



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA SUR**

**ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA
POSGRADO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**

**Zonas Prioritarias para la Conservación
de las Ballenas en el Golfo de California:
Un Enfoque Ecológico**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

Doctor en Ciencias

PRESENTA

**M. en C. Enrique Alejandro
Gómez Gallardo Unzueta**

La Paz, B.C.S., julio de 2013.



BIOLOGÍA MARINA
CIMACO
Posgrado en Ciencias Marinas y
Costeras
PNP

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

Fecha: 13 DE MAYO DE 2013

M. en C. ENRIQUE A. GÓMEZ GALLARDO UNZUETA
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA
PRESENTE.

Los abajo firmantes, Miembros de la Comisión Revisora del proyecto de tesis completamente terminado, titulado:

Zonas Prioritarias para la Conservación de las Ballenas en el Golfo de California:
Un enfoque Ecológico

que presentó: ENRIQUE ALEJANDRO GÓMEZ GALLARDO UNZUETA

Otorgamos nuestro voto **aprobatorio** y consideramos que dicho Trabajo está listo para su defensa, a fin de obtener el **Grado de Doctor** en Ciencias Marinas y Costeras, con Orientación en _____.

Comisión Revisora:

<u>Dr. Jorge Urbán Ramírez</u>	<u>[Firma]</u>
Titular	Firma
Director Interno	
<u>Dr. Oscar Arizpe</u>	<u>[Firma]</u>
Titular	Firma
<u>Dr. Sergio Francisco Flores Ruiz</u>	<u>[Firma]</u>
Titular	Firma
<u>Dr. Héctor Reyes Bonilla</u>	<u>Héctor Reyes Bonilla</u>
Titular	Firma
<u>DR. BERNARDO SHIRASAKI CERNAN</u>	<u>[Firma]</u>
Titular	Firma

c.c.p Expediente del alumno (CIMACO)

◆ Dedicatoria ◆

A la memoria de César...

Un camino no se recorre solo
las vicisitudes nunca faltan
afortunados son los que puerto tienen para recogerse

*Esta tesis está dedicada a mi familia, mi puerto...
sin ellos simplemente yo no sería*

Silvia

Ale, Memo

Madre

julio 2013

◆ AGRADECIMIENTOS ◆

Jorge, hemos recorrido ya un buen camino y todo tipo de situaciones, en el que siempre has sabido guiar y compartir, reconozco pero más agradezco todo el apoyo recibido de tu parte y yo sólo espero saber corresponder y estar siempre que sea necesario.

Óscar, tu apoyo fue muy importante para la realización del presente trabajo en muchos sentidos, seguro estoy que seguiremos colaborando con la misma disposición y que el buen trabajo siempre sea nuestro derrotero, gracias mil.

Bernardo, tu buen trato y tus atinados consejos fueron muy necesarios para la realización del presente estudio, agradezco siempre tu disposición y ayuda, seguro que habrá más momentos de trabajo en equipo.

Héctor y Sergio sin duda enriquecieron este documento con sus atinadas observaciones y su valiosa orientación, decir gracias siempre será poco.

Eleonora y Eduardo también tuvieron importantes aportaciones para mejorar el documento final, espero que las mismas se hayan visto reflejadas, gracias.

Sandy Lanham (Environmetal Flying Services) hizo posible los recorridos aéreos, dando mucho más de sí que la mayoría de los mortales, su compromiso con la ciencia y la conservación va más allá de lo creíble, muchos mexicanos le debemos tanto. *Thank's a lot Sandy.*

Diane Gendron y Gustavo Cárdenas participaron en los vuelos y compartieron la maravilla de sobrevolar una zona espectacular. Sus horas de esfuerzo y su compañerismo los agradeceré siempre.

En los recorridos en barco y en el trabajo en el laboratorio, los miembros del PRIMMA fueron un gran apoyo y los mejores compañeros, no los enlisto pues podría pecar con alguna omisión. Don Ramón y Armando, grandes tripulantes y buenos amigos. A todos ellos muchas gracias.

Los compañeros de la universidad, profesores, autoridades y administrativos siempre apoyaron en donde y como pudieron, además de sus palabras de aliento, para que esto tuviese una culminación. Gracias a todos y tampoco los menciono para evitar omisiones.

Mi familia siempre ha estado y eso es invaluable, aunque ya haya sido dedicado el presente trabajo a ellos, además debo agradecer su apoyo y sobre todo su paciencia. Mi tarea: corresponder con apoyo y cariño siempre. Además debo agradecer a mí otra familia: Dora, Eric, Erik, Lalo, Eugenia, Reyna y el resto de cuñados y sobrinos, de todos ellos siempre recibí todo tipo de apoyos y hoy les agradezco.

Se agradece al CONACyT que financió el presente proyecto y asignó beca a mi persona, sólo así fue posible esto.

Contenido

Índice de Figuras	i
Índice de Tablas	vii
Índice de Cuadros	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	3
III. Justificación	9
IV. Objetivos	13
Objetivo General	13
Objetivos Particulares:	13
V. Métodos	14
Área de Estudio	14
Distribución histórica	16
Distribución durante el periodo de estudio.....	16
Recorridos aéreos.	16
Navegaciones	17
Biomasa	18
Índices Ecológicos	20
Caracterización ambiental	23
Temperatura superficial del mar y productividad primaria neta	23
Topografía del fondo marino (Batimetría).....	24
Análisis de datos.....	24
Estructuras oceanográficas de mesoescala	25
Estimación de la distribución de las especies mediante Modelos Aditivos Generalizados	27
Modelado de la Distribución Geográfica de las Especies con base en la Máxima Entropía (Maxent	28
Definición de las Regiones Prioritarias para la Conservación de Ballenas en el GC RECOBAG)	30
VI. Resultados	34

Base de datos histórica	34
Abundancia relativa y distribución de las grandes ballenas	35
Recorridos Aéreos	36
Recorridos en barco	38
Índices Ecológicos.	41
Temporada Fría	41
Temporada Cálida	44
Caracterización Ambiental	48
Temperatura Superficial y Productividad Primaria Neta	48
Profundidad.....	49
Identificación de Estructuras Oceanográficas de Mesoescala.....	50
2004	50
2005	53
2006	54
Estimación de la distribución de las especies mediante Modelos Aditivos Generalizados	57
Grandes ballenas.....	57
Misticetos.....	59
Odontocetos.....	62
Modelado de la Distribución Geográfica de las Especies con base en la Máxima Entropía (Maxent)	67
Grandes ballenas.....	67
Misticetos.....	71
Odontocetos.....	75
Regiones Prioritarias para la Conservación de Ballenas en el Golfo de California	80
Propuesta general	80
Temporada cálida.....	80
Temporada fría.....	81
VII. Discusión	84
Abundancia relativa y distribución de las grandes ballenas	84
Índices Ecológicos.	89
Caracterización Ambiental	93

Estimación de la distribución (Modelos aditivos generalizados, Máxima Entropía, Modelo conceptual propuesto)	99
Comparación con las propuestas existentes	103
Propuesta de Zonas Prioritarias para la Conservación de Grandes Ballenas en el GC.....	106
Zona I, Alto Golfo	106
Zona II, Grandes Islas	106
Zona II, Centro.....	107
Zona IV, Suroeste (costa peninsular)	107
VIII. Conclusiones	109
Distribución y abundancia.....	109
Índices Ecológicos	109
Caracterización ambiental	109
Modelado de la distribución	110
Regiones prioritarias para la conservación	110
IX. Literatura citada	111
ANEXO I. Acuerdo que estableció el refugio para proteger las especies de grandes ballenas de las aguas del territorio nacional	123
Anexo 2. Índices Ecológicos: Riqueza, Diversidad y Similitud.....	130

Índice de Figuras

Figura 1. Áreas de Importancia Biológica (AIB) para Mamíferos Marinos, determinadas por la Coalición del Golfo de California en 2001, donde se determinó un índice de fragilidad como parte del Plan para el ordenamiento Ecológico del Golfo de California	11
Figura 2. Propuesta de Planeación Ecorregional para la Conservación Marina del GC y la costa occidental de B.C.S., realizada por COBI en 2006 (izquierda) y Red de Reservas Marinas del GC propuesta por Aburto y López-Sagástegui en 2006 (derecha).	12
Figura 3. Acuerdo por el cual se establece como Área de Refugio para Proteger a las Especies de Grandes Ballenas, las Zonas Marinas que Forman Parte del Territorio Nacional y Aquellas sobre las que la Nación Ejerce su Soberanía y Jurisdicción.....	12
Figura 4. Golfo de California, con un giro de 38o respecto al Norte geográfico. Se muestra el detalle de la batimetría en metros y se indican las principales regiones: Alto Golfo, Grandes Islas, Golfo Medio y Boca del Golfo. La Línea roja punteada marca la delimitación del área de estudio.....	15
Figura 5. Ruta de los recorridos aéreos (línea punteada marrón) realizados en los veranos (junio) e inviernos (febrero) de 2005 y 2006 en el Golfo de California (en recuadro se muestra imagen de la aeronave).	17
Figura 6. Ruta de los recorridos en barco (línea marrón) realizados en la costa occidental del Golfo de California durante 2004-2006 (en recuadro se muestra imagen de la embarcación).	18
Figura 7. Regionalización del GC con base en la producción primaria propuesta por Lluch-Cota (2004). En la figura se muestran las divisiones y la numeración en color rojo.	22
Figura 8. Ejemplos del procesamiento de las imágenes de satélite de tsm y ppn (se ilustra el recorte y la extracción de la información).	23
Figura 9. Estratificación del área de estudio.....	25
Figura 10. Ejemplo de la composición de imágenes Modis-SeaWiFS de clorofila “a” tipo HRPT (High Resolution Picture Transmission, 1.1 km en el nadir) en formato HDF (Hierarchical Data Format). El recuadro superior muestra la imagen original, el inferior un acercami	26
Figura 11. Distribución de las ballenas (cetáceos > 4 m) registrados de 1972 a 2002 por el Programa de Investigación de Mamíferos Marinos de la UABCS.	34
Figura 12. Distribución de las ballenas (cetáceos > 4 m) registrados durante los cuatro recorridos aéreos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006. Se muestran los registros de misticetos en azul (izquierda) y los de odontocetos en rojo (derecha).	36

Figura 13. Distribución de los avistamientos por especie de las ballenas (cetáceos >4 m) registrados durante los cuatro recorridos aéreos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006.	37
Figura 14. Distribución de la biomasa (estimada en t) por especie de las ballenas (cetáceos >4 m) registrados durante los cuatro recorridos aéreos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006.....	37
Figura 15. Variación de la biomasa de ballenas (cetáceos > 4 m) por temporada y año (expresada en toneladas) registrada durante los cuatro recorridos aéreos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006.....	38
Figura 16. Distribución de las ballenas (cetáceos > 4 m) registrados durante los recorridos en barco realizados de agosto de 2003 a enero de 2007. Se muestran los registros de mysticetos en azul (izquierda) y los de odontocetos en rojo (derecha).....	39
Figura 17. Avistamientos por especie de las ballenas (cetáceos > 4 m) registrados durante los recorridos en barco realizados en los inviernos y veranos de agosto de 2003 a enero de 2007.	40
Figura 18. Distribución de la biomasa (estimada en t) por especie de las ballenas (cetáceos >4 m) registrados durante los recorridos en barco realizados en los inviernos y veranos de agosto de 2003 a enero de 2007.....	40
Figura 19. Variación de la biomasa relativa (expresada en toneladas por día de esfuerzo) de ballenas (cetáceos >4 m) por temporada y año, registrados durante los recorridos en barco realizados en los inviernos y veranos de agosto de 2003 a enero de 2007.	41
Figura 20. Comparación de las Riqueza estimada a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo).....	43
Figura 21. Comparación de la diversidad (Shannon-Weiner) estimada a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo).....	44
Figura 22. Comparación de las Riqueza estimada a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la temporada cálida (junio-noviembre).....	46
Figura 23. Comparación de la diversidad (Shannon-Wiener) estimada a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la temporada cálida (junio-noviembre).	46
Figura 24. Comparación de la similitud entre zonas en la TEMPORADA FRÍA (izquierda) y la TEMPORADA CÁLIDA (derecha) a partir del estimador de Jaccard modificado por Chao et al. (2005).	47

Figura 25. Ejemplo de alineación del promedio de la producción primaria neta (ppn) a la cuadrícula de estratificación del GC, durante la temporada cálida (junio-noviembre) para el periodo 2004-2006.	48
Figura 26. Batimetría del GC (resolución de 3.72 km del National Geophysical Data Center de la NOAA.	49
Figura 27. Figuras quincenales de la concentración de clorofila-a en 2004, para la identificación de estructuras oceanográficas de mesoescala en el Golfo de California. A la derecha se muestra la escala (mg/m ³). Las flechas negras curvas indican los remolinos, las flechas blancas las surgencias y las flechas oscuras rectas los filamentos de clorofila.	52
Figura 28. Figuras mensuales de la concentración de clorofila-a en 2005, para la identificación de estructuras oceanográficas de mesoescala en el Golfo de California. A la derecha se muestra la escala (mg/m ³). Las flechas negras curvas indican los remolinos, las flechas blancas las surgencias y las flechas oscuras rectas los filamentos de clorofila.	55
Figura 29. Figuras mensuales de la concentración de clorofila-a en 2006, para la identificación de estructuras oceanográficas de mesoescala en el Golfo de California. A la derecha se muestra la escala (mg/m ³). Las flechas negras curvas indican los remolinos, las flechas blancas las surgencias y las flechas oscuras rectas los filamentos de clorofila.	56
Figura 30. Estimaciones del GAM para la predicción de hábitat de grandes ballenas en el GC, realizado a partir de recorridos aéreos. En las variables numéricas la línea continua indica la predicción del modelo y las líneas punteadas la varianza. En las categóricas, las líneas horizontales indican la distribución univariada y las líneas punteadas la varianza. Las rayas sobre el eje de las X indican la distribución de observaciones. Variables con un intervalo de confianza al 95%.	59
Figura 31. Superior: Valores de predicción para el GAM realizado con los registros de grandes ballenas obtenidos durante los recorridos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006. Las variables predictivas para este análisis fueron: tsm excepto invierno y profundidad. Inferior: Valores de “predicción” para el GAM realizado durante la temporada fría (izquierda) y cálida (derecha). Las variables predictivas para la temporada fría fue la profundidad y para la cálida la tsm y la profundidad.	60
Figura 32. Estimaciones del GAM para la predicción de hábitat de misticetos realizado a partir de recorridos aéreos en el GC. En las variables numéricas la línea continua indica la predicción del modelo y las líneas punteadas la varianza. En las categóricas, las líneas horizontales indican la distribución univariada y las líneas punteadas horizontales la varianza. Las rayas sobre el eje de X indican la distribución de observaciones (con y sin avistamientos de misticetos). Las variables con un intervalo de confianza al 95%.	62

Figura 33. Superior: Valores de predicción para el GAM realizado con los registros de misticetos obtenidos durante los recorridos realizados en las temporadas fría y cálidas de 2005 y 2006. Las variables predictivas para este análisis fueron: profundidad y para variables categóricas estación y año. Inferior: Valores de predicción para el GAM realizado durante la temporada fría (izquierda) y cálida (derecha). Las variables predictivas para la temporada fría fue la profundidad y para la cálida la tsm y la profundidad.	63
Figura 34. Estimaciones del GAM en el análisis para la para la predicción de hábitat de odontocetos en el GC. En las variables numéricas la línea continua indica la predicción del modelo y las líneas punteadas la varianza. En las categóricas, las líneas horizontales indican la distribución univariada y las líneas punteadas horizontales la varianza. Las rayas sobre el eje de X indican la distribución de observaciones (con y sin avistamientos de odontocetos). Las variables con un intervalo de confianza al 95%.	65
Figura 35. Superior: Valores de predicción para el GAM realizado con los registros de odontocetos obtenidos durante los recorridos realizados en las temporadas fría y cálidas de 2005 y 2006. Las variables predictivas para este análisis fueron: tsm y profundidad y para variables categóricas año. Inferior: Valores de predicción para el GAM durante la temporada fría (izquierda) y cálida (derecha). Las variables predictivas para la temporada fría fue la profundidad y para la cálida la tsm y la profundidad.	66
Figura 36. Predicción de la distribución de las GRANDES BALLENAS estimada mediante la máxima entropía, considerando el periodo total (superior), la temporada cálida (medio) y la temporada fría (inferior), en el Golfo de California durante el periodo de estudio (2004-06). Para cada figura se indica la propia escala de color (probabilidad).....	69
Figura 37. Curva operada por el receptor, tanto para los datos de entrenamiento, como para los de prueba para las grandes ballenas en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). En rojo se señalan los datos de entrenamiento del modelo, en azul los de prueba y la línea negra corresponde a un modelo aleatorio.....	70
Figura 38. Prueba jackknife para la estimación de la importancia de cada variable en el modelo para las grandes ballenas en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). Se señala la contribución de cada variable. El color azul indica la ganancia o aportación sólo con la variable, el turquesa la ganancia con todas las variables menos la probada y el rojo la ganancia con todas las variables. (ver=cálida, inv=fría).....	71
Figura 39. Predicción de la distribución de los MISTICETOS estimada mediante la máxima entropía, considerando el periodo total (superior), la temporada cálida (medio) y la temporada fría (inferior), en el Golfo de California durante el periodo de	

estudio (2004-06). Para cada figura se indica la propia escala de color (probabilidad).....	72
Figura 40. Curva operada por el receptor, tanto para los datos de entrenamiento, como para los de prueba para los MISTICETOS en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). En rojo se señalan los datos de entrenamiento del modelo, en azul los de prueba y la línea negra corresponde a un modelo aleatorio.....	73
Figura 41. Prueba jackknife para la estimación de la importancia de cada variable en el modelo para MISTICETOS en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). Se señala la contribución de cada variable. El color azul indica la ganancia o aportación sólo con la variable, el turquesa la ganancia con todas las variables menos la probada y el rojo la ganancia con todas las variables. (ver=cálida, inv=fría).....	74
Figura 42. Predicción de la distribución de los ODONTOCETOS estimada mediante la máxima entropía, considerando el periodo total (superior), la temporada cálida (medio) y la temporada fría (inferior), en el Golfo de California durante el periodo de estudio (2004-06). Para cada figura se indica la propia escala de color (probabilidad).....	77
Figura 43. Curva operada por el receptor, tanto para los datos de entrenamiento, como para los de prueba para los ODONTOCETOS en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). En rojo se señalan los datos de entrenamiento del modelo, en azul los de prueba y la línea negra corresponde a un modelo aleatorio.....	78
Figura 44. Prueba jackknife para la estimación de la importancia de cada variable en el modelo para ODONTOCETOS en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). Se señala la contribución de cada variable. El color azul indica la ganancia o aportación sólo con la variable, el turquesa la ganancia con todas las variables menos la probada y el rojo la ganancia con todas las variables. (ver=cálida, inv=fría).....	79
Figura 45. Propuesta de zonas con presencia importante para las grandes ballenas, en el Golfo de California durante el PERIODO DE ESTUDIO (2004-06), realizada a través de la evaluación eco-espacial. La escala se determinó mediante los “cortes naturales” en la distribución de frecuencias del índice de presencia obtenido. Los valores de presencia importante corresponden al índice alto y medio alto.	81
Figura 46. Propuesta de zonas con presencia importante para las grandes ballenas, en el Golfo de California durante la TEMPORADA CÁLIDA del periodo de estudio (2004-06), realizada a través de la evaluación eco-espacial. La escala se determinó mediante los “cortes naturales” en la distribución de frecuencias del índice de presencia obtenido. Los valores de presencia importante corresponden al índice alto y medio alto.	82

