



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE LOS
CETÁCEOS COMUNES EN EL GOLFO DE
CALIFORNIA DURANTE JULIO-AGOSTO
2007**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE
RECURSOS MARINOS**

Presenta:

Biól. Aurora Paniagua Mendoza

La Paz, B. C. S., México

Diciembre 2009



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 19 del mes de Noviembre del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

“CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE LOS CETÁCEOS COMUNES EN EL GOLFO DE CALIFORNIA DURANTE JULIO – AGOSTO 2007”

Presentada por el alumno:

PANIAGUA
Apellido paterno

MENDOZA
materno

AURORA
nombre(s)

Con registro:

B	0	7	1	2	0	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DRA. DIANE GENDRON LANIEL

PRESIDENTE

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

SECRETARIO

MC. JOSÉ RICARDO PALOMARES GARCÍA

SEGUNDO VOCAL

DR. JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ
2°. DIRECTOR DE TESIS

TERCER VOCAL

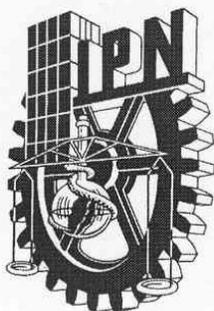
DRA. AIDA MARTÍNEZ LÓPEZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 20 del mes Noviembre del año 2009, el (la) que suscribe BIOL. AURORA PANIAGUA MENDOZA alumno(a) del

Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B071203 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DRA. DIANE GENDRON LANIEL y

DR. JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

“CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT DE LOS CETÁCEOS COMUNES

EN EL GOLFO DE CALIFORNIA SURANTE JULIO – AGOSTO 2007”

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: zama148@yahoo.com.mx dgendron@ipn.mx jagomezg@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIOL. AURORA PANIAGUA MENDOZA

nombre y firma

ÍNDICE

Listado de Figuras.....	i
Listado de Tablas.....	v
Glosario.....	vii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	6
Área de Estudio.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
I. Trabajo de campo.....	11
a) Censo de cetáceos.....	11
b) Variables ambientales y biológicas.....	12
II. Procesamiento de los datos ambientales.....	14
a) Concentración de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno.....	14
b) Concentración de clorofila-a (cl-a).....	15
c) Análisis de datos acústicos.....	16
III. Análisis del registro de cetáceos.....	17
a) Estimación de la probabilidad de detección $f(0)$	17
b) Estimación del “Índice de densidad con probabilidad de detección” (ID) de cada una de las especies de cetáceos para su asociación con condiciones ambientales.....	20
c) Análisis estadístico.....	21
RESULTADOS.....	23
I. Variables ambientales.....	23
Temperatura superficial del mar (TSM ₄).....	23
Clorofila-a.....	23
Concentración de oxígeno disuelto.....	23
Porcentaje de saturación de oxígeno (%O ₂) y profundidad de la Capa Mínima de Oxígeno (CMO).....	25
Capa de mezcla.....	26
II. Distribución de posibles presas de cetáceos.....	27
Biomasa Zooplancónica (BZ) y Abundancia de Eufáusidos (EUF).....	27
Distribución de peces pelágicos menores detectados mediante métodos hidroacústicos (EP).....	28
Distribución de calamares detectados mediante métodos	

hidroacústicos (Cal).....	29
III. Distribución y función de probabilidad de detección ($f(0)$) de cetáceos.....	30
Condiciones del mar durante el esfuerzo de observación de las especies.....	30
Distribución y abundancia de cetáceos comunes.....	30
Estimación $f(0)$	32
IV. Análisis estadístico.....	35
Ordenación entre cetáceos y variables ambientales mediante el método de Escalamiento No-Métrico Multidimensional (ENMM).....	37
Procedimiento Permutacional de Multi-respuesta (PPMR).....	43
Análisis Indicador de Especies.....	44
DISCUSIÓN.....	45
Hábitat de <i>Balaenoptera physalus</i>	47
Hábitat de <i>Delphinus</i> spp.....	49
Hábitat de <i>Tursiops truncatus</i> y <i>Globicephala macrorhynchus</i>	50
Hábitat de <i>Physeter macrocephalus</i>	52
II. Características del hábitat entre las distintas especies de cetáceos durante la temporada cálida en el Golfo de California.....	53
III. Diferencias en el hábitat de cetáceos entre temporadas del año.....	55
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	60
LITERATURA CÍTADA.....	60
ANEXOS.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio y batimetría en el Golfo de California.....	10
Figura 2. Derrotero del crucero oceanográfico, transectos diurnos (línea gris), nocturnos (línea negra) y estaciones oceanográficas (círculos azules) realizado durante julio-agosto 2007 en el Golfo de California.....	14
Figura 3. Mediciones para el cálculo de la distancia perpendicular entre el transecto y el cetáceo avistado. a) Cálculo del ángulo de avistamiento (λ). li es la longitud del transecto (i), r es la distancia entre el observador y el avistamiento, x la distancia perpendicular y el círculo gris representa al observador ubicado en la cofa del buque, b) campo visual observado en los binoculares, la distancia entre el horizonte y donde se encuentra el avistamiento es conocido como la caída angular (θ).....	19
Figura 4. Registros continuos de A) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y B) clorofila a (mg m^{-3}) registrados a 4 m de profundidad durante la temporada cálida (julio-agosto 2007) en el Golfo de California.....	24
Figura 5. Imágenes satelitales (Colorado Center for Astrodynamics Research y la Nacional Atmospheric Space Administration, NASA, SeaWIFS) de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y clorofila- a (mg m^{-3}) del Golfo de California registrados durante julio 2007. Imágenes procesadas por Carlos Robinson Mendoza (ICMyL-UNAM).	24
Figura 6. Concentración de oxígeno disuelto (mg L^{-1}) medido a 5 m de profundidad en las estaciones oceanográficas con un oxímetro adaptado a CTD SeaBird SB09 realizado en el Golfo de California durante la temporada cálida (julio-agosto 2007).....	25

Figura 7. Porcentaje de saturación de oxígeno (%O₂) registrado con un oxímetro Seabird SB09 fijado en el CTD durante la temporada cálida (julio-agosto 2007) en el Golfo de California. A = 50 m, B = 100 m y C = 200 m..... 26

Figura 8. Profundidad (m) de (A) Capa Mínima de Oxígeno (CMO) y de (B) capa de mezcla registrada durante la temporada cálida (julio-agosto 2007) en el Golfo de California. (tomada de Tremblay, 2008)..... 26

Figura 9. Distribución de (A) Biomasa Zooplanctónica (ml 1000 m⁻³) y abundancia de eufáusidos (ind. 1000 m⁻³) de afinidad (B) templada-subtropical (*N. simplex* y *N. difficilis*) y (C) tropical (*E. eximia*, *E. distinguenda* y *E. tenera*) recolectados con la red bongo en el Golfo de California durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) (datos proveídos por Martínez-Gómez, en revisión)..... 27

Figura 10. Distribución de blancos acústicos Sv < -45 dB posiblemente asociados a peces pelágicos menores en el Golfo de California registrados durante julio-agosto 2007 (temporada cálida)..... 28

Figura 11. Presencia de agregaciones de calamar, posiblemente *Dosidicus gigas*, detectada con métodos hidroacústicos en el Golfo de California durante julio-agosto 2007 (temporada cálida)..... 29

Figura 12. Distancia de esfuerzo de observación de cetáceos acumulada expresada en km recorridos bajo distintas condiciones de mar superficial expresadas en la escala de Beaufort detectado durante los cruceros oceanográficos de enero 2007 (temporada fría), noviembre 2005 (transición cálida-fría) (Moreno-Zúñiga, 2008) y julio-agosto 2007 (temporada cálida). No se realizó ningún esfuerzo de búsqueda y censo de cetáceos bajo condiciones de mar superficial con Beaufort ≥4. 30

Figura 13. Distribución de los cetáceos presentes en el Golfo de California durante julio-agosto 2007. La ruta de esfuerzo de observación está representada por los segmentos en gris y los avistamientos por los círculos azules. 33

Figura 14. Distribución de frecuencias de las distancias perpendiculares estimadas a los avistamientos de los cetáceos y función de la probabilidad de detección ($f(0)$) de las especies de cetáceos comunes observados durante el crucero oceanográfico de julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. Las distancias máximas (de la derecha) son la distancia en kilómetros a los que se realizó la truncación. A) ballena de aleta (*B. physalus*), B) delfín común (*Delphinus spp.*), C) ballena piloto (*G. macrorhynchus*), D) cachalote (*P. macrocephalus*) y E) tursión (*T. truncatus*)..... 34

Figura 15. Dendograma del análisis de agrupación para la matriz de especies de cetáceos en función de los transectos de avistamientos utilizando distancia Euclidiana y el método de enlace de Ward para los transectos durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. La función de objetivo estima la pérdida de información en cada paso jerárquico en el análisis de agrupamiento (McCune *et al.*, 2002)..... 35

Figura 16. Dendograma del análisis de agrupación de la matriz de transectos en función de las especies de cetáceos utilizando la distancia Euclidiana y el método de enlace de Ward para los transectos durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. La función de objetivo estima la pérdida de información en cada paso jerárquico en el análisis de agrupamiento (McCune *et al.*, 2002). El dendograma muestra el número secuencial de transectos..... 36

Figura 17. Ordenación multidimensional de las especies de cetáceos en función de las variables ambientales registradas durante los transectos de avistamiento durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. Círculos azules= especies de cetáceos. Los transectos fueron clasificados categóricamente en 4 grupos de acuerdo al análisis de agrupación. La ordenación fue rotada para maximizar la variabilidad del vector con mayor coeficiente de asociación (biomasa de zooplancton)..... 40

Figura 18. Distribución espacio-temporal de volumen de dispersión (Sv) >-45 dB, característico de cardúmenes abundantes de peces pelágicos menores (Robinson & Gómez-Gutiérrez, 2007) registradas durante los cruceros oceanográficos de Julio-Agosto 2007 (temporada cálida) (A), Noviembre 2005 (temporada de transición) (B) y Enero 2007(temporada fría) (C). Información y mapas proveídos por Dr. Carlos Robinson Mendoza ICMYL-UNAM..... 57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de avistamientos y número total de individuos detectados durante los transectos en el Golfo de California durante julio-agosto 2007.....	31
Tabla 2. Estimación de los parámetros para la estimación del índice de densidad de cada especie de cetáceo observado durante julio-agosto 2007 en el Golfo de California. w = distancia de truncado determinado <i>a priori</i> ; $f(0)$ es el valor de probabilidad de densidad de distancias con su respectivo Coeficiente de Variación (%CV); se muestran las funciones de distribución de frecuencia ajustados a los datos de cada especie. Las series de expansión de los modelos en todas las especies fue la de Coseno.....	32
Tabla 3. Resultados del análisis de ordenamiento de Escalamiento No-Métrico Multidimensional de las especies de cetáceos en función de las variables ambientales registradas durante los transectos. Coeficiente de determinación (r^2) para cada eje y correlación de Pearson (r) para cada especie de cetáceo y variable ambiental.....	39
Tabla 4. Valores promedio de ID (km^2) y rango en cada grupo de transectos agrupados mediante el análisis de agrupación y asociados a condiciones ambientales mediante la ordenación multidimensional (ENMM) presentes durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. Bp= <i>Balaenoptera physalus</i> ; Pm= <i>Physeter macrocephalus</i> ; Tt= <i>Tursiops truncatus</i> ; Gm= <i>Globicephala macrorhynchus</i> ; Dspp= <i>Delphinus</i> spp. y valores de variables oceanográficas presentes en los grupos: TSM= temperatura superficial del mar; Sal= Salinidad Cl-a= concentración de clorofila a; PCMO= profundidad de la capa mínima de oxígeno; PT= profundidad de la termoclina; BZ= Biomasa Zooplanctónica; Euf.Subtrop=Eufáusidos subtropicales y Euf.Trop= Eufáusidos tropicales. Los valores de rango (máximos y mínimos)	

son mostrados debajo de cada promedio..... 42

Tabla 5. Resultado del análisis de Procedimiento Permutacional de Multi-Respuesta (PPMR) para la comparación entre los hábitats entre cetáceos durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California definidas por hipótesis nulas. $A = 1 - (\text{delta observada} / \text{delta esperada})$, $A_{\text{max}} = 1$ cuando todas las especie son idénticas dentro de los grupos ($\text{delta}=0$), $A = 0$ cuando la heterogeneidad dentro de los grupos iguala a lo esperado por una ordenación producto de un proceso aleatorio, $A < 0$ cuando más heterogeneidad existe dentro de los grupos que lo esperado por una ordenación producto de un proceso aleatorio. p = probabilidad de obtener un delta más pequeño o igual..... 44

Tabla 6. Resultados del Análisis Indicadora de Especies (AIE) para las especies de cetáceos presentes a lo largo de los transectos y a las regiones definidas *a priori*: Norte del Golfo (NG), Grandes Islas (GI) y C (Centro) presentando el valor porcentual y el valor de la prueba de Monte Carlo..... 45

GLOSARIO

Beaufort, escala. Escala de fuerza de viento (0-12) que se asigna a través de la relación numérica basada en la observación de los efectos del viento sobre la superficie del mar, creada por Sir Francis Beaufort el cual ha sido utilizada como criterio estándar desde 1938.

Capa mínima de oxígeno (CMO). Capa de agua subsuperficial donde la concentración de oxígeno disuelto es $< 1.5 \text{ ml O}_2 \text{ L}^{-1}$ o donde el porcentaje de saturación de oxígeno es $< 20\%$.

Cetáceo. Orden de mamíferos que pasan todo su ciclo de vida en el ambiente acuático, se cuenta actualmente con más de 80 especies divididas en dos subórdenes. El suborden Mysticeti comprende las ballenas con barbas en lugar de dientes y el suborden Odontoceti son las ballenas con dientes, dentro de los que están los delfines, marsopas y ballenas picudas, entre otros.

Clorofila-a. Es el pigmento común presente en los organismos que realizan fotosíntesis, cuyo resultado es la liberación de oxígeno. Este es un estimador de la biomasa fitoplanctónica o algal que se presenta en un ecosistema y este depende del estado fisiológico de la comunidad y de su composición específica.

Efecto Isla. Fenómeno oceanográfico que consiste en el ascenso de nutrientes producido por el choque de corrientes contra las paredes submarinas de las islas, generando altos niveles de productividad primaria.

Estenófago. Consumidor que presenta un espectro limitado de especies-presa.

Eurífago. Consumidor que presenta un espectro amplio de especies-presa.

Giro oceánico: Movimiento circular por el efecto de Coriolis cuyas causas son diversas: vientos, topografía, corrientes, etc.

Hábitat: Espacio que reúne las características físicas y biológicas necesarias para la supervivencia y reproducción de una o varias especies.

Misticeti. Suborden de cetáceos que se caracterizan por presentar barbas, que son estructuras que tienen la función de filtrar agua y así obtener alimento (p.e. eufáusidos).

Odontoceti. Suborden de cetáceos que se caracterizan por presentar dientes. En este se incluye el grupo de los delfines, los cachalotes y zífidos.

Oxígeno disuelto. Concentración presente en el océano resultado del grado de solubilidad del mismo, que es función de la temperatura con la que guarda una relación lineal negativa. Una parte importante del oxígeno disuelto en el mar proviene de los niveles de fotosíntesis por parte de los productores primarios, mientras que otra parte proviene del aire.

Productividad primaria. Se representa por el crecimiento y la reproducción de algas y otras plantas, resultado de una combinación de recursos disponibles, luz y temperatura, los cuales forman parte de condiciones locales. La producción primaria es solo la primera de las varias etapas por las que pasa la transformación de los nutrientes y el dióxido de carbono en los elementos constitutivos de células vivas. Este tipo de productividad se mide en gramos de carbono por unidad de área, por unidad de tiempo.

Surgencia. Ascenso de agua profunda hacia las capas superficiales por acción de los vientos

Temperatura superficial del mar (TSM). Es la temperatura que se presenta a nivel de la superficie (primeros 4 m) de la columna de agua.

Termoclina. Capa dentro de la columna de agua donde se presenta una caída abrupta de la temperatura en relación con la superficie marina.

Zooplankton: Organismos heterótrofos que viven en la columna de agua y que se alimentan de otros organismos. Son los principales consumidores primarios

RESUMEN

Con el objetivo de definir y asociar la densidad de algunos cetáceos comunes con las características del hábitat durante la temporada cálida (julio-agosto 2007), se realizó un censo de cetáceos utilizando la técnica de muestreo de distancia por transectos lineales en la región norte y centro del Golfo de California. La temperatura superficial (TSM), salinidad y fluorescencia (un proxy de la concentración de *chl-a*) fueron registradas a 4-m de profundidad y geo-posicionadas cada 5 segundos por sensores de alta resolución. En cada estación oceanográfica se registró la profundidad del fondo marino, concentración de oxígeno disuelto, concentración de pigmentos fotosintéticos y accesorios (HPLC), biomasa zooplanctónica y abundancia de los eufáusidos. La distribución y abundancia de calamares y peces pelágicos menores fueron inferidas utilizando métodos hidroacústicos. Se estimó un índice de densidad de cetáceos con la función de detección (ID) para asociarlo con las variables ambientales mediante varias técnicas de ordenación y confrontación de hipótesis no paramétricas. Durante la temporada cálida se detectó una similitud de las características del hábitat entre las ballenas de aleta y los delfines comunes principalmente en la zona de las Grandes Islas pero distinto en otras regiones del golfo, así como entre los tursiones y las ballenas piloto causado por la distribución de calamares posiblemente de tallas pequeñas. Las variables asociadas a los cachalotes fueron distintas, caracterizando un hábitat distinto al del resto de los cetáceos. El hábitat de las ballenas de aleta se asoció con concentraciones altas de *chl-a*, profundidad de la termoclina y capa mínima de oxígeno, así como a la presencia de pelágicos menores corroborando estudios previos que informan una dieta predominantemente ictiófaga en verano. Los delfines comunes estuvieron principalmente asociados a un hábitat con baja biomasa zooplanctónica y concentración de *chl-a*, presencia de calamar, peces, mayor abundancia de eufáusidos asociados a ambientes tropicales. Los tursiones y las ballenas piloto compartieron hábitat con características similares asociándose a zonas con mayor abundancia de eufáusidos subtropicales, calamar y elevada temperatura. El cachalote estuvo principalmente asociado a regiones con alta biomasa zooplanctónica y temperatura superficial pero paradójicamente no fue asociado a zonas con presencia de calamar. Estos fueron detectados hasta una profundidad de 250 m por métodos hidroacústicos, lo que probablemente sesgó la información sobre calamares de tallas grandes. El análisis multivariado sugirió que las diferencias interespecíficas en el hábitat de los cetáceos durante julio-agosto 2007 responden principalmente a la distribución y disponibilidad de presas más que a condiciones abióticas debido a que este fue un periodo con relativamente pequeños gradientes longitudinales en temperatura y concentración de clorofila.

ABSTRACT

The goal of the present study was to define and associate the density of some common cetacean species with the habitat characteristics using the lineal transect technique carried out during July-August 2007 along the northern and central part of the Gulf of California. The 4-m depth temperature, salinity, and fluorescence (a proxy of Chl-a concentration) were recorded and geo-referenced every 5 seconds with high resolution sensors. The seafloor depth, dissolved oxygen, photosynthetic and accessory pigments (HPLC), zooplankton biomass and euphausiid abundance were recorded at each oceanographic station. Squids and small pelagic fish school distribution and abundance were detected using hydroacoustics methods. In order to associate the cetacean density index estimated with the detection function (ID) with the environmental variables several non-parametric ordination and hypothesis testing statistic techniques were performed. In summer it was detected that the common dolphins (*Delphinus* spp.) and the fin whales distributed along regions with similar habitat, mainly in the Midriff region, but different in the rest of the gulf, as well as a similar habitat between the bottlenose dolphins and the pilot whales, likely influenced by the distribution of small size squids. The variables associated with sperm whales gave as a result a distinct habitat from the rest of the cetaceans during July 2007. The fin whale habitat was associated with high chl-a concentrations, deep thermocline and minimum oxygen layer, as well as with the presence of small pelagic fish, which confirms previous studies that report that fin whales switch to a ichthyophagous diet during summer. The common dolphin was mostly associated to a habitat with low zooplankton biomass, presence of squid and fish aggregations, and tropical euphausiids and low chl-a concentration. The bottlenose dolphins and the pilot whales were associated to similar type of habitat with presence of subtropical euphausiids, squid aggregations, and high near surface temperature. The sperm whales were distributed in regions with high zooplankton biomass, but paradoxically not associated to squid aggregations detected with hydroacoustic methods in the 0-250 m depth strata. This suggests that the sperm whales were in transit searching squids or that they were actually feeding at larger squids that regularly distribute at day-time at greater depths. The non-parametric multivariate ordination showed that inter-specific differences in the cetacean habitat during the July-August 2007 apparently responded mostly to the distribution and availability of their preys (biotic factors), rather than abiotic environmental conditions that prevailed during a summer period featured with relatively small longitudinal gradients of temperature and chlorophyll concentrations.

INTRODUCCIÓN

El Golfo de California es frecuentemente citado como uno de los ecosistemas marinos con mayor productividad primaria y biodiversidad de México. Un resultado de lo anterior es la magnitud de algunas pesquerías como la de camarón, sardina, atún, calamar y otras especies comercialmente explotables de la región que anualmente superan >500 millones de toneladas (Enríquez-Andrade *et al.*, 2005).

Este es un mar marginal subtropical altamente productivo con notables concentraciones de nutrientes y pronunciados cambios estacionales de la productividad primaria nueva integrada por año. Considerando la productividad primaria esta tiene cuatro periodos bien definidos: la temporada cálida (Julio-Octubre) con valores entre 0.39–0.49 g C m⁻² d⁻¹ y la temporada fría (Diciembre-Mayo) con valores 4 veces mayores (1.16–1.91 g C m⁻² d⁻¹) y dos breves periodos de transición en Junio y Octubre (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994; Hidalgo-González & Álvarez-Borrego, 2000, 2004). La temperatura superficial del mar también muestra pronunciados cambios estacionales e intra-anales con temperaturas entre 14-25° C durante la temporada fría y entre 18-32° C durante la temporada cálida (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). Esta amplia variación en las condiciones oceanográficas junto con la extensa línea de costa y las numerosas islas proveen una elevada diversidad de hábitats que influyen la distribución, abundancia y estructura de las comunidades del bentos y el ambiente pelágico (Field *et al.*, 2007).

El Golfo de California también es reconocido por la considerable diversidad de cetáceos que habitan temporal o permanentemente, aproximadamente 40% de las especies existentes en el mundo (Enríquez-Andrade *et al.*, 2005). Durante la temporada fría existe la mayor riqueza específica de cetáceos, debido principalmente a la inmigración estacional de especies migratorias como la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*). Así mismo, varias especies de cetáceos permanecen durante todo el año, particularmente especies de afinidad circumtropical como el rorcual tropical (*Balaenoptera edeni*) (Gendron, 1993; Vidal *et al.*, 1993), así como especies con una población de individuos restringida al Golfo de California como el rorcual común (*Balaenoptera*

physalus) (Bérubé *et al.*, 2002) o especies que son observadas de modo general durante todo el año, como el cachalote (*Physeter macrocephalus*) (Gendron, 2000). También existen numerosas especies que, aunque son especies con pequeña biomasa individual, debido a la relativamente elevada cantidad de individuos por manadas tienen una función relevante en la trama trófica. Entre estas especies están los tursiones (*Tursiops truncatus*), principalmente la forma oceánica, ballenas piloto (*Globicephala macrorhynchus*) y delfines comunes (*Delphinus delphis* y *Delphinus capensis*).

En general, los cetáceos presentan una compleja variación espacio-temporal en su distribución asociada a las condiciones oceanográficas generadas por variables físicas, topográficas y biológicas, (Baumgartner *et al.*, 2001; Chávez-Andrade, 2006; Moreno-Zúñiga, 2008) y frentes oceánicos (Doniol-Valcroze *et al.*, 2007), lo cual a su vez reflejan una asociación con sus presas. Estos factores en conjunto definen las características del hábitat entre distintas especies (interespecífico) o entre miembros de la misma especie (intraespecífico) (Etnoyer *et al.*, 2004; 2006).

