould 1852) en Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. 132 pp.
- Moreno C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza. 84 pp.
- Munger M. L., D. Camacho, A. Havron, G. Campbell, J. Calambokidis, A. Douglas y J. Hildebrand. 2009. Baleen whale distribution relative to surface temperature and zooplankton abundance off southern California, 2004-2008. *CalCOFI Rep.* 50: 155-168 pp.
- Nasu, K. 1966. Fishery oceanography study on the baleen whaling grounds. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.* Tokyo, 20: 157-209 pp.

- NOAA. 2012. <http://www.noaa.gov/satellites.html>
- Odum E.P. 1972. Ecología. Editorial Mc Graw Hill Interamericana. México, D. F. 619 pp.
- Paniagua 2009. Caracterización del hábitat de los cetáceos comunes en el Golfo de California durante julio-agosto 2007. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 77 pp.
- Pardo A. M. 1999. Condiciones fisicoquímicas y biológicas que modulan la abundancia de cetáceos sobre Cuenca Alfonso, Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 101 pp.
- Pegau S. W., E. Boss y A. Martínez. 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. *Geophysical research letters*. 9: 1-3 pp.
- Reilly B.S. y Thayer G.V. 1990. Blue whale (*Balaenoptera musculus*) distribution in the Eastern Tropical Pacific. *Marine Mammal Science*.6: 265-277 pp.
- Reyes-Salinas A. 1999. Factores que controlan la productividad primaria en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 112 pp.
- Reyes-Salinas A., Cervantes-Duarte R., Morales-Pérez R. A. y Valez-Holguín J. E. 2003. Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de La Paz, B. C. S. *Hidrobiológica*. 2: 103-110 pp.
- Rice W. D. 1998. Marine Mammals of the World. Systematics and Distributions. *The Society for Marine Mammalogy*. Special Publication No. 4, Allen Press Inc, Lawrence, Kansas. 231pp.
- Rice 2002. *Baleen*. 61-72. En: Perrin F. W., B. B. Würsig y J. G. M. Thewissen (Eds). Encyclopedia of Marine Mammals. Editorial ACADEMIC PRESS. Estados Unidos de América.
- Robles Gil-Mestre S. 1998. El clima de la ciudad de La Paz, B.C.S. Tesis de Maestría. UNAM. México. 233 pp.
- Robles Gil-Mestre y S. G. Marinone. 1987. Seasonal and interannual thermohaline variability in the Guaymas Basin in the Gulf of California. *Cont. Shelf Res*. 7: 715–733 pp.

- Roden G. I. 1964. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. 21-45. En: Guerrero-Ruiz. M., J. Urbán-Ramírez y L. Rojas-Bracho. Las ballenas del Golfo de California. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Rosas-Cota J. 1977. Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 metros, durante las estaciones de invierno y verano. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports 19:89-106 pp.
- Rubio-Cisneros N.T. 2002. Dinámica de la estructura comunitaria de misticetos en Bahía de La Paz, B.C.S., México (1988-1995). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 52 pp.
- Salinas Z.M. y F. Bourillón. 1988. Taxonomía, diversidad y distribución de los cetáceos de la Bahía de Banderas México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 211 pp.
- Salinas V. J. C. 1999. Distribución espacio-temporal y abundancia relativa del rorcual jorobado, *Megaptera novaeangliae* (Borowki 1781), en las aguas adyacentes a Los Cabos, B.C.S., México 1989-1993. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. La Paz. 56 pp.
- Salvadeo Ch.J. 2008. Análisis de la comunidad de odontocetos y la relación con su ambiente, en el extremo sur-occidental del Golfo de California, México (2003-2006). Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 63 pp.
- Salvadeo Ch.J., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota y M. Mercuri. 2007. Review of Long Term Macro-Fauna Movement by Multi-Decadal Warming Trends in the Northeastern Pacific. *Climate Change-Geophysical Foundations and Ecological Effects*. 11: 217-230 pp.
- Salvadeo Ch., A. Gómez-Gallardo U., D. Lluch-Belda y J. Urbán-Ramírez. 2009. The odontocete community and its environment in the southwestern Gulf of California. *Lat. Am. J. Aquat. Mamm.* 71: 23-32 pp.
- Salvadeo Ch.J., S. Flores-Ramírez, A. Gómez-Gallardo U., D. Lluch-Belda, S. Jaume-