- Figura 47. Propuesta de zonas con presencia importante para las grandes ballenas, en el Golfo de California durante LA TEMPORADA FRÍA del periodo de estudio (2004-06), realizada a través de la evaluación eco-espacial. La escala se determinó mediante los “cortes naturales” en la distribución de frecuencias del índice de presencia obtenido. Los valores de presencia importante corresponden al índice alto y medio alto.83
- Figura 48. Distribución de los misticetos y odontocetos con más registros en relación con la profundidad durante las temporadas fría (A=misticetos y B=odontocetos) y cálida (C=misticetos y D=odontocetos) en el Golfo de California durante el periodo de estudio (2004-06). La profundidad se indica en la escala de grises en metros.88
- Figura 49. Abundancia relativa (IAR) en la TEMPORADA FRÍA, de las especies registradas para cada zona en el Golfo de California. Las zonas se presentan en orden descendente y latitudinal I-IV (norte-sur). Bb-Balaenoptera borealis, Be-B. edeni, Bm-B. musculus, Bp-B. physalus, Bsp.-Balaenoptera sp., Er-Eschrichtius robustus, Gg-Grampus griseus, Gm-Globicephala macrorhynchus, Kb-Kogia breviceps, Ks-K. sima, Ksp-Kogia sp., Mn-Megaptera novaeangliae, Mp-Mesoplodon peruvianus, Msp-Mesoplodon sp., Oo-Orcinus orca, Pm-Physeter macrocephalus, Zc-Ziphius cavirostris, Zsp-Zífido.90
- Figura 50. Abundancia relativa (IAR) en la temporada cálida, de las especies registradas para cada zona en el Golfo de California. Las zonas se presentan en orden descendente y latitudinal I-IV (norte-sur). Bb-Balaenoptera borealis, Be-B. edeni, Bm-B. musculus, Bp-B. physalus, Bsp.-Balaenoptera sp., Er-Eschrichtius robustus, Gg-Grampus griseus, Gm-Globicephala macrorhynchus, Kb-Kogia breviceps, Ks-K. sima, Ksp-Kogia sp., Mn-Megaptera novaeangliae, Mp-Mesoplodon peruvianus, Msp-Mesoplodon sp., Oo-Orcinus orca, Pm-Physeter macrocephalus, Zc-Ziphius cavirostris, Zsp-Zífido,92
- Figura 51. Distribución de avistamientos en relación con la producción primaria neta (superior) y la temperatura superficial del mar (inferior) durante la temporada fría (izquierda). La leyenda se muestra en el extremo derecho.97
- Figura 52. Relación entre el Índice de Abundancia Relativa (IAR) de misticetos (MIS) y odontocetos (ODO), con los valores promedio de la producción primaria neta (PPN) y la temperatura superficial del Mar (tsm), por zona y temporada (fría superior, cálida inferior). La escala del IAR y la PPN (mg C/m²/día) se muestra a la izquierda, de la tsm a la derecha (oC).98
- Figura 53. Relación del comportamiento mensual de la temperatura superficial del mar (tsm) (valores mensuales promedio del periodo de estudio), con la biomasa total estimada para cada mes del periodo. Los círculos indican los valores máximos y mínimos de la tsm.99
- Figura 54. Comparación de las propuestas existentes con la que se realiza en este trabajo. Superior izquierda: Áreas de Importancia Biológica (AIB) para Mamíferos Marinos - Coalición del Golfo de California en 2001, superior derecha: Planeación

Ecorregional para la Conservación Marina del GC y la costa occidental de B.C.S., - COBI 2006, inferior izquierda: Red de Reservas Marinas del GC propuesta por Aburto y López-Sagástegui en 2006 e inferior derecha: esta propuesta.105

Figura 55. Propuesta de Zonas Importantes para la Conservación de las Grandes Ballenas en el GC. El área general de cada zona se delimita en color rosa, los sitios con una probabilidad muy alta de presencia de grandes ballenas están señalados en púrpura.....108

Índice de Tablas

Tabla I. Pesos promedio de cetáceos reportados. Se enlistan únicamente las especies mayores a 4 m avistadas durante los recorridos aéreos y en barco de 2003 a 2006 en el GC por el Programa de Investigación de Mamíferos Marinos de la UABCS. Como criterio se tomó el intervalo menor del peso promedio para un organismo adulto, los casos con un marcado dimorfismo entre género se indican y tomaron en cuenta siempre que se contó con la información.....	35
Tabla II. Número de especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo), y su valor correspondiente del índice de abundancia relativa (IAR), tanto en los recorridos aéreos, como en las navegaciones en el Golfo de California. La información está agrupada de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004) representada en la imagen a la derecha.....	42
Tabla III. Índices ecológicos estimados a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo), en los recorridos aéreos y navegaciones en el Golfo de California. La información está agrupada de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004).....	42
Tabla IV. Estimadores de similitud para comparar la riqueza entre zonas, para la TEMPORADA FRÍA en el Golfo de California, de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004). Ch-Jc=Chao-Jaccard, Ch-Sor=Chao-Sørensen, M-H=Morisita- Horn, B-C= Bray-Curtis, ds= desviación estándar.....	43
Tabla V. Número de especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA CÁLIDA (junio-noviembre), y su valor correspondiente del índice de abundancia relativa (IAR), tanto en los recorridos aéreos, como en las navegaciones en el Golfo de California. La información está agrupada de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004) representada en la imagen a la derecha.....	45
Tabla VI. Índices ecológicos estimados a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA CÁLIDA (junio-noviembre), en los	

recorridos aéreos y navegaciones en el Golfo de California. La información está agrupada de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004).....	45
Tabla VII. Estimadores de similitud para comparar la riqueza entre zonas, para la TEMPORADA CÁLIDA en el Golfo de California, de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004). Ch-Jc=Chao-Jaccard, Ch-Sor=Chao-Sørensen, M-H= Morisita- Horn, B-C= Bray-Curtis, ds= desviación estándar.....	46
Tabla VIII. Estimadores de similitud para comparar la riqueza entre las temporadas FRÍA Y CÁLIDA (2004-2006) en el Golfo de California, de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004). Ch-Jc=Chao-Jaccard, Ch-Sor=Chao-Sørensen, M-H= Morisita- Horn, B-C= Bray-Curtis.....	47
Tabla IX. Modelos del GAM obtenidos del análisis de las bases de datos de grandes ballenas. Se incluyen los valores de AIC y C arrojados por el GAM.	57
Tabla X. Modelos del GAM obtenidos del análisis de las bases de datos de misticetos. Se incluyen los valores de AIC y C arrojados por el GAM.	61
Tabla XI. Modelos del GAM obtenidos de los diferentes análisis de las bases de datos de odontocetos. Se incluyen los valores de AIC y C arrojados por el GAM.....	64
Tabla XII. Valor de las diez variables con mayor contribución porcentual al modelo de predicción por máxima entropía, para grandes ballenas en el periodo total, temporada cálida y fría.	70
Tabla XIII. Valor de las diez variables con mayor contribución porcentual al modelo de predicción por máxima entropía, para MISTICETOS en el periodo total, temporada cálida y fría.	73
Tabla XIV. Valor de las diez variables con mayor contribución porcentual al modelo de predicción por máxima entropía, para ODONTOCETOS en el periodo total, temporada cálida y fría.	78

Índice de Cuadros

Cuadro I. Especies consideradas como grandes ballenas en el acuerdo del refugio para protección de grandes ballenas en el territorio nacional, publicado en el DOF del 24 de mayo del 2002. *El nivel taxonómico y nombre de la especie (Suborden, Familia*) se basó en la relación taxonómica propuesta por la Comisión Ballenera Internacional publicada en su página WEB http://iwc.int/cetacea . **El nombre común se basó en lo propuesto por Niño et al. (2011).	19
Cuadro II. Número y tipo de estructuras de mesoescala observadas en el GC mediante imágenes de concentración de clorofila-a durante 2004-2006. RC=remolino ciclónico; RA=remolino anticiclónico; Su=surgencia; Fi=filamento de clorofila.	50

Resumen

El Golfo de California (GC) es un mar marginal altamente productivo y un área especial para la distribución de cetáceos, donde se ha registrado el 37% de la diversidad mundial. Son muchos y diversos los trabajos realizados sobre las poblaciones de ballenas en esta zona, sin embargo es en las dos últimas décadas que inician los estudios que pretenden explicar la presencia de los cetáceos en relación a las características de su ambiente. El objetivo del presente trabajo fue identificar zonas importantes para la distribución de ballenas en el GC, con base en sus variables ecológicas, poblacionales y su relación con algunos parámetros ambientales, con la finalidad que contribuyan al manejo y conservación de este recurso. Se realizaron dos series de vuelos en invierno y dos en verano (2005-2006) a lo largo del GC, y seis navegaciones (2004-2006) recorriendo la costa suroccidental del golfo, donde se registraron avistamientos de cetáceos. El GC se dividió en cuatro regiones y se calcularon los estimadores de riqueza, diversidad y similitud para cada una. Para la caracterización ambiental se obtuvo la profundidad de una batimetría de 3.72 km de resolución, se utilizaron imágenes satelitales de 9 km de resolución del promedio de 8 días de la temperatura superficial del mar (TSM), la producción primaria neta (PPN) y de la concentración de clorofila superficial de alta resolución (1.1 km), para identificar procesos oceanográficos de mesoescala. Para su análisis, la información se estratificó temporal y espacialmente (estratos cuadrados de 22.2 km/lado) para determinar la biomasa, abundancia relativa, riqueza y diversidad. Dicha información se ingresó en un SIG para elaborar mapas de distribución. Se estimó la distribución en relación con los parámetros ambientales utilizando un modelo aditivo generalizado (MAG) y con base en la Máxima Entropía (Maxent). Las regiones se definieron integrando la información obtenida (características biológicas, ecológicas y ambientales) en una evaluación eco-espacial con estratos cuadrados de 22.2 km. A partir de la estimación de biomasa relativa (biomasa/día de esfuerzo), se observó que tanto para los recorridos aéreos como en barco, los rorcuales y los cachalotes presentaron mayores valores de biomasa. La biomasa de misticetos fue más abundante en la época fría y la de odontocetos en la cálida. La riqueza y la diversidad aumentaron de norte a sur en ambas temporadas y sólo hubo diferencias entre la zona norteña respecto de las sureñas, corroborado con la menor similitud entre dichas zonas. Se identificaron las estructuras oceanográficas de mesoescala durante 2005, predominando los giros anticiclónicos y surgencias en febrero, y los giros ciclónicos y las intrusiones de aguas oligotróficas del Pacífico en junio. El GAM mostró que las ballenas prefieren aguas poco profundas con temperaturas frías (excepto en invierno) y el Maxent que la TSM y las estructuras oceanográficas fueron las variables que más aportaron al modelo. La estimación de la distribución coincidió en ambos modelos, estableciendo que durante el invierno hubo una distribución amplia a lo largo del golfo y que en el verano esta distribución se limitó a las regiones centro y norte del mismo. Con la información generada, se identificaron las siguientes zonas: Alto Golfo (agregaciones importantes de rorcuales), Grandes Islas (grandes rorcuales, cachalotes y otros odontocetos), Centro (cachalotes y otros odontocetos principalmente) y Suroeste (zona transicional caracterizada por una gran diversidad de especies). La propuesta coincide en general con las propuestas anteriores, con dos diferencias importantes: la zona Centro que no había sido considerada y la ausencia de una zona en la costa continental, a partir del sur de Sonora.

Abstract

The Gulf of California (GC) is a highly productive marginal sea and a special area for the cetacean distribution with 37% of global diversity. There are many and diverse studies about whale populations in this area, however, in the last two decades that initiate studies that attempt to explain the presence of cetaceans in relation to the characteristics of their environment. The aim of this study was to identify important areas for whale distribution in the GC, based on their population and ecological variables, and its relation with some environmental parameters, in order to contribute to the management and conservation of this resource. We conducted two series of flights in winter and two in summer (2005-2006) along the GC and six boat surveys (2004-2006) along the southwestern coast of the gulf, where cetacean sightings were recorded. The GC was divided into four regions in order to calculate richness, diversity and similarity estimators for each zone. For environmental characterization depth was obtained from a bathymetry of 3.72 km resolution, 9 km resolution satellite images were used of the 8-day average of sea surface temperature (SST), net primary production (NPP) and surface chlorophyll concentration of high resolution (1.1 km) to identify mid-scale oceanographic processes. For analysis, the information was temporally and spatially stratified (22.2 km/side) to determine biomass, relative abundance, richness and diversity. This information was entered into a GIS to produce distribution maps. Distribution was estimated in relation to environmental parameters using a generalized additive model (GAM) and based on the Maximum Entropy (Maxent). The regions were defined by integrating the information obtained (biological, ecological and environmental) in a eco-spatial assessment strata 22.2 km/side. From the estimation of relative biomass (biomass/day of effort), it was observed that for aerial and sea surveys, baleen and sperm whales had higher values of biomass. The biomass was higher for baleen whales in the cold season and for toothed whales in the warm season. The richness and diversity increased from north to south in both seasons and there were only differences between in the northern zone respect to the southern ones, corroborated with the lower similarity between these areas. We identified mid-scale oceanographic structures in 2005, predominantly anticyclonic eddies and upwelling in February and cyclonic eddies and oligotrophic intrusions from Pacific in June. The GAM showed that whales prefer shallow water with cold temperatures (except in winter) and Maxent established the TSM and oceanographic structures as the variables with more contribution. For the distribution estimate both models agreed, stating that during the winter there was a wide distribution throughout the Gulf and in the summer this distribution was limited to the central and northern regions. With the information generated, we identified the following areas: Alto Golfo (important aggregations of baleen whales), Grandes Islas (large whales, sperm whales and other toothed whales), Central Zone (mainly sperm whales and other toothed whales) and Southwest Zone (transitional zone characterized by a great diversity species). In general the proposal is consistent with previous, with two important differences: the central zone that had not been considered before and the absence of the mainland coast zone, from the south coast of Sonora.

Zonas Prioritarias para la Conservación de las Grandes Ballenas en el Golfo de California: Un enfoque Ecológico

I. Introducción

El Golfo de California (GC en adelante) es un mar marginal altamente productivo que puede compararse con algunas de las zonas más productivas del planeta, como la Bahía de Bengala, las zonas de surgencias en la costa del Pacífico de Baja California o las del norte de África. La gran producción en el golfo es dos o tres veces mayor que la del Atlántico y del Pacífico a latitudes similares (Zeitzchel 1969). Se piensa que la alta producción en este mar marginal, se debe en gran medida al aporte continuo de nutrientes (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

En este mar encontramos una diversidad notable en cuanto a la macrofauna que lo habita, albergando cerca de 6,000 especies y subespecies (Brusca et al. 2005). En particular para los cetáceos, es un área especial para su distribución, en donde históricamente se han registrado 8 especies de misticetos (61% del total de especies) y 23 de odontocetos (31%), lo que representa el 37% de la diversidad mundial de este grupo (Urbán et al. 1997). Lo anterior puede deberse, además de la alta producción que soporta cadenas alimenticias complejas y vastas, a otros dos factores según plantean Urbán *et al.* (2005): la gran diversidad de hábitats, provocada por la heterogeneidad de la conformación batimétrica y condiciones oceanográficas, y a sus tibias y tranquilas aguas, que permiten que varias especies migratorias utilicen estas zonas para sus actividades de apareamiento y crianza.