En el Golfo de California existen algunos estudios donde se han estudiado simultáneamente gran parte de la comunidad de cetáceos con amplia cobertura espacial realizando censos (Mangels & Gerrodette, 1996) o bien en donde se reporta la segregación de diferentes especies teutófagas por zonas y por tallas de presa (*D. gigas*) (Díaz Gamboa, 2009). Hasta la fecha, se cuenta con dos censos multi-específicos donde se relacionan los patrones de distribución de cetáceos con diversas variables ambientales durante la temporada fría (Chávez-Andrade, 2006) y la temporada de transición (Moreno-Zúñiga, 2008). El presente estudio es el primer esfuerzo de investigación realizado durante la temporada cálida con la intención de delimitar los hábitats interespecíficos de los cetáceos presentes en el Golfo de California mediante técnicas de estadística multivariada analizando la asociación de la densidad de cetáceos comunes y las condiciones biológicas y físicas registradas mediante mediciones de alta resolución (<5 m). Los resultados de este estudio permitirán tener una visión completa de la distribución de la comunidad de cetáceos en el Golfo de California y de la forma en que algunas características preferenciales se van modificando a lo largo de diferentes temporadas.

ANTECEDENTES

La relación entre el ambiente y los patrones de distribución de los cetáceos ha sido estudiada desde diferentes perspectivas en función de distintos procesos oceanográficos y/o distribución y abundancia de sus presas.

La mayoría de los estudios han encontrado una relación entre la distribución y abundancia de los cetáceos y sus presas (Smith *et al.*, 1986; Schoenherr, 1991; Tershy 1992; Armstrong & Smith, 1997; Fiedler *et al.*, 1998; Gregr & Trites, 2001; Moore *et al.*, 2002; Murase *et al.*, 2002; Croll *et al.*, 2005; Urbán-Ramírez *et al.*, 2005; Selzer & Payen, 2006; Panigada *et al.*, 2008; Ladrón de Guevara *et al.*, 2008; Díaz-Gamboa, 2009; Pardo, 2009). Algunos estudios directamente relacionan los patrones de distribución de los cetáceos con variables oceanográficas como batimetría, temperatura, salinidad (entre otras) y sus gradientes horizontales (Davis *et al.*, 1998; Ortega-Ortiz, 2002; Baumgartner & Mate, 2005, Etnoyer *et al.*, 2004, 2006; Ballance *et al.*, 2006; Stockin *et al.*, 2008; Praca & Ganier, 2008). Otros estudios han encontrado un vínculo directo con procesos oceanográficos como eventos de surgencias, frentes oceánicos, giros (ciclónicos y anticiclónicos) entre otros procesos oceanográficos (Springer *et al.*, 1999; Palacios, 2003; Walker, 2005; Tynan *et al.*, 2005; Doniol-Valcroze *et al.*, 2007; Mercuri, 2007). En resumen, se puede decir que estas relaciones son multivariadas que actúan a distintas escalas de espacio y tiempo.

De manera particular, diferentes estudios han reportado que *B. physalus* cambia su patrón de distribución estacionalmente encontrándose a lo largo de la región costera de la zona norte del Golfo de California desde el final del invierno hasta principios del verano (Rojas-Bracho, 1984; Tershy *et al.*, 1993; Enríquez-Paredes, 1996; Urbán-Ramírez *et al.*, 2005; Chávez-Andrade 2006; Moreno-Zúñiga, 2008). Estos cambios en los patrones de distribución han sido asociados con la distribución de sus presas (Littaye *et al.*, 2004; Urbán-Ramírez *et al.*, 2005; Chávez-Andrade, 2006; Panigada *et al.*, 2008; Ladrón de Guevara *et al.*, 2008; Moreno-Zúñiga, 2008). Urbán-Ramírez *et al.* (2005) y Ladrón de Guevara *et al.* (2008) incluso propusieron que los cambios estacionales e interanuales en la abundancia de estos rorcuales puede ser un indicador de la productividad en distintas regiones del Golfo de California.

Se ha observado una discrepancia entre las variables asociadas *P. macrocephalus*. Alrededor de las Islas Galápagos, Smith & Whitehead (1993) notaron que la alimentación de los cachalotes está altamente correlacionada con las regiones con eventos de surgencias. Por otro lado, varios autores también han demostrado que existe mayor abundancia de cachalotes en zonas con procesos de convergencias, en lugar de zonas con eventos de surgencias (Gaskin, 1968, 1973; Berzin, 1971; Ivashin, 1978; Best, 1979; Viale, 1991).

En el Pacífico sur, Jaquet & Whitehead (1996) asociaron la distribución del cachalote con la productividad secundaria y topografía, mientras que en el Golfo de California, Jaquet & Gendron (2002), Chávez-Andrade (2006) y Moreno-Zúñiga (2008) encontraron una relación entre la distribución y abundancia relativa del cachalote con la profundidad y temperatura del mar y con la abundancia del calamar gigante, *Dosidicus gigas*. Inclusive se han encontrado cambios de comportamiento del cachalote en tiempo de buceo, tipo y longitud de sus movimientos dentro del golfo, consistentes con el esfuerzo de alimentación, pero dependientes de los cambios estacionales en la abundancia del calamar (Jaquet *et al.*, 2000, 2003). La coexistencia entre el cachalote y el tursión en el Golfo de California ha sido conocida con anterioridad (Jaquet & Gendron, 2002) posiblemente por su similar espectro trófico que incluye principalmente el calamar *D. gigas* (Díaz-Gamboa, 2003, 2009) con una interacción interespecífica semejante a la detectada en otras regiones del mundo, como entre el delfín común (*Delphinus spp.*) asociado a con cuatro especies de cetáceos y aves marinas en el Golfo de Hauraki, Nueva Zelanda (Stockin *et al.*, 2008).

Se ha estimado la distribución y abundancia (Silber, 1990; Silber *et al.*, 1994; Gerrodette & Palacios, 1996) así como su relación con la distribución de sus presas en especies de odontocetos de menor tamaño (Ohizumi *et al.*, 1998; Díaz-Gamboa *et al.*, 2003; Niño-Torres *et al.*, 2006; Díaz-Gamboa, 2009). En estos estudios se han encontrado significativas asociaciones con batimetría y diferentes variables ambientales que dan como resultado cambios en sus espectros tróficos (Reilly & Fiedler, 1994; Griffin, 1997; Davis *et al.*, 1998; Braumgartner *et al.*, 2001; Davis *et al.*, 2002; Smith *et al.*, 2004; Selzer & Payne, 2006; Stockin *et al.*, 2008; Praca & Ganier, 2008).

En el Golfo de California existen escasos estudios de censos de cetáceos que cubran la mayor parte de su extensión geográfica debido al elevado costo para realizar censos sistemáticos en extensos cruceros oceanográficos. La mayoría de los estudios sobre cetáceos han sido realizados en relativamente pequeñas regiones geográficas (Canal de Ballenas, Bahía de Kino, Guaymas, Bahía de La Paz y zonas aledañas) (Flores-Ramírez *et al.*, 1996; Valles-Jiménez, 1998; Segura-García, 2004; Pardo, 2009) siendo estudios principalmente de carácter autológico (Ballance, 2006; Ladrón de Guevara *et al.*, 2008).

En la actualidad se cuenta con información de tres censos multi-específicos de cetáceos con amplia cobertura a lo largo del Golfo de California: (1) censo realizado en verano 1992 (Mangels & Gerrodette, 1994) a partir del cual se estimó la densidad de cetáceos mediante el método de muestreo de distancia (Gerrodette & Palacios, 1996), (2) estudio realizado durante la temporada fría (Marzo-Abril, 2005) (Chávez-Andrade, 2006), donde se caracterizó el hábitat de grandes cetáceos mediante la estimación de abundancia relativa de cetáceos y mediciones de variables ambientales *in situ* e imágenes de satélite promediadas en segmentos de observación de 40 km de longitud y (3) estudio durante la temporada de transición cálido-frío (Noviembre-Diciembre 2005) y principios de invierno (Enero 2007) (Moreno-Zúñiga, 2008), donde se relacionó también la abundancia relativa de los cetáceos, en transectos de 40 km de longitud y registros de variables ambientales de alta resolución (de igual forma que en el presente estudio).

Los últimos dos estudios que se señalan concluyeron que la segregación de especies en las diferentes temporadas parece responder en gran medida a características ambientales que a su vez rigen la distribución y disponibilidad de las presas preferenciales de cada especie de cetáceo.

JUSTIFICACIÓN

Los cambios presentes en las condiciones oceanográficas y biológicas a lo largo del año el Golfo de California influyen de manera notable la distribución espacio-temporal de las presas de los cetáceos, permitiendo con esto inferir cambios tróficos a nivel de ecosistema. Sin embargo, son pocos los

estudios que analizan la evolución y mecanismos que causan estas asociaciones, particularmente durante la temporada cálida, que es cuando la producción primaria alcanza sus niveles más bajos en el Golfo de California.

El presente estudio provee un robusto conjunto de datos oceanográficos obtenidos mediante diversos sensores continuos cerca de la superficie del mar, *in situ* a lo largo de la columna de agua y de diversos componentes de organismos pelágicos detectados mediante métodos hidroacústicos que proporcionarán una comprensiva aproximación de la caracterización del hábitat de algunas especies de cetáceos durante el verano de 2007. Esta caracterización y la comprensión de la relación entre la presencia de las distintas especies con las condiciones ambientales durante la temporada cálida permitirán sentar las bases para futuros censos a largo plazo de las poblaciones de cetáceos.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el hábitat de las especies de los cetáceos más comunes en el Golfo de California observadas durante la temporada cálida de 2007 estableciendo la asociación de su densidad y variables ambientales y biológicas.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Describir el patrón espacial de algunas variables ambientales y biológicas a lo largo del Golfo de California durante la temporada cálida.
- Estimar un índice de densidad de los cetáceos más comunes del Golfo de California con base al método de muestreo de distancia
- Caracterizar, mediante técnicas estadísticas de análisis multivariado, el hábitat de los cetáceos más comunes durante la temporada cálida infiriendo el grado de influencia de las variables ambientales y

biológicas analizadas sobre el índice de densidad de los cetáceos comunes del Golfo de California

ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California se localiza en el Noroeste de México entre los 18° y 35° de latitud Norte y entre los 115° y 106° de longitud Oeste. Este tiene una extensión latitudinal de aproximadamente 1400 km, un ancho máximo de 200 km cubriendo una superficie de aproximadamente 210,000 km² (Roden & Groves, 1959). En el este el Golfo de California se encuentra delimitado por los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit y en el oeste por la Península de Baja California, su límite sur es definido por una línea imaginaria entre Cabo San Lucas (B.C.S.) y Cabo Corrientes (Jalisco) (De-la-Lanza, 1991). Este es un mar semicerrado altamente dinámico y productivo debido a que cuenta con tres mecanismos principales de fertilización: (1) surgencias costeras inducidas por el viento e (2) intensa mezcla por corrientes de marea (Álvarez-Borrego, 2002).

El Golfo de California también se caracteriza por la heterogeneidad de las condiciones oceanográficas propias de cada una de sus diferentes regiones debido a su orientación y posición subtropical. Se ha sugerido la subdivisión del golfo en cuatro regiones con base en la estructura vertical termohalina (Roden & Emilson, 1979): (1) Norte del Golfo, (2) región de las Grandes Islas, (3) Golfo Central y (4) Golfo o boca del Golfo Región Sur. Para este trabajo sólo se tomaran en cuenta las primeras tres regiones (Fig. 1):

1) Norte del Golfo: Comprende desde el Delta del Río Colorado hasta la región de las Grandes Islas. Como consecuencia de la alta sedimentación del Río Colorado existen pocos rasgos topográficos distintivos en la parte superior del golfo. El fondo es relativamente somero (0 y 50 m de profundidad) (Álvarez-Borrego, 2002), con excepción de la Cuenca Wagner (200 m de profundidad) localizada en la parte media del Alto Golfo. En verano, una corriente cálida y somera fluye mar adentro proveniente de las costas del Delta del Río Colorado. El Alto Golfo tiene pronunciados cambios estacionales en la hidrografía y circulación con giros ciclónicos en verano y anticiclónicos en invierno y surgencias costeras en el lado este de otoño a primavera (Sánchez-Velasco *et al.*, 2009). En verano las aguas del Alto Golfo se encuentran frecuentemente en

condición de calma. La amplitud de la marea en el alto Golfo y la región de las Grandes Islas se encuentra entre una de las más amplias del mundo (7 m). Estas amplitudes de marea son parcialmente producidas por el abrupto cambio en la batimetría al sur de las Grandes Islas y su gradual disminución del relieve del fondo en la parte norte. La resuspensión de sedimentos del Río Colorado en el Alto Golfo produce una turbidez constante de las aguas cercanas a la costa. El contenido de material orgánico particulado es elevado; consecuentemente es rico en bacterias y plancton (Bourillón *et al.*, 1988).

2) Región de las Grandes Islas: Esta región está conformada por cinco cuencas. En esta región la circulación es dominada por intensas corrientes de marea, movimientos horizontales de agua que cambian la dirección y velocidad en sincronía con el período de mareas. La profundidad varía drásticamente en esta zona y las islas crean un abrupto cambio de circulación para las aguas superficiales que fluyen entre la parte central del golfo y el Alto Golfo (Badan-Dangon *et al.*, 1985). La región de las Grandes Islas se caracteriza por ser una de las de mayor productividad primaria dentro del Golfo de California durante todo el año debido a los procesos de mezcla por mareas que producen corrientes intensas, especialmente en el Canal de Ballenas y altos niveles de bombeo de aguas sub-superficiales ricas en nutrientes inorgánicos (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991; Lavín *et al.*, 1997). El Canal de Ballenas, localizado entre Isla Ángel de la Guarda y la península de Baja California, es una de las partes más frías del golfo, causada por el ascenso de agua subsuperficial en los dos lados del Canal de Ballenas (Brinton *et al.*, 1986; Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991; Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994). Esta convergencia en los extremos del canal causa una divergencia en aguas superficiales y en el flujo a través de ambas zonas. El flujo profundo es más intenso durante el invierno que en el verano (López *et al.*, 2006; Marinone, 2007).

3) Región Central: Esta región comprende desde el límite sur de la Región de las Grandes Islas hasta aproximadamente Bahía de Topolobampo en la costa este y Bahía de La Paz en la costa oeste del golfo. La región presenta características transicionales entre las regiones norte y sur del golfo. Entre la costa continental y la península existen pendientes submarinas

causadas por la escasa sedimentación del lado occidental del Golfo. En esta área las cuencas marinas son profundas, mientras que las plataformas y terrazas insulares y costeras están ausentes o son estrechas a lo largo de la costa de Baja California. En cambio, en el margen continental los ríos que se originan en la Sierra Madre Occidental han depositado una gruesa capa de sedimentos finos sobre la plataforma continental creando una plataforma con pendiente suave y ancha. La amplitud de marea en la parte central del Golfo Central es menor que la del Norte, con un promedio de 1.5 m en Guaymas. Las corrientes de marea son comparativamente menos influyentes que las surgencias costeras forzadas por viento. En esta región se localiza el mayor número de islas y presenta importantes eventos de surgencia costera estacional forzados por estrés del viento tienen lugar en la costa occidental durante el verano y en la costa oriental del golfo durante el invierno (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991).

El Golfo de California es un área subtropical con relativamente elevadas tasas de productividad primaria durante la mayor parte del año (Álvarez-Borrego, 1983). La circulación general de sus aguas está caracterizada por la entrada de aguas principalmente en estratos profundos y la salida de agua en estratos superficiales. Como consecuencia, las aguas profundas comparativamente enriquecidas con nutrientes emergen hacia la zona eufótica, donde pueden ser metabolizados por el fitoplancton. En invierno y primavera se presentan eventos de surgencias en la costa oriental debido a la influencia de los vientos del noroeste; mientras que en el verano, estas ocurren en la costa occidental por los vientos de suroeste (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991; Sánchez-Velasco *et al.*, 2009).

Los niveles de biomasa de los eufáusidos en el área de estudio son intermedios entre las densidades promedio registradas en zonas frías altamente productivas de la Corriente de California y las relativamente menos productivas del Pacífico Oriental Tropical (Brinton *et al.*, 1986). Brinton & Townsend (1980) estudiaron los patrones estacionales de la distribución y abundancia de los eufáusidos (krill) concluyendo que el Golfo de California se divide en términos biogeográficos, en dos regiones: 1) una zona al norte de las Islas Tiburón e Islas Ángel de la Guarda que es una zona con amplia cobertura

de ecosistema nerítica y con los intervalos más amplios de temperatura estacional y 2) una zona sur que se extiende desde la región de las Grandes Islas hasta la boca del Golfo de California. Ésta última zona presenta la mayor diversidad específica de eufáusidos y se considera la región más estable estacionalmente en la estructura de la comunidad debido a que se comunica con el Océano Pacífico donde habitan especies de origen templado y tropical.

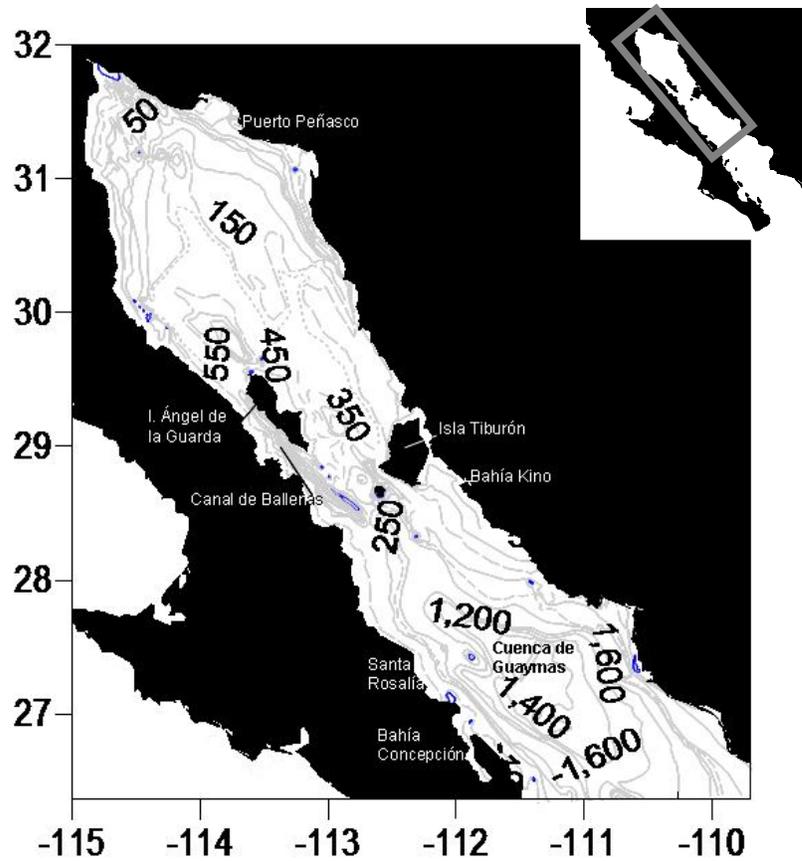


Figura 1. Área de estudio y batimetría en el Golfo de California.

MATERIALES Y MÉTODOS

I. Trabajo de campo

Durante el periodo del 17 de Julio al 2 de Agosto del 2007 se realizó un crucero oceanográfico en el Golfo de California a bordo del B/O El Puma propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que cubrió la parte central y norte del golfo (Fig. 2). Durante el crucero se realizó un censo sistemático de cetáceos a lo largo de transectos definidos por el derrotero del crucero originalmente planificado para un estudio de prospección hidroacústica de zooplancton y micronecton (peces pelágicos menores). Adicionalmente se registraron continuamente múltiples variables ambientales y biológicas a 4 m de profundidad (cada 5 segundos, con resolución de cerca de 50 m) geo-posicionados con dos sistemas geo-posicionadores (GPS, modelo Trimble AG160) así como mediciones de variables ambientales realizadas en 37 estaciones oceanográficas (Fig. 2).

a) Censo de cetáceos

El censo de cetáceos se realizó por tres personas ubicadas en la cofa del buque a una altura de 16 m sobre el nivel del mar. Cada persona estaba orientada en diferente ángulo de observación permaneciendo en guardia durante 40 minutos haciendo una rotación de posiciones entre los mismos tres observadores durante un periodo promedio de 13 h (7:00 a 20:00 h, aproximadamente). Durante este periodo se efectuaron interrupciones de la observación cuando se llegaba a las estaciones oceanográficas donde se realizaban de muestreos biológicos y ambientales . Los observadores laterales utilizaron binoculares marca Fuginon (7×50) equipados con compás y retícula integrada (información requerida para estimar distancias entre el observador y el cetáceo observado). La persona localizada entre ambos observadores laterales buscaba los cetáceos sin binoculares anotando la información de los avistamientos detectados por cualquiera de los tres observadores y detectando los cetáceos que se encontraban cerca del buque los cuales no eran visibles en los binoculares. La búsqueda y observación de cetáceos se realizó a una

velocidad promedio de $\sim 20 \text{ km h}^{-1}$ (11 nudos) en condiciones oceanográficas y climáticas favorables para la observación (0 a 3 en la escala Beaufort). En las áreas donde prevalecieron condiciones de Beaufort ≥ 4 y en las regiones de tránsito nocturno no se realizó esfuerzo de observación de cetáceos. El recorrido del barco (derrotero) se registró de manera continua (cada 2 minutos) utilizando un GPS Garmin 12XL, en el cual se almacenó la información. Los datos referentes a cada avistamiento se registraron en una bitácora: fecha, hora, la retícula y grado al avistamiento provenientes de los binoculares. Se identificó en la medida de lo posible la especie y/o género de cetáceos y se estimó el número de individuos en los grupos de cetáceos detectados.

Al finalizar cada día de observación los datos de posición geográfica del GPS fueron transferidos a una hoja de cálculo del programa Excel a la cual se agregaron los datos de cada avistamiento hecho durante ese día. La información completa fue guardada electrónicamente en una computadora portátil para realizar el mapa del derrotero y la ubicación de los cetáceos detectados por especie mediante el programa Surfer ver. 8.0.

b) Variables ambientales y biológicas

A lo largo del derrotero del crucero, con una extensión de $\sim 4661 \text{ km}$, se registró cada 5 segundos la temperatura superficial del mar (TSM₄), salinidad y fluorescencia (como un *proxy* de la concentración de Cl-a) a 4-m de profundidad (geo-referenciados con un GPS Trimble AG130 con resolución de $\pm 2 \text{ m}$) (Fig. 2). Simultáneamente se realizaron registros hidroacústicos continuos de la capa de dispersión del sonido a lo largo del derrotero con la ecosonda científica SIMRAD EY-60 de 120 kHz de frecuencia y haz dividido configurado a una tasa de repetición de 0.3 pings por segundo. En cada estación oceanográfica se estimó la profundidad del fondo marino con la ecosonda científica SIMRAD EY-60 y/o la ecosonda del buque. El análisis de los datos hidroacústicos fueron post-procesados durante una estancia de investigación realizada con el Dr. Carlos J. Robinson Mendoza (ICMyL-UNAM) para definir los patrones de distribución de organismos clasificados por grupos funcionales: (1) micronecton (peces pelágicos menores) definidos mediante criterios de intervalos de volumen de dispersión informados por Gómez-

Gutiérrez & Robinson (2006), peces pelágicos menores por Robinson *et al.* (2007) y (2) calamares por Robinson *et al.* (2008). En cada estación oceanográfica se realizaron perfiles verticales de temperatura, conductividad y profundidad de cada registro con un CTD Seabird SB9 instalado en medio de una roseta con 12 botellas Niskin de 10 L capacidad. La salinidad y densidad se calculó a partir de los datos del CTD. Este CTD estaba equipado con un oxímetro para medir la concentración de oxígeno disuelto. Con las botellas Niskin se obtuvieron muestras de agua a profundidades discretas de 0, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 150 y 200 m para medir la temperatura y concentración de oxígeno disuelto con un multi-sensor YSI modelo 1556. La concentración de clorofila-a (Cl-a) se estimó a partir de una muestra de agua de 1 para los estratos de < 50 m y 3 L para los estratos de >75 m de cada estrato de profundidad filtrada con filtros GF/F de 0.7- μ m de luz de poro. Estos filtros fueron inmediatamente congelados en nitrógeno líquido para posterior análisis.