- Schinkel y J. Urbán-Ramírez. 2011. El rorcual de Bryde (*Balaenoptera edeni*) en el suroeste del Golfo de California: su relación con la variabilidad del ENOS y disponibilidad de presas. *Ciencias Marinas*. 37: 215-225 pp.
- Sears R. 1987. The photographic identification of individual blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Sea of Cortez. *Cetus*. 1: 14-17 pp.
- Smith R. C., P. Dustan, K. S. Basker y E. A. Dunlap. 1986. Distribution of cetaceans and sea-surface chlorophyll concentrations in the California Current. *Marine Biology*. 91: 385- 401 pp.
- Soto-Mardones L., S. G. Marinone y L. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 1: 1-30 pp.
- Tershy R. B., D. Breese y S. C. Strong. 1990. Abundance, Seasonal Distribution and Population Composition of Balaenopterid Whales in the Canal de ballenas, Gulf of California, Mexico. *Rep. Int. Whal. Commn. (Special issue)* 12: 369-375 pp.
- Tershy R. B., D. Breese y S. Álvarez-Borrego. 1991. Increase in cetacean and seabird number in the Canal de Ballenas during El Niño-Southern Oscillation event. *Marine Ecology Progress Series*. 69: 299-302 pp.
- Tershy R.B. 1992. Body size, habitat use, and social behavior of Balaenoptera whales in the Gulf of California. *Journal of Mammalogy*. 73: 477-486 pp.
- Tershy R. B., J. Urbán-Ramírez, D. Breese, L. Rojas-Bracho y Ll. T. Findley. 1993. Are fin whales resident to the Gulf of California? *Rev. Inv. Cient.* 1: 69-72 pp.
- Townsend, C.H. 1935. The distribution of certain whales as shown by logbook records of American whalerships. *Zoologica*. 19: 1-50 pp.
- Troyo V. B. 2008. Estructura comunitaria de los cetáceos en el extremo suroccidental del Golfo de California durante el 2005. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Marinas y Costeras. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 72 pp.
- Uda M. 1954. Studies of the relation between the whaling grounds and the hydrographic conditions (I). En: Gregr J. E. y Trites W. A. Predictions of critical habitat for five whale species in the waters of coastal British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*
- Urbán R. J. y R. S. Flores. 1996. A note on Bryde's Whales (*Balaenoptera edeni*) in

- the Gulf of California, Mexico. *Rep. Int. Whal. Commn. (Special issue)*. 46: 453-457 pp.
- Urbán Ramírez, J. 1997. El rorcual común *Balaenoptera physalus*, en el Golfo de California, México. Universidad Autónoma de Baja California. Sur. Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar. Informe final SNIB- CONABIO proyecto No. B040. México D. F.
- Urbán R. J., A. Gómez-Gallardo U., M. Palmeros-Rodríguez y G. Velázquez-Chávez. 1997. Los mamíferos marinos de la Bahía de La Paz, B.C.S. En: La Bahía de la Paz, investigación y conservación. Urbán R., J. y M. Ramírez R (Eds). UABCS-SCRIPPS. México. 345 pp.
- Velázquez-Abunader J. I. 2005. Biología reproductiva de la langosta azul *Panulirus Inflatus* (Bouvier, 1985) en el parque nacional “Bahía de Loreto”, Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 90 pp.
- Vidal O. L. T. Findley y S. Leatherwood. 1993. Annotated Checklist of the Marine Mammals of the Gulf of California. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History*. 28: 9-10 pp.
- Wade R. P. y T. Gerrodette. 1993. Estimates of Cetacean Abundance and Distribution in the Eastern Tropical Pacific. *Rep. Int. Whal. Commn.* 43: 477-493 pp.
- Zavala-Hernández V.I. 1996. Distribución de *Balaenoptera musculus* y *Balaenoptera physalus* en función de algunos factores físicos, en la zona comprendida entre Bahía Magdalena y Punta Concepción, Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura. ENEP-Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 57 pp.