En relación con lo antes expuesto, Gaskin (1983) ya había postulado que la distribución y la abundancia de los misticetos se relaciona con dos factores primordiales: la distribución y abundancia de las especies que constituyen su alimento, y su presencia en zonas donde se optimizan los procesos de reproducción y crianza.

Los cetáceos en particular, son un grupo que poseen una amplia capacidad de locomoción, pudiendo realizar movimientos de dispersión importantes que les permiten explotar

estacionalmente la intensa producción que ocurre en ciertas aguas y, por otro lado, procrear y aparearse en las que presentan las condiciones ideales (Flores-Ramírez 1989).

La observación de la superficie del océano con sensores remotos, ofrece una oportunidad única para estudiar los procesos físicos y bioquímicos que se ven reflejados en la superficie del mar, para describir e interpretar los principales procesos espacio-temporales que se producen en ésta (Demarcq et al. 2011) y, de acuerdo con lo que proponen Croll et al. (1998), el conocimiento de la distribución y abundancia de las presas, las cuales forman parches a causa de las condiciones oceanográficas, es importante para determinar varios parámetros biológicos que determinan la presencia de los cetáceos en una zona determinada.

Lo expuesto anteriormente se suma al hecho que, por una parte, la zona económica exclusiva marina del territorio mexicano, fue declarada como zona de refugio para grandes ballenas, y por otra, a las propuestas que existen en esta región para la conservación desde varios enfoques, que resultan importantes por la presencia de cetáceos entre otros factores.

De esta manera, el GC es considerado un lugar excepcional para el desarrollo de la vida marina y uno de los refugios a nivel mundial de la diversidad biológica, por lo que es importante contar con trabajos enfocados, no sólo a describir sino a explicar la presencia de estos recursos tal como se plantea en el presente trabajo, el cual está enfocado hacia los cetáceos, que es un grupo zoológico importante que, junto con otros grupos de mamíferos marinos, reflejan la variabilidad y degradación de los ecosistemas, a través del cual puede inferirse el estado de salud (Moore 2008).

II. Antecedentes

Son varios los trabajos que se han realizado en el GC para conocer distintos aspectos de la biología de los cetáceos que habitan esta zona, pero la mayoría de los primeros fueron a partir de avistamientos oportunistas y no derivados de estudios que tuvieran como su objeto principal a los cetáceos. Debido a lo anterior, la mayoría de los trabajos enfocados hacia este grupo de mamíferos han sido realizados en las tres últimas décadas (ochentas, noventas y actual), como puede observarse en la revisión documental realizada por Urbán et al. (2005), quienes hicieron una extensa revisión del conocimiento que se tiene a la fecha de la diversidad y conservación de los cetáceos en el Golfo de California. En consecuencia de lo anterior, a continuación sólo se mencionan algunos ejemplos de los primeros estudios enfocados hacia el conocimiento de los cetáceos más característicos de esta zona.

En relación a los cetáceos en general, entre los primeros trabajos Aguayo et al. (1986) hicieron una comparación de la diversidad y distribución en las diferentes estaciones del año y en las distintas provincias del golfo, así como la profundidad y la distancia a la costa de los avistamientos, además de informar un total de 16 especies de odontocetos para la zona. Findley et al. (1988) reportan la distribución y el número de individuos de cada una de las 13 especies observadas durante 4 cruceros realizados en el año 1987.

En lo que se refiere a los misticetos, uno de los estudios pioneros enfocados hacia el conocimiento de estos cetáceos es el que realizó Tershy (1992), quien estudió a los balenoptéridos en el Canal de Ballenas entre 1983-1986, pero principalmente a los rorcuales tropical y común además de ballena azul y rorcual de minke, donde estableció sus patrones de distribución y preferencias alimentarias, mencionando desde entonces al Canal de Ballenas, en la región norte del GC, como un área importante para la distribución de dichas especies, donde las condiciones de alta producción primaria se mantienen incluso en años Niño, por el efecto enriquecedor generado por las corrientes de marea (Tershy et al. 1991). Tershy y Breese (1991) reportaron ballenas grises con comportamiento alimenticio (1984 a 1986) en el Canal de Ballenas. Al respecto, Findley y Vidal (2002) mencionan la existencia de zonas de crianza para ballenas grises en Bahía de Yavaros, Son., y Bahía de Santa María, Sin., hasta principios de los años setentas, las cuales declinaron hasta no funcionar más debido principalmente a las actividades humanas (pesca artesanal e industrial).

Gendron y Chávez (1996) reportaron cuatro avistamientos confirmados de rorcual de sei durante la primavera, verano e invierno en el GC entre 1993-1995, asociados a los rorcuales común y tropical y al delfín común de rostro largo.

Cummings et al. (1986) estudiaron los sonidos del rorcual tropical y común, en el GC, encontrando que el rango de frecuencia en ambas especies fue similar (150-185 dB).

Entre las especies más estudiadas en esta zona, se encuentra el rorcual común, dado que es una especie residente de esta zona, como lo muestra la revisión realizada por Tershy et al. (1993). Han sido diversos los trabajos realizados sobre esta especie tratando temas como alimentación, distribución, movimientos, estado poblacional, etc. (Del Ángel 1996, Enríquez 1996, Urbán et al. 2001, Berubé et al. 2002) y otros que han sido resumidos por Urbán et al. (2005).

Otra especie característica del GC es el rorcual tropical ya que, al igual que con el rorcual común, es residente del golfo (Flores-Ramírez 1989, Urbán y Flores 1996). Esta especie, aunque puede ser avistada en cualquier época del año, ha mostrado una gran variabilidad en su presencia en ciertas zonas y temporadas. Tershy et al. (1990) son de los primeros investigadores que enfocan sus estudios hacia esta especie.

La ballena azul es un importante visitante de esta zona y sus estudios inician con Sears (1987) quien estudia las agregaciones de invierno y primavera de esta especie en el área de Loreto. Estudios más recientes se han enfocado a diversos aspectos de la biología de esta especie en el GC, tratando aspectos relacionados con la distribución, abundancia, hábitos alimentarios y ecología trófica entre otros (Gendron 1990; 1993, Gendron y Mesnick 2001, Gendron et al. 2001).

En cuanto a los odontocetos que habitan en estas aguas, sin duda es necesario mencionar a la vaquita marina (*Phocoena sinus*), especie endémica del Golfo de California. Norris y McFarland (1958) realizaron la descripción de esta especie a partir de restos osteológicos y casi 30 años después, lo realizaron con especímenes recién muertos (Brownell et al. 1987). Entre los primeros estudios encontramos los de Silber (1990), quien estudió la presencia y distribución de la vaquita de 1986 a 1988, estableciendo que era una especie rara y con una población vulnerable. Nuevas e importantes contribuciones para esta especie acerca de su estado poblacional, han sido realizadas por Barlow et al. (1997), Rojas y Taylor (1999) y Jaramillo et al. (1999).

Otro habitante de esta región es el cachalote (*Physeter macrocephalus*), que empieza a ser considerado objeto de estudio por Vidal y Findley (1986), quienes hicieron una revisión de avistamientos y varamientos. Posteriormente Jaquet y Gendron (2002), con estudios sistemáticos y enfocados exclusivamente a esta especie, describen la distribución y abundancia de cachalotes en esta zona durante 1998-1999 y su relación con la profundidad, gradiente de profundidad y temperatura.

Los zífidos (Familia Ziphiidae) representan un grupo importante en esta zona, ya que son escasas las regiones en donde podemos encontrarlos en las densidades que aquí se presentan (Cárdenas et al. 2004).

Entre los estudios que contemplan e integran la información del ambiente podemos encontrar los realizados por Ortega (2002), que hizo un estudio para relacionar las características oceanográficas con la comunidad de cetáceos en el Golfo de México, y el de Palacios (2003) quien realizó un estudio similar en el Archipiélago de Las Islas Galápagos. Para el GC existen algunos trabajos similares pero sólo para regiones específicas; Salinas y Bourillón (1988) analizaron la estructura comunitaria de los cetáceos y sus cambios respecto al ambiente en la Bahía de Banderas; Flores-Ramírez et al. (1996) hacen un estudio similar en la Bahía de La Paz y Urbán et al. (2012) en la costa suroccidental del Golfo de California.

Recientemente y, como parte del mismo proyecto de investigación que cobija este estudio, Salvadeo (2008) realizó un análisis de la comunidad de odontocetos de la zona ubicada entre La Paz y Loreto, y su relación con algunas variables ambientales (profundidad, temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-*a*), encontrando algunas relaciones principalmente con la profundidad. En este mismo marco ambiental, García-Morales (2008) analizó la relación entre la distribución de misticetos con la variabilidad superficial de mesoescala en el GC, encontrando relaciones significativas de la abundancia relativa con estas variables.

Antecedentes Oceanográficos del Golfo de California.

El GC ocupa una posición muy importante dentro de los mares marginales y de los grandes golfos del Océano Pacífico debido primordialmente, a su alta productividad biológica (Arias-Arechiga 1998, Álvarez-Borrego y Lara-Lara 1991, Álvarez-Borrego 2002, Lluch-Cota 2004) y a los fenómenos meteorológicos y oceanográficos que en él ocurren; entre estos últimos se pueden

mencionar: surgencias estacionales a lo largo de ambas costas del golfo, remolinos ciclónicos y anticiclónicos, procesos intensos de mezcla generados por vientos y mareas, así como intrusiones de Agua Superficial Tropical proveniente del Pacífico. (Álvarez-Borrego et al. 1978, Lavin y Marinone 2003, Marinone 2003, Zamudio et al. 2008, Godínez 2011).

Estos fenómenos, presentan una variabilidad estacional e interanual que influye en la distribución y abundancia de los recursos marinos (Santamaría-del-Ángel et al. 1994). Lo anterior se suma a los cambios estacionales de los centros de presión atmosférica en su vecindad y a la reorientación que sufre el patrón de vientos por las cordilleras montañosas de ambas costas, el cual tiene un comportamiento estacional bien definido, con vientos dominantes y fuertes del noroeste durante el invierno y débiles del sureste, con frecuentes calmas en el verano (Álvarez-Borrego 1983). Con base en lo anterior podemos caracterizar al GC de la siguiente manera:

Región Norte. Esta es una zona poco profunda (menos de 200 m en promedio) que se enriquece debido a las intensas corrientes de marea (9 m de amplitud), gran turbidez, sedimentos gruesos, temperaturas extremas, alta evaporación y alta salinidad (Maluf 1983, Santamaría-del-Ángel et al. 1994). Presenta una circulación ciclónica en la época cálida (junio a septiembre) y anticiclónica en la fría (noviembre a marzo) (Carrillo et al. 2002, Marinone 2003). Estudios recientes, han demostrado la existencia de pequeños remolinos (eddies) ciclónicos en verano e invierno, que contribuyen a la mezcla e intercambio de material suspendido, en los que la cantidad de clorofila-*a* depende de la cantidad de este pigmento en la zona donde fueron generados, más que del tipo de estructura hidrográfica que representan (López 2005).

Las Grandes Islas. En esta zona se presenta una topografía particular que le da un carácter oceanográfico único, ya que se caracteriza por aguas superficiales relativamente frías, asociadas a niveles altos de producción primaria (Paden et al. 1991, Santamaría-del-Ángel et al. 1994, Soto-Mardones et al. 1999). Estas características son resultado de fuertes corrientes de marea que interactúan con los umbrales de San Esteban y San Lorenzo, y con la propia batimetría irregular (Badan-Dagon et al. 1991, Paden et al. 1991). El Canal de Ballenas es una zona muy profunda (hasta 1,500 m) donde también se producen fuertes corrientes de marea, lo que provoca una baja temperatura superficial y alta productividad durante todo el año, consecuencia de la convergencia en el fondo y divergencia en la superficie, ocasionando la combinación de las corrientes de marea, la batimetría y los procesos de circulación (López et al. 2006).

Región Central. Esta región (del sur de Isla Tiburón a La Paz-Topolobampo) presenta varias subcuencas, baja amplitud de mareas e importantes surgencias estacionales (Maluf 1983). En esta zona está reportada una circulación estacional de dos capas, con flujo en la capa superficial de los 100 m hacia el sur en invierno y hacia el norte en verano, y un flujo compensatorio en profundidad (Ripa 1990, Marinone 2003). Con una termoclina bien desarrollada durante todo el verano y máxima en agosto (Álvarez-Borrego 1983), esta zona muestra diferencias importantes de temperatura entre invierno y verano (Soto-Mardones et al. 1999). En cuanto a las estructuras de mesoescala, esta parte del golfo presenta una importante generación de remolinos ciclónicos y anticiclónicos que ocupan todo su ancho. En la época cálida (verano-otoño)(Pegau et al. 2002). Además Zamudio et al. (2008) registran trenes de remolinos en el golfo, teniendo como origen la interacción de las salientes costeras con la intrusión de la Corriente Mexicana (Badán-Dangón 1988, Lavin et al. 2006, Zamudio et al. 2008) (costas continentales), con dos máximos en mayo-junio y en diciembre. Durante el invierno estos remolinos, de los que está menos estudiado su origen, son un mecanismo de dispersión de aguas frías, a través de filamentos con alta concentración de clorofila-*a*, que atraviesan el golfo de este a oeste (Navarro-Olache et al. 2004).

Región Sur. Según Maluf (1983), esta región tiene características más oceánicas (pendientes pronunciadas, menor salinidad y mayores precipitaciones) por la gran influencia del Pacífico. En la región de la boca, presenta tres masas de agua superficiales: Agua de la Corriente de California (fría y de baja salinidad), Agua del Golfo de California (cálida y de mayor salinidad) (Álvarez-Borrego et al. 1978, Álvarez-Borrego 1983, Lavin y Marinone 2003) y Agua Superficial Tropical Cálida y de salinidad intermedia), lo que provoca la formación de frentes oceánicos (Álvarez- Borrego, 1983). En esta parte del golfo los vientos, los procesos termohalinos y el forzamiento dinámico que ejerce el Pacífico, importantes procesos de circulación marina (Marinone 2003), lo que fomenta que las aguas en la entrada al golfo están en una zona de transición compleja. Además, estas masas de agua están influenciadas por la variabilidad del Pacífico oriental Tropical Mexicano, que presentan un fuerte comportamiento estacional, por los cambios meteorológicos estacionales del océano Pacífico (Wyrтки 1965, 1966, Baumgartner and Christensen 1985, Strub y James 2002). Badan-Dangon (1998) menciona que en junio y julio la Corriente Costera Mexicana se desplaza a lo largo de las costas mexicanas de Tehuantepec a Cabo Corrientes, detectando el arribo de sus aguas hasta el Golfo de California. Al entrar al golfo, una de esta corriente parte permanece adyacente a las costas continentales, otra parte forma meandros y

el resto genera una circulación cerrada formando remolinos (Zamudio, 2008). Esta corriente transporta Agua Superficial Tropical de relativa baja salinidad y densidad, y mayor temperatura al interior del golfo, provocando una fuerte y progresiva disminución en la concentración de clorofila-*a* en su interior (Shirasago et al. 2006).

En general podemos ver que, si bien el conocimiento que se tiene de los cetáceos en el GC es amplio y trata acerca de diversos aspectos de su biología, son pocos los estudios encaminados a describir esta comunidad a lo largo de la región e integrar esta información con las características ambientales, debido principalmente a las dificultades logísticas que esto representa al ser un área de dimensiones considerables.

III. Justificación

Además de su atractivo turístico, el GC es una de las principales regiones pesqueras de México, pues los estados que tienen costa en esta zona (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit), tuvieron el 75% del volumen de producción en peso desembarcado y el 59% del valor de la producción del 2012, respecto al total nacional ¹ (es importante hacer notar que Baja California, que tiene actividad pesquera en el Pacífico, sólo aportó alrededor 6% de la producción pesquera total en ese año). Es conocida la interacción entre las pesquerías y los cetáceos, los cuales en algunas ocasiones compiten por los mismos recursos y en otras sufren accidentes con los artes de pesca y las embarcaciones, que pueden incluso provocar su muerte (Vidal et al. 1994, Zavala-González et al. 1994).

En 1988 surge la llamada “Coalición para la Sustentabilidad del Golfo de California”, que reunió en un taller en mayo de 2001, a un grupo de expertos para definir las prioridades de conservación en esta zona, a partir de lo cual se generan mapas en donde quedan definidas las mismas (Arriaga et al. 1998, Barrera et al. 2004) (Figura 1)

Más recientemente, Ullóa et al. (2006) hicieron una propuesta de planeación ecorregional para la conservación marina del GC y la costa occidental de B.C.S., y proponen una serie de sitios prioritarios para la conservación en la región, a partir del análisis integral de la distribución de los recursos bióticos, de las condiciones ambientales y del uso (actividades humanas) de la zona (Figura 2). Aburto y López-Sagástegui (2006) retomaron las propuestas de conservación hacia esta zona, para plantear lo que denominaron Red de Reservas Marinas del GC. Al ser ambos trabajos de condición muy general por integrar información tan diversa, la posibilidad de tener una base robusta para definir aquellas zonas donde ocurren los fenómenos ambientales que provoquen la presencia de los cetáceos, es muy limitada (Figura 2).