Además, en cada estación oceanográfica se recolectaron muestras de zooplancton por medio de redes tipo bongo de 300 a 500 micras de luz de malla y 60 cm de diámetro de boca, cada una equipada con flujómetro digital General Oceanics. Las muestras capturadas con la red de 300 μ m fueron preservadas con formol al 5% diluidas en agua de mar y las muestras de 500 μ m se preservaron con etanol al 96%. Estas últimas se les hizo un recambio total del etanol al finalizar el crucero. El análisis de estimación de la biomasa zooplanctónica e identificación de abundancia de eufáusidos, como potenciales presas de cetáceos misticetos, fue realizada por Martínez-Gómez (en revisión). La abundancia de los eufáusidos fueron analizados en dos grupos de especies de acuerdo a su afinidad zoogeográfica: especies templado-subtropicales conformados por *Nyctiphanes simplex* y *Nematoscelis difficilis* (80-95% de la abundancia de eufáusidos) y especies tropicales que incluyen *Euphausia eximia*, *E. distinguenda* y *E. tenera*.

Se realizaron mapas de distribución de temperatura, porcentaje de saturación de oxígeno, profundidad de la capa mínima de oxígeno y profundidad de la capa de mezcla, así como de variables biológicas como la concentración de clorofila a y biomasa zooplanctónica, abundancia de algunas de las presas potenciales de cetáceos (abundancia de eufáusidos, presencia de peces pelágicos menores y calamar) mediante el programa Surfer ver. 8.0.

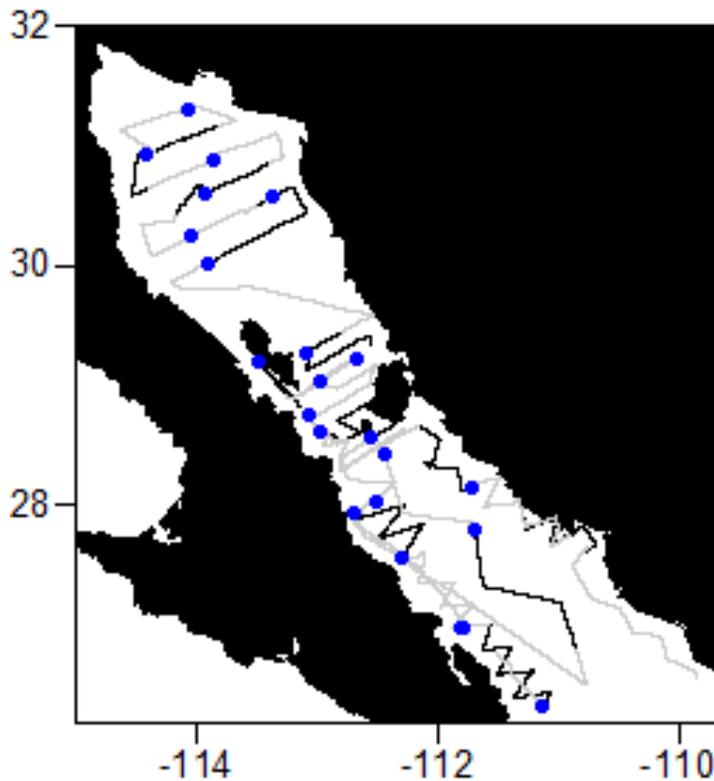


Figura 2. Derrotero del crucero oceanográfico, transectos diurnos (línea gris), nocturnos (línea negra) y estaciones oceanográficas (círculos azules) realizado durante julio-agosto 2007 en el Golfo de California.

II. Procesamiento de los datos ambientales

a) Concentración de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno

La concentración de oxígeno disuelto detectada con el oxímetro del CTD (O_2 CTD) fue calibrada con la regresión de la concentración estimada con el método de Winkler a 5, 10, 30, 50, 75, 100, 200 y 300 m en una estación de muestreo (Arce-Osuna, com. pers.¹) para obtener una concentración de oxígeno corregida (O_{2d}). Los valores se estimaron con la siguiente ecuación con intercepto en cero:

$$[O_2d] = 0.756 \times [O_2 \text{ CTD}]$$

Una vez calibrada la concentración de oxígeno se calculó el porcentaje de saturación de la solubilidad de oxígeno (%O₂) a partir de la temperatura, salinidad y concentración de oxígeno medida *in situ*, utilizando la ecuación polinomial oxsat de la compañía del CTD Sea-Bird Electronic disponible en la página de Internet http://www.seabird.com/application_notes/AN64.htm.

$$\text{Oxsat}(T,S) = \exp \{A (T_a) + S * B (T_a)\} = \exp \{[A1 + A2 * (100/T_a) + A3 * \ln (T_a/100) + A4 * (T_a/100)] + S * [B1 + B2 * (T_a/100) + B3 * (a/100)^2]\}$$

Donde:

Valor de saturación de oxígeno Oxsat (T,S) = volumen de oxígeno en gas a temperatura y condiciones de presión (STP) absorbidas del aire húmedamente saturado a una presión total de una atmósfera por unidad de volumen de líquido a la temperatura medida (mL/L)

A = Constantes A1, A2, A3, A4

B = Constantes B1, B2, B3

S = Salinidad en psu (unidades prácticas de salinidad)

T = Temperatura del agua (°C)

T_a = Temperatura absoluta (°C + 273.15)

A1 = -173.4292

A2 = 249.6339

A3 = 143.3483

A4 = -21.8492;

B1 = -0.033096

B2 = 0.014259

B3 = -0.00170

b) Concentración de clorofila a (cl-a)

La concentración de clorofila a fue estimada a partir de los datos continuos de fluorescencia expresados en Volts transformados a

concentración de cl-a utilizando un modelo de regresión lineal simple de las mediciones de clorofila a estimada con la técnica HPLC de muestras de agua tomadas con botellas Niskin a 5 m de profundidad y los valores de fluorescencia registrados a 4 m de profundidad en las estaciones de muestreo realizadas durante el crucero.

En cada lance de CTD se filtró de 1 (muestras de < 50 m de profundidad) a 3 L (muestras de > 75 m de profundidad) de agua en una torre de filtración estándar por nivel con filtros GF/F de 0.7 µm de poro (2.5 cm diámetro) para así estimar la concentración de pigmentos fotosintéticos siguiendo la técnica Vidussi *et al.* (1996). Estos análisis fueron realizados en el CIBNOR por M. en C. Francisco Hernández-Sandoval con un HPLC modelo 1100 (Agilent Technology, Santa Clara, CA).

$$\text{Cl- } a = \text{mg Cl-a L}^{-1} = 0.171 \times F + 0.099 \quad (n=22; r^2=0.445; p=0.001)$$

Donde F = fluorescencia medida continuamente *in situ* a 4 metros de profundidad expresada en Volts.

c) Análisis de datos acústicos

El análisis de los ecogramas se realizó con el programa Sonar 5. Cada ecograma (transecto lineal) se dividió en segmentos de 50 pings de longitud y 10 m de grosor hasta 250 m de profundidad siguiendo el protocolo de análisis de datos hidroacústicos de Robinson *et al.* (2000, 2004, 2007).

En los casos donde existió una profundidad < 250 m, se utilizó la función de detección de fondo oceánico de Sonar 5, bloqueando los datos con una línea de ± 5 m paralela y por encima del fondo para evitar blancos acústicos de organismos epibentónicos y los intensos ecos reflejados por el fondo marino (Gómez-Gutiérrez & Robinson, 2006). Los datos de los ecogramas se exportaron al programa Minitab 14 para su post-procesamiento. Estos datos fueron depurados para obtener únicamente los segmentos donde se registraron las fuerzas de blanco típicamente reflejadas por peces pelágicos menores incluidas en el intervalo entre -52 y -44 dB de fuerza de blanco, equivalentes a

organismos menores de <30 cm, siguiendo el criterio de discriminación hidroacústica de cardúmenes de peces pelágicos menores de poblaciones corroboradas e identificadas por medio de imágenes de video submarino en Bahía Magdalena, Baja California Sur (Robinson *et al.* 2000, 2004, 2007).

Para la identificación de blancos acústicos asociados a calamares, posiblemente dominados en abundancia por la especie *Dosidicus gigas*, se utilizó la ecuación de Benoit-Bird *et al.* (2008) para una frecuencia de 120 kHz:

$$\text{Fuerza de Blanco} = 20 \log (\text{longitud media dorsal del manto}) - 67.9 \text{ dB}$$

Para corroborar que la presencia de los blancos acústicos obtenidos estuvieran asociados a calamares, se realizó un esfuerzo de pesca nocturna siguiendo la metodología descrita por Nevárez-Martínez *et al.* (2000). Esta consiste en la captura nocturna realizada por tres personas equipadas con poteras bioluminiscentes pescando durante un periodo estándar de 30 minutos cuando el buque está a la deriva mientras se realizaban muestreos oceanográficos en cada una de las estaciones oceanográficas.

III. Análisis del registro de cetáceos

a) Estimación de la probabilidad de detección $f(0)$

Para estimar la distancia perpendicular de cada avistamiento de cetáceos se utilizó la siguiente ecuación trigonométrica: $x = r \cdot \text{sen}(\lambda)$ donde, r es la distancia entre el observador y el centro del grupo de animales (o el animal cuando se trataba de un animal solitario), λ es el ángulo que formó esta medición y x es la línea perpendicular del transecto al avistamiento (Fig. 3a). El valor de λ se obtuvo con la sustracción del rumbo real del buque a la lectura del compás integrado en los binoculares. El cálculo de la distancia entre el observador y el grupo de animales (r) se obtuvo con la lectura del número de retículas (incluidas en los binoculares y donde cada una equivale al ángulo necesario para ver un objeto a un metro de altura sobre el nivel del mar, a una distancia de 1000 m) entre el horizonte y el avistamiento. Una vez obtenida

esta medición se calculó el ángulo desde el horizonte hasta el grupo de cetáceos detectado conocido como ángulo de caída (θ). Posteriormente se convirtió en una distancia curvilínea considerando la curvatura del planeta. (Jaramillo-Legorreta & Rojas-Bracho, 1999, anexo II) (Fig. 3b). En los avistamientos donde la línea de costa no permitía detectar el horizonte ($n=15$) se estimó visualmente la distancia entre el centro del grupo de animales y el transecto de acuerdo al criterio de observador. Cuando este último tipo de estimación presentaba una incertidumbre considerable a juicio de los tres observadores estos registros no se incluyeron en los análisis estadísticos.

Una vez que se obtuvo la distancia perpendicular para cada avistamiento, se construyeron los histogramas de distancias por especie a partir de los cuales se determinó la distancia de truncación, es decir se excluyeron las distancias extremas encontradas que dificultan la modelación de la función de detección (Buckland *et al.*, 1993). Para mejorar la función de detección, se usó el método de combinación de datos (*pooling* en inglés) (Forney & Barlow, 1998), que consiste en juntar las distancias de especies que tengan una probabilidad similar de ser detectados bajo las mismas condiciones, o la misma especie avistadas en distintos cruceros oceanográficos con técnicas de búsqueda idéntica pero en dos temporadas en las que el estado del mar (en escala de Beaufort) fue similar. De esta forma se combinaron los datos de las distancias de avistamientos de cetáceos de el presente estudio con los obtenidos durante los cruceros realizados en Noviembre 2005 y Enero 2007 (Moreno-Zúñiga, 2008; Díaz-Gamboa, 2009). Los avistamientos de los tres cruceros se realizaron bajo condiciones metodológicas y de estado del mar similares que permitió incrementar el número de datos por especie haciendo la estimación de las funciones más robustas. Para verificar si los datos de avistamiento de los tres cruceros son estadísticamente comparables en la cantidad de esfuerzo realizado en cada crucero se realizó un análisis de variancia (ANOVA) de las condiciones del mar estimadas con la escala de Beaufort. La hipótesis nula (H_0) que se contrastó estadísticamente mediante el ANOVA fue que no existieron diferencias significativas en las condiciones del mar (índice de Beaufort) que sesgaran las probabilidades de avistar cetáceos. Así que se juntaron los datos de distancias para las especies de *Delphinus spp.* y *Tursiops truncatus* con un tamaño de grupo de 49 y 25 individuos

respectivamente, utilizando sólo los datos donde el número de individuos fueran iguales o muy cercanos a los encontrados para cada una de las especies presentes en este estudio.

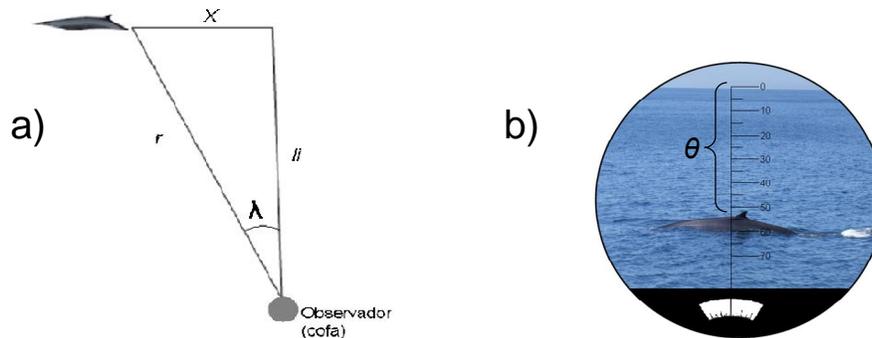


Figura 3. Mediciones para el cálculo de la distancia perpendicular entre el transecto y el cetáceo avistado. a) Cálculo del ángulo de avistamiento (λ). li es la longitud del transecto (l_i), r es la distancia entre el observador y el avistamiento, x la distancia perpendicular y el círculo gris representa al observador ubicado en la cofa del buque, b) campo visual observado en los binoculares, la distancia entre el horizonte y donde se encuentra el avistamiento es conocido como la caída angular (θ).

Posteriormente se estimó la función de detección ($g(x)$), definida como la probabilidad de que un objeto a distancia x sea detectado desde la línea del transecto (Thomas *et al.*, 2002) utilizando las distancias perpendiculares obtenidas para cada avistamiento. Generalmente, esta función de detección disminuye con el incremento de la distancia y siempre $0 \leq g(x) \leq 1$. La función de detección $g(0)$ describe la probabilidad de detectar una especie a distancia 0, o sea sobre el transecto. Para este estudio se asumió que $g(0)=1$, es decir, que todas las especies fueron detectadas a distancia 0, debido a que el cálculo de la probabilidad real de detectar animales que se encuentren justo sobre la línea de transecto hubiese requerido de un diseño experimental diferente para cada especie (Forney, 2000), así como la participación de observadores independientes que estimaran la proporción de individuos no detectados por los observadores principales (Buckland *et al.*, 1993)

Para la estimación de la función de detección $f(0)$, que es la función de detección $g(x)$ re-escalada a 1, para cada especie de cetáceo se utilizó el programa Distance © 5.1. (Buckland *et al.*, 1993). Para cada especie se contrastaron los modelos de clave de riesgo, media normal y uniforme con funciones de ajuste de coseno, polinomial simple y polinomial Hermite en la

distribución de las distancias perpendiculares para cada especie de cetáceos, a los cuales se les asignó los valores de truncación. Se seleccionaron las estimaciones más probables con el modelo matemático que presentara el menor valor de Criterio de Información de Akaike (AIC).

b) Estimación del “Índice de densidad con probabilidad de detección” (ID) de cada una de las especies de cetáceos para su asociación con condiciones ambientales

Debido a que se realizaron registros de condiciones ambientales continuamente (no únicamente en las estaciones oceanográficas) fue posible realizar una asociación numérica entre la densidad de los cetáceos y las variables ambientales a lo largo de los transectos. Debido a que los cetáceos son organismos nectónicos con alta movilidad y con un ámbito hogareño altamente dinámico, se utilizó la densidad en función de los variables ambientales usando como unidad de muestreo a los transectos (continuos independientemente de su longitud). En estudios previos (Chávez-Andrade, 2006; Moreno-Zúñiga, 2008) se han estandarizado los transectos a una longitud de 40 km. Sin embargo en este estudio se decidió no realizar esta estandarización de segmentos debido a que esta no cumple con el supuesto de la metodología de transecto lineal, en el que la longitud de los transectos debe ser igual a la longitud real (continua) y no divididos en segmentos (Buckland *et al.*, 1993). Debido a la heterogeneidad de la longitud de los transectos se estimó la densidad de cada especie de cetáceo presente en cada transecto con un índice de densidad en el cual está incorporada la probabilidad de detección de cada especie ($f(0)$) obtenida de los avistamientos de los tres cruceros CAPEGOLCA (noviembre 2005, enero y julio 2007). Este índice es una modificación del “Índice de ballena azul” (IBM) propuesto por Gendron & Gerrodette (en preparación), el cual se denomina índice de densidad (ID) en el presente estudio

$$ID = D' \times w$$

Donde:

D' = Número de organismos por área del transecto (km^2) durante el crucero

$w =$ es la probabilidad de avistamiento ponderada, derivado de la función de la probabilidad de detección de un animal a distancia cero ($f(0)$) estimado desde el transecto durante el crucero ($f(0)/g(0)=1$)

El ID incluye un valor más preciso de la densidad de los cetáceos por transecto que la abundancia relativa, debido a que incluye el número de individuos por el área del transecto, y la función de probabilidad de detección ($f(0)$) de manera específica. Esta función es el parámetro más relevante que se incluye en la estimación de densidad por el método de transecto lineal, ya que considera la distancia estimada entre el observador y el avistamiento, permitiendo conocer la probabilidad de encontrar cierta especie en el transecto, la cual es distinta por las características propias de las especies de cetáceos como lo son presencia de grupos o individuos, tamaño de soplo, etc.

Con la incorporación del valor de cada una de las variables medidas continuamente y del valor de ID directamente en cada uno de los transectos en el NMDS, se obtuvo una asociación estandarizada de la influencia de las variables en la distribución y densidad de cada una de las especies de cetáceos coincidiendo con previos estudios usando el mismo tipo de análisis (Chávez-Andrade, 2006; Moreno-Zúñiga, 2008; Díaz-Gamboa, 2009).

c) Análisis estadístico

Para comprender como la densidad de las especies de cetáceos, expresada en ID, estuvo asociada con las variables ambientales registradas continuamente y en las estaciones oceanográficas se realizó un análisis de ordenación multidimensional mediante la técnica estadística no-paramétrica Escalamiento No-Métrico Multi-dimensional (ENMM) (programa Pcord, ver. 4.21) con la finalidad de discernir cual de las variables registradas presentan la mayor influencia en la variabilidad en la presencia y distribución en el hábitat de las especies comunes de cetáceos en el Golfo de California durante la temporada cálida (Julio-agosto 2007). Análisis multi-variados semejantes se han realizado en cetáceos en las Islas Galápagos (Palacios, 2003) y el Golfo de California (Chávez-Andrade, 2006; Moreno-Zúñiga, 2008). El programa Pcord requiere de dos matrices: una de índice de densidad por especie de

cetáceos (ID) de cada especie y otra de variables ambientales. Debido a las diferencias de magnitud entre cada variable ambiental incluida en el análisis se realizó una transformación de la información de la matriz ambiental mediante una relativización por columna de todas las variables (McCune *et al.*, 2002).

Las diferencias interespecíficas de características de hábitat fueron comparadas mediante hipótesis nulas con el Procedimiento Permutacional de Multirespuesta (PPMR ó MRPP en inglés) (McCune & Medfford, 1999; McCune *et al.*, 2002).

RESULTADOS

I. VARIABLES AMBIENTALES

Temperatura superficial del Mar (TSM_{4m})

Los valores de TSM_{4m} registrados continuamente a lo largo del derrotero del buque oscilaron entre 24 y 30°C, encontrándose una masa de agua cálida al sur del Golfo de California principalmente en la costa oriental extendiéndose hasta la zona sur de las Grandes Islas. Las temperaturas <18°C se registraron a lo largo de la costa occidental, la región central de las Grandes Islas y en algunas zonas del norte del golfo (Fig. 4A). La imagen satelital de Julio 2007 muestra el gradiente longitudinal de la temperatura de sur a norte, con los registros más altos en el sur y centro del Golfo de California y las menores temperaturas en la costa occidental y en la región de las Grandes Islas aumentando hacia el norte del golfo desde el sureste al noroeste (Fig. 5).

Clorofila-a

La concentración de clorofila-a fue en la mayor parte del área de estudio ≤ 0.3 mg Cl-a m⁻³ siendo particularmente bajas concentraciones a lo largo de la costa continental (< 0.1 mg Cl-a m⁻³). Las concentraciones más altas se detectaron en la región de las Grandes Islas y en la costa occidental (0.4-0.6 mg Cl-a m⁻³) asociados a zonas con temperaturas entre 15 y 18 °C (Fig. 4B). Las imagen satelitales TSM y clorofila-a muestran un patrón inverso, sin embargo en esta se pueden observar procesos de mesoescala intensos caracterizados por giros en el norte del golfo y en la cuenca Farallón, los cuales se asocian a temperaturas bajas y valores relativamente bajos de clorofila-a (Fig. 5).

Concentración de oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto sub-superficial (4 m de profundidad) presentó valores de 3.5 a 5.5 mg O₂ L⁻¹ (Fig. 6). En general, las

regiones donde se registraron las menores concentraciones de oxígeno disuelto coincidieron con las regiones de mayor concentración de clorofila-a (alrededor de la Isla Ángel de la Guardia y frente a Bahía Concepción).

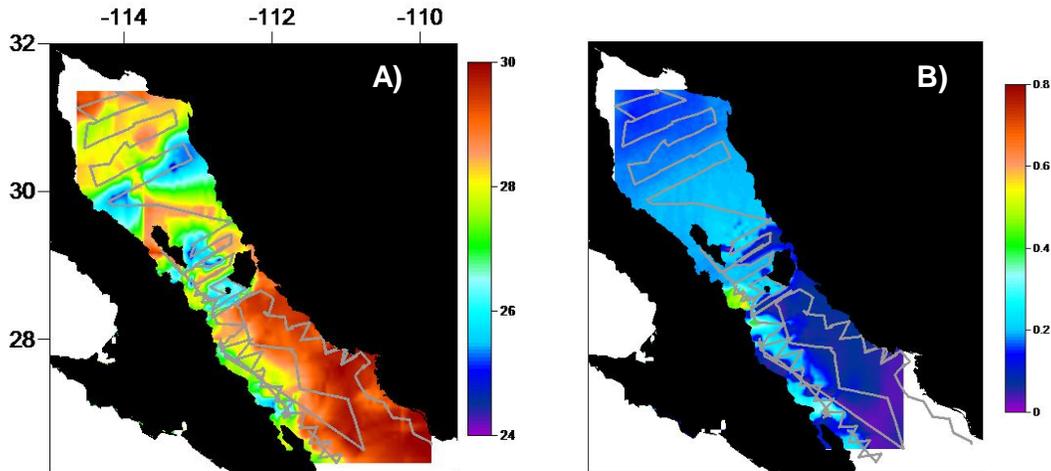


Figura 4. Registros continuos de A) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y B) clorofila a (mg m^{-3}) registrados a 4 m de profundidad durante la temporada cálida (julio-agosto 2007) en el Golfo de California.

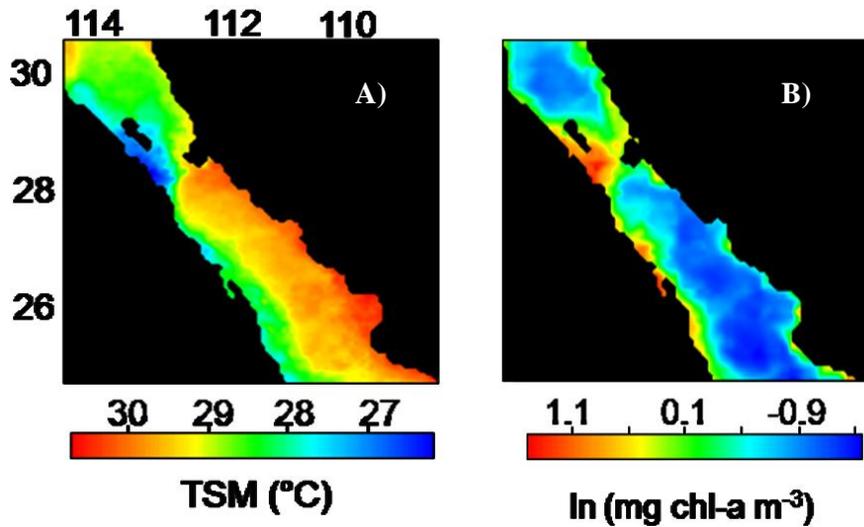


Figura 5. Imágenes satelitales (Colorado Center for Astrodynamics Research y la Nacional Atmospheric Space Administration, NASA, SeaWIFS) de A) la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y B) clorofila-a (mg m^{-3}) del Golfo de California registrados durante julio 2007. Imágenes procesadas por Carlos Robinson Mendoza (ICMyL-UNAM).