Por otra parte, en mayo de 2002 el Gobierno Federal publicó el acuerdo por el cual se establece como área de refugio para proteger a las especies de grandes ballenas, las zonas marinas que forman parte del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción” (Figura 3, Anexo 1) (Anónimo 2002), el cual contempla en su artículo

¹ Anuario Estadístico de Pesca 2012 http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2012_zip

tercero que: “La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, en coordinación con las dependencias del Ejecutivo Federal competentes, y con la participación de los sectores social y privado interesados, formularán los programas de protección regionales, que integrarán el programa de protección del área de refugio”. Dentro de estos programas queda establecido que, entre otros puntos, deberán incluirse:

- * La delimitación de zonas prioritarias para la conservación de una o varias especies, las cuales deberán ser identificadas de acuerdo con la importancia que represente para diversos aspectos de la biología de las especies implicadas (*p.ej.* reproducción, crecimiento, alimentación, etc.).
- * Los programas y acciones a realizar a corto mediano y largo plazo de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo. Estas acciones comprenderán, entre otras, a las de investigación y protección.

De acuerdo con lo comentado en los párrafos anteriores, las actividades humanas en esta zona, son factores que pueden provocar cambios en las poblaciones de los cetáceos que se distribuyen en el GC (Vidal et al. 1994, Zavala-González et al. 1994, Arriaga et al. 1998, Barrera et al. 2004), principalmente por las actividades pesqueras de los recursos sardina y calamar, presas importantes en la dieta de varias de las especies de grandes ballenas que se distribuyen en el GC (Guerrero et al. 2006), donde los estados que pescan dentro del golfo producen el 99% de dichos recursos¹, así como las interacciones directas que ocasionan daños y mortalidad en estas especies principalmente por enmallamientos y colisiones con embarcaciones reportados en el GC y otras zonas marinas del mundo (Vidal 1989, Heyning y Lewis 1990, Wiley et al. 1995, Mazzoca et al. 1998, Urbán et al. 2003, entre otros). Un paso obligado en el estudio de los cetáceos que aquí habitan, es pasar del conocimiento descriptivo y de las principales variables poblacionales de estos organismos, hacia estudios que pretendan integrar esta información con los factores que imperan en su medio, lo que nos permitirá tener más claros los procesos que ocurren en un área determinada desde un punto de vista ecológico, para generar información que contribuya a establecer líneas de acción específicas, de manera que los cetáceos y las actividades humanas se realicen bajo los principios de sustentabilidad de cada uno de sus componentes.

¹Anuario Estadístico de Pesca 2012 http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2012_zip

Este trabajo, formó parte del proyecto de investigación “Determinación del Estado Actual de las Poblaciones de Grandes Ballenas en el GC y Propuesta de un Programa de Manejo y Protección Regional”, que realizó el Programa de Investigación de Mamíferos Marinos de la UABCS, y pretende aportar elementos para la formulación de dicho programa regional.



Figura 1. Áreas de Importancia Biológica (AIB) para Mamíferos Marinos, determinadas por la Coalición del Golfo de California en 2001, donde se determinó un índice de fragilidad como parte del Plan para el ordenamiento Ecológico del Golfo de California

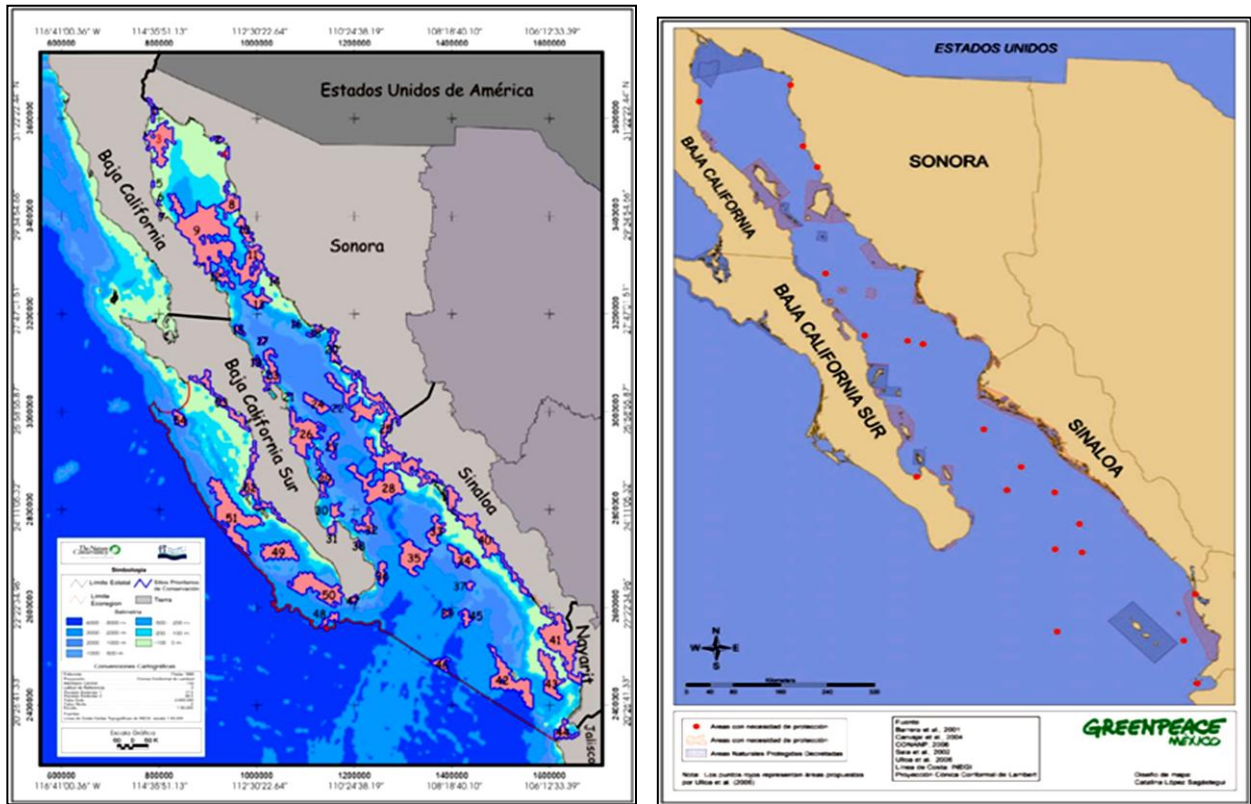


Figura 2. Propuesta de Planeación Ecorregional para la Conservación Marina del GC y la costa occidental de B.C.S., realizada por COBI en 2006 (izquierda) y Red de Reservas Marinas del GC propuesta por Aburto y López-Sagástegui en 2006 (derecha).

Viernes 24 de mayo de 2002 DIARIO OFICIAL 18

**SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES**

ACUERDO por el que se establece como área de refugio para proteger a las especies de grandes ballenas de los subórdenes Mysticeti y Odontoceti, las zonas marinas que forman parte del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

VICTOR LICHTINGER WAISMAN, Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 80 fracción VII de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 5o. fracción I, 9o. fracción XVII, 60, 60 Bis, 65, 66, 67, 68, 69 y 76 de la Ley General de Vida Silvestre; 3o. y 60 Fracción II de la Ley Federal del Mar; 3 fracción V de la Ley de Pesca; 1o., 4o. y 5o. fracciones I y XXV del Reglamento Interior de esta Secretaría, y

CONSIDERANDO

Que la flora y fauna silvestres constituyen un recurso natural que forman parte de la riqueza pública de la Nación, correspondiendo al Estado su conservación, para lograr un desarrollo sustentable;

Que México cuenta con una gran diversidad de cetáceos, entre los que se identifican 39 de las 81 especies conocidas mundialmente en las zonas marinas que forman parte del territorio nacional de la República Mexicana;

Figura 3. Acuerdo por el cual se establece como Área de Refugio para Proteger a las Especies de Grandes Ballenas, las Zonas Marinas que Forman Parte del Territorio Nacional y Aquellas sobre las que la Nación Ejerce su Soberanía y Jurisdicción.

IV. Objetivos

Objetivo General

Determinar las zonas prioritarias de distribución de grandes ballenas en el GC, a partir de los cambios en la estructura de sus comunidades y su relación con algunos parámetros ambientales durante 2004 a 2006.

Objetivos Particulares:

1. Describir la distribución histórica y durante el periodo de estudio de las ballenas en el Golfo de California.
2. Estimar la biomasa relativa de las ballenas en los registros realizados de 2004 a 2006 (a diferentes escalas espaciales; a lo largo de todo el golfo, y en la costa suroccidental).
3. Estimar la riqueza y diversidad.
4. Estructurar una base de datos ambiental para la zona, considerando: temperatura superficial, concentración de Clorofila- α , producción primaria neta y batimetría.
5. Describir la variación espacio-temporal de la actividad oceanográfica superficial de mesoescala en la zona.
6. Identificar las relaciones entre los factores ambientales y la distribución ballenas.
7. Integrar la información obtenida, para proponer aquellas áreas que por su importancia biológica y ecológica, puedan ser utilizadas con fines de conservación de las ballenas en el GC.
8. Comparar con las propuestas actuales.

V. Métodos

V. Área de Estudio

El presente estudio fue realizado en el Golfo de California. Es importante establecer que durante este trabajo no fue considerada el área conocida como Boca del GC (Figura 4), debido principalmente a que en esa zona no se realizó esfuerzo de muestreo, por las complicaciones logísticas y al gran costo que ello hubiera representado.

Este mar de aproximadamente 1,000 km de largo y hasta de 200 km de ancho, se localiza entre zonas caracterizadas por su gran aridez, la Península de Baja California y los estados de Sonora y Sinaloa, presentándose como una cuenca de evaporación abierta al Pacífico en su extremo sur (Figura 4). A pesar de su comunicación con el Océano Pacífico y su intercambio de aguas a través de la boca sur, el GC presenta diferencias considerables de temperatura, principalmente en la época de verano. El intercambio de agua entre el GC y el Océano Pacífico es uno de los aspectos oceanográficos más importantes, pues integra y refleja el efecto de fenómenos tan relevantes como balances globales de calor y sal, la circulación termohalina y el efecto del intercambio termodinámico y de *momentum* con la atmósfera (Marinone 2003).

Entre los fenómenos más destacables que ocurren en las zonas costeras del GC se encuentran las surgencias estacionales. Durante el invierno estas surgencias son intensas y tienden a presentarse en las costas continentales de Sonora y Sinaloa. Por el contrario, durante el verano tales fenómenos se hacen presentes con mucho menor intensidad en las costas peninsulares del Golfo. Otros procesos físicos de importancia son los remolinos y jets de diferentes magnitudes, así como las mareas y otros tipos de ondas entre las que destacan las ondas internas (De la Lanza-Espino 1991).

Distintas masas de agua se encuentran presentes en el Golfo de California, cuya clasificación la realizó por primera vez Torres-Orozco (1993) y posteriormente revisada Badan-Dangon (1998). Se han registrado tres tipos de masa de agua superficiales: I Agua de la Corriente de California (ACC), con temperaturas $12^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$ y salinidades de $34 < \text{salinidad} < 34.5\%$, que fluyen hacia el sur a lo largo de la costa oeste de la Península de Baja California y que se detectan en la boca del golfo; Agua Superficial Tropical (AST) con temperaturas $18^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$ y

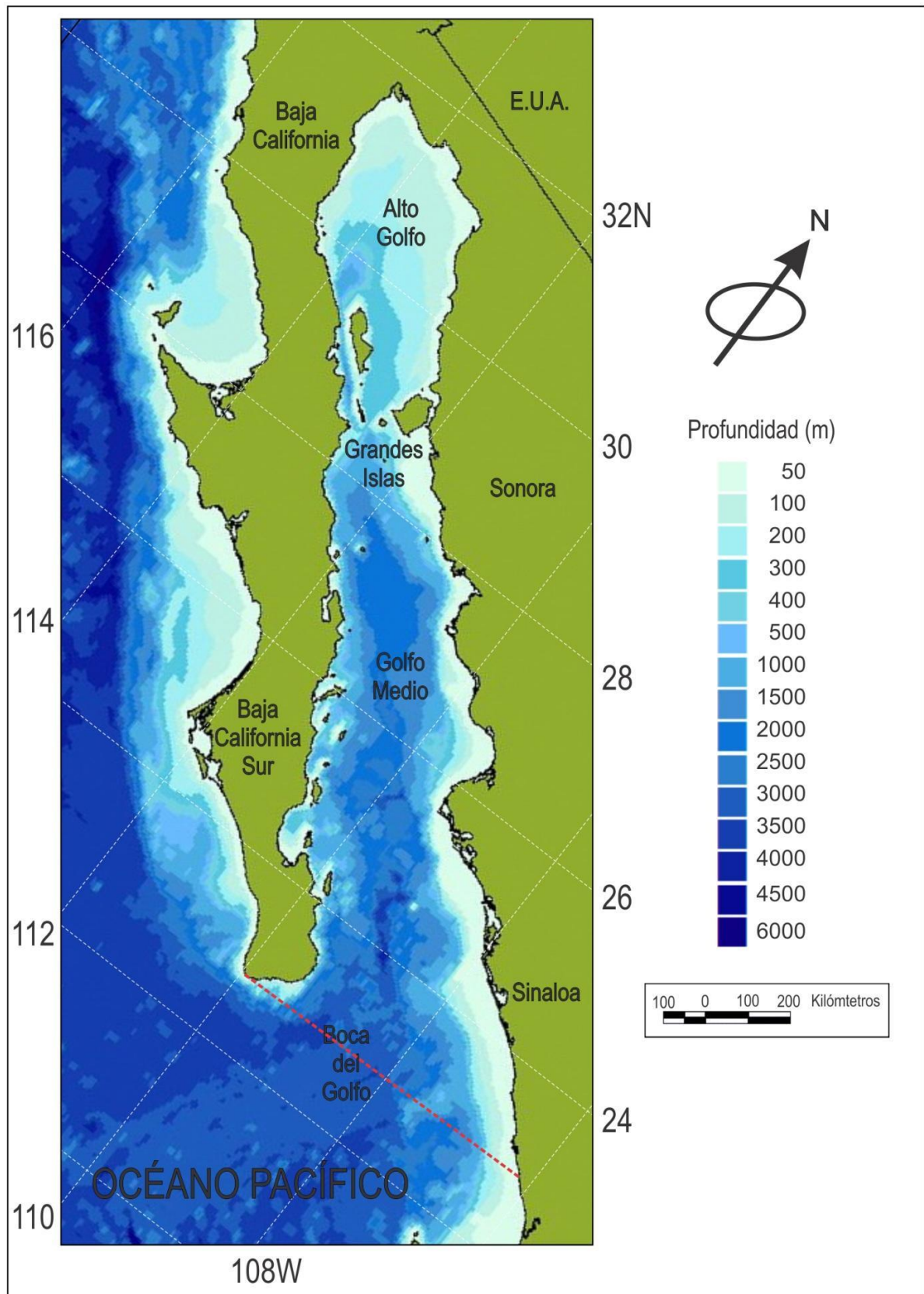


Figura 4. Golfo de California, con un giro de 38° respecto al Norte geográfico. Se muestra el detalle de la batimetría en metros y se indican las principales regiones: Alto Golfo, Grandes Islas, Golfo Medio y Boca del Golfo. La Línea roja punteada marca la delimitación del área de estudio.

salinidades de $34 < \text{salinidad} < 35\%$ que proviene del sudeste y limita la afluencia de la corriente de California durante el verano; y Agua del Golfo de California (AGC), con temperaturas $12^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$ una y salinidades de $35 < \text{salinidad} < 36.5$. Por debajo de estas masas de agua se localiza, sucesivamente con la profundidad, el Agua Sub-superficial Subtropical (ASsSt) con temperaturas $9^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$ una y salinidades de $34.5 < \text{salinidad} < 35$, el Agua Intermedia del Pacífico (AIP) con temperaturas $4^{\circ}\text{C} < T < 9^{\circ}\text{C}$ y salinidades de $34.5 < \text{salinidad} < 34.8$ y el Agua Profunda del Pacífico (APP) $0^{\circ}\text{C} < T < 4^{\circ}\text{C}$ una y salinidades de $34.5 < \text{salinidad} < 34.7$ (Lavin y Marinone 2003).

Objetivo particular 1. Describir la distribución histórica y durante el periodo de estudio de las ballenas en el Golfo de California.

Distribución histórica

Para conocer la distribución de las grandes ballenas (*que en adelante serán las especies enlistadas en el Cuadro I*) en el GC, se construyó una base de datos a partir de los registros del Programa de Investigación de Mamíferos Marinos de la UABCS. La base de datos histórica de comprendió de abril de 1972 a noviembre de 2002 y quedó integrada por 2,088 registros de *grandes ballenas*. Estos avistamientos fueron corregidos, depurados e ingresados dentro de un sistema de información geográfica (Arcview 3.2), con el cual se elaboraron los mapas de distribución.

Distribución durante el periodo de estudio

Recorridos aéreos.

Se realizaron dos series de vuelos sobre y a lo largo del Golfo de California, dos en invierno y dos en verano (2005-2006), con la finalidad de registrar los cetáceos a lo largo de transectos predefinidos de manera sistemática (Figura 5), utilizando el método de transectos lineales Buckland, . Los vuelos fueron hechos a bordo de una avioneta CESSNA 182, propiedad de Environmental Flying Services, con tres tripulantes a bordo, 2 observadores y un anotador-observador "0". Se voló a una altitud promedio de 274 m (900 ft aprox.) sobre el nivel del mar y a una velocidad promedio de 160 km/h (100 mph). En cada avistamiento se registró la posición, hora del día, especie, número de organismos, presencia de crías, comportamiento, etc.; así como el ángulo al cual fueron avistados por medio de un inclinómetro. Se utilizaron binoculares 7 X 50 para

apoyo en la identificación y, cuando fue necesario, se interrumpió el transecto (y esfuerzo) para verificar especie, número de organismos y comportamiento, regresando posteriormente al punto de interrupción para continuar con el transecto y esfuerzo. Además se utilizaron cámaras fotográficas digitales DSRL equipadas con lentes zoom 80-300 mm y cámara de video para confirmar la identificación.

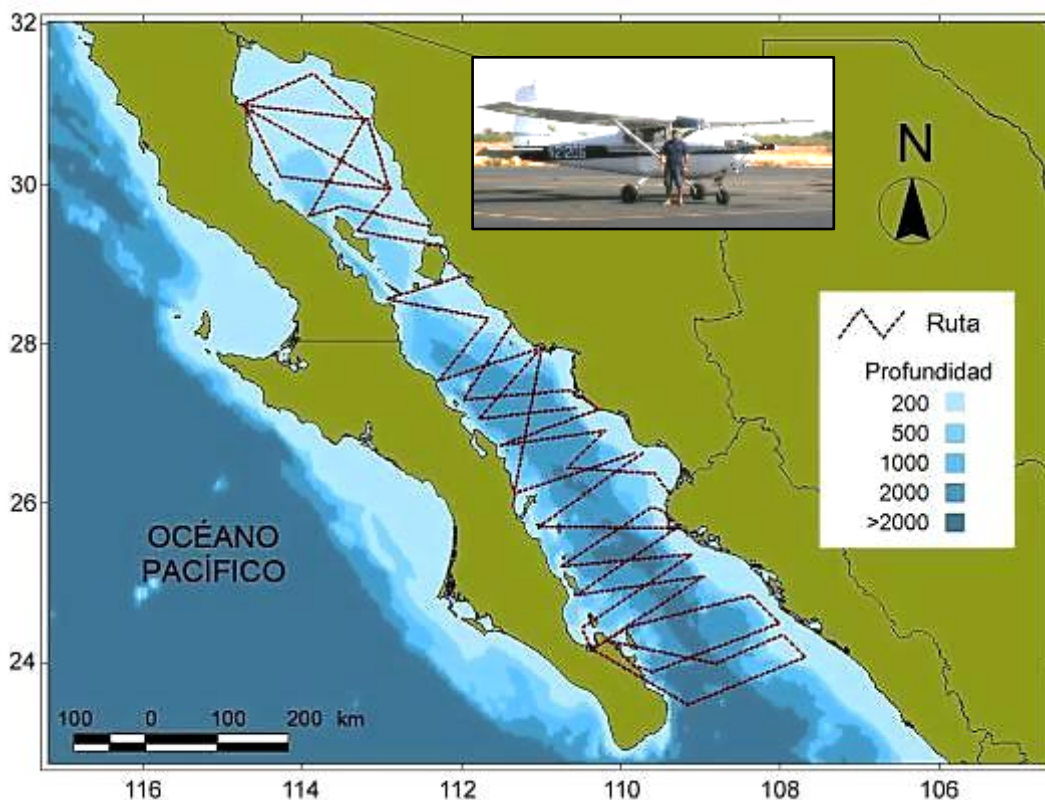


Figura 5. Ruta de los recorridos aéreos (línea punteada marrón) realizados en los veranos (junio) e inviernos (febrero) de 2005 y 2006 en el Golfo de California (en recuadro se muestra imagen de la aeronave).

Navegaciones

Se realizaron trece navegaciones recorriendo la costa suroriental del golfo, en las que las observaciones se realizaron desde la embarcación “El Amigo” de 45 ft (13.7 m) de eslora, 14 ft (4.3 m) de manga y 18 ft (5.5 m) de altura (Figura 6) y en algunas ocasiones en otras similares en cuanto a sus dimensiones. Estas navegaciones se realizaron siguiendo rutas pseudo-aleatorias a una velocidad promedio de 11 kn (20.4 km/h aprox.), en donde la toma de datos fue visual con la ayuda de binoculares (7x50) cuando fue necesario. En cada avistamiento se registró la posición geográfica con la ayuda de un geo-posicionador global (GPS), hora inicial y final, la o las especies,

el número de individuos, el tipo de actividad (comportamiento) de los cetáceos observados, la presencia de crías y las asociaciones con otros organismos.

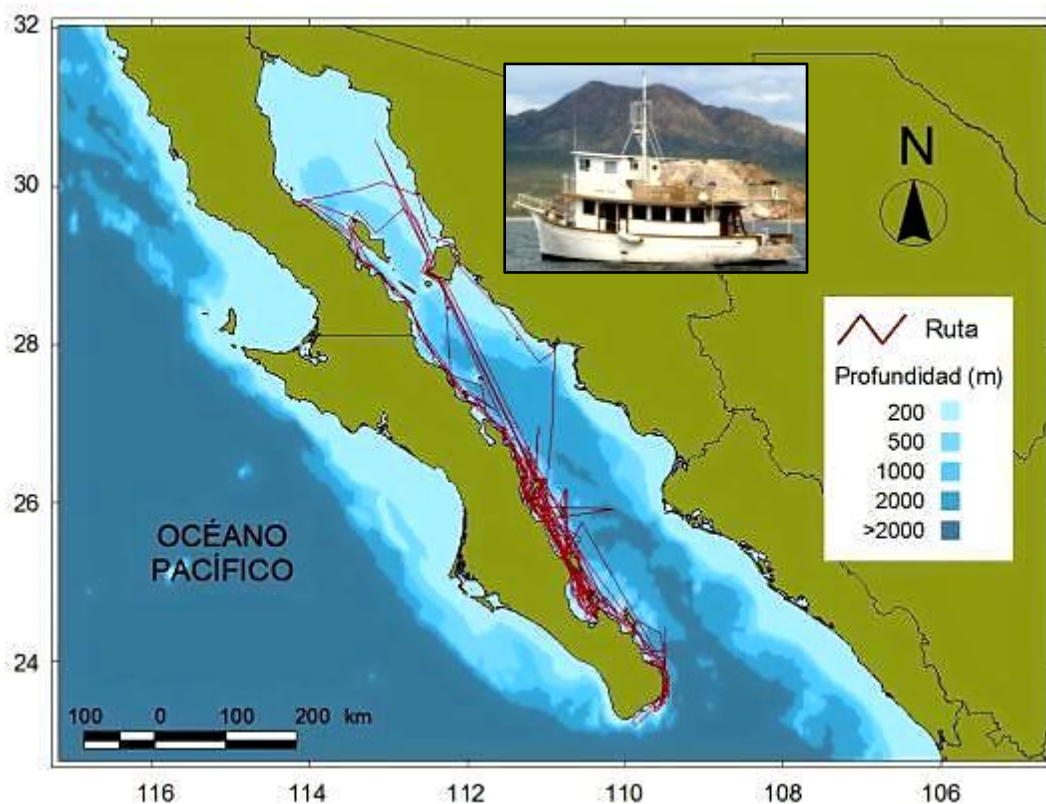


Figura 6. Ruta de los recorridos en barco (línea marrón) realizados en la costa occidental del Golfo de California durante 2004-2006 (en recuadro se muestra imagen de la embarcación).

Objetivo particular 2. Estimar la biomasa relativa de las ballenas en los registros realizados de 2004 a 2006 (a diferentes escalas espaciales; a lo largo de todo el golfo, y en la costa suroccidental).

Biomasa

Para la estimación de la biomasa se realizaron muestreos de ballenas utilizando dos escalas espaciales a lo largo de todo el golfo, por medio de recorridos aéreos y a lo largo de la costa suroccidental del golfo, desde Los Cabos en el sur hasta la Bahía de San Luis Gonzaga en el norte, por medio de navegaciones en embarcaciones.

La biomasa relativa (BR) corresponde al peso promedio en toneladas reportado en la literatura para cada especie (Watson 1988, Reeves et al. 2002), estandarizado por el esfuerzo dedicado a la búsqueda de cetáceos en días de vuelo para los recorridos aéreos, y de navegación para los recorridos en embarcación. Lo anterior se expresa mediante:

$$BR = \frac{(Nspi)(Ppspi)}{Esf (d)}$$

Dónde:

Nspi= Número de organismos de la especie *i*

Ppspi= Peso promedio adulto de la especie *i*

Esf= El esfuerzo realizado en días de navegación (aérea o marina).

La biomasa es el resultado de multiplicar el peso promedio de la especie por el número de individuos registrados, la cual será expresada en toneladas.

Cuadro I. Especies consideradas como grandes ballenas en el acuerdo del refugio para protección de grandes ballenas en el territorio nacional, publicado en el DOF del 24 de mayo del 2002. *El nivel taxonómico y nombre de la especie (Suborden, Familia*) se basó en la relación taxonómica propuesta por la Comisión Ballenera Internacional publicada en su página WEB <http://iwc.int/cetacea>. **El nombre común se basó en lo propuesto por Niño et al. (2011).

Suborden, Familia*	Especie*	Nombre común**
Suborden Mysticeti		
Familia Balaenidae	<i>Eubalaena japonica</i>	Ballena franca del Pacífico norte
Familia Balaenopteridae	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Ballena minke/ Rorcual albiblanco
	<i>Balaenoptera borealis</i>	Ballena sei/ Rorcual de Rudolphi
	<i>Balaenoptera edeni</i>	Rorcual tropical/ Ballena de bryde
	<i>Balaenoptera musculus</i>	Ballena azul
	<i>Balaenoptera physalus</i>	Rorcual común/ Ballena de aleta
	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Ballena jorobada/ Yubarta
Familia Eschrichtidae	<i>Eschrichtius robustus</i>	Ballena gris
Suborden Odontoceti		
Familia Physeteridae	<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalote
Familia Kogiidae	<i>Kogia breviceps</i>	Cachalote pigmeo
	<i>Kogia sima</i>	Cachalote enano
Familia Ziphiidae	<i>Berardius bairdii</i>	Zífido de Baird
	<i>Ziphius cavirostris</i>	Zífido de Cuvier
	<i>Mesoplodon europaeus</i>	Mesoplodonte antillano
	<i>Mesoplodon ginkgodens</i>	Mesoplodonte japonés
	<i>Mesoplodon peruvianus</i>	Mesoplodonte pigmeo/ M. tropical
Familia Delphinidae	<i>Orcinus orca</i>	Orca/ Bufe mascarillo
	<i>Pseudorca crassidens</i>	Orca falsa
	<i>Feresa attenuata</i>	Orca pigmea
	<i>Peponocephala electra</i>	Calderón pigmeo
	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Calderón de aletas cortas/ Ballena piloto

Objetivo particular 3. Estimar la riqueza y la diversidad

Índices Ecológicos

Al medir la abundancia relativa de cada especie, podemos identificar las especies que son más sensibles a las perturbaciones ambientales, cuando son escasas o poco representativas. Cuando se identifican cambios en la diversidad, podemos estar identificando procesos empobrecedores (Magurran 1988).

Para obtener parámetros completos de la diversidad de especies en un hábitat, es recomendable cuantificar el número de especies y su representatividad. La principal ventaja de los índices es que resumen mucha información en un solo valor, permitiendo hacer comparaciones rápidas y sujetas a comprobación estadística, de la diversidad de distintos hábitats o la diversidad de un mismo hábitat a través del tiempo (Moreno, 2001). Debido a que los cambios en la riqueza o estructura de la comunidad reflejados en un índice, aunque éste haya sido aplicado con las consideraciones y supuestos necesarios, resultan generalmente difíciles de interpretar por sí mismos, es más conveniente presentar valores de la riqueza y la estructura de la comunidad, para complementar la descripción de la diversidad y sus cambios.

Se determinaron la riqueza y diversidad determinadas por el número de especies y su proporción durante los muestreos, ya que según Moreno (2001) son parámetros muy recomendables, además de contemplar los índices más utilizados para la medición de la diversidad alfa.

Debido a que los muestreos fueron realizados con distintas plataformas de observación para los cuales hay un sesgo implícito, ya que cada plataforma tiene un poder y cobertura de avistamiento diferentes, que son difíciles de estimar y comparar como para asignar una ponderación o estandarización rutinaria. Por lo anterior, la estimación de la Riqueza (S) y sus intervalos de confianza, se realizó con la propuesta para corregir el sesgo de esta estimación basada en el concepto de “cobertura muestral”, que corresponde a la proporción que representa la abundancia total de las especies presentes en una muestra, con relación a la abundancia total de la comunidad (Good, 1953). La estimación del número de especies ausentes, utilizado para corregir el sesgo, se basa enteramente en las especies consideradas raras, ya que las abundantes

serán observadas en toda muestra (Chao y Shen, 2003). Colwell et al. (2004) y Colwell et al. (2012) desarrollaron métodos con los que la rarefacción y la extrapolación ahora son estadísticamente posibles, permitiendo extrapolar rigurosamente las muestras más pequeñas y compararlas con muestras de referencia más grandes en un conjunto de datos.

Para comparar la riqueza entre las zonas, se calcularon los estimadores de similitud Jaccard y Sørensen con el procedimiento propuesto por Chao et al. (2005) (Chao-Jaccard y Chao-Sorensen) y su error estándar mediante un método de remuestreo “bootstrapp” para los pares de muestras, recalculando los estimadores 200 veces tal como lo sugieren los autores. Lo anterior permitió una comparación estadísticamente rigurosa de los valores del índice de similitud.

Los intervalos del 95% de confianza se calcularon multiplicando 1.96 por la estimación de la desviación estándar de los valores estimados y sumándolos y restándolos (\pm) al valor de los propios índices estimados. Colwell et al. (2012) consideran que el error estándar y la desviación estándar son iguales $SE=SD$ (por sus siglas en inglés), pues se asumen grados infinitos de libertad. El criterio para la comparación estadística se basó en la no superposición de los intervalos al 95% de confianza, construidos a partir de los estimadores de la varianza incondicionales, que pueden utilizarse como un criterio simple pero conservador de diferencia estadística (Colwell et al. 2012).

Las estimaciones anteriores se realizaron utilizando el Software de uso libre “EstimateS” ver. 9.1.0 disponible en <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>, elaborado por Robert K. Colwell (2013), del *Department of Ecology & Evolutionary Biology, University of Connecticut, Storrs*. En esa página electrónica se encuentran más referencias bibliográficas relacionadas con estos procedimientos, así como el sustento estadístico de los mismos.

La diversidad se estimó utilizando el Índice de Shannon-Wiener (SW), el cual se refiere a la proporción que guarda cada especie presente, en relación con su abundancia. Se expresa de la siguiente manera:

H' - Índice de Shannon – Wiener (abundancia proporcional)

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

donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i (número de individuos de la especie $_i$ dividido entre el número total de individuos de la muestra).

La desviación estándar de este índice se calculó mediante un bootstrapp con 200 réplicas, utilizando el software EstimateS. La comparación de los índices entre zonas fue realizada con el mismo procedimiento mencionado para los índices anteriores propuesto por Colwell et al. (2012).

Para estimar y comparar los parámetros indicados, se realizó una división del GC en zonas, siguiendo el criterio establecido por Lluch-Cota (2004), quien describe 4 zonas en el Golfo de California, basándose en niveles de producción primaria: al norte de la Isla Ángel de la Guarda (Alto Golfo-I); rodeando las Grandes Islas (Grandes Islas-II); en la región central y sur del golfo, incluyendo la Bahía de La Paz (Golfo Medio-III) y al sur del golfo y en interacción directa con las aguas del Pacífico (Boca del Golfo-IV) (Figura 7). Estas regiones coinciden con las descritas por Maluf (1983).

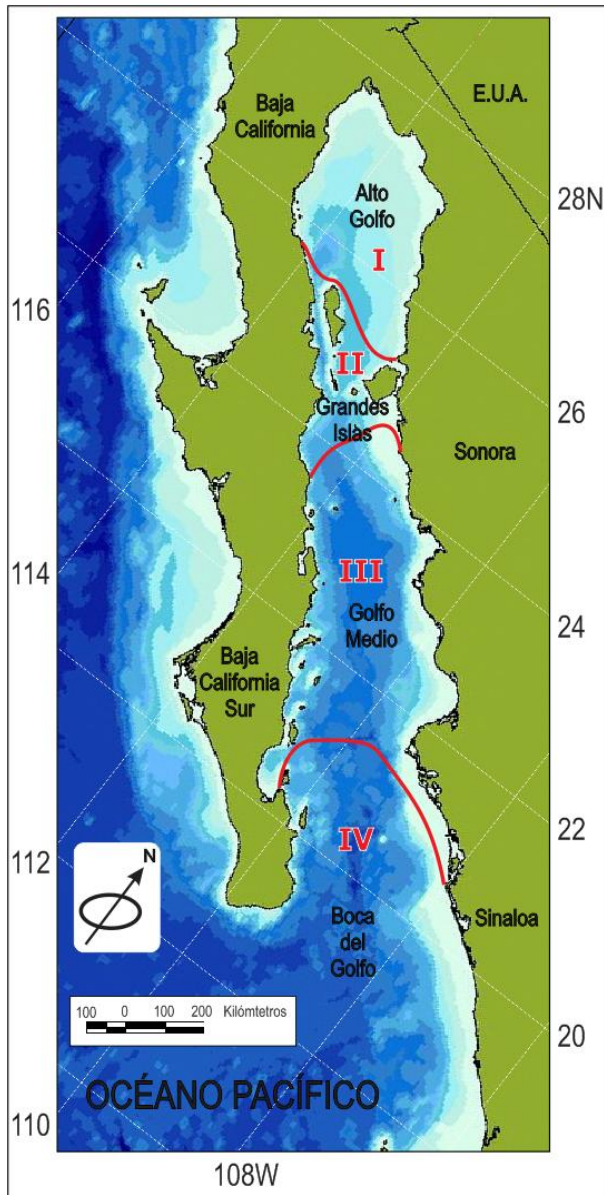


Figura 7. Regionalización del GC con base en la producción primaria propuesta por Lluch-Cota (2004). En la figura se muestran las divisiones y la numeración en color rojo.