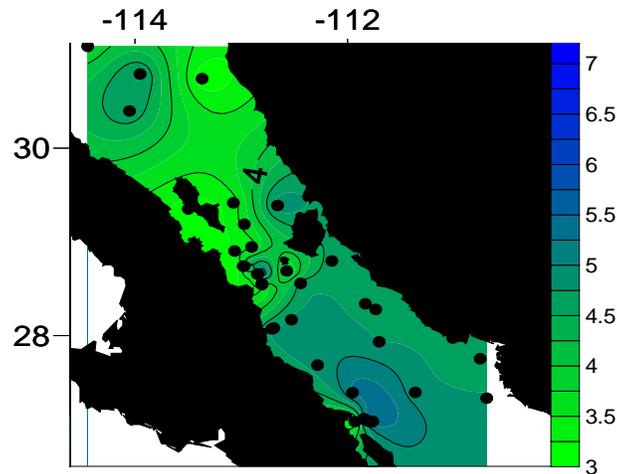


Figura 6. Concentración de oxígeno disuelto (mg L^{-1}) medido a 5 m de profundidad en las estaciones oceanográficas con un oxímetro adaptado a CTD SeaBird SB09 realizado en el Golfo de California durante la temporada cálida (julio-agosto 2007).

El perfil de temperatura promedio, con desviación estándar, mostró una marcada estratificación en la columna de agua con termoclina y capa de mezcla someras (<50 m). La temperatura varió de 14°C en el estrato de 200 m de profundidad hasta 30°C en la superficie del mar.

Porcentaje de Saturación de Oxígeno ($\%\text{O}_2$) y profundidad de la Capa Mínima de Oxígeno (CMO)

El porcentaje de saturación de oxígeno ($\%\text{O}_2$) de cada estrato de profundidad (50, 100 y 200 m) es mostrado en la Figura 7 A-C. En el estrato de 50 m se registraron valores entre ~30 y 40% de saturación, los valores más altos se detectaron alrededor de las Grandes Islas. En el estrato de 100 m se detectaron valores de ~20 a 30%, en las cuales porcentajes de saturación < 20% son considerados como concentraciones hipóxicas propias de la capa mínima de oxígeno (Tremblay, 2008). A 200 m de profundidad se presentó una amplia zona hipóxica desde la región sur del área de estudio hasta las Grandes Islas con porcentajes de saturación <15%.

La profundidad de la CMO, definida por concentraciones $<1.5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (Tremblay, 2008) fue somera (rango ~50 m a 130 m), excepto en las Grandes Islas y la costa oriental del norte del golfo donde la CMO se encontró en profundidades de hasta ~200 m (Fig. 8A).

Capa de Mezcla

Durante julio-agosto 2007 se detecto una somera y pronunciada termoclina estacional en todo el Golfo de California, por lo tanto, la profundidad de la capa de mezcla, fue relativamente estrecha ubicada en los primeros 30 m de profundidad en gran parte del golfo principalmente en la porción central del golfo, mientras que las mayores profundidades (hasta ~60 m) se presentaron en la región entre las Grandes Islas y la costa oriental hasta el norte del golfo (Fig. 8B).

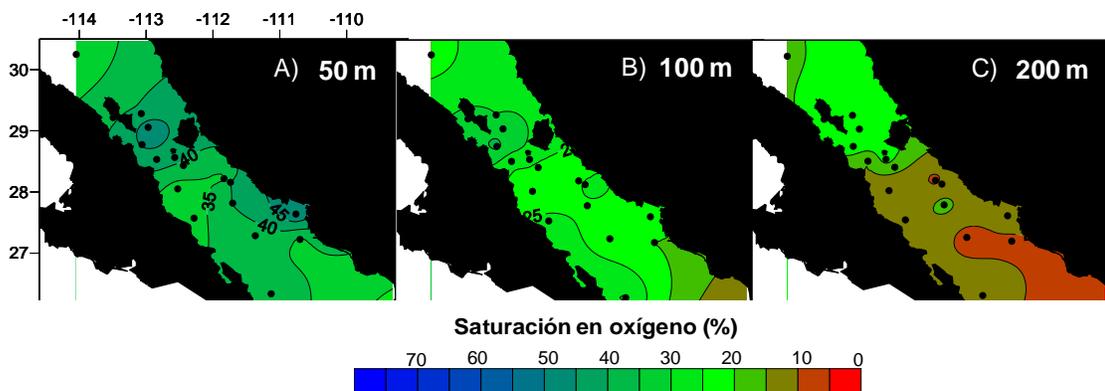


Figura 7. Porcentaje de saturación de oxígeno (%O₂) registrado con un oxímetro Seabird SB09 fijado en el CTD durante la temporada cálida (julio-agosto 2007) en el Golfo de California. A = 50 m, B = 100 m y C = 200 m.

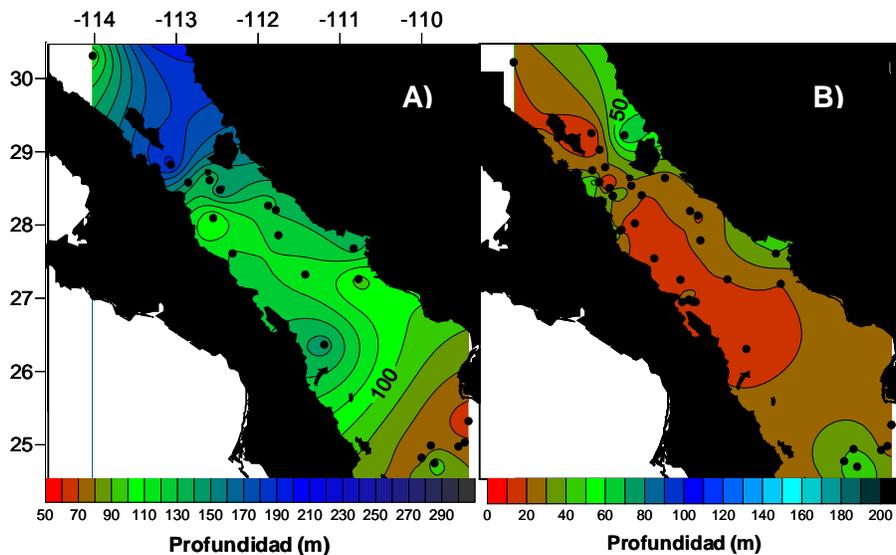


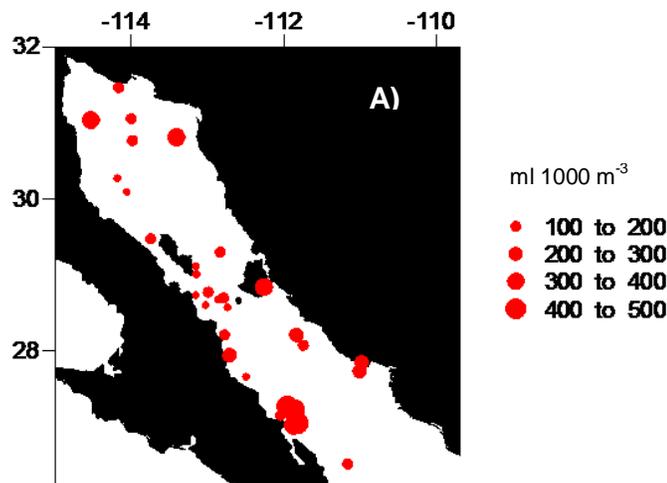
Figura 8. Profundidad (m) de (A) Capa Mínima de Oxígeno (CMO) y de (B) capa de mezcla registrada durante la temporada cálida (julio-agosto 2007) en el Golfo de California. (tomada de Tremblay, 2008)

II. DISTRIBUCION DE POSIBLES PRESAS DE CETÁCEOS

Biomasa Zooplanctónica (BZ) y Abundancia de Eufáusidos (EUF)

Los valores de biomasa zooplanctónica $<500 \text{ ml } 1000 \text{ m}^{-3}$ fueron registrados en la mayor parte de las estaciones del crucero caracterizando éste mes en un contexto estacional como de biomasa zooplanctónica bajas. Los mayores valores de biomasa de zooplancton $>500 \text{ ml } 1000 \text{ m}^{-3}$ se encontraron al norte de Bahía Concepción en la parte suroccidental del área de estudio donde se registraron las menores temperaturas en julio-agosto 2007 y al sur de Isla Tiburón (Fig. 9A).

La abundancia de eufáusidos de afinidad zoogeográfica templada-subtropical (*Nyctiphanes simplex* y *Nematoscelis difficilis*) tuvieron sus mayores abundancias en ambas costas del centro del golfo. Menores densidades fueron detectadas en las Grandes Islas y el norte del golfo (Fig. 9 B). Las especies de afinidad tropical (*Euphausia eximia* y *Euphausia distinguenda*) se presentaron con menor densidad ($<5\%$ de la abundancia total) que las especies de afinidad templada distribuyéndose exclusivamente al sur de las Grandes Islas donde se presentaron las temperaturas más elevadas registradas durante el crucero oceanográfico (Fig. 9 C).



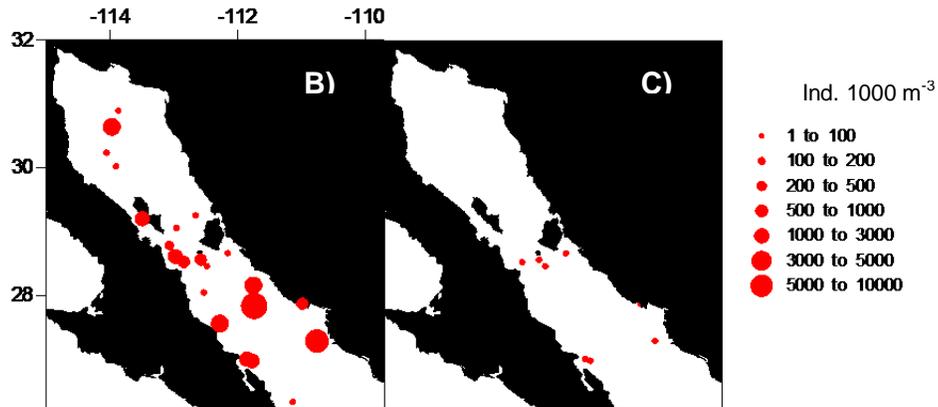


Figura 9. Distribución de (A) Biomasa Zooplanctónica ($\text{ml } 1000 \text{ m}^{-3}$) y abundancia de eufáusidos ($\text{ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$) de afinidad (B) templada-subtropical (*N. simplex* y *N. difficilis*) y (C) tropical (*E. eximia*, *E. distinguenda* y *E. tenera*) recolectados con la red bongo en el Golfo de California durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) (datos proveídos por Martínez-Gómez, en revisión).

Distribución de peces pelágicos menores detectados mediante métodos hidroacústicos (EP)

La presencia de peces pelágicos menores detectada mediante métodos hidroacústicos (Robinson *et al.*, 2007) se encontró principalmente alrededor de las Grandes Islas y cerca de Guaymas con una distribución altamente relacionada con temperaturas entre 15-18°C, la CMO relativamente mas profunda (200 m) y los valores de cl-a fueron más altos $> 0.3 \text{ mg L}^{-1}$) en relación al resto de los valores registrados en el área de estudio (Fig. 10).

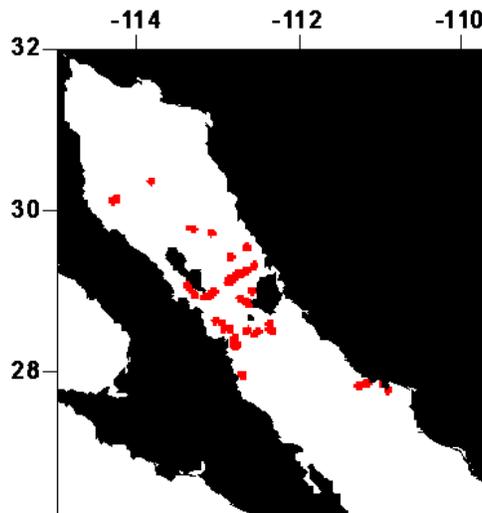


Figura 10. Distribución de blancos acústicos $S_v < -45 \text{ dB}$ posiblemente asociados a peces pelágicos menores en el Golfo de California registrados durante julio-agosto 2007 (temporada cálida).

Distribución de calamares detectados mediante métodos hidroacústicos (Cal)

Los calamares, posiblemente *D. gigas* por su reconocida alta abundancia y amplia distribución dentro del golfo, se detectó a todo lo largo del área de estudio, principalmente en la región de las Grandes Islas. Se detectaron agregaciones de calamares en el norte del golfo, la costa occidental y en la zona central del Golfo de California. Solo se encontraron algunos registros a lo largo de la costa oriental, cerca de Guaymas. En general, la presencia de este calamar se asoció a menores temperaturas y a zonas donde la profundidad de la CMO fue mayor (Fig. 11)

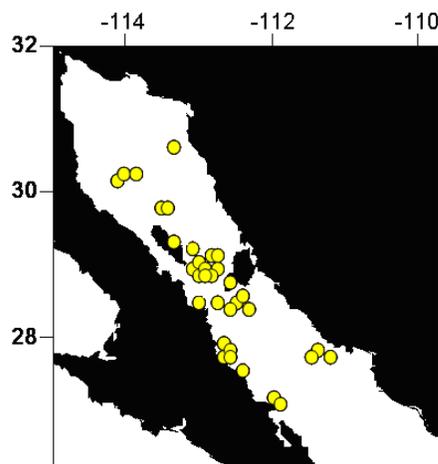


Figura 11. Presencia de agregaciones de calamar, posiblemente *Dosidicus gigas*, detectada con métodos hidroacústicos en el Golfo de California durante julio-agosto 2007 (temporada cálida).

III. DISTRIBUCIÓN Y FUNCIÓN DE PROBABILIDAD DE DETECCIÓN ($f(0)$) DE CETÁCEOS

Condiciones del mar durante el esfuerzo de observación de las especies

No se encontró diferencia significativa ($p=0.88$) entre el esfuerzo por escala de Beaufort observados entre este estudio y los cruceros de Noviembre 2005 y enero 2007 (Moreno-Zúñiga, 2008). Esto indica que las condiciones de observación de cetáceos en los tres cruceros, fue similar, permitiendo así el uso de distancia por especies para estimar la $f(0)$ de cada especie de cetáceo (Fig. 12).

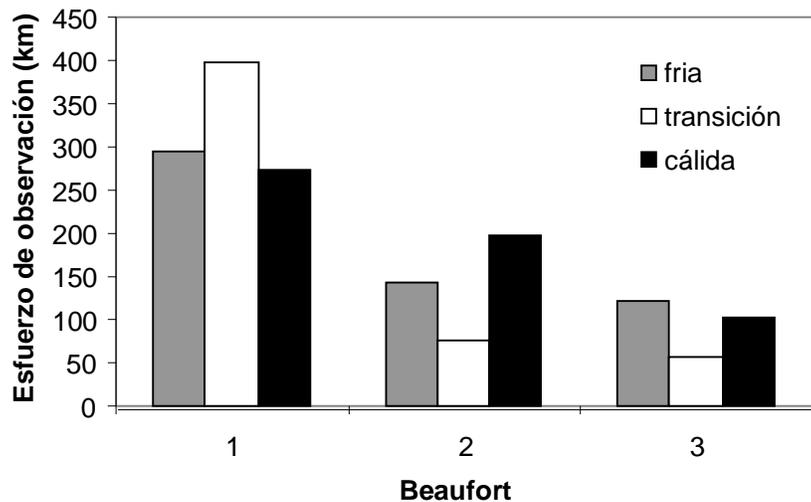


Figura 12. Distancia de esfuerzo de observación de cetáceos acumulada expresada en km recorridos bajo distintas condiciones de mar superficial expresadas en la escala de Beaufort detectado durante los cruceros oceanográficos de enero 2007 (temporada fría), noviembre 2005 (transición cálida-fría) (Moreno-Zúñiga, 2008) y julio-agosto 2007 (temporada cálida). No se realizó ningún esfuerzo de búsqueda y censo de cetáceos bajo condiciones de mar superficial con Beaufort ≥ 4 .

Distribución y abundancia de cetáceos comunes

Se obtuvieron 236 avistamientos. Las especies de cetáceos con mayor frecuencia de avistamientos durante el esfuerzo de observación fueron la ballena de aleta, delfín común, ballena piloto, cachalote y tursión. Los datos de número de avistamientos y abundancia, se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de avistamientos y número total de individuos detectados durante los transectos en el Golfo de California durante julio-agosto 2007.

Especie	No. de avistamientos	Total de individuos
<i>Balaenoptera physalus</i>	42	53
<i>Delphinus</i> spp.	42	3457
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	23	780
<i>Physeter macrocephalus</i>	105	443
<i>Tursiops truncatus</i>	24	468
Total	236	5,201

El único misticeto observado en verano 2007 fue el rorcual común con 53 animales en 42 avistamientos (Tabla 1, Fig. 13a). Esta especie tuvo una amplia distribución en el ambiente costero y oceánico, principalmente en la región de las Grandes Islas y en la costa occidental de la zona central del golfo.

El delfín común (*Delphinus* spp.) se distribuyó principalmente en la región de las Grandes Islas, con algunos avistamientos en el norte del golfo y la costa occidental del golfo (Fig. 13b). Se estimó que se observaron aproximadamente 3,457 delfines comunes en 42 avistamientos (Tabla 1). Los individuos fueron identificados a nivel de género debido a la imposibilidad de acercarse suficiente, sistemática y consistentemente a los grupos de delfines para su adecuada identificación específica. Aún cuando en algunas ocasiones estos se acercaron al buque, se requiere una alta experiencia de los observadores para asegurar la identificación específica (*D. delphis* y *D. capensis*).

El cachalote presentó la mayor frecuencia de avistamientos de todos los cetáceos en este estudio, con 443 individuos en 105 avistamientos distribuidos principalmente a lo largo de la costa occidental de la región del centro del golfo (Fig. 13d).

Los cetáceos ballenas piloto y los tursiones presentaron las menores frecuencias de avistamiento distribuyéndose principalmente a lo largo de la costa occidental del centro del golfo con algunos avistamientos al sur de las Grandes Islas (Fig. 13c, e). Las ballenas piloto se observaron en 23 avistamientos con una estimación total de 780 individuos y los tursiones se

detectaron en 24 avistamientos con un estimado total de 468 animales detectados en superficie.

Estimación $f(0)$

Tomando en cuenta la distribución de frecuencias de las distancias perpendiculares de los avistamientos de cada especie de cetáceo, se seleccionó un valor de truncación a partir del cual los datos detectados a una distancia mayor a este punto fueron considerados datos extremos (w). Es decir, las distancias mayores al punto de truncación indican que el observador tiene una mínima probabilidad de detectar esa especie de cetáceo en particular por sus características de tamaño corporal o su comportamiento solitario o gregario. En el caso de *G. macrorhynchus* y *T. truncatus* se decidió no realizar esta truncación debido al bajo número de avistamientos. Debido a que *Delphinus* spp. y *T. truncatus* son especies de delfines que tienden a acercarse a las embarcaciones, pueden provocar un error en la estimación de la distancia real a la que se encontraban los animales originalmente. Por esta razón se decidió realizar una truncación hacia la izquierda (de 0 a 250 m) además de la truncación a la derecha como usualmente se realiza en cada especie.

Los parámetros estimados y los modelos utilizados para cada especie de cetáceo (Fig.14) son resumidos en la tabla 2. Las $f(0)$ se incluyeron en la estimación del índice de densidad de cetáceos para el análisis con parámetros ambientales.

Tabla 2. Estimación de los parámetros para la estimación del índice de densidad de cada especie de cetáceo observado durante julio-agosto 2007 en el Golfo de California. w = distancia de truncado determinado *a priori*; $f(0)$ es el valor de probabilidad de densidad de distancias con su respectivo Coeficiente de Variación (%CV); se muestran las funciones de distribución de frecuencia ajustados a los datos de cada especie. Las series de expansión de los modelos en todas las especies fue la de Coseno.

Especie	w (km)	$f(0)$	%CV	Modelo de distribución
<i>Balaenoptera physalus</i>	4.25	0.45	21.04	Media normal
<i>Delphinus</i> spp.	2.75	0.77	19.96	Media normal
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	-	0.35	0	Uniforme
<i>Physeter macrocephalus</i>	6	0.24	12.84	Uniforme
<i>Tursiops truncatus</i>	-	0.46	25.14	Uniforme

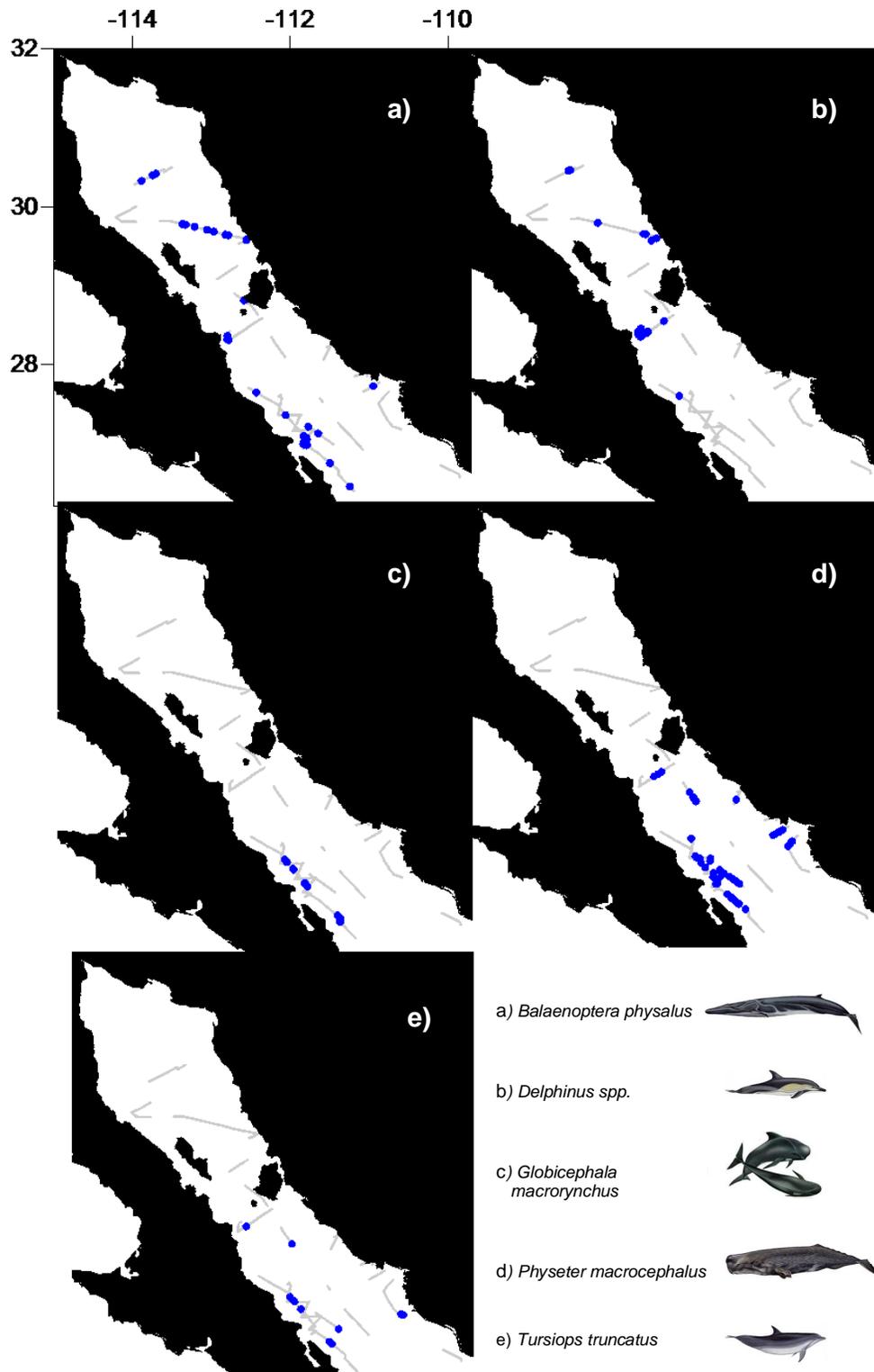


Figura 13. Distribución de los cetáceos presentes en el Golfo de California durante julio-agosto 2007. La ruta de esfuerzo de observación está representada por los segmentos en gris y los avistamientos por los círculos azules.