(Alto Golfo-I); rodeando las Grandes Islas (Grandes Islas-II); en la región central y sur del golfo, incluyendo la Bahía de La Paz (Golfo Medio-III) y al sur del golfo y en interacción directa con las aguas del Pacífico (Boca del Golfo-IV) (Figura 7). Estas regiones coinciden con las descritas por Maluf (1983).

Como las zonas en que fue dividido el golfo tienen dimensiones distintas y tuvieron un esfuerzo de muestreo heterogéneo, la abundancia de los individuos se estandarizó al esfuerzo realizado en cada una de las zonas, a partir del siguiente índice de abundancia relativa (IAR):

$$IAR = \frac{(Nspi)(100)}{Esf(d)}$$

Dónde:

Nspi = Número de organismos de la especie *i* por zona multiplicados por 100

Esf = El esfuerzo realizado en días de navegación (aérea o marina) por zona.

Objetivo particular 4. Estructurar una base de datos ambiental para la zona, considerando: temperatura superficial, concentración de Clorofila-a, producción primaria neta y batimetría.

Caracterización ambiental

Temperatura superficial del mar y productividad primaria neta.

Para la caracterización ambiental, tanto espacial como y temporal, se utilizaron imágenes con valores promedio en intervalos de ocho días de la temperatura superficial del mar (tsm) (°C) y de la productividad primaria neta (ppn) (mg C/m²/día) con 4 km de resolución espacial. Estas imágenes se obtuvieron a partir del sensor remoto MODIS montado en satélite y suministradas por el Jet Propulsión Laboratory de la NASA, en formato HDF (Hierarchical Data Format) a través de la página de internet de MODIS HOMEPAGE (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) y de la Universidad Estatal de Oregon. (<http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/>)

Estas imágenes fueron recortadas y procesadas para extraer la información contenida (valor del parámetro, latitud y longitud), estos parámetros se obtuvieron en matrices individuales para cada imagen y después fueron exportados juntos en formato ASCII (nombre.dat), utilizando el software Windows Image Manager (WIM). (Figura 8).

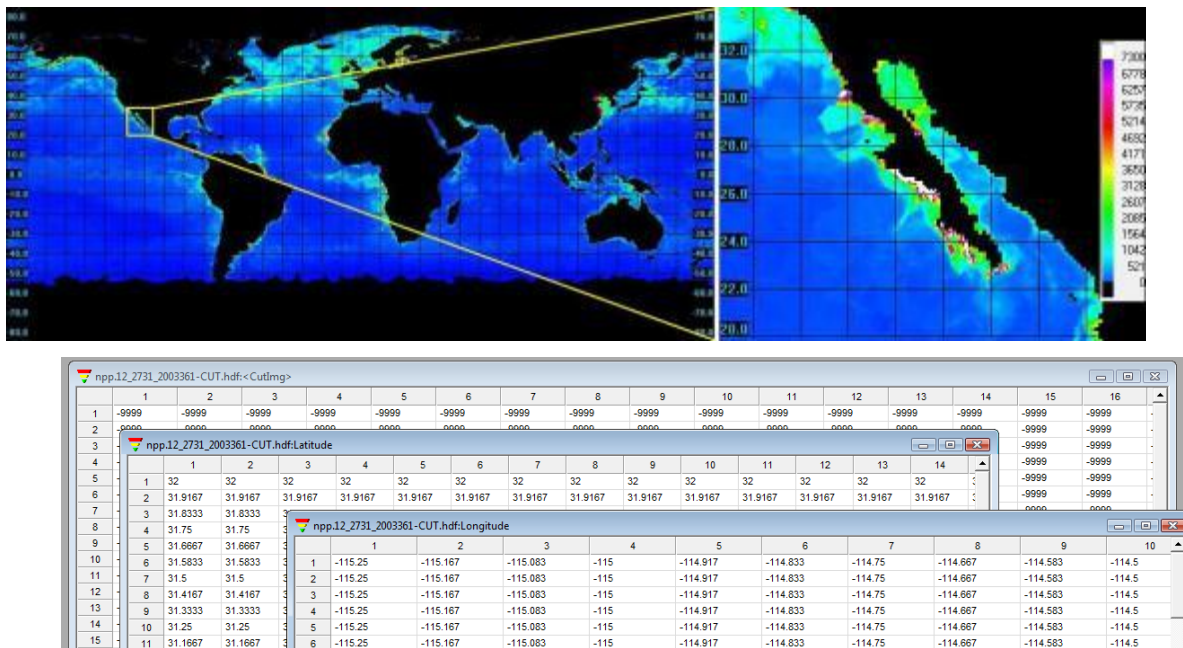


Figura 8. Ejemplos del procesamiento de las imágenes de satélite de tsm y ppn (se ilustra el recorte y la extracción de la información).

Topografía del fondo marino (Batimetría)

Los datos de batimetría se obtuvieron en la página del National Geophysical Data Center de la NOAA, con una resolución de 0.0334 min (3.72 km). Estos datos fueron procesados con el software SURFER 8.0 para elaborar los contornos batimétricos.

Análisis de datos

Para el análisis de la información, se realizó una estratificación temporal y espacial. Para la estratificación temporal se estableció una temporada fría (diciembre a mayo) y una cálida (junio a octubre), debido a que se ha reportado que en el GC se pueden reconocer estas dos temporadas climáticas con base en el análisis de la tsm (Santamaría-del Ángel et al. 1994, Beier 1997, Navarro-Olache et al. 2004, Lluch-Cota et al. 2007). Para la estratificación espacial, se definieron estratos cuadrados de 0.2 min (22.2 km) (Figura 9). Para lo anterior se alinearán las siguientes variables disponibles de acuerdo con esta estratificación:

- Esfuerzo en horas de navegación,
- No. de individuos y su biomasa relativa (kg/h de esfuerzo),
- La riqueza y diversidad,
- Media y desv. estándar de la *tsm*,
- Media y desv. estándar de la *ppn*,
- Profundidad máxima y su desv. estándar,
- Estructuras oceanográficas de mesoescala,
- El resultado de los análisis multivariados que integrarán las variables oceanográficas y biológicas.

Debido a la vasta cantidad de información de cada uno de estos archivos (*p.ej.* un archivo de tsm está compuesto por tres matrices de 120 x 141, lo que forma archivos de 16,920 líneas, que deben ser depurados y alineados), para alinear la información disponible a los estratos realizados, se elaboraron rutinas en MATLAB para ubicar la información geo-referenciada en cada uno de los estratos definidos.

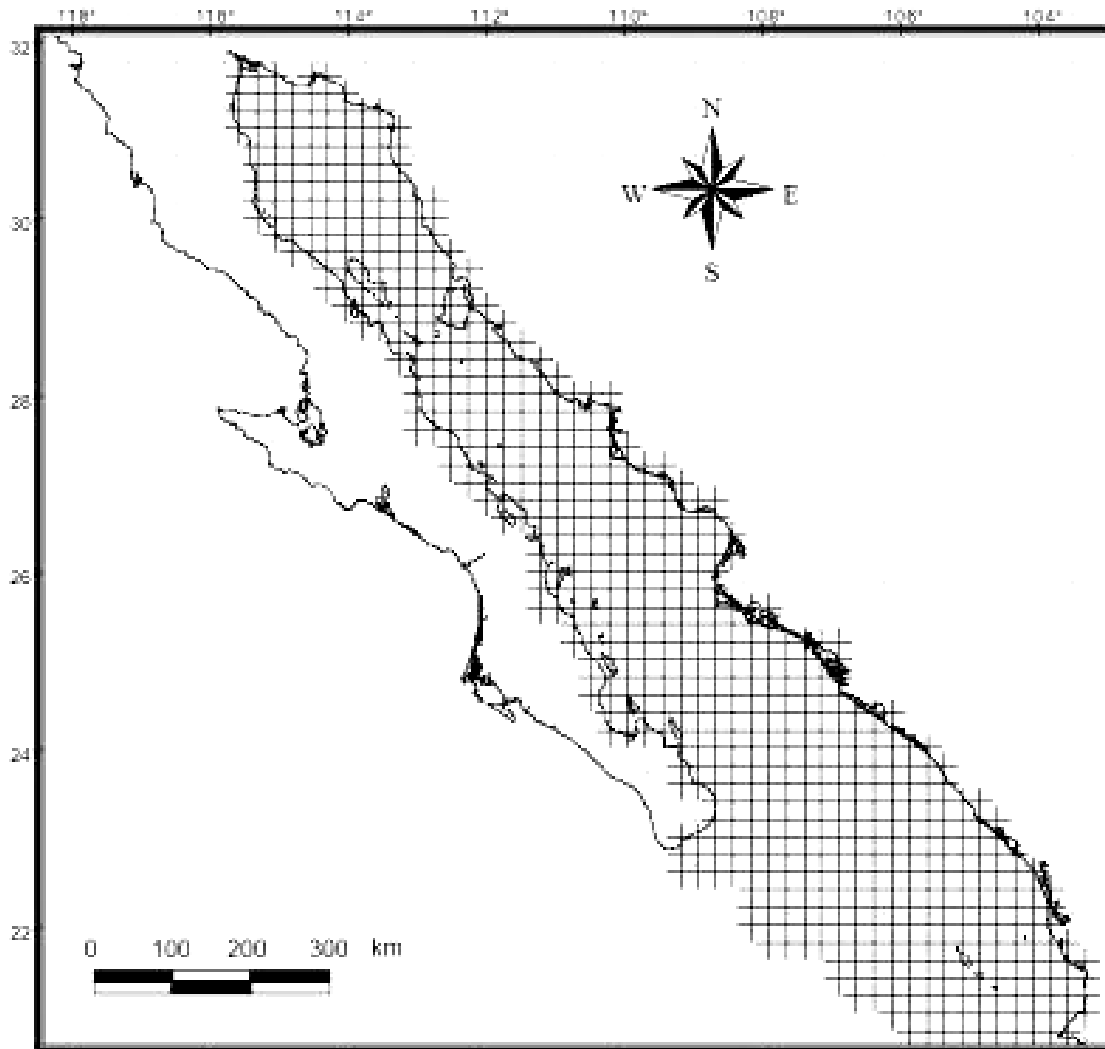


Figura 9. Estratificación del área de estudio.

La información extraída y procesada de las imágenes satelitales y de la batimetría, se integró en un sistema de información geográfica utilizando el software Arcview V 3.2., para construir la base de datos ambiental.

Objetivo particular 5. Describir la variación espacio-temporal de la actividad oceanográfica superficial de mesoescala en la zona.

Estructuras oceanográficas de mesoescala

La identificación de estructuras oceanográficas de mesoescala (EM en adelante), se realizó con una composición de imágenes Modis-SeaWiFS de clorofila-*a* (cla-*a* en adelante) de esta zona

durante los años 2004 a 2006 obtenidas del Scripps Institution of Oceanography, en alta resolución (1.1 km en el nadir) tipo HRPT (High Resolution Picture Transmission) y en formato HDF (Hierarchical Data Format), las cuales incluyeron los diferentes periodos de muestreo del presente estudio.

Estas imágenes de satélite fueron analizadas con el sistema WIM (Windows Image Manager), en donde se identificaron remolinos ciclónicos y anticiclónicos, surgencias y filamentos, pudiendo observarse también intrusiones de aguas. La circulación superficial fue inferida de las imágenes de concentración de $chl-a$, pues está comprobada la utilidad de los pigmentos fotosintéticos como trazadores de EM (Pegau et al. 2002), además que estas imágenes pueden resultar más confiables que las imágenes de tsm, considerando que en el GC, el intenso calentamiento solar puede eliminar los gradientes de tsm rápidamente (Paden et al. 1991, Pegau et al. 2002) (Figura 10).

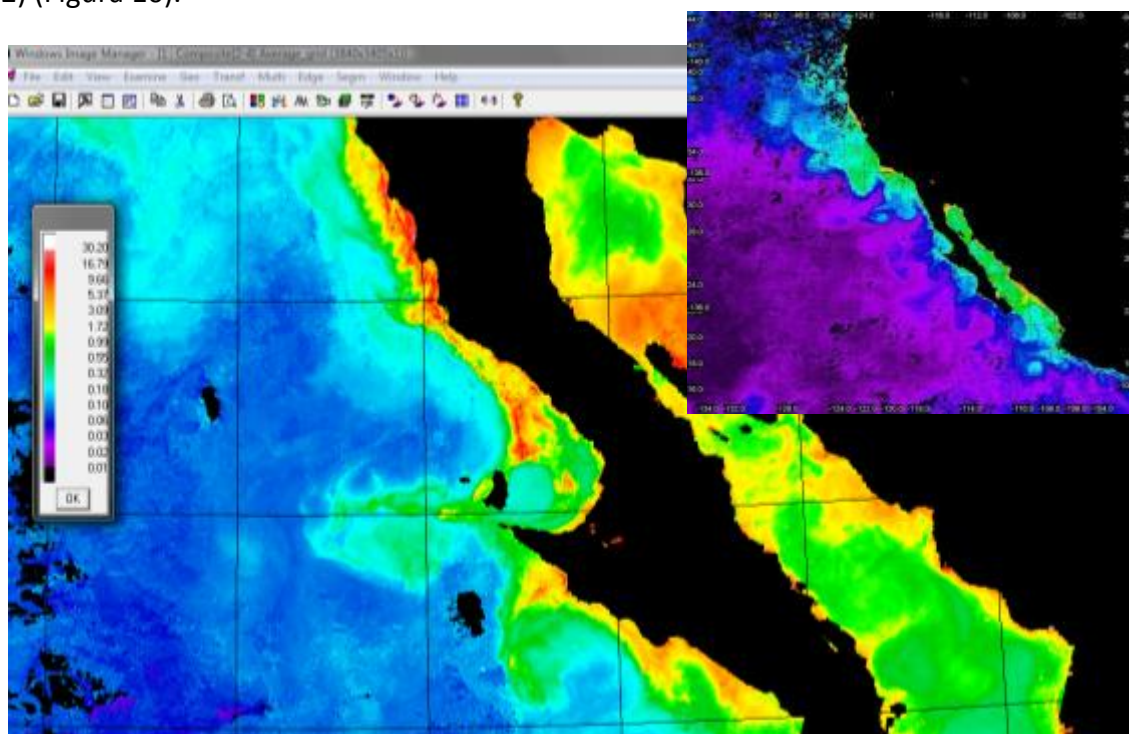


Figura 10. Ejemplo de la composición de imágenes Modis-SeaWiFS de clorofila "a" tipo HRPT (High Resolution Picture Transmission, 1.1 km en el nadir) en formato HDF (Hierarchical Data Format). El recuadro superior muestra la imagen original, el inferior un acercamiento.

La identificación de los remolinos en las imágenes de satélite, se realizó siguiendo el criterio de estudios previos (Pegau et al. 2002, López 2005, Zamudio 2008), en los que dichas estructuras fueron identificadas por la presencia de una mayor o menor concentración de

pigmentos en su borde respecto a la de su entorno, y el sentido del giro se determinó observando su origen, el cual en la mayoría de los casos ocurrió en la zona costera y con valores de concentración iguales o mayores que en el borde. La identificación de surgencias y filamentos se realizó siguiendo el mismo criterio en cuanto a las diferencias de concentración de pigmentos.

Objetivo particular 6. Identificar las relaciones entre los factores ambientales y las ballenas.

Estimación de la distribución de las especies mediante Modelos Aditivos Generalizados

Se utilizaron Modelos Aditivos Generalizados (GAM en adelante por sus siglas en inglés), para efectuar un análisis de la preferencia del hábitat las ballenas (misticetos y odontocetos) durante los recorridos aéreos. Se decidió utilizar esta herramienta ya que, además de permitir caracterizar el ambiente que prefieren las ballenas al ser un modelo integrador, también puede ser utilizada como herramienta predictiva. La variable respuesta fueron los valores de presencia/ausencia (0 y 1) de ballenas en los cuadrantes establecidos. Las variables predictoras (o factores) que se utilizaron, fueron profundidad media, estación, año, temperatura superficial del mar, y clorofila-*a*. El GAM se corrió de la siguiente manera: primero se incluyó a las variables categóricas (estación y año) como variables predictoras en la base de datos y posteriormente por temporada (cálida y fría), sin discriminar entre 2005 y 2006. El GAM se corrió con el paquete estadístico S-PLUS 6.0 Professional Release 2.

Un GAM puede ser representado como:

$$g(\mu) = \alpha + \sum_{j=1}^p f_j(X_j).$$

Como en los modelos lineales generalizados (MLG), la función $g(\mu)$ es conocida como la función de unión, y relaciona la media de la variable respuesta dada por las variables predictoras, $\mu = E(Y|X_1, \dots, X_p)$, al predictor aditivo $\alpha + \sum_{j=1}^p f_j(X_j)$. En este trabajo se utilizaron valores de presencia/ausencia (0 y 1), por lo tanto la función de unión fue de distribución binomial. Los GAM son extensiones no paramétricas de los MLG; los componentes $f_j(X_j)$ en el predictor aditivo pueden

incluir funciones no paramétricas de las variables predictoras, provocando que los GAM sean más flexibles que los MLG, los cuáles son limitados por las restricciones de los predictores lineales, $\alpha + \sum_j \beta_j X_j$. El modelo final fue obtenido mediante la selección paso por paso hacia delante (*forward step-wise*) de las variables predictoras, con términos lineales o curvas con 2 y 3 grados de libertad en el intervalo de las variables

El criterio de información de Aikaike (AIC por sus siglas en inglés), se utilizó para determinar la mejor combinación de variables en cada paso. El AIC intenta seleccionar la combinación que provea el mejor ajuste a los datos, medida por la disminución de la varianza, por lo que se seleccionó como mejor modelo la combinación que tuviera el valor más bajo de AIC (Redfern et al. 2006). Para validar el poder predictivo de los modelos, se utilizó el método de las curvas de las “características del receptor operativo” (“receiver operating characteristic” ó ROC). Este método selecciona el umbral “óptimo”, minimizando errores de omisión y comisión, o selecciona umbrales alternativos para minimizar una fuente de error particular (Pearce y Ferrier 2000). Por lo tanto, el valor más alto de C se seleccionó como el modelo con el poder predictivo más alto.

Ya obtenidos los modelos, estos se utilizaron para obtener valores de observaciones positivas (predicciones de presencia) para cada cuadrante de los datos originales obtenidos durante los recorridos aéreos. Estas predicciones se ingresaron en un SIG y se elaboraron mapas del área de estudio con estos valores de “predicción” para la presencia de ballenas, odontocetos y misticetos en cada temporada (cálida y fría).

Modelado de la Distribución Geográfica de las Especies con base en la Máxima Entropía (Maxent)

Los modelos de distribución de especies, estiman la relación entre registros de especies en los sitios, el medio ambiente y/o las características espaciales de los mismos (Franklin, 2009). Estos son ampliamente utilizados para muchos propósitos en biogeografía, conservación, biología y ecología. En las dos últimas décadas, se han producido muchos avances en el campo del modelado de distribución de especies y ya están disponibles múltiples métodos. Una distinción importante entre los métodos es el tipo de datos de las especies que se utilizan. Cuando los datos de las especies han sido tomados sistemáticamente, por ejemplo, en transectos biológicos formales en

los que se estudia un conjunto de sitios y la presencia/ausencia o abundancia de especies que en cada sitio se registran, los métodos de regresión son comunes para la mayoría de los ecologistas (p.ej. modelos lineales o aditivos generalizados, o conjuntos de árboles de regresión); sin embargo, para la mayoría de las regiones, los datos sistemáticos de estudios biológicos tienden a ser escasos y/o limitados en la cobertura (Elith et al. 2011).

Además, con toda la información generada en el estudio (recorridos aéreos y en barco) se realizó otra estimación de distribución, con datos de sólo presencia y con el modelado por máxima entropía. Con el este análisis por medio se caracterizaron los patrones principales de variación de la presencia de cetáceos, para buscar su relación con las variables ambientales en un espacio determinado. Para realizar este análisis se utilizó el software elaborado por Steven Phillips, Miro Dudik y Rob Schapire, con el apoyo de los laboratorios de investigación de AT&T, la Universidad de Princeton y el Centro para la Biodiversidad y Conservación del Museo Americano de Historia Natural (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>).

El principio de máxima entropía considera que en la estimación de una distribución de probabilidad desconocida, la solución menos sesgada es aquella que maximiza su entropía, sujeto a algunas limitantes (la asociación entre las localidades de presencia y las variables ambientales). La probabilidad se expresa en términos de "ganancia", la cual se calcula como el logaritmo del número de celdas en la grilla, menos el promedio de las probabilidades logarítmicas negativas de las localidades utilizadas para ajustar el modelo (Phillips et al. 2006, Phillips y Dudík 2008).

Así, la idea del análisis de Maxent, es estimar la proyección mediante la búsqueda de la distribución de entropía máxima (es decir, que está más cerca de la uniformidad), sujeto a la restricción de que el valor esperado de cada característica en esta distribución estimada, coincide con su promedio empírico. Para modelar la distribución de las especies, las localidades de ocurrencia de cada especie sirven como los puntos de muestreo, la región geográfica de interés es el espacio en que se define esta distribución y las características son las variables ambientales (o funciones del mismo) (Phillips et al. 2004).

Las capas ambientales utilizadas para el modelado fueron:

- Producción primaria neta (fría/año, cálida/año, fría, cálida y total)
- Profundidad
- Temperatura superficial del mar (fría/año, cálida/año, fría, cálida y total).

- Surgencias (fría, cálida y total).
- Remolinos oceanográficos (fría, cálida y total).
- Filamentos de clorofila (fría, cálida y total).

Estos parámetros oceanográficos y topográficos, fueron organizados de acuerdo con el año, la temporada y la estratificación espacial del GC utilizada; obteniéndose el promedio y la desviación estándar de los mismos (excepto de las estructuras oceanográficas meso escalares: giros, surgencias y filamentos de Cl- σ).

Con las capas ambientales anteriores, se estimó la relación entre los registros de especies en los sitios y el medio ambiente y/o las características espaciales de los mismos, para los cetáceos en general (grandes ballenas), los misticetos y los odontocetos, organizados en su distribución en general, durante la temporada cálida y durante la fría.

Como en el caso de los modelos anteriores, se obtuvieron las predicciones de presencia para cada cuadrante, con las se elaboraron los mapas de distribución en el área de estudio para las grandes ballenas, odontocetos y misticetos a escala anual, temporada cálida y fría.

Objetivo particular 7. Proponer aquellas áreas que por su importancia biológica y ecológica, puedan ser utilizadas con fines de conservación de las ballenas en el GC

Definición de las Regiones Prioritarias para la Conservación de Ballenas en el GC (RECOBAG)

Con la información mencionada anteriormente, se integró un Sistema de Información Geográfica (SIG en adelante). Este se realizó en el software ArcView GIS 3.2. Actualmente se tiene digitalizada y geo-referenciada la línea de costa con una resolución escalar de 1:50,000 en proyección cónica y en unidades de grados decimales. Todas las variables fueron sido procesadas con la misma proyección y unidades.

El análisis espacial (estratos espaciales) y temporal (cálida-fría), integró las variables biológicas, ecológicas y ambientales utilizadas en una evaluación eco-espacial, para definir zonas importantes para la distribución de las ballenas, aplicando un modelo empírico desarrollado para tal efecto.

Para la propuesta de las RECOBAG, la información obtenida se integró de la siguiente manera:

RECOBAG (escala espacial con variación temporal)



Donde cada una de las características que lo componen se desglosa a su vez en los parámetros estimados o características registradas.

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

$$\text{CBB} = \text{BIOM} + \text{CALIM} + \text{CREP} + \text{ASC}$$

Donde:

BIOM = Biomasa relativa

- peso promedio x No. organismos /esfuerzo (kg/d)

CALIM = Comportamiento alimenticio

- Evidencia conductual en superficie
- Asociación con organismos consumidores (AOC)
- Evidencia de alimento (EA)

CREP = Comportamiento reproductivo

- Presencia de crías
- Conduita asociada a reproducción

ASC = Asociaciones no Alimenticias

- Con cetáceos
- Con otros

CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS

$$CE = \text{Riqueza} + \text{Diversidad SW}$$

RELACIÓN CON PARÁMETROS AMBIENTALES

$$RPA = PPN + POM + GAM + \text{Maxent}$$

Donde:

PPN = Producción primaria neta

(mg C/m²/día) con 9 km de resolución espacial

POM = Procesos Oceanográficos Mesoescalares

- Remolinos ciclónicos y anticiclónicos
- Surgencias
- Filamentos

GAM = Distribución estimada con Modelos Aditivos Generalizados

- Valor por estrato

Maxent = Distribución estimada con modelado por Máxima Entropía

- Valor por estrato

A partir del procedimiento mencionado, se sumaron los valores obtenidos, los cuales fueron estandarizados para cada una de las características utilizadas mediante la relación

$$EC = \frac{1}{\sum Xi}$$

Donde:

EC= Estrato cuadrado

Xi= Característica *i*

Una vez obtenidos estos valores, se sumó el valor por cuadrante de cada grupo de características, obteniendo un valor único para cada cuadrante, el cual fue integrado al SIG para integrar las propuestas de distribución (grandes ballenas, misticetos y odontocetos, para las temporadas cálida y fría). Estas zonas fueron comparadas con las propuestas que existen actualmente para las ballenas en el Golfo de California.

Objetivo particular 8. Comparar con las propuestas actuales.

Una vez realizadas la propuesta de las zonas, ésta fue comparada con las propuestas que se han realizado al respecto y que ya fueron mencionadas en la justificación.

VI. Resultados

Base de datos histórica

A partir de la base de datos integrada, se generó la distribución de los avistamientos mediante su georeferenciación. Al observar la distribución histórica, podemos observar dos tendencias generales: 1) los misticetos se distribuyeron con preferencia en el suroeste del GC y en el Alto Golfo; pero desde la zona de las Grandes Islas, fueron muy escasos los avistamientos de éstos en la región este del GC, probablemente por el mayor esfuerzo realizado en la región suroeste, aunque hay datos de cruceros a lo largo del GC; 2) los odontocetos tuvieron una distribución más amplia en el GC y fueron escasos en el Alto Golfo, aunque también prevalecieron en la región suroeste, seguramente por la concentración del esfuerzo en esa zona (Figura 11).

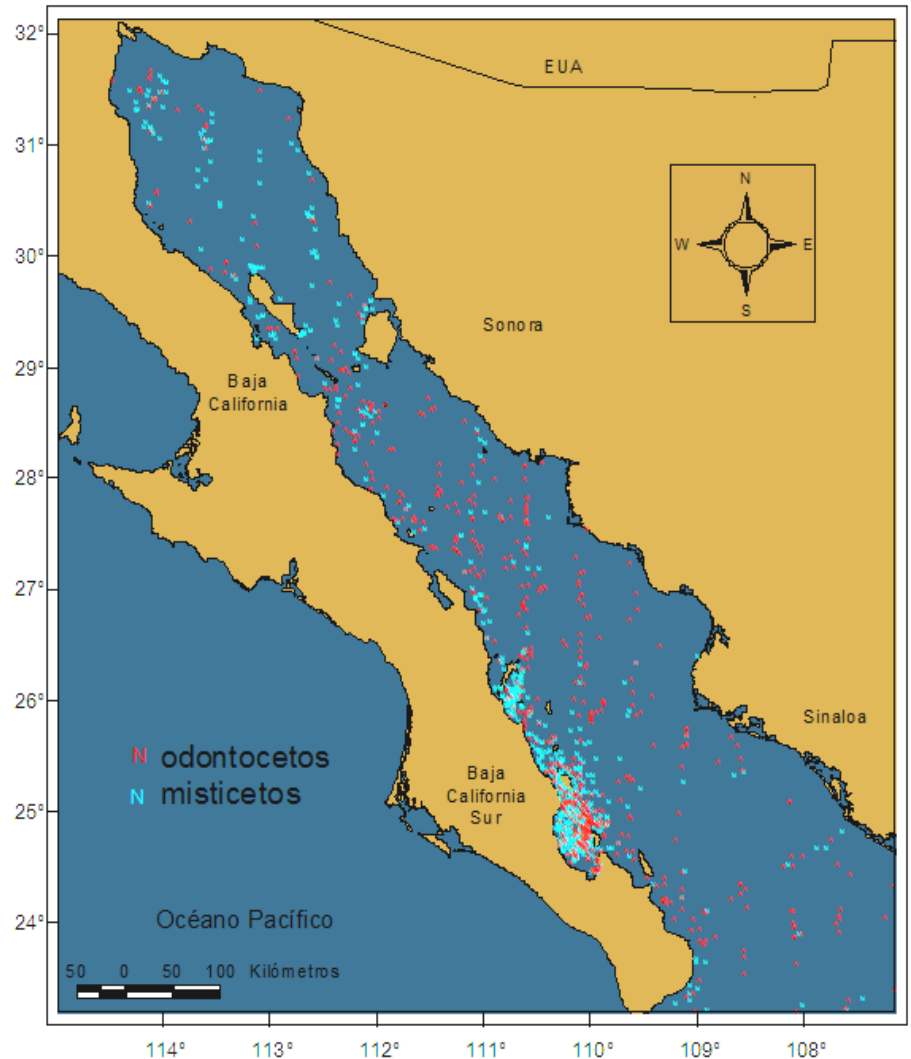


Figura 11. Distribución de las ballenas (cetáceos > 4 m) registrados de 1972 a 2002 por el Programa de Investigación de Mamíferos Marinos de la UABCS.

Abundancia relativa y distribución de las grandes ballenas

Para estimar la abundancia relativa se utilizó la siguiente tabla de referencia (Tabla I), en donde se indican los pesos promedio de las especies avistadas, únicamente para el caso de aquellas especies con un marcado dimorfismo sexual, se indican pesos para los machos, tal como lo establecen Reeves et al. (2002)

Tabla I. Pesos promedio de cetáceos reportados. Se enlistan únicamente las especies mayores a 4 m avistadas durante los recorridos aéreos y en barco de 2003 a 2006 en el GC por el Programa de Investigación de Mamíferos Marinos de la UABCS. Como criterio se tomó el intervalo menor del peso promedio para un organismo adulto, los casos con un marcado dimorfismo entre género se indican y tomaron en cuenta siempre que se contó con la información.

Especie	Peso adulto (kg)	macho	fuentes
<i>Balaenoptera musculus</i>	80,000		Sears, 2002
<i>Balaenoptera physalus</i>	40,000		Aguilar, 2002
<i>Balaenoptera sp.</i> ¹	38,500		
<i>Balaenoptera borealis</i>	20,000		Horwood, 2002
<i>Megaptera novaeangliae</i>	38,000		Clapham, 2002; Best, 2007
<i>Eschrichtius robustus</i>	33,000		Niño et al., 2011
<i>Balaenoptera edeni</i>	15,000		Kato, 2002
<i>Orcinus orca</i>	3,800	5,600	Ford, 2002
<i>Ziphius cavirostris</i>	2,600		Best, 2007
<i>Physeter macrocephalus</i>	15,000	45,000	Whitehead, 2002
Zífido ¹	1,700		
<i>Pseudorca crassidens</i>	516		Best, 2007; Reeves, 2002
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	740	1,300	Best, 2007; Reeves, 2002
<i>Mesoplodon peruvianus</i> ²	650		Best, 2007
<i>Kogia breviceps</i>	450		Best, 2007
<i>Kogia sp.</i>	350		
<i>Kogia sima</i>	250		Best, 2007

¹Estimado a partir del promedio para el grupo

²Estimado a través de la relación peso/longitud elaborada por Best (2007) para el *M. densirostris*, utilizando la longitud reportada para *M. peruvianus*.

Recorridos Aéreos

A partir del registro de avistamientos de ballenas durante estos recorridos, se generó una base de datos que cuenta con un total de 440 registros, los cuales pasaron por el mismo proceso de corrección, depuración y de ingreso en el SIG (Figura 12 a Figura 15). En el caso de estos recorridos, el esfuerzo fue uniforme durante las cuatro series de vuelos, dado que se realizaron de forma sistemática, razón por la que la biomasa calculada no fue estandarizada con el esfuerzo.