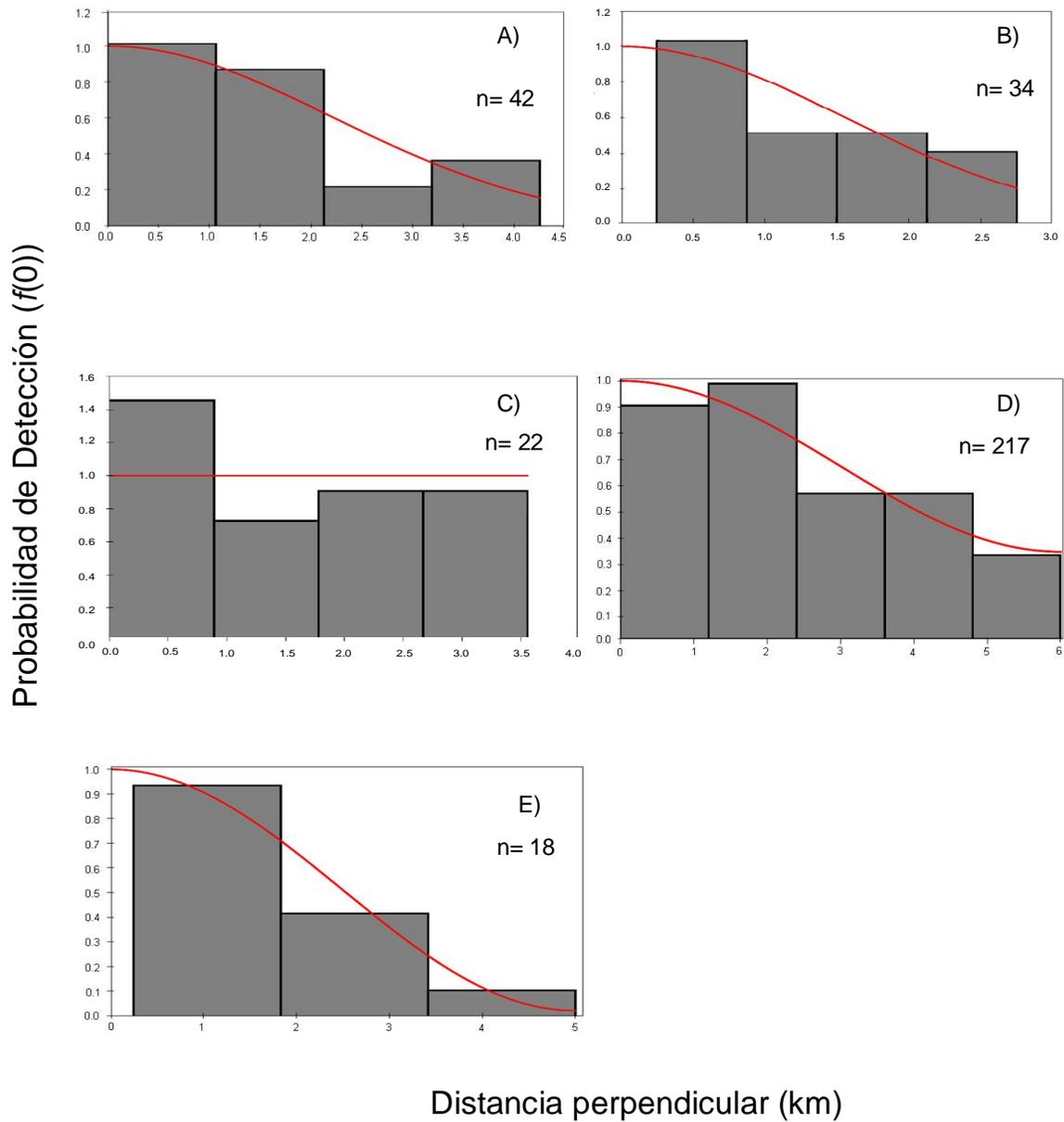


Figura 14. Distribución de frecuencias de las distancias perpendiculares estimadas a los avistamientos de los cetáceos y función de la probabilidad de detección ($f(0)$) de las especies de cetáceos comunes observados durante el crucero oceanográfico de julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. Las distancias máximas (de la derecha) son la distancia en kilómetros a los que se realizó la truncación. A) ballena de aleta (*B. physalus*), B) delfín común (*Delphinus spp.*), C) ballena piloto (*G. macrorhynchus*), D) cachalote (*P. macrocephalus*) y E) tursión (*T. truncatus*).

IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron dos formas distintas de análisis de agrupación: 1) una para agrupar las especies de cetáceos en función de su densidad estimada en cada uno de los transectos (utilizando la matriz traspuesta, especies renglones y transectos columnas) y 2) otra por agrupación de transectos en relación a densidad y distribución de las especies de cetáceos (matriz con estaciones en renglones y especies en las columnas) con la finalidad de detectar las agrupaciones en función de los valores del ID y distribución en el área de estudio.

En el análisis de agrupación de las especies de cetáceos se identificaron tres agrupaciones con un corte de 60% de similitud. El primer grupo incluyó únicamente al delfín común probablemente por ser la especie numéricamente más abundante en el Golfo de California formando grandes manadas y posiblemente por que existieron transectos en los que exclusivamente se encontró esta especie de cetáceo. En la segunda agrupación se detecto una asociación entre el tursiún y la ballena piloto que fueron frecuentemente avistadas en los mismos transectos y ambas con densidades de magnitud moderada. El tercer grupo incluyó a la ballena de aleta y el cachalote los cuales se detectaron en transectos ubicados de la costa occidental de la región central del golfo, aunque en un análisis posterior de ordenamiento estos no comparten un hábitat con semejantes condiciones ambientales, por lo tanto su inclusión en este grupo es parcialmente asociado al numero de individuos promedio de las manadas y a su presencia en la parte central del golfo (Fig. 15)

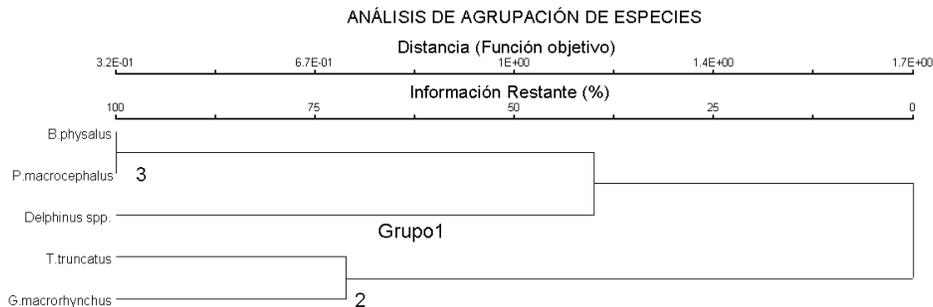


Figura 15. Dendrograma del análisis de agrupación para la matriz de especies de cetáceos en función de los transectos de avistamientos utilizando distancia Euclidiana y el método de enlace de Ward para los transectos durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. La función de objetivo estima la pérdida de información en cada paso jerárquico en el análisis de agrupamiento (McCune *et al.*, 2002).

En el análisis de agrupación de los transectos en función de la densidad y distribución de las especies de cetáceos mostró 4 grupos de transectos separados con un 55% de similitud (Fig. 16). El grupo 1 estuvo dominado, en términos de frecuencia de aparición, por la ballena de aleta (*B. physalus*). El grupo 2 estuvo conformado principalmente por los delfines comunes, pero la ballena de aleta también estuvo presente en algunos de los transectos de este grupo. El grupo 3 incluyó principalmente a los tursiones y a las ballenas piloto y en el grupo 4 predominó en frecuencia de aparición los cachalotes. Estos cuatro grupos de transectos se incorporaron como variables categóricas en el posterior análisis de ordenamiento multidimensional Escalamiento No-Métrico Multidimensional para asociarlas con las condiciones ambientales promedio en cada una de estos grupos de transectos.

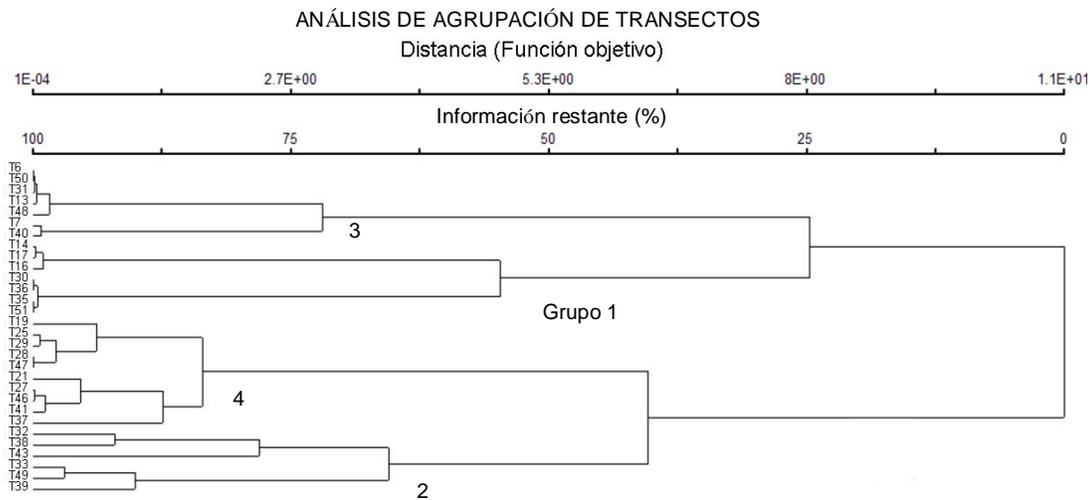


Figura 16. Dendrograma del análisis de agrupación de la matriz de transectos en función de las especies de cetáceos utilizando la distancia Euclidiana y el método de enlace de Ward para los transectos durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. La función de objetivo estima la pérdida de información en cada paso jerárquico en el análisis de agrupamiento (McCune *et al.*, 2002). El dendrograma muestra el número secuencial de transectos.

Ordenación entre cetáceos y variables ambientales mediante el método de Escalamiento No-Métrico Multidimensional (ENMM).

Se obtuvo una solución de ordenamiento bidimensional con un estrés final de 20.6, una estabilidad final de 0.00001 y la ordenación tuvo diferencias significativas con respecto a ordenaciones aleatorias estimadas mediante el método de Monte Carlo ($p=0.0021$). Los coeficientes de determinación para las correlaciones entre las distancias de ordenación y las distancias originales en el espacio n-dimensional fueron de 0.324 para el primer eje y 0.202 para el segundo eje explicando cerca el 52.6% de la variabilidad total. El gradiente a lo largo del primer eje representa la variabilidad del hábitat de cetáceos asociado a variables principalmente de tipo biológico, positivamente asociado con la biomasa zooplanctónica y negativamente asociado a la presencia de calamar, abundancia de eufáusidos tropicales ($r = 0.3$ a 0.4) y en menor magnitud por la concentración de clorofila-a (cl-a), presencia de peces pelágicos menores y salinidad ($r < 0.3$). El segundo eje de variabilidad estuvo negativamente asociado a los eufáusidos subtropicales *Nyctiphanes simplex* y *Nematoscels difficilis*. Los grupos 1 (principalmente *B. physalus*) y 2 (principalmente *Delphinus* spp.), previamente agrupado mediante el análisis de agrupación de transectos en función de la densidad de cetáceos tuvieron modos de variabilidad semejante ubicados en la parte superior de la ordenación multidimensional. Estos se ubicaron en el extremo opuesto a lo largo del eje 2 con el grupo 3 conformado por *T. truncatus* y *G. macrorhynchus*. Esto sugiere que en verano el hábitat de *B. physalus* y *Delphinus* spp es semejante entre ellos pero considerablemente distinto al de *T. truncatus* y *G. macrorhynchus*. El grupo 4, conformado por *P. macrocephalus*, se encontró a la derecha de la ordenación con ubicación de transectos con características ambientales completamente distintas al de el resto de las especies.

Las especies que tuvieron mayor asociación con el eje 1 y casi alineados al modo de variabilidad de este eje fue *P. macrocephalus* (positivamente) y *Delphinus* spp (negativamente). Las especies con mayor asociación en el modo de variabilidad del eje 2 fueron *T. truncatus*, *G. macrorhynchus*, *B. physalus* y *P. macrorhynchus*.

En resumen, *B. physalus* se observó en hábitats asociados con concentraciones altas de clorofila-a, profundidad de la termoclina y CMO, así como a la presencia de peces y a baja TSM₄.

Delphinus spp. estuvo principalmente asociado a hábitats con menor biomasa zooplanctónica, mayor presencia de calamar y de peces pelágicos menores, así como mayor abundancia de eufáusidos tropicales y menor concentración de cl-a y abundancia de eufáusidos subtropicales (Fig. 17).

Tursiops truncatus y *G. macrorhynchus* se encontraron asociados a regiones con mayor abundancia de eufáusidos subtropicales, presencia de calamar y valores altos de TSM₄ (Fig. 17).

Physeter macrocephalus estuvo principalmente asociado a regiones con mayor biomasa zooplanctónica y en menor grado negativamente asociado a regiones con menor abundancia de eufáusidos tropicales, peces y mayor concentración de cl-a, a mayor abundancia de eufáusidos subtropicales y valores altos de TSM₄. Paradójicamente esta especie teutófaga no estuvo asociada a zonas de presencia de calamar (Fig. 17).

Tabla 3. Resultados del análisis de ordenamiento de Escalamiento No-Métrico Multidimensional de las especies de cetáceos en función de las variables ambientales registradas durante los transectos. Coeficiente de determinación (r^2) para cada eje y correlación de Pearson (r) para cada especie de cetáceo y variable ambiental.

Variables	Eje 1 ($r^2= 0.324$)	Eje 2 ($r^2= 0.202$)
	r	r
Especies		
<i>Balaenoptera physalus</i>	-0.260	-0.395
<i>Physeter macrocephalus</i>	-0.621	0.309
<i>Tursiops truncatus</i>	0.277	0.450
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	0.111	0.426
<i>Delphinus</i> spp.	0.345	-0.255
Variables ambientales		
Temperatura a 4 m de profundidad (°C)	0.133	0.227
Salinidad	0.333	0.217
Clorofila a (mg Cl-a m ⁻³)	-0.351	-0.142
Profundidad de capa mínima de oxígeno (m)	0.103	-0.206
Profundidad de la termoclina (m)	0.142	-0.232
Biomasa zooplanctónica (ml 1000 m ⁻³)	-0.568	0.150
Abundancia de eufáusidos tropicales (ind/1000 m ⁻³)	0.436	0.054
Abundancia de eufáusidos subtropicales (ind/1000 m ⁻³)	-0.136	0.479
Peces pelágicos menores	0.310	-0.325
Calamar	0.489	-0.089

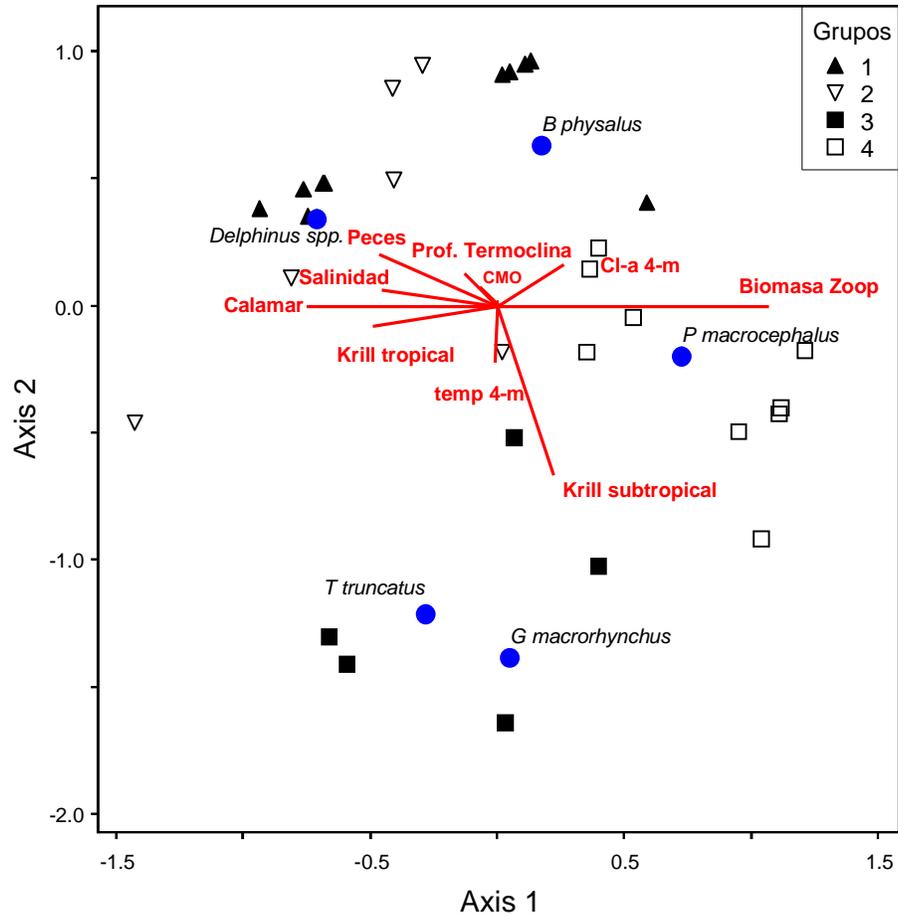


Figura 17. Ordenación multidimensional de las especies de cetáceos en función de las variables ambientales registradas durante los transectos de avistamiento durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. Círculos azules= especies de cetáceos. Los transectos fueron clasificados categóricamente en 4 grupos de acuerdo al análisis de agrupación. La ordenación fue rotada para maximizar la variabilidad del vector con mayor coeficiente de asociación (biomasa de zooplancton).

Para proveer un panorama más preciso de la caracterización de hábitat mostrado por el análisis ENMM de la asociación de los valores de ID de las especies de cetáceos y de las variables oceanográficas presentes en cada transecto se estimaron los valores promedio y rango para cada grupo de especies resultantes del análisis de agrupamiento (Tabla 4).

Tabla 4. Valores promedio de ID (km²) y rango en cada grupo de transectos agrupados mediante el análisis de agrupación y asociados a condiciones ambientales mediante la ordenación multidimensional (ENMM) presentes durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California. Bp= *Balaenoptera physalus*; Pm= *Physeter macrocephalus*; Tt= *Tursiops truncatus*; Gm= *Globicephala macrorhynchus*; Dspp= *Delphinus* spp. y valores de variables oceanográficas presentes en los grupos: TSM= temperatura superficial del mar; Sal= Salinidad Cl-a= concentración de clorofila a; PCMO= profundidad de la capa mínima de oxígeno; PT= profundidad de la termoclina; BZ= Biomasa Zooplanctónica; Euf.Subtrop=Eufáusidos subtropicales y Euf.Trop= Eufáusidos tropicales. Los valores de rango (máximos y mínimos) son mostrados debajo de cada promedio.

Grupo	Bp.	Pm.	Tt.	Gm	D spp.	TSM (°C)	Sal.	Cl-a (mg Cl-a m ⁻³)	PCMO (m)	PT (m)	BZ (ml 1000 m ⁻³)	Euf. Subtrop (ind/1000 m ⁻³)	Euf. Trop. (ind/1000 m ⁻³)
1	0.0028	0.00052	0	0	0.0005	28.3	31.2	0.2	126	21	259.65	7.61	118.63
Rango	0.00022-0.011	0-0.0052			0-0.0045	26.7-30.1	26.6-35.3	0.03-0.61	97-175	11-42	131.12-406.92	0-24.13	106.2-2318.4
2	0.00088	0.00039	0.00019	0	0.38	26.9	34.3	0.11	141	32	151.99	5.57	486.09
Rango	0-0.0029	0-0.0023	0-0.0011		0.062-0.78	25.6-28.5	28.9-35.6	0.05-0.21	116-180	15-57	87.7-230.89	0-13	33.52-2193.41
3	0.00007	0.0011	0.011	0.044	0	28.8	29.3	0.10	120	15	264.38	8.84	1814.91
Rango	0-0.00035	0-0.0033	0-0.094	0-0.16		28.1-29.2	27-34.9	0.03-0.22	98-133	12-20	189.07-351.54	0-23.05	637.8-3130.09
4	0.00032	0.0043	0.0002	0	0	27.8	29.9	0.17	124	26	326.42	3.14	1972.52
Rango	0-0.0014	0.00024-0.013	0-0.0018			26.1-29.9	26.5-35	0.02-0.35	119-133	12-39	198.1-469.14	0-11.56	746.12-3701.24

Procedimiento Permutacional de Multi-Respuesta (PPMR).

A partir de las variables ambientales que explicaron la mayor parte de la variabilidad de los gradientes a lo largo de los ejes 1 y 2 del análisis de ordenación ENMM se elaboraron tres hipótesis nulas para determinar si existen diferencias en la distribución, abundancia y estructura de la comunidad entre: 1) los grupos definidos por análisis de agrupamiento, 2) regiones definidas latitudinalmente *a priori* delimitadas como Norte del Golfo , Grandes Islas y Centro y 3) transectos ubicados en el ambiente oceánico (>200 m de profundidad) y costero (< 200 m de profundidad) (Tabla 5).

El análisis de PPMR indicó diferencias significativas entre los grupos conformados por el análisis de agrupación asociadas a la densidad por especie de cetáceo ($p = 0.001$) sugiriendo que los hábitat detectados en el análisis NMDS fueron efectivamente distintos para los grupos de cetáceos observados. También se encontraron diferencias significativas entre regiones latitudinales definidas *a priori* indicando que a pesar de la aparente homogeneidad de variables ambientales presentes en verano estas son estadísticamente distintas ($p= 0.031$). No se encontraron diferencias significativas entre los transectos oceánicos y costeros ($p= 0.539$) indicando que las especies no tuvieron un hábitat preferencial en relación a la profundidad al menos durante el periodo de estudio (Tabla 5).

Tabla 5. Resultado del análisis de Procedimiento Permutacional de Multi-Respuesta (PPMR) para la comparación entre los hábitats entre cetáceos durante julio-agosto 2007 (temporada cálida) en el Golfo de California definidas por hipótesis nulas. *A = 1 - (delta observada / delta esperada), Amax = 1 cuando todas las especie son idénticas dentro de los grupos (delta=0), A = 0 cuando la heterogeneidad dentro de los grupos iguala a lo esperado por una ordenación producto de un proceso aleatorio, A < 0 cuando más heterogeneidad existe dentro de los grupos que lo esperado por una ordenación producto de un proceso aleatorio. p = probabilidad de obtener un delta más pequeño o igual.

Grupo de transectos comparados de acuerdo con las siguientes H ₀	t-estadístico	*A	p-valor
Grupos 1 (<i>B.physalus</i>) vs 2 (<i>Delphinus</i> spp.) vs 3			
(<i>T.truncatus</i> - <i>G.macrorhynchus</i>) vs 4 (<i>P.macrocephalus</i>)	-13.06	0.506	0.000
Regiones (Norte del Golfo , Grandes Islas, Centro de GC)	-2.141	0.073	0.031
Oceánicos (>200 m) vs costeros (<200 m)	0.308	-0.007	0.539

Análisis Indicador de Especies

Las dos hipótesis nulas que resultaron significativamente distintas mediante el análisis de PPMR fueron contrastadas con el método de Análisis indicadora de especies (AIE) para detectar cuales especies de cetáceos fueron significativamente fieles a los distintos grupos de transectos definidos por el análisis de agrupamiento y por regiones latitudinales. Según el AIE *B. physalus* presentó una fidelidad con nivel significativo al grupo 1, *P. macrocephalus* a el grupo 4, *T. truncatus* y *G. macrorhynchus* presentaron una fidelidad a el grupo 3 y *Delphinus spp.* al grupo 2. Para la comparación entre las regiones, no se presentaron diferencias significativas para ninguna de las especies detectadas por lo que las diferencias pueden ser posiblemente en términos ambientales más que en estructura de la comunidad de las especies (Tabla 6)

Tabla 6. Resultados del Análisis Indicadora de Especies (AIE) para las especies de cetáceos presentes a lo largo de los transectos y a las regiones definidas *a priori*: Norte del Golfo (NG), Grandes Islas (GI) y C (Centro) presentando el valor porcentual y el valor de la prueba de Monte Carlo.

Especie	Grupo	Valor porcentual	Monte Carlo p valor	Regiones	Valor porcentual	Monte Carlo p valor
<i>B.physalus</i>	1	66.9	0.0070	NG	43.3	0.434
<i>P.macrocephalus</i>	4	67.2	0.0030	C	41.0	0.213
<i>T.truncatus</i>	3	79.1	0.0020	C	20.9	0.555
<i>G.macrorhynchus</i>	3	60.0	0.0020	C	13.0	0.858
<i>Delphinus spp.</i>	2	99.0	0.0010	GI	44.7	0.108

DISCUSIÓN

Esta tesis representa el primer monitoreo de cetáceos en el Golfo de California con mediciones biológicas y ambientales durante la temporada cálida y demuestra que estos organismos habitan regiones altamente influenciadas por factores biológicos asociados a la disponibilidad de alimento, que a su vez fue evaluada con muestreos zooplanctónicos y métodos hidroacústicos.

Las condiciones de la temporada cálida con típico gradiente longitudinal de la temperatura y pronunciada termoclina estacional (estratificación) en el Golfo de California modificó sustancialmente la distribución vertical y estructura de la comunidad de especies de copépodos, la cual es sustancialmente distinta a lo encontrado en Enero de 2007, aunque los niveles de abundancia estacional son relativamente semejantes (Palomares-García & Gómez-Gutiérrez, 2009). En el caso de los eufáusidos, a pesar de que en verano existe una notable disminución de la abundancia en comparación con la temporada fría y transicional (Brinton & Townsend, 1980; Tremblay 2008), la estructura de la población es prácticamente similar a través del año con una dominancia numérica de *Nyctiphanes simplex* (Gómez-Gutiérrez *et al.*, en prensa a). Los calamares mostraron un pronunciado cambio en su distribución estacional. En Noviembre los calamares estuvieron presentes principalmente a lo largo de la costa oriental del golfo y en las Grandes Islas; en Enero se encontraron

solamente en la región central del golfo acorde con lo esperado por su afinidad tropical; y en verano estos se encontraron ampliamente distribuidos en el Norte del Golfo y con frecuentes agregaciones en las Grandes islas y costa occidental de la región central del golfo (Robinson, com. pers.). Estos cambios estacionales aparentemente influyen en la distribución y densidad a los cetáceos teutófagos (Díaz-Gamboa, 2009), sin embargo, es importante aclarar que en Julio de 2007, se presentaron dos tipos de sesgos en el registro de calamar:

- 1) La presencia acentuada de calamar en todos los transectos de la región de las Grandes Islas pudo enmascarar la significancia dentro del ENMM con respecto a la costa occidental de la región central del Golfo de California, donde hubo transectos con ausencia de este cefalópodo. Los resultados obtenidos por hidroacústica para el calamar fueron únicamente de presencia/ausencia, sin tomar en cuenta aspectos relevantes como la biomasa o talla.
- 2) La profundidad máxima a la que se analizaron los registros hidroacústicos se limitó a 250 m. Se ha descrito que el calamar gigante de grandes tallas (hasta 66 cm), tiende a encontrarse en profundidades > 250 m durante el día (Gilly *et al.*, 2006; Davis *et al.*, 2007). Tomando en cuenta lo anterior, es probable que estos calamares no fueran detectados por los métodos hidroacústicos. Por otro lado, hasta el momento no se cuentan con estudios de la migración vertical de los calamares de talla mediana o pequeña.

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, si no que tienden a ocupar hábitats temporales que permiten cubrir sus requerimientos biológicos. Tomando en cuenta lo anterior, la definición y descripción de los hábitats en los cuales las especies se distinguieron por los análisis de agrupamiento, el Ordenamiento No-Métrico Multidimensional, el contraste de hipótesis con el Procedimiento Permutacional de Multi Respuestas y el análisis indicador de especies (AIE) demostraron diferencias interespecíficas significativas en las cuales las especies *B. physalus*, *Delphinus* spp. y *P. macrocephalus* formaron grupos distintos,

implicando que sus hábitats fueron significativamente distintos. Las especies *T. truncatus* y *G. macrorhynchus* conformaron un sólo grupo con distribuciones altamente asociadas a las mismas características ambientales indicando que comparten hábitats similares pero distintos a las otras especies de cetáceos estudiadas en esta tesis. A continuación se discutirá con detalle el hábitat en el cual cada especie se detectó durante la temporada cálida de 2007.

Hábitat de *Balaenoptera physalus*

La asociación entre la distribución de la ballena de aleta y las variables ambientales es típica de zonas de surgencia, lo que usualmente ocurre a lo largo de la costa occidental del golfo durante el verano (Badan-Dangon *et al.*, 1985; Álvarez-Borrego, 2002; Lavín & Marinone, 2003) y en la región de las Grandes Islas (Álvarez-Borrego, 2002; Lavín & Marinone, 2003). Estas regiones presentaron las concentraciones más altas de cl-a, así como la termoclina y la CMO más profundas con respecto a otras regiones del golfo (Tabla 4). Sin embargo, a pesar de la presencia de estas zonas con surgencias relativamente débiles en un contexto estacional, las concentraciones de cl-a durante Julio de 2007 fueron considerablemente bajas (temporada cálida, $<0.2 \text{ mg cl-a m}^{-3}$) en comparación con los valores de Enero de 2007 ($<0.4 \text{ mg cl-a m}^{-3}$) (Tremblay, 2008). Esta baja concentración de cl-a puede tener una estrecha relación con la pronunciada estratificación de la termoclina estacional ($<50 \text{ m}$ de profundidad) en el golfo. Bajo estas condiciones el fitoplancton muestra condiciones limitadas debido a la menor difusión de los nutrientes hacia la capa de mezcla, resultado de las características de la termoclina (Platt *et al.*, 2003). Esta puede ser la causa de que las surgencias detectadas a lo largo de la costa de la península de Baja California, ocasionadas por los vientos del sureste, tengan un efecto limitado en el desarrollo del fitoplancton. Otro factor por el cual la zona de surgencias en el oeste del golfo no tiene un efecto sustancial en el fitoplancton es por la elevada temperatura registrada en la capa de mezcla reduciendo así su capacidad fotosintética (Álvarez-Borrego, 2002). Estas condiciones *per se* seguramente no afectan la distribución de la ballena de aleta, sin embargo, la distribución de fitoplancton puede influenciar

la distribución y abundancia de sus potenciales presas: los eufáusidos y los pelágicos menores.

El cambio más notable para los eufáusidos durante el verano fue la disminución en la abundancia de todas las especies y la ampliación hacia el norte en la distribución de especies de afinidad tropical como *Euphausia eximia*, *Euphausia distinguenda* y *Euphausia distinguenda* (Brinton, 1979; Gendron, 1990; Lavaniegos, 1996; Tremblay, 2008; Gómez-Gutiérrez *et al.*, en prensa). Las especies *N. simplex* y *Nematoscelis difficilis* mantuvieron una distribución más profunda (debajo de la termoclina), particularmente las hembras ovígeras de *N. simplex* (Gómez-Gutiérrez *et al.*, en prensa; Tremblay, 2008), debido a que las elevadas temperaturas por encima de la termoclina son condiciones desfavorables para el desarrollo de las larvas (Gómez-Gutiérrez, 1996; Gómez-Gutiérrez & Robinson, 2005) y disminuyen las tasa de producción de biomasa (Lavaniegos, 1995; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1996; De Silva-Dávila & Palomares, 1998; Martínez-Gómez, en revisión). Esta disminución en la abundancia y cambios en la distribución en la columna de agua de *N. simplex* puede ser la explicación de porqué en julio la ballena de aleta no presentó una asociación directa con los eufáusidos sino un traslape de distribución con zonas donde la información hidroacústica evidenció la presencia de pelágicos menores. Estas observaciones apoyan la idea que *B. physalus* modifica su dieta durante el verano alimentándose principalmente de pelágicos menores (especialmente *Sardinops sagax*) originalmente propuesto por análisis de isótopos estables (Gendron *et al.*, 2001; Jaume-Schinkel, 2004). Durante la temporada cálida, los cardúmenes de sardinas adultas se concentran en zonas de alimentación alrededor de las Grandes Islas (principalmente entre la isla Ángel de la Guarda e Isla Tiburón) y los juveniles se encuentran migrando hacia esta región a lo largo de la costa oeste del golfo (Hammann *et al.*, 1988). El análisis de ENMM asoció a la ballena de aleta con la presencia de pelágicos menores principalmente en la región norte del golfo y alejada de la costa, similar al patrón de distribución reportado para este cetáceo en estudios previos (Rojas-Bracho, 1984; Tershy *et al.*, 1990; Gendron, 1993; Mangels & Gerrodette, 1994; Enríquez-Paredes 1996; Urbán, 1996; Ladrón de Guevara-Porras *et al.*, 2008). El análisis MRPP mostró diferencias significativas entre regiones, sugiriendo que en verano existen

hábitats con sutiles diferencias. Sin embargo, el análisis de MRPP no mostró diferencias significativas entre regiones oceánicas y costeras, lo cual indica que al menos para los cetáceos en verano no existe una distinción de hábitat en función de la plataforma continental o de zonas más profundas. Esto quizás pueda ser explicado por alguno de los siguientes factores: 1) el Golfo de California presenta una estrecha plataforma continental (excepto por la región norte), en la cual el crucero oceanográfico cubrió una extensión limitada, 2) el menor esfuerzo de observación realizado en la región del norte del Golfo y en zonas costeras comparado con la zona más profunda.

El ENMM asoció la distribución e índice de densidad de la ballena de aleta con regiones donde se detectaron calamares. En el Golfo de California, no se ha reportado una relación depredador/presa entre estas dos especies, pero se ha determinado que el calamar *D. gigas* de talla mediana se alimenta directamente de eufáusidos (Ruiz-Cooley *et al.*, 2006). Lo anterior podría sugerir que la ballena de aleta y el calamar compiten por presas similares.

Hábitat de *Delphinus* spp.

En el presente estudio, el ENMM mostró una asociación entre la densidad de los delfines comunes con regiones con altos valores cl-a, baja concentración de biomasa zooplanctónica y baja temperatura (Tabla 4), concordando con estudios previos en el Pacífico Oriental Tropical (Reilly & Fiedler, 1994), Atlántico norte occidental (Griffin, 1997) y en el Golfo de California durante la primavera y otoño (Díaz-Gamboa, 2009).

En julio de 2007 la mayor concentración de peces detectados hidroacústicamente se encontró alrededor de las Grandes Islas. Por otro lado los calamares, que también fueron detectados por esta técnica, presentaron una distribución amplia, concentrándose no solo en las Grandes Islas sino también en la costa occidental de la región central del golfo, contrastando con la distribución de los delfines, la cual fue más restringida a la región de las Grandes Islas un hábitat previamente identificado como zona de agregaciones de grandes grupos de delfines comunes durante verano (Gallo-Reynoso, 1991). El delfín común es un depredador oportunista y eurífago que consume distintas presas dependiendo de su disponibilidad (Santos *et al.*, 2005, Díaz-

Gamboa, 2009). Entre estas sobresalen peces epipelágicos y cefalópodos (Perrin, 2002), los cuales podrían estar ubicando de modo importante alrededor de las Grandes Islas (posiblemente tallas pequeñas en el caso de calamar), que es la región importante en términos de la distribución de delfines comunes durante la temporada cálida de 2007.

La asociación encontrada entre delfines comunes y eufáusidos tropicales pudiera explicarse por su concentración en la región de las Grandes Islas, lo cual va acorde con la advección de fauna tropical a latitudes altas en el golfo.

A partir de las distintas interpretaciones dentro de este apartado es posible afirmar que los delfines comunes presentaron una asociación directa y clara con la presencia de sus principales presas.

Hábitat de *Tursiops truncatus* y *Globicephala macrorhynchus*

El tursiión y la ballena piloto se encontraron en un hábitat tropical, asociados a regiones con una mayor abundancia de eufáusidos subtropicales, presencia de calamar y valores altos de TSM₄ (Tabla 4). Durante la primavera y otoño (Marzo y Noviembre 2005) ambas especies se asociaron a biomasa de calamar, sin embargo los tursiones también se relacionaron con altas concentraciones de zooplancton y una elevada temperatura superficial, mientras que las ballenas piloto se asociaron con una alta concentración de cl-a (Díaz-Gamboa, 2009). En el presente estudio no se encontró diferencia en el hábitat de estas dos especies de cetáceos sugiriendo un traslape de hábitat al menos durante las condiciones típicas de la temporada cálida. Sin embargo, ambos estudios concuerdan al establecer una relación positiva con el calamar, pero difieren en las asociaciones encontradas con las demás variables ambientales. En Julio de 2007, las bajas concentraciones de cl-a en el Golfo de California asociadas a una baja biomasa zooplanctónica (respecto a otras épocas del año), así como a una restricción espacial de presas, pudo ocasionar que las áreas de alimentación del tursiión y de la ballena piloto se redujeran ocasionando un traslape de sus hábitats. En primavera-otoño (Marzo y Noviembre 2005, Díaz-Gamboa, 2009) la concentración de cl-a más alta pudo favorecer una mayor biomasa de zooplancton y un aumento de las opciones en

términos de áreas para alimentarse, generando una segregación de hábitats de estos cetáceos.

Durante el verano el hábitat de los tursiones y ballenas piloto se asoció principalmente con la presencia del calamar, el cual se encuentra a lo largo de la costa occidental de la región central del golfo (Robinson, com. pers.), influenciando la distribución del tursión y la ballena piloto en esta zona, por lo menos en esta temporada. Estos resultados son respaldados por la evidente relación trófica encontrada entre *D. gigas* y los tursiones, y por la mayor variación en la gama de presas asociada a las ballenas piloto donde también se incluye a este cefalópodo durante primavera y otoño (Díaz-Gamboa, 2009).

Dadas las pequeñas diferencias ambientales entre hábitats y aunque estas dos especies pudieran alimentarse en la misma región durante la temporada cálida, es posible que no exista competencia interespecífica. Considerando las diferencias en el tamaño corporal, la capacidad de buceo y las habilidades para capturar a sus presas, se ha sugerido que estos cetáceos consumen calamares (*Dosidicus gigas*) de distintas tallas (Díaz-Gamboa, 2009). Por otro lado es factible que las ballenas piloto estén alimentándose también de otras presas (Díaz-Gamboa, 2009) al igual que los tursiones (Walker, 1981; Barros y Odell, 1990; Perrin, 2002). En concordancia con el amplio rango de posibles presas, se observaron grupos de tursiones asociados con cachalotes, ballenas piloto y en comederos junto con delfines comunes y ballenas de aleta.

Cuando se analizan los resultados de otros trabajos que estudian la asociación entre tursiones y/o ballenas piloto con variables ambientales para otras áreas (Reilly & Fiedler, 1994; Jaquet & Whitehead, 1996; Davis *et al.*, 1998; Hastie *et al.* 2004; Praca & Gannier, 2008), no es posible definir un patrón claro. Debido a lo anterior, aunque este trabajo genera una importante contribución al conocimiento de estas dos especies con relación a las características de su hábitat, es necesario realizar estudios de mayor escala espacio-temporal de los movimientos y la alimentación de estas especies junto con el registro de variables ambientales para poder dar una mejor explicación de sus relaciones dentro del Golfo de California.

Hábitat de *Physeter macrocephalus*

Debido a que el cachalote es un depredador de alto nivel trófico, existe un importante desfase espacio-temporal con respecto a variables ambientales propias de la base de la red trófica (ej. cl-a, biomasa de zooplancton, eufáusidos) (Jaquet & Whitehead, 1996; Braumgartner *et al.*, 2001; Jaquet & Gendron, 2002; Smith *et al.*, 2004; Chávez-Andrade, 2006; Moreno-Zúñiga, 2008; Díaz-Gamboa, 2009).

Se ha mostrado que a una escala espacio-temporal mayor, existe una asociación positiva entre la concentración de clorofila y la densidad de cachalotes en el Pacífico Sur (Jaquet & Whithead, 1996). La relación positiva entre cl-a y depredadores tope probablemente se debe al enfoque sobre una región geográfica amplia donde se presentan importantes eventos a grandes escalas asociados a giros oceánicos y grandes sistemas frontales (Jaquet & Whithead, 1996), por lo que al analizar a una escala espacio-temporal más pequeña (como en este trabajo), las relaciones entre consumidores de alto nivel trófico y variables cercanas a la base de las redes tróficas son menos evidentes por presentar un desfase temporal con una magnitud aún desconocida.

En este estudio se determinó una relación positiva entre el cachalote y la biomasa zooplanctónica. Debido a que este odontoceto no se alimenta de zooplancton, las relaciones tróficas entre las presas del cachalote y el zooplancton pueden estar influenciando indirectamente los movimientos de este cetáceo, siendo este un fenómeno que se ha observado en otras especies de odontocetos (Griffin, 1997). Davis *et al.* (2002) asociaron la relación entre la biomasa de zooplancton y el cachalote en el Golfo de México, por la importancia de paralarvas de cefalópodos en el zooplancton, lo cual pudiera deberse a la cercanía de zonas de desove del calamar, presa importante del cachalote.

A pesar de que en el Golfo de California es bien conocido que los cachalotes son teutófagos estrictos (Ruiz-Castro, 2002; Jaquet & Gendron, 2002; Ruiz-Cooley *et al.*, 2004, 2006; Díaz-Gamboa, 2009), el ENMM en el presente estudio, no asoció a este cetáceo con la presencia calamar gigante detectado mediante métodos hidroacústicos. Sin embargo, la distribución de

ambas especies fue relativamente similar, ubicada a lo largo de la costa occidental de la región central del golfo, concordando con lo reportado para cachalotes en estudios previos (Mangels & Gerrodette, 1994; Jaquet & Gendron, 2002).

La ausencia de relación (ENMM) entre el cachalote y el calamar gigante puede deberse a los sesgos de detección de calamar antes mencionados, ya que existieron transectos a lo largo de la costa occidental del golfo donde se presentaron simultáneamente cachalotes y calamares, sin embargo, al no incluirse datos de biomasa o talla de estos cefalópodos pudo dar como resultado una aparente falta de asociación de depredador/presa, así mismo, debido a la profundidad de registro de los métodos hidroacústicos, los calamares de talla grande de los que se alimenta el cachalote (Ruiz-Cooley *et al.*, 2004; Díaz-Gamboa, 2009), posiblemente no fueron detectados

II. Características del hábitat entre las distintas especies de cetáceos durante la temporada cálida en el Golfo de California

La comunidad de cetáceos registrada durante la temporada cálida presentó una consistente asociación con la presencia de sus principales presas, excepto el cachalote, probablemente por no detectar los calamares a mayor profundidad de 250m. La distribución de presas fue restringida en comparación con otras temporadas del año (Chávez-Andrade, 2006; Moreno-Zúñiga, 2008; Díaz-Gamboa, 2009).

Durante la temporada cálida existieron traslapes de hábitats de algunas especies, sin necesariamente implicar competencia interespecífica. El delfín común y la ballena de aleta se encontraron en hábitats similares principalmente alrededor de las Grandes Islas, posiblemente por su dieta ictiófaga durante la temporada cálida. Sin embargo, su distribución tuvo algunas diferencias: la ballena de aleta se encontró con mayor dispersión en el golfo, mientras que el delfín común se observó principalmente en la región de las Grandes Islas. Esto posiblemente se debe a que el delfín común se alimenta de peces y calamares, que presentaron una distribución limitada regionalmente, mientras que la ballena de aleta se pudo haber alimentado de agregaciones superficiales de eufáusidos como constatamos en el norte de Bahía Concepción, donde se

observaron varias ballenas de aleta alimentándose de una gran agregación (70 m de grosor) de *N. simplex*, en la cual se presentó una importante densidad de estos crustáceos (Gómez-Gutiérrez *et al.* en prensa). En este sentido cabe señalar que los eufáusidos presentaron una amplia distribución en el Golfo de California aunque en bajas densidades y a mayores profundidades (Tremblay, 2008; Gómez-Gutiérrez *et al.* en prensa). Debido a lo anterior, la ballena de aleta pudo no haber aprovechado de modo generalizado esta potencial presa durante la temporada cálida.

En el presente estudio se encontraron cuatro especies de cetáceos teutófagos, el delfín común, el tursi3n, la ballena piloto y el cachalote. El delfín común no compartió la misma distribución con las demás especies, posiblemente a que estos también se alimentan en gran proporción de peces y tal vez de calamar de talla pequeña. Se ha observado que existe una asociación lineal positiva entre la talla del calamar y la masa corporal del cetáceo teut3fago (Díaz-Gamboa, 2009). Lo anterior sugiere que el delfín común se alimenta de calamares de tallas menores, mientras que el tursi3n, ballena piloto y el cachalote se alimentan de calamares de mayor talla. Estos cetáceos se distribuyeron principalmente en la costa occidental de la regi3n central, la cual se ha descrito como zona de desove de calamar durante el verano (Markaida & Sosa-Nishizaki, 2001), asociándose este fenómeno con la presencia de calamares adultos de tallas considerables. También existe una relaci3n positiva entre la masa corporal del depredador y su capacidad de buceo (Wilson, 1991; Schreer & Kovacs, 1997; Halsey *et al.*, 2006). Se conoce que el cachalote presenta el mayor desplazamiento vertical entre las especies de odontocetos, alcanzando profundidades de hasta 1000 m (Whitehead *et al.*, 1992). De esta forma, el cachalote es capaz de consumir calamares de tallas mayores que el tursi3n y la ballena piloto. A pesar de que se haya dado una similitud en términos de distribución horizontal entre estas especies esta diferencia es determinante para que exista un hábitat distinto para cachalotes en contraste con las demás especies teut3fagas, como se demostró con el análisis NMDS.

III. Diferencias en el hábitat de cetáceos entre temporadas del año

En términos de los resultados de este estudio y los generados en el Golfo de California durante distintas temporadas (Chávez-Andrade, 2006; Moreno-Zúñiga, 2008 y Díaz-Gamboa, 2009), el común denominador fue encontrar asociaciones entre la densidad de algunos cetáceos con variables ambientales y biológicas. En estos estudios se observó que las condiciones oceanográficas en el Golfo de California son altamente dinámicas a lo largo del año, influyendo en la distribución de la comunidad de cetáceos en cada periodo del año.

El mayor contraste existente en la estructura de la comunidad de cetáceos a lo largo del año es la presencia de especies migratorias como la ballena azul y la ballena jorobada durante la temporada fría y de transición, las cuales no se observaron dentro del golfo durante Julio de 2007. Aún con variación entre derroteros de observación de cetáceos se observaron diferencias estacionales en la distribución interespecífica cuando se compararon región norte, Grandes Islas y central. La distribución de la ballena de aleta en Julio de 2007 (temporada cálida) y para las temporadas de transición y fría, concuerdan con el movimiento latitudinal de norte a sur (Grandes Islas y centro del golfo) que se ha detectado a finales de invierno (Tershy *et al.*, 1990; Gendron, 1993; Urbán; 1996), ya que en la temporada cálida y en la de transición se observó alrededor de las Grandes Islas y región central, mientras que durante la temporada fría se distribuyeron en la región norte del golfo.

El delfín común presentó una distribución similar en todas las temporadas con concentraciones altas en la región de las Grandes Islas y un menor número de avistamientos en la región central, lo que puede relacionarse con la presencia constante de eventos de surgencias y baja temperatura superficial a lo largo del año alrededor de las Grandes Islas (Álvarez-Borrego, 2002).

Con relación a cetáceos predominantemente teutófagos (cachalote, tursión y ballena piloto), se encontraron patrones similares a lo largo del año, ya que estos se encontraron principalmente en la región central del golfo durante el verano (costa occidental) y costa oriental durante el invierno y primavera (temporada fría); mientras que en noviembre 2005 (periodo de

transición) estos se ubicaron especialmente en la región de las Grandes Islas. De forma general e incluyendo los sesgos en la detección hidroacústica de los calamares, el cambio en la distribución de estos cetáceos sugiere un movimiento en respuesta a la densidad de *D. gigas*, concordando con Jaquet & Gendron (2002) y Gallo-Reynoso (2009) quienes demostraron la relación entre los cachalotes y esta presa, de igual forma con los tursiones (Díaz-Gamboa, 2009). Con anterioridad se ha descrito que durante el verano los calamares se encuentran en la costa occidental del golfo (Santa Rosalía); durante la temporada fría a lo largo de la costa oriental (Guaymas) y centro del golfo (Ehrhardt *et al.*, 1986; Markaida & Sosa-Nishizaki, 2001) y con movimientos entre ambas costas (Gilly *et al.*, 2006); y durante la temporada de transición en la región de las Grandes Islas (Díaz-Gamboa, 2009).

Las variables asociadas a los cetáceos presentaron cambios entre temporadas. Mientras que para la temporada fría la variabilidad fue explicada principalmente por la cl-a y variables abióticas como temperatura y profundidad, durante la temporada de transición existió una combinación proporcional entre variables abióticas como % de saturación de oxígeno y profundidad, así como bióticas (p.e. biomasa zooplanctónica, concentración de cl-a y abundancia de eufáusidos). Durante la temporada cálida los componentes de variabilidad fueron explicados en gran medida por variables biológicas como biomasa zooplanctónica, presencia de calamar y abundancia de eufáusidos.

Esto posiblemente se debe a que durante la temporada fría existe una mayor intensidad y magnitud espacial de los procesos de productividad en el golfo, homogeneizando condiciones favorables y sostenidas para los componentes biológicos (presas de cetáceos). Durante la temporada de transición se encontraron condiciones intermedias entre la cálida y la fría pero con gran variabilidad a nivel mesoescala (inferida de la estructura de imágenes de satélite de temperatura y clorofila). En la temporada cálida los procesos de productividad en el golfo se presentan en menor intensidad y más restringidos produciendo pequeñas zonas altamente segregadas de alta densidad de plancton y micronecton donde los cetáceos tienden a distribuirse como resultado de su búsqueda de presas. Un ejemplo de estas diferencias se

muestra en los mapas de distribución de peces obtenidos mediante métodos hidroacústicos durante las diferentes temporadas (Fig.19).

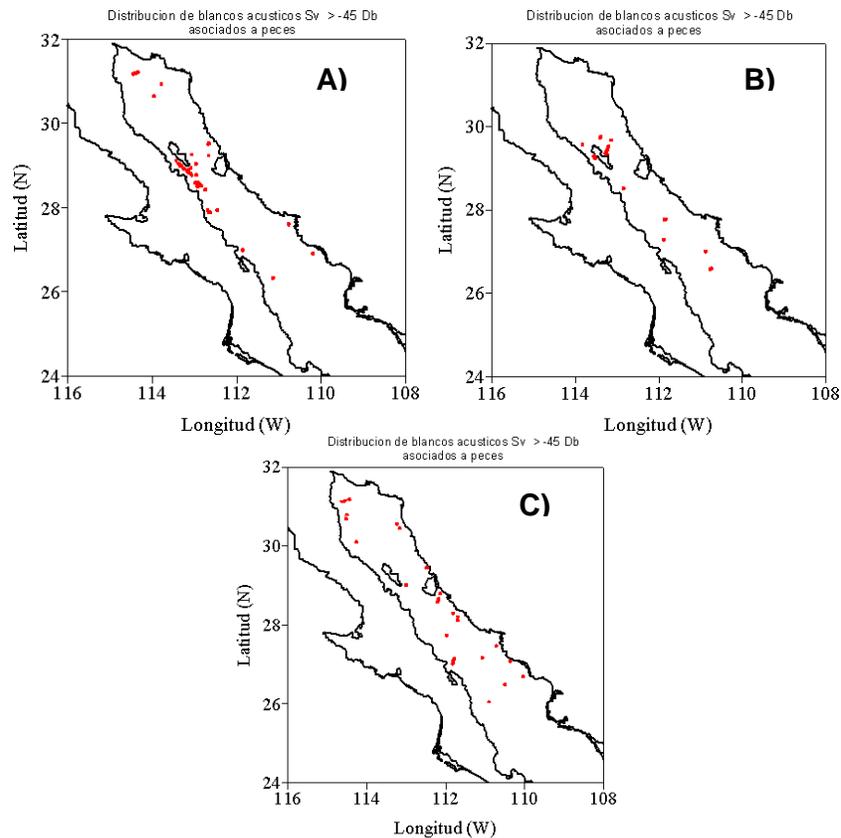


Figura 18. Distribución espacio-temporal de volumen de dispersión (Sv) >-45 dB, característico de cardúmenes abundantes de peces pelágicos menores (Robinson & Gómez-Gutiérrez, 2007) registradas durante los cruces oceanográficos de Julio-Agosto 2007 (temporada cálida) (A), Noviembre 2005 (temporada de transición) (B) y Enero 2007 (temporada fría) (C). Información y mapas proveídos por Dr. Carlos Robinson Mendoza ICMYL-UNAM.

Durante Noviembre de 2005 y Enero de 2007 se detectaron diferentes hábitats interespecíficos, mientras que en Julio de 2007 existieron similitudes entre especies: la ballena de aleta y los delfines comunes, así como, entre los tursiones y las ballenas piloto. Lo anterior concuerda con la idea de una restricción de las zonas productivas para las presas en el verano, lo que provocaría un mayor traslape de hábitats entre especies que comparten presas similares.

Finalmente, la principal contribución de esta tesis radicó en entender, mediante análisis multivariados, la variabilidad y gradientes predominantes del hábitat de los cetáceos en el Golfo de California durante las condiciones de la

temporada cálida. Una de las principales ventajas del estudio fue la combinación de registros de múltiples variables ambientales y datos hidroacústicos para detectar la capa de dispersión de sonido correspondiente al zooplancton y micronecton que permitió numéricamente asociar la densidad de los cetáceos con la presencia de sus potenciales presas como peces (posiblemente mesopelágicos y pelágicos menores) y los gradientes ambientales más pronunciados que se detectaron en la parte norte y centro del Golfo de California.

CONCLUSIONES

- Aunque las condiciones ambientales prevalecientes durante julio-agosto 2007 (posiblemente condiciones representativas de la temporada cálida) presentaron una aparente homogeneidad en el contexto de la escala estacional con elevada temperatura (27-30°C) y baja concentración de clorofila-a ($<0.6 \text{ mg Cl-a L}^{-1}$), existieron sutiles gradientes longitudinales que modificaron la distribución de la biomasa de organismos planctónicos y micronectónicos que a su vez diferenciaron los hábitats interespecíficos de las especies de cetáceos en el Golfo de California.
- La variabilidad de la estructura de la comunidad, distribución e índice de abundancia de los cetáceos durante julio-agosto 2007, estuvo definida principalmente por factores bióticos (concentración de clorofila, biomasa zooplanctónica, abundancia de eufáusidos tropicales y subtropicales y distribución de calamar y cardúmenes de pelágicos menores)
- La implementación del uso de sensores de medición continua y prospección hidroacústica en censos de cetáceos por transectos lineales analizados mediante técnicas de ordenación numérica no-paramétricas permitió distinguir una similitud en las características del hábitat de las ballenas de aleta y los delfines comunes, particularmente en la región de las Grandes Islas, así como similitud de hábitats entre los tursiones y las ballenas piloto posiblemente por la distribución y las tallas de sus presas

(calamares). Durante la temporada cálida los cachalotes estuvieron distribuidos en un hábitat distinto al del resto de los cetáceos.

- El hábitat de la ballena de aleta durante la temporada cálida estuvo definido principalmente por altas concentraciones de clorofila-a (en un contexto exclusivamente de condiciones de verano) detectadas en regiones con profundas termoclina y capa mínima de oxígeno, así como a la presencia de pelágicos menores ubicadas en la costa occidental de la parte central, las Grandes Islas y la región norte del Golfo. La asociación con pelágicos menores coincide con la propuesta de la inclusión de presa de mayor nivel trófico durante el verano (Gendron et al. 2001; Jaume-Schinkel, 2004)
- En verano los delfines comunes estuvieron principalmente distribuidos en regiones donde se detectó la presencia de agregaciones de calamar y cardúmenes de pelágicos menores, así como eufáusidos tropicales que posiblemente son presas de los organismos micronectónicos de los que se alimentan estos delfines.
- Las manadas de tursiones y ballenas piloto compartieron hábitats con características ambientales y biológicas similares distribuyéndose en regiones con elevadas temperaturas superficiales, mayor abundancia de eufáusidos subtropicales y presencia de agregaciones de calamar ubicadas en la región central del Golfo de California.
- Los cachalotes estuvieron principalmente asociados a regiones con mayor biomasa zooplanctónica y, contrario a lo esperado, no asociados a zonas donde se detectó la presencia de agregaciones de calamar. Esta aparente contradicción posiblemente se explique por los sesgos de detección de calamar. Sin embargo, en términos generales si se observó una coincidencia espacial entre los avistamientos de cachalotes y la presencia de calamares detectados acústicamente, especialmente en la costa occidental de la parte central del Golfo de California.

RECOMENDACIONES

Las relaciones entre las variables oceanográficas y los cetáceos encontradas en este estudio sugieren que existen distintos factores que pudieran estar influenciando la distribución de las diferentes especies, por lo cual es necesario llevar a cabo más estudios que involucren una mayor temporalidad de muestreo y cobertura de área, siendo entonces capaces de generar conclusiones más sólidas. Así mismo, es importante tratar de estandarizar los diferentes aspectos de estos estudios (registros de variables y análisis de datos de cetáceos) en la medida de lo posible, para poder realizar mejores comparaciones entre estudios.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California ecosystems of the world, 26, 447-449p. En: Bstwick, H. & Ketchum (Eds.) *Estuaries and enclosed seas*. Elsevier Scientific Publishing Company, New York. 800 p.
- Álvarez-Borrego, S. 2002. Physical oceanography, 41-59. En: Case T. J., M. L. Cody & L. Ezcurra. *Island Biogeography of the Gulf of California*. Oxford University Press. 669 p.
- Álvarez-Borrego, S. & J.R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California, 555-567p. En: Dauplum, J.P. (Ed.) *the gulf and peninsular province of the California*. AAPG mem. 1991p.
- Armstrong, W.A. & S.E. Smith. 1997. Plankton sampling during the whale habitat and prey study 10 July- 4 August 1996. *NOAA-TM-N M FS-SW FSC-242*. 37p.
- Badan-Dangon. A., C.J. Koblinsky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Acta Oceanológica*. 8(1): 13-22

- Ballance-Taylor, L. 2006. Habitat use patterns and ranges of the bottlenose dolphin in the Gulf of California, Mexico. *Mar Mamm Sci.* 8: 262–274
- Ballance-Taylor, L., R.L. Pitman & P.C. Fiedler. 2006. Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography.* 69: 360-390
- Barros, N. & D. Odell. 1990. Food habits of bottlenose dolphins in the southeastern United States, 309-328p. En: Leatherwood S. y R.R. Reeves (Eds.) *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653p.
- Baumgartner M.F., K.D. Mullin, L.N. May & T.D. Leming. 2001. Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. *Fish Bull. Wash DC.* 99: 219–239
- Baumgartner M.F., & B. R. Mate. 2005. Summer and fall habitat of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) inferred from satellite telemetry. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62: 527-543
- Benoit-Bird, K. W. Gilly, W. Au & B. Mate. 2008. Controlled and *in situ* target strength of the jumbo squid *Dosidicus gigas* and identification of potential acoustic scattering sources. *J. Acoust. Soc. Am.* 123: 1318-1328
- Bérubé, M., J. Urban, A. E. Dizon, R. L. Brownell & 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
- Best, P.B. 1979. Social organization in sperm whales, *Physeter macrocephalus*. En: Winn H.W. & B.C. Olla (Eds.) *Behavior of Marine Animals: current perspective in research*. Plenum Press, New York, London. 3: 227-289
- Berzin, A.A. 1971. *The sperm whale*. En: Yablokov, A.V. (Ed) *Pischevaya Promyshlennost*, Moscow. 394p.
- Bourillón, L., A. Cantú, F. Eccardi, E. Lira, J. Ramírez, E. Velarde & A. Zavala. 1988. Islas del Golfo de California. Secretaría de Gobernación/UNAM, México.
- Brinton, E. 1979. Parameters relating to the distribution of planktonic organisms, especially euphausiids in the Eastern Tropical Pacific. *Prog. Oceanogr.* 8: 125-189
- Brinton, E. & A.W. Townsend. 1980. Euphausiids in the Gulf of California. The 1957 Cruises. *CalCOFI Rep.* 21: 211-236

- Brinton, E., A. Fleminger & D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 27: 228-266
- Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham & J.L. Laake. 1993. *Distance sampling: estimating abundance of biological populations*. Chapman and Hall Press. Londres. 446 p.
- Chavéz-Andrade, M. 2006. *Caracterización del hábitat de los grandes cetáceos del Golfo de California durante la temporada fría de 2005*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 84 p.
- Croll, D.A., B. Marinovic, S. Benson, F.P. Chavez, N. Black R. Ternullo & B.R. Tershy. 2005. From wind to whales: trophic links in a coastal upwelling system. *Marine Ecology Progress Series*. 289: 117-130
- Davis, R.W., G.S. Fargion, N. May, T. D. Leming, M. Baumgartner, W. E. Evans, L. J. Hansen & K. Mullin. 1998. Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north-central and western Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*. 14(3): 490-507
- Davis, R.W., J.G. Ortega-Ortiz, C.A. Ribic, W.E. Evans, D.C. Biggs, P.H. Ressler, R.B. Cady, R.R. Leben, K.D. Mullin & B. Würsig. 2002. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research I*. 49: 121–142
- Davis, R.W., N. Jaquet, D. Gendron, U. Markaida, G. Bazzino & W. Gilly. 2007. Diving behavior of sperm whales in relation to behavior of a major prey species, the jumbo squid, in the Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*. 333: 291-302
- 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. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 68 p.
- De-la-Lanza, E.G. 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT. México. 596p.
- De Silva-Dávila, R. & R. Palomares-García. 1998. Unusual larval growth production of *Nyctiphanes simplex* in Bahía de La Paz, Baja California, México. *J. Crust. Biol.* 18: 490-498.
- Díaz-Gamboa, R., D. Gendron & S. Aguiñiga. 2003. Relaciones tróficas entre tursiones *Tursiops truncatus* y Cachalote *Physeter macrocephalus* en el

- Golfo de California por medio de análisis de isótopos estables (^{13}C y ^{15}N). *Resúmenes IX Congreso AIMAC*, La Paz, BCS, Mayo 2003. 22 p.
- Díaz-Gamboa, R.E. 2009. *Relaciones tróficas de los cetáceos teutófagos con el calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California*. Tesis de Doctorado, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 107 p.
- Doniol-Valcroze, D. Beteaux, P. Larouche & R. Sears. 2007. Influence of thermal fronts on habitat selection by four rorqual whale species in the Gulf of St. Lawrence. *Marine Ecology Progress Series*. 335: 207–216.
- Enríquez-Andrade, R., G. Anaya-Reyna, J.C. Barrera-Guevara, M.A. Carvajal-Moreno, M.E. Martínez-Delgado, J. Vaca-Rodríguez & C. Valdés-Casillas. 2005. An analysis of critical areas for biodiversity conservation in the Gulf of California Region. *Ocean & Coastal Management*. 48: 31-50
- Enríquez-Paredes, L.M. 1996. *Ocurrencia, movimientos, estructura social y tamaño de las agregaciones del rorcual común *Balaenoptera physalus* (Linneaus, 1758) en el Golfo de California, México*. Tesis de Licenciatura, UABCS. La Paz, B.C.S. México. 59p.
- Ehrhardt, N.M., N.A. Solís, P.S. Jacquermin, C.J. Ortiz, R.P. Ulloa, D.G. González & B.F. García. 1986. Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980. *Ciencias Pesqueras*. 5: 63-76
- Etnoyer, P., D. Canny, B. R. Mate & L. E. Morgan. 2004. Persistent pelagic habitats in the Baja California to Bering Sea (B2B) *Ecoregion Oceanography*. 17(1): 90-101
- Etnoyer, P., D. Canny, B. R. Mate, L. E. Morgan., J. L. Ortega-Ortiz & W. J. Nichols. 2006. Sea-surface temperature gradients across blue whale and sea turtle foraging trajectories off the Baja California Peninsula, Mexico. *Deep-Sea Research II*. 53: 340-358
- Field, I.C., C. J. A. Bradshaw, J. van den Hoff, H. R. Burton & M. A. Hindell. 2007. Age- related shifts in the diet composition of southern elephant seals expand overall foraging niche. *Mar. Biol.* 150: 1441-1452
- Fiedler, P.C., S.B. Reilly, R.P. Hewitt, D. Demer, V.A. Philbrick, S. Smith, W. Armstrong, D.A. Croll, B.R. Tershy & B.R. Mate. 1998. Blue whale habitat and prey in the California Channel Islands. *Deep-Sea Res.* 45: 781-1801

- Flores-Ramírez, S., J. Urban, G. Villarreal & R. Valles. 1996. Cambios espaciales y temporales de la estructura comunitaria de los cetáceos en Bahía de la Paz, B.C.S., México (1988-1991). *Ciencias Marinas* 22(2): 151-173
- Forney, K.A. 2000. Environmental models of cetacean abundance: reducing uncertainty in population trends. *Conservation Biology*. 14(5): 1271-1286
- Forney, K.A. & J. Barlow. 1998. Seasonal patterns in the abundance and distribution of California cetaceans, 1991-1992. *Marine Mammal Science*. 14(3): 460-489
- Gallo-Reynoso, J.P. 1991. Group behavior of common dolphins (*Delphinus delphis*) during prey capture. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México, Ser. Zool.* 62(2): 253-262
- Gallo-Reynoso, J.P., J. Égido-Villarreal & E.M. Coria-Galindo. 2009. Sperm whale distribution and diving behaviour in relation to presence of jumbo squid in Guaymas Basin, Mexico. *Marine Biodiversity Records*. 2: 1-5
- Gaskin, D.E. 1968. Analysis of sightings and catches of sperm whales (*Physeter catodon*) in the Cook Strait area of New Zealand in 1963-4. *NZ. J. Mar. Freshwat. Res.* 2: 260-272
- Gaskin D.E. 1973. Sperm whales in the Western South Pacific. *NZ. J. Mar. Freshwat. Res.* 7: 1-20
- Gendron, D. 1990. *Relación entre la abundancia de eufáusidos y de ballenas azules (Balaenoptera musculus) en el Golfo de California*. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 85 p.
- Gendron, D. 1993. Índice de avistamientos y distribución del género *Balaenoptera* en el Golfo de California, México, durante febrero, marzo y abril 1988. *Revista de Investigación Científica de la Universidad Autónoma de Baja California Sur*. Número Especial de la SOMEMMA 1: 21-30.
- Gendron, D. 2000. Family Physeteridae, 635-637p. En: *Mamíferos del Noroeste de México II*. Alvaréz-Castañeda, S.T. & J.L. Patton (Eds.) Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 873p.
- Gendron, D., S. Aguíñiga & J.D. Carriquiry. 2001. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in skin biopsy samples: a note on their applicability for examining the relative trophic level in three rorqual species. *J. Cetacean Res. Manage.* 3(1): 41-44

- Gerrodette, T. & D. M. Palacios. 1996. Estimates of cetacean abundance in EEZ waters of the Eastern Tropical Pacific. *National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Science Center Administrative Report No. LJ-96-10*. La Jolla, California. 28 p.
- Gilly, W.F. , U. Markaida, C.H. Baxter, B.A. Block, A. Boustany, L. Zeidberg, K. Reisenbichler, B. Robison, G. Bazzino & C. Salinas. 2006. Vertical and horizontal migrations by the jumbo squid *Dosidicus gigas* revealed by electronic tagging. *Marine Ecology Progress Series*. 324: 1-17
- Gómez-Gutiérrez, J. 1996. Ecology of early larval development of *Nyctiphanes simplex* Hansen (Euphausiacea) off the southwest coast of Baja California, México. *Bull. Mar. Sci.* 58: 131-146
- Gómez-Gutiérrez, J., R. De Silva-Dávila & B. E. Lavaniegos-Espejo. 1996. Growth production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* at the coastal shelf off Magdalena Bay, Baja California Sur, México. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 138: 309-314.
- Gómez-Gutiérrez, J. & C.J. Robinson. 2005. Embryonic, early larval development time, hatching mechanism and interbrood period of the sac-spawning euphausiid *Nyctiphanes simplex* Hansen. *Journal of Plankton Research*. 27: 279-295
- Gómez-Gutiérrez, J & C. J. Robinson. 2006. Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in a shallow, subtropical bay on Baja California peninsula, México. *Marine Ecology Progress Series*. 320: 215–231
- Gómez-Gutiérrez J., N. Tremblay, S. Martínez-Gómez, C.J. Robinson, J. Del Ángel-Rodríguez, C. Rodríguez-Jaramillo & C. Zavala-Hernández (En prensa a) Biology of the subtropical sac-spawning euphausiid *Nyctiphanes simplex* in the northwestern seas of Mexico: Vertical and horizontal distribution patterns and seasonal variability of brood size. *Deep-Sea Res II*
- Gómez-Gutiérrez, G., C. Rodríguez-Jaramillo, C.J Robinson, J. Del Angel-Rodriguez, C. Zavala-Hernandez, S. Martinez-Gomez, N. Tremblay & K. Arroyo-Jimenez. (En prensa b) Reproductive biology of the subtropical sac-spawning euphausiids *Nyctiphanes simplex* in the northwestern seas

- of México: interbrood period, gonad development and lipid content. *Deep Sea Research II*
- Gregg, E. & A. Trites. 2001. Predictions of critical habitat for five whale species in the waters of coastal British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 1265-1285
- Griffin, R.B. 1997. Relationships between odontocete distributions and zooplankton community structure along the southern edge of Georges Bank. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science.* 22: 27-36
- Halsey, L.G., P.J Butler & T.M. Blackburn. 2006. A phylogenetic analysis of the allometry of diving. *Am. Nat.* 167: 276-287
- Hamman, M.G., T.R. Baumgartner & A. Badan-Dangon. 1988. Coupling of the Pacific Sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environment. *CalCOFI Rep.* Vol. XXIX: 102-109
- Hastie, G.D., B. Wilson, L.J. Wilson, K.M. Parsons & P.M. Thompson. 2004. Functional mechanisms underlying cetacean distribution patterns: hotspots for bottlenose dolphins are linked to foraging. *Marine Biology.* 144:397-403
- Hidalgo-González, R.M. & S. Álvarez-Borrego. 2000. Chlorophyll profiles and the water column structure in the Gulf of California. *Oceanologica Acta.* 24(1): 19-28
- Hidalgo-González, R.M. & S. Álvarez-Borrego. 2004. Total and new production in the Gulf of California estimated from ocean color data from the satellite sensor SeaWiFS. *Deep-Sea Research II.* 51: 739–752
- Ivashin, M.V. 1978. Soviet investigations of Cetacea June 1976-May 1977. *Reports of the International Whaling Commission.* 28: 119-122
- Jaquet, N. & H. Whitehead. 1996. Scale-dependent correlation of sperm whale distribution with environmental features and productivity in the South Pacific. *Marine Ecology Progress Series.* 135: 1-9
- Jaquet, N., S. Dawson & E. Slooten. 2000. Seasonal distribution and diving behaviour of male sperm whales off Kaikoura: foraging implications. *Can. J. Zool.* 78: 407-419
- Jaquet, N. & D. Gendron. 2002. Distribution and relative abundance of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, Mexico. *Marine Biology.* 141: 591-601

- Jaquet, N., D. Gendron & A. Coakes. 2003. Sperm whales in the Gulf of California: residency, movements, behavior, and the possible influence of variation in food supply. *Marine Mammal Science*. 19(3): 545-562
- Jaramillo-Legorreta, A. M. & L. Rojas-Bracho. 1999. A new abundance estimate for vaquitas: First step for recovery. *Marine Mammal Science*. 15(4): 957-973
- Jaume-Schinkel, 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. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 78p.
- Ladrón de Guevara-Porras, B.E. Lavaniegos & G. Heckel. 2008. Fin whales (*Balaenoptera physalus*) foraging on daytime surface swarms of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in Ballenas Channel, Gulf of California, Mexico. *Journal of Mammalogy*. 89: 559–566
- Lavaniegos, B. E. 1995. Production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in Bahía Vizcaíno western Baja California. *J. Crust. Biol.* 15: 444-453
- Lavaniegos, B. E. 1996. Vertical distribution of euphausiid life stages in waters adjacent to Baja California. *Fish. Bull.* 94: 300-312
- Lavín M. F., E. Beier & A. Badan. 1997. Estructura Hidrográfica y Circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 3: 141-171.
- Lavín, M.F. & S.G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California, 173-204p. En: Velasco-Fuentes, O.U. et al. (Eds.) *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 376p.
- Littaye, A., A. Gannier, S. Laran & J.P.F. Wilson. 2004. The relationship between summer aggregation of fin whales and satellite-derived environmental conditions in the northwestern Mediterranean Sea. *Remote Sensing of Environment*. 90: 44-52
- López, M., J. Candela & M.L. Argote. 2006. Why does the Ballenas Channel have the coldest SST in the Gulf of California?. *Geophysical Research Letters*. 33: 1-5

- McCune, B. & M.J. Mefford. 1999. *Multivariate analysis of ecological data*. PC-ORD CD Version 4.26 beta. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA, WWW Page, <http://www.pcord.com>.
- McCune, B., J.B. Grace & D.L. Urban. 2002. *Analysis of ecological communities*. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA. 300p.
- Mangels, K.F. & T. Gerrodette. 1994. Report on cetacean sightings during a marine mammal survey in the Eastern Tropical Pacific Ocean aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan, July 28-November 6, 1993. *NOAA-TM-NMFS-SWFSC-211*. 96 p.
- Marinone, S.G. 2007. "Why does the Ballenas Channel have the coldest SST in the Gulf of California?". *Geophysical Research Letters*. 34: 1-6
- Markaida, U. & O. Sosa-Nishizaki. 2001. Reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, 1995-1997. *Fisheries Research* 54: 63-82
- Mercuri, M. 2007. *Varamiento de mamíferos marinos en Isla Magdalena, B.C.S., México y su relación con factores físicos y biológicos*. Tesis de de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 115p.
- Moore, S.E., J.R. Davies & M.E. Dahlheim. 2002. Blue whale habitat associations in the Northwest Pacific: analysis of remotely-sensed data using a geographic information system. *Oceanography*. 15(3): 20-25
- Moreno-Zúñiga, J.E. 2008. *Caracterización del hábitat de cetáceos comunes en noviembre 2005 y enero 2007 en el Golfo de California*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México. 87p.
- Murase, H., K. Matsuka, Y. Ichii & S. Nishiwaki. 2002. Relationship between the distribution of euphausiids and baleen whales in the Antarctic (35°E-145°W). *Polar Biol*. 25: 135-144
- Nevárez-Martínez, M.O., A. Hernández-Herrera, E. Morales-Bojórquez, A. Balmori-Ramírez, M.A. Cisneros-Mata & R. Morales-Azpeitia. 2000. Biomass and distribution of the jumbo squid (*Dosidicus gigas* d'Orbigny, 1835) in the Gulf of California, México. *Fisch. Res.* 49: 129-140

- Niño-Torres, C.A., J.P. Gallo-Reynoso, F. Galván-Magaña, E. Escobar-Briones & S.A. Macko. 2006. Isotopic analysis of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{34}\text{S}$ “a feeding tale” in teeth of the longbeaked common dolphin, *Delphinus capensis*. *Marine Mammal Science*. 22(4): 831-846
- Ohizumi, H., M. Yoshioka, K. Mori & N. Miyazaki. 1998. Stomach contents of common dolphins (*Delphinus delphis*) in the pelagic western North Pacific. *Marine Mammal Science*. 14: 835-844
- Ortega-Ortiz, J.G. 2002. *Multiscale analyses of cetacean distribution in the Gulf of Mexico*. Tesis de Doctorado. Texas A&M University, EUA. 186p.
- Palacios, D.M. 2003. *Oceanographic conditions around the Galápagos Archipelago and their influence on cetacean community structure*. Tesis de Doctorado. Oregon State University. USA. 200p.
- Palomares-García, R. & J. Gómez-Gutiérrez. 2009. *Seasonal vertical distribution of copepods in the central Gulf of California, Mexico*. Plenary Session P1: Ecosystem structure, function and forcing. International 3rd and final GLOBEC Open Science Meeting, Marine ecosystems: from function to prediction, Victoria, Canada, June 22-26.
- Panigada, S., M. Zanardelli, M. Mackenzie, C. Donovan, F. Mélin & P.S. Hammond. 2008. Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the Pelagos Sanctuary (Western Mediterranean Sea) with physiographic and remote sensing variables. *Remote Sensing of Environment*. 112: 3400-3412
- Pardo, M.A. 2009. *Condiciones fisicoquímicas y biológicas que modulan la abundancia de cetáceos sobre Cuenca Alfonso, Golfo de California*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México. 122 p.
- Perrin, W.R. 2002. Common dolphins *Delphinus delphis*, *D. capensis*, and *D. tropicales*, 245-248p. En: Perrin, W., B. Würsig y T. Thewissen (Eds.) *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press. USA. 1414p.
- Platt, T., S. Sathyendranath, A.M. Edwards, D.S. Broomhead & O. Ulloa. 2003. Nitrate supply and demand in the mixed layer of the ocean. *Marine Ecology Progress Series*. 254: 3-9
- Praca, E. & A. Gannier. 2008. Ecological niches of three teuthophageous odontocetes in the northwestern Mediterranean Sea. *Ocean Science*. 4: 49-59

- Reilly, S.B. & P.C. Fiedler. 1994. Interannual variability of dolphin habitats in the eastern tropical Pacific. I: Research vessel surveys 1986-1990. *Fishery Bulletin*. 92: 434-450
- Robinson, C.J, J. Gómez-Gutiérrez, U.R. Felix & F.V. Arenas. 2000. Seasonal hydroacoustical observations of small pelagic fish behaviour in Magdalena Bay, Mexico. *Aquatic Living Resources*. 13(1): 11-18
- Robinson, C. J., V. Anislado & P. Ramos. 2004. Shoaling fish and red crab behaviour related to tidal variations in Bahía Magdalena, México. *Deep-Sea Research II*. 51: 767-783
- Robinson, C.J., S. Gómez-Aguirre & J. Gómez-Gutiérrez. 2007. Pacific sardine behaviour related to tidal current dynamics in Bahía Magdalena, México. *Journal of Fish Biology*. 71: 200-218
- Robinson, C.J., J. Gomez-Gutiérrez, A. Paniagua-Mendoza, R. Díaz-Gamboa. & D. Gendron. 2008. *Seasonal distribution and abundance of the jumbo squid (Dosidicus gigas) in the Gulf of California*. 5th World Fisheries Congress, Yokohama, Japan, 20-24 October 2008.
- Roden, G.I. & Groves, G.W. 1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. *Journal of Marine Research*. 13(1): 10-35
- Roden, G.I. & I. Emilson. 1979. *Physical oceanography of the Gulf of California*. Gulf of California symposium, Universidad Nacional Autónoma de México, Mazatlán, Sin. México. Unpublished
- Rojas-Bracho, L. 1984. *Presencia y distribución del rorcual común, Balaenoptera physalus (Linnaeus, 1758) (Cetacea:Balaenopteridae) en el Golfo de California, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 157p.
- Ruiz-Castro, R.I. 2002. *Relación trófica entre el cachalote (Physeter macrocephalus) y el calamar gigante (Dosidicus gigas) en el Golfo de California mediante el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S. México.
- Ruiz-Cooley, R.I, D. Gendron, S. Aguíñiga, S. Mesnick & J.D. Carriquiry. 2004. Trophic relationships between sperm whales and jumbo squid using stable isotopes of C and N. *Marine Ecology Progress Series*. 277: 275-283
- Ruiz-Cooley, R.I, U. Markaida, D. Gendron & S. Aguíñiga. 2006. Stable isotopes en jumbo squid (*Dosidicus gigas*) beaks to estimate its trophic

- position: comparison between stomach contents and stable isotopes. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 86: 437-445
- Sánchez-Velasco L., M.F. Lavín, M. Peguero-Icaza, C.A. León-Chávez, F. Contreras-Catala, S.G. Marinone, I.V. Gutiérrez-Palacios & V.M. Godínez. 2009. Seasonal changes in larval fish assemblages in a semi-enclosed sea (Gulf of California). *Continental Shelf Research*. 29: 1697-1710
- Santamaría del Ángel, E., S. Álvarez-Borrego & F. E. Müller-Karger. 1994. Biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery Gulf of California. *Journal of Biogeographic Research*. 99 (c4): 7411-7421
- Santos, M.B., G.J. Pierce, A. López, J.A. Martínez, M.T. Fernández, E. Ieno, E. Mente, C. Porteiro & M. Meixide. 2005. Variability in the diet of common dolphins (*Delphinus delphis*) in Galician Waters 1991-2003 and relationship with prey abundance. *European Research on Cetaceans*. 19:22
- Schreer, J. F. & K.M Kovacs. 1997. Allometry of diving capacity in airbreathing vertebrates. *Can. J. Zool.* 75: 339-358
- Schoenherr, J.R. 1991. Blue whales feeding on high concentrations of euphausiid around Monterrey submarine canyon. *Can. J. Zool.* 69:583-594
- Selzer, L.A. & M. Payne. 2006. The distribution of white-sided (*Lagenorhynchus acutus*) and common dolphins (*Delphinus delphis*) vs. environmental features of the continental shelf of the northeastern United States. *Marine Mammal Science*. 4(2): 141-153
- Segura-García, H. 2004. *Diferenciación de ecotipos y estructura genética del delfín Tursiops truncatus en el Golfo de California*. Tesis de maestría. CICESE. B.C.N., México. 136 p.
- Silber, G.K. 1990. *Distributional relations of cetaceans in the northern Gulf of California, with special reference to the vaquita, Phocoena sinus*. Tesis de Doctorado. Universidad de California, Santa Cruz, California. USA. 157p.
- Silber, G.K., M.W. Newcomer, P.C. Silber, H. Pérez-Cortés & G.M. Ellis. 1994. Cetaceans of the northern Gulf of California: Distribution, occurrence, and relative abundance. *Marine Mammal Science*. 10(3): 283-298
- Smith, S.C. & H. Whitehead. 1993. Variation in the feeding success and behaviour of Galápagos sperm whales (*Physeter macrocephalus*) as they relate to oceanographic conditions. *Can. J. Zool.* 71: 1991-1996

- Smith, R.C., P. Dustan, D. Au, K.S. Baker & E.A. Dunlap. 2004. Distribution of cetaceans and sea-surface chlorophyll concentrations in the California Current. *Mar. Biol.* 91: 385-402
- Springer, A.M., J.F. Piatt, V.P. Shuntov, G.B. Van Vliet, V.L. Vladimirov, A.E. Kuzin & A.S. Perlov. 1999. Marine birds and mammals of the Pacific Subarctic Gyres. *Progress in Oceanography.* 43: 443–487
- Stockin, K.A., G.J. Pierce, V. Binedell, N. Wiseman & M.B. Orams. 2008. Factors Affecting the Occurrence and Demographics of Common Dolphins (*Delphinus* sp.) in the Hauraki Gulf, New Zealand. *Aquatic Mammals.* 34(2): 200-211
- Tershy, B.R. 1992. Body size, diet habitat use, and social behavior of *Balaenoptera* whales in the Gulf of California. *Journal of Mammalogy,* 73(3): 477-486
- Tershy, B.R., D. Breese & C. Strong. 1990. Abundance, seasonal distribution and population composition of Balaenopterid whales in the Canal de Ballenas, Gulf of California, México, 369-375p. En: Hammond, P.S., S.A. Mizroch & G.P. Donovan (Eds.) *Individual Recognition of Cetaceans: Use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters.* Report of the International Whaling Commission (Special Issue 12). Cambridge, U.K. 440p.
- Tershy, B.R., A. Acevedo, D. Breese & C.S. Strong. 1993. Diet and feeding behavior of fin and Bryde's whales in the central Gulf of California. *Rev. Inv. Cient.* 1 (no. Especial. SOMEMMA): 69-72
- Thomas, L., S.T. Buckland, K.P. Burnham, D.R. Anderson, J.L. Laake, D.L. Borchers & S. Strindberg. 2002. Distance sampling. 1, 544-552p. En: *Encyclopedia of Environmetrics.* El-Shaarawi, A.H. & W.W. Piegorsch (Eds). John Wiley & Sons Press, Ltd, Chichester. 2502p.
- Tremblay, N. 2008. *Respuesta antioxidante asociada al límite de migración vertical diaria de los eufáusidos subtropicales del Golfo de California.* Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 147p.
- Tynan, C.T., D.G. Ainley, J.A. Barth, T.J. Cowles, S.D. Pierce & L.B. Spear. 2005. Cetacean distributions relative to ocean processes in the northern California Current System. *Deep-Sea Research II.* 52: 145–167

- Urbán-Ramírez, J., L. Rojas-Bracho, M. Guerrero-Ruiz, A. Jaramillo-Legorreta & L. Findley. 2005. Cetacean Diversity and conservation in the Gulf of California, 276-297p. En: Cartron, J.L.E., G. Cebalos & R.S. Felger. (Eds.) *Biodiversity, ecosystems and conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press. 496p.
- Urbán-Ramírez, J. 1996. El rorcual común *Balaenoptera physalus*, en el golfo de México. *Informe final a la CONABIO proyecto de investigación B040*. 87p.
- Valles-Jiménez, R. 1998. *Abundancia y distribución de Delphinus delphis y Delphinus capensis en la costa occidental de la península de Baja California*. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 80 p.
- Viale, D. 1991. Une méthode synoptique de recherche des zones productives en mer: détection simultanée des cétacés, des fronts thermiques et des biomasses sous-jacentes. *Annales de l'Institut Océanographique*. 67(1) : 49-62
- Vidal, O., L.T. Findley & S. Leatherwood. 1993. Annotated checklist of the marine mammals of the Gulf of California. *Proc. San Diego Soc. Nat. Hist. (USA)* 28: 1-11
- Vidussi, F., H. Claustre, J.N. Bustillos-Guzman, C. Cailliau & J.C. Marty. 1996. Rapid HPLC method for determination of phytoplankton chemotaxonomic pigments: separation of chlorophyll a from divinyl-chlorophyll a and zeaxanthin from lutein. *J. Plank. Res.* 18: 2377-2382
- Walker, D. 2005. *Using oceanographic features to predict areas of high cetacean diversity*. Tesis de Maestría. Universidad de Gales, Bangor, R.U. 148p.
- Walker, W. A. 1981. Geographical variation in morphology and biology of bottlenose dolphin (*Tursiops*) in the eastern north Pacific. *NOAA/NMFS Southwest Fisheries Center Administrative Report, LJ-81-03C*, La Jolla, USA. 42p.
- Whitehead, H. & B. Kahn. 1992. Temporal and geographic variation in the social structure of female sperm whales. *Can. J. Zool.* 70: 2145–2149
- Wilson, R. P. 1991. The behaviour of diving birds. *Proc. Int. Ornithol. Congr.* 20: 1853-1867

ANEXO I

Formato para el registro de datos de avistamiento de cetáceos y otros eventos utilizada en los cruceros oceanográficos.

FECHA: <u> </u> / <u> </u> / <u> </u> <small>AÑO / MES / DÍA</small>	HOJA DE AVISTAMIENTOS CRUCERO CICIMAR-IPN	HOJA: <u> </u> / <u> </u>
HORA: <u> </u> : <u> </u> : <u> </u> ESFUERZO: <u> </u> ROTACIÓN: I= <u> </u> C= <u> </u> D= <u> </u> INDEP= <u> </u> RUMBO: <u> </u> LAT: <u> </u> ° LONG: <u> </u> ° No. DE AVISTA: <u> </u> ANGULO: <u> </u> RETÍCULA: <u> </u> Sp.: <u> </u> # ANIMAL: <u> </u> ASOCIA: <u> </u> OBS: <u> </u> T° C: <u> </u> VISIB: <u> </u> SOL°: <u> </u> S/S: <u> </u> SWELL: <u> </u> COLOR: <u> </u> VIENTO: <u> </u> DIR. V: <u> </u> MUESTRA: <u> </u> OBSERVACIONES: <u> </u>		MANTAS
HORA: <u> </u> : <u> </u> : <u> </u> ESFUERZO: <u> </u> ROTACIÓN: I= <u> </u> C= <u> </u> D= <u> </u> INDEP= <u> </u> RUMBO: <u> </u> LAT: <u> </u> ° LONG: <u> </u> ° No. DE AVISTA: <u> </u> ANGULO: <u> </u> RETÍCULA: <u> </u> Sp.: <u> </u> # ANIMAL: <u> </u> ASOCIA: <u> </u> OBS: <u> </u> T° C: <u> </u> VISIB: <u> </u> SOL°: <u> </u> S/S: <u> </u> SWELL: <u> </u> COLOR: <u> </u> VIENTO: <u> </u> DIR. V: <u> </u> MUESTRA: <u> </u> OBSERVACIONES: <u> </u>		MANTAS
HORA: <u> </u> : <u> </u> : <u> </u> ESFUERZO: <u> </u> ROTACIÓN: I= <u> </u> C= <u> </u> D= <u> </u> INDEP= <u> </u> RUMBO: <u> </u> LAT: <u> </u> ° LONG: <u> </u> ° No. DE AVISTA: <u> </u> ANGULO: <u> </u> RETÍCULA: <u> </u> Sp.: <u> </u> # ANIMAL: <u> </u> ASOCIA: <u> </u> OBS: <u> </u> T° C: <u> </u> VISIB: <u> </u> SOL°: <u> </u> S/S: <u> </u> SWELL: <u> </u> COLOR: <u> </u> VIENTO: <u> </u> DIR. V: <u> </u> MUESTRA: <u> </u> OBSERVACIONES: <u> </u>		MANTAS
HORA: <u> </u> : <u> </u> : <u> </u> ESFUERZO: <u> </u> ROTACIÓN: I= <u> </u> C= <u> </u> D= <u> </u> INDEP= <u> </u> RUMBO: <u> </u> LAT: <u> </u> ° LONG: <u> </u> ° No. DE AVISTA: <u> </u> ANGULO: <u> </u> RETÍCULA: <u> </u> Sp.: <u> </u> # ANIMAL: <u> </u> ASOCIA: <u> </u> OBS: <u> </u> T° C: <u> </u> VISIB: <u> </u> SOL°: <u> </u> S/S: <u> </u> SWELL: <u> </u> COLOR: <u> </u> VIENTO: <u> </u> DIR. V: <u> </u> MUESTRA: <u> </u> OBSERVACIONES: <u> </u>		MANTAS
HORA: <u> </u> : <u> </u> : <u> </u> ESFUERZO: <u> </u> ROTACIÓN: I= <u> </u> C= <u> </u> D= <u> </u> INDEP= <u> </u> RUMBO: <u> </u> LAT: <u> </u> ° LONG: <u> </u> ° No. DE AVISTA: <u> </u> ANGULO: <u> </u> RETÍCULA: <u> </u> Sp.: <u> </u> # ANIMAL: <u> </u> ASOCIA: <u> </u> OBS: <u> </u> T° C: <u> </u> VISIB: <u> </u> SOL°: <u> </u> S/S: <u> </u> SWELL: <u> </u> COLOR: <u> </u> VIENTO: <u> </u> DIR. V: <u> </u> MUESTRA: <u> </u> OBSERVACIONES: <u> </u>		MANTAS
HORA: <u> </u> : <u> </u> : <u> </u> ESFUERZO: <u> </u> ROTACIÓN: I= <u> </u> C= <u> </u> D= <u> </u> INDEP= <u> </u> RUMBO: <u> </u> LAT: <u> </u> ° LONG: <u> </u> ° No. DE AVISTA: <u> </u> ANGULO: <u> </u> RETÍCULA: <u> </u> Sp.: <u> </u> # ANIMAL: <u> </u> ASOCIA: <u> </u> OBS: <u> </u> T° C: <u> </u> VISIB: <u> </u> SOL°: <u> </u> S/S: <u> </u> SWELL: <u> </u> COLOR: <u> </u> VIENTO: <u> </u> DIR. V: <u> </u> MUESTRA: <u> </u> OBSERVACIONES: <u> </u>		MANTAS

ANEXO II

Ecuaciones para el cálculo de la distancia curvilínea (r). Tomadas de Jaramillo et al. (1999)

Los siguientes términos y ecuaciones se esquematizan en las Figuras Ai y Aii:

θ = Ángulo que forman los binoculares al alinear la retícula 0 con el horizonte. También, ángulo análogo formado entre el radio terrestre (rt) y la línea (y).

t = línea tangente a la superficie terrestre.

rt = radio terrestre = 6'370.000 m

Entonces, t : $y = a - bx$ [A1]

$$a = rt + h$$

rt : $y = b_n \cdot x$

$$b_n = -\frac{1}{b} = \frac{1}{b}$$

$$y = \frac{1}{b}x \quad [A2]$$

Despejando b en A1 y A2:

$$\frac{x}{y} = -\frac{y-a}{x}$$

$$x^2 = ay - y^2 \quad [A3]$$

Superficie terrestre:

$$x^2 + y^2 = rt^2 \quad [A4]$$

Sustituyendo por A3:

$$ay - y^2 + y^2 = rt^2$$

$$ay = (rt + h)y = rt^2$$

La recta y :

$$y = \frac{rt^2}{rt+h}$$

El ángulo θ :

$$\theta = \arccos\left(\frac{y}{rt}\right) = \arccos\left(\frac{\frac{rt^2}{rt+h}}{rt}\right) = \arccos\left(\frac{rt}{rt+h}\right)$$

Intersección entre la recta p y la superficie terrestre; punto (x, y) (Figura Aii):

$$b = \tan(\theta + \lambda) = \tan\left[\arccos\left(\frac{rt}{rt+h}\right) + (\text{ret} \cdot \text{angret})\right]$$

El punto x de la intersección:

$$rt^2 - x^2 = (a - bx)^2 = a^2 - 2abx + b^2x^2$$

$$(1+b^2)x^2 - (2ab)x + (a^2 - rt^2) = 0$$

Sustituyendo:

$$A = 1+b^2$$

$$B = -2 \cdot (rt+h) \cdot b$$

$$C = (rt+h)^2 - rt^2$$

El punto x de la intersección:

$$x_{\text{inf}} = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

La distancia curvilínea dc entre el barco y el grupo avistado:

$$r = \arcsen\left(\frac{x_{\text{inf}}}{rt}\right) \cdot rt$$

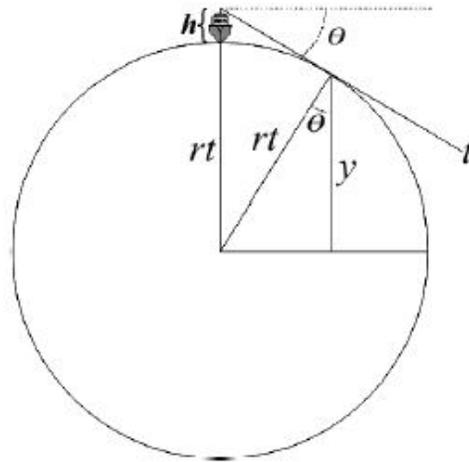


Figura All. Esquema de las principales distancias, líneas y ángulos usados para el cálculo de r .

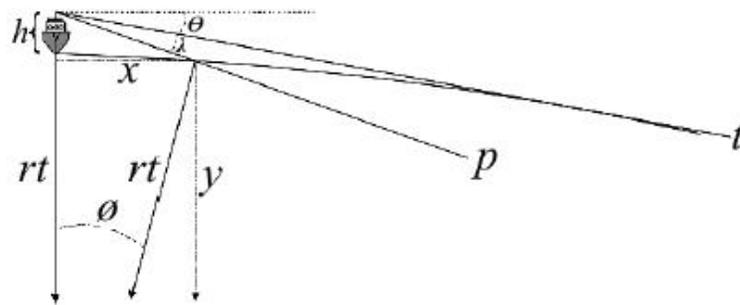


Figura All.ii. Detalle de All. mostrando nuevos parámetros.