La distribución de los mysticetos ocurrió a lo largo de todo el GC, principalmente en el norte y sur, mientras que los odontocetos ocurrieron principalmente cerca de las Grandes Islas y en la porción central (Figura 12). La ballena azul (*Balaenoptera musculus*), ballena de aleta (*B. physalus*) y el cachalote (*Physeter macrocephalus*), fueron las especies más avistadas con números muy superiores al resto (Figura 13), coincidiendo con la mayor biomasa, donde también aparecen el rorcual tropical (*B. edeni*), la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y el calderón de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*) (Figura 14). La biomasa de mysticetos fue más abundante en la temporada fría y la de los odontocetos en la cálida, siendo consistente para ambos años, excepto la temporada cálida del 2006, donde fue más abundante la biomasa de mysticetos (Figura

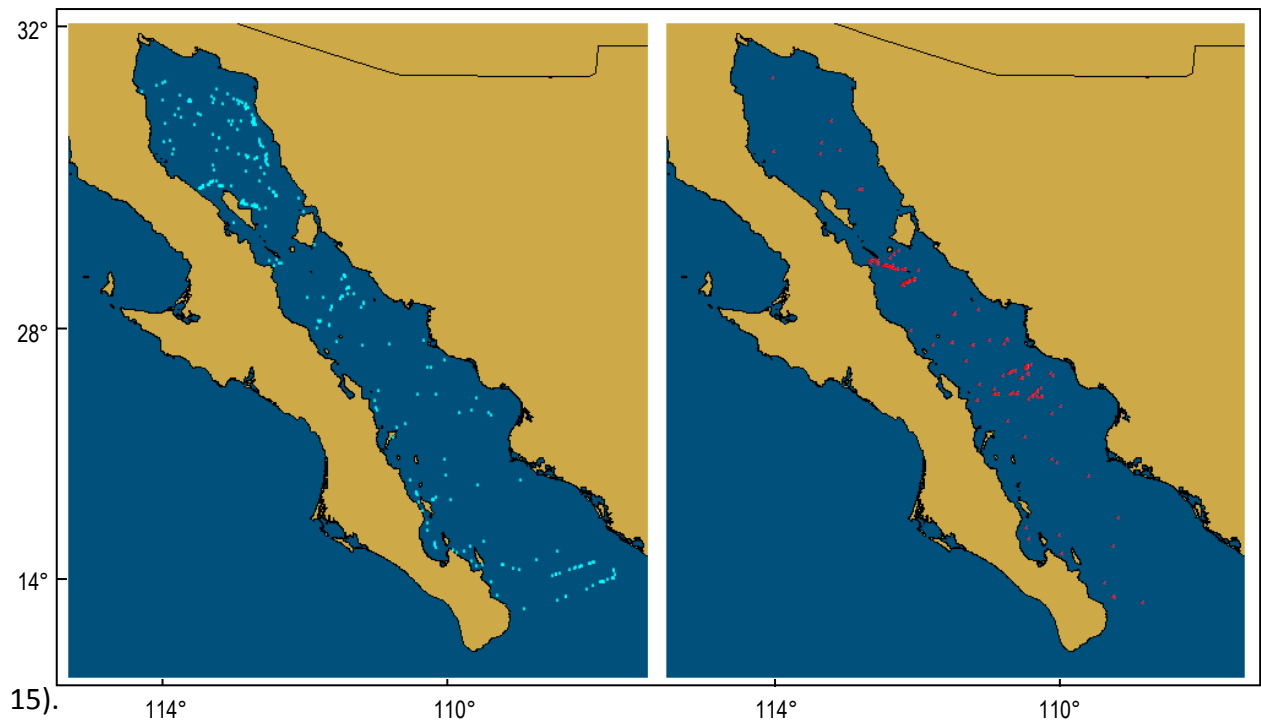


Figura 12. Distribución de las ballenas (cetáceos >4 m) registrados durante los cuatro recorridos aéreos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006. Se muestran los registros de mysticetos en azul (izquierda) y los de odontocetos en rojo (derecha).

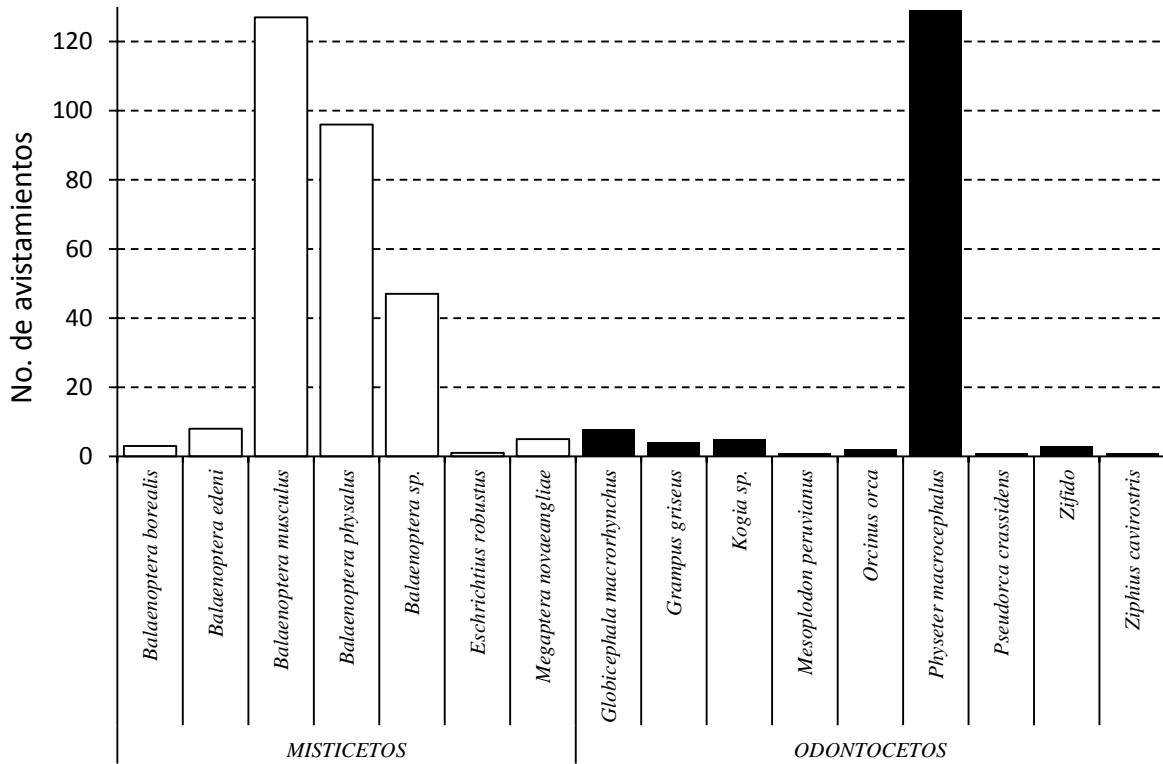


Figura 13. Distribución de los avistamientos por especie de las ballenas (cetáceos >4 m) registrados durante los cuatro recorridos aéreos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006.

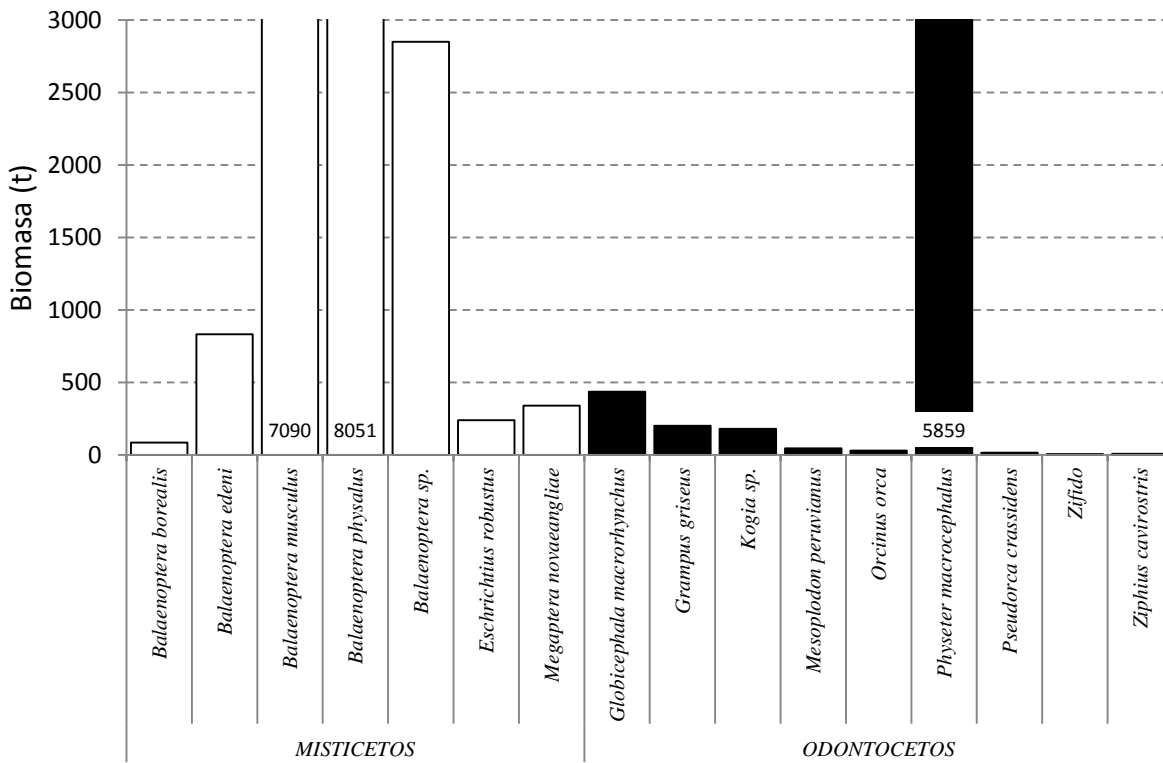


Figura 14. Distribución de la biomasa (estimada en t) por especie de las ballenas (cetáceos >4 m) registrados durante los cuatro recorridos aéreos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006.

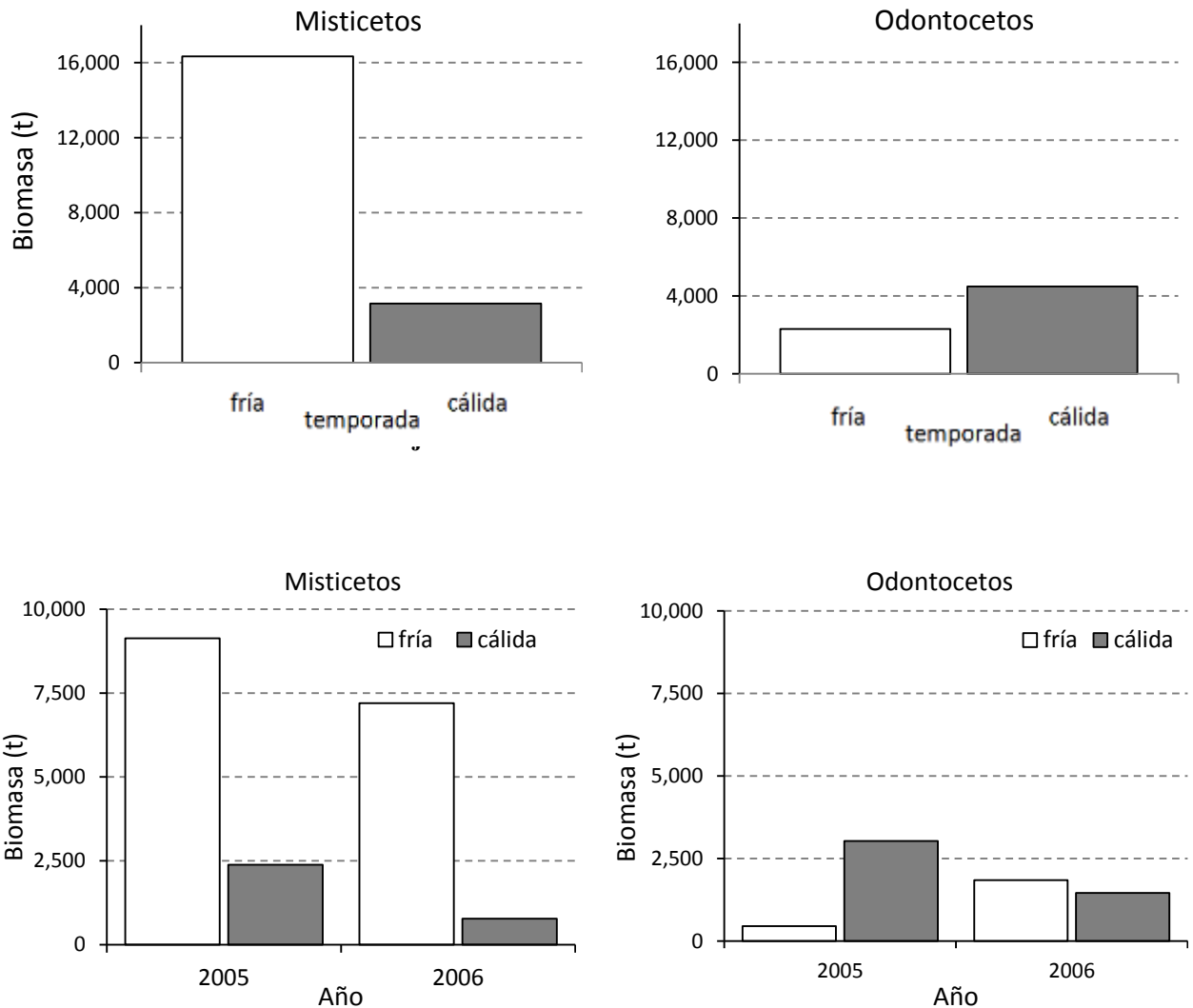


Figura 15. Variación de la biomasa de ballenas (cetáceos >4 m) por temporada y año (expresada en toneladas) registrada durante los cuatro recorridos aéreos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006.

Recorridos en barco

Para estos recorridos también fue generada una base de datos a partir de los registros obtenidos, la que cuenta con 665 registros de ballenas desde agosto de 2003 a enero de 2007. Esta base también fue depurada y sus registros georeferenciados e ingresados en el SIG (Figuras 16 a 19).

La distribución de los avistamientos en barco estuvo claramente influenciada por las rutas costeras en la porción occidental del GC, por lo que la mayor parte de los avistamientos se ubicaron cerca de esta costa; sin embargo se aprecian diferencias entre mysticetos y odontocetos.

Los misticetos se distribuyeron a lo largo de la costa alcanzando latitudes alrededor de los 30°N, con una gran cantidad de avistamientos en el Canal de Ballenas y cerca de las Grandes Islas, y una falta de avistamientos hasta el sur de Bahía Concepción, mientras que los odontocetos no tienen tantos avistamientos al norte de los 28°N, pero sí en esta zona desde el C. de Ballenas hasta B. Concepción (Figura 16). La ballena jorobada tuvo aprox. el 75% de los avistamientos de los misticetos en barco, mientras que en los odontocetos, nuevamente el cachalote tuvo una proporción importante de los avistamientos, junto con el cachalote enano (*K. sima*), el calderón de aletas cortas y el zífido de Cuvier (*Z. cavirostris*) (Figura 17). Al revisar la biomasa predominaron, además de la ballena jorobada, la ballena azul y el rorcual común, mientras que para los odontocetos, el cachalote y el calderón (Figura 18). Al igual que ocurrió en los vuelos, la biomasa de los misticetos predominó en la temporada fría, mientras que la de odontocetos en la cálida, situación que se mantuvo en los tres años de recorridos en barco; sólo que durante 2005, la diferencia entre biomasa fue apenas notable entre grupos y temporadas (Figura 19).

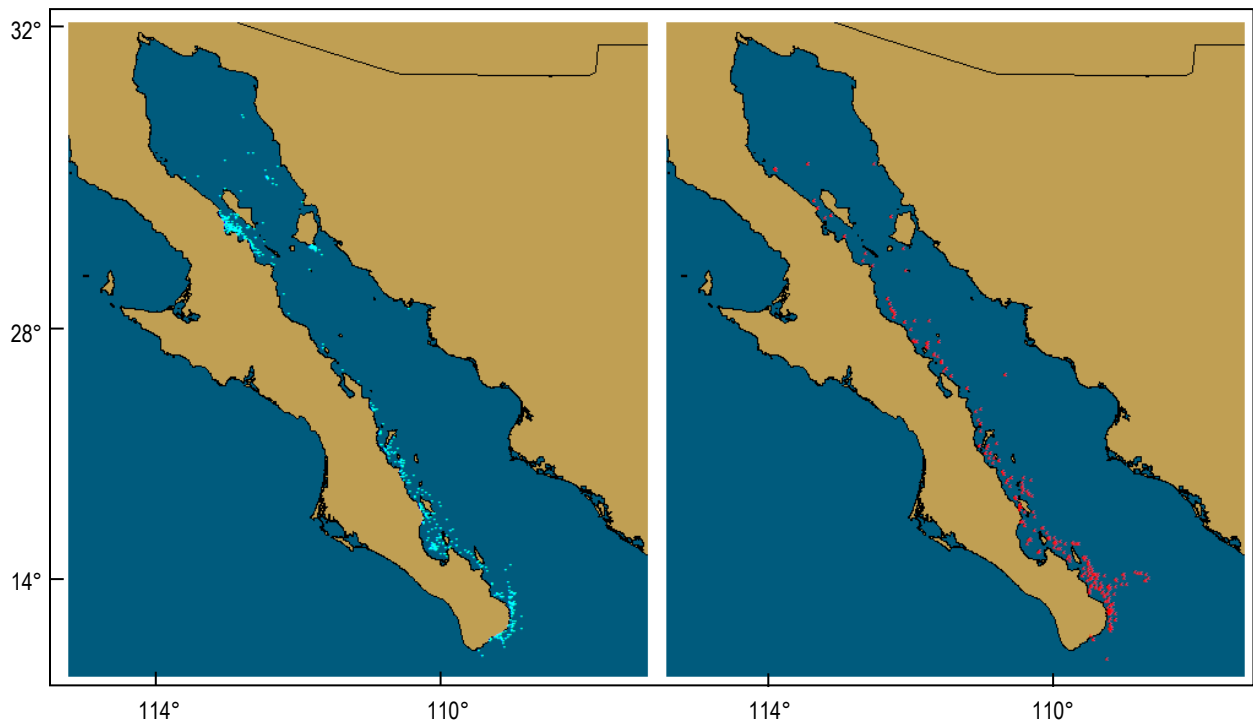


Figura 16. Distribución de las ballenas (cetáceos >4 m) registrados durante los recorridos en barco realizados de agosto de 2003 a enero de 2007. Se muestran los registros de misticetos en azul (izquierda) y los de odontocetos en rojo (derecha).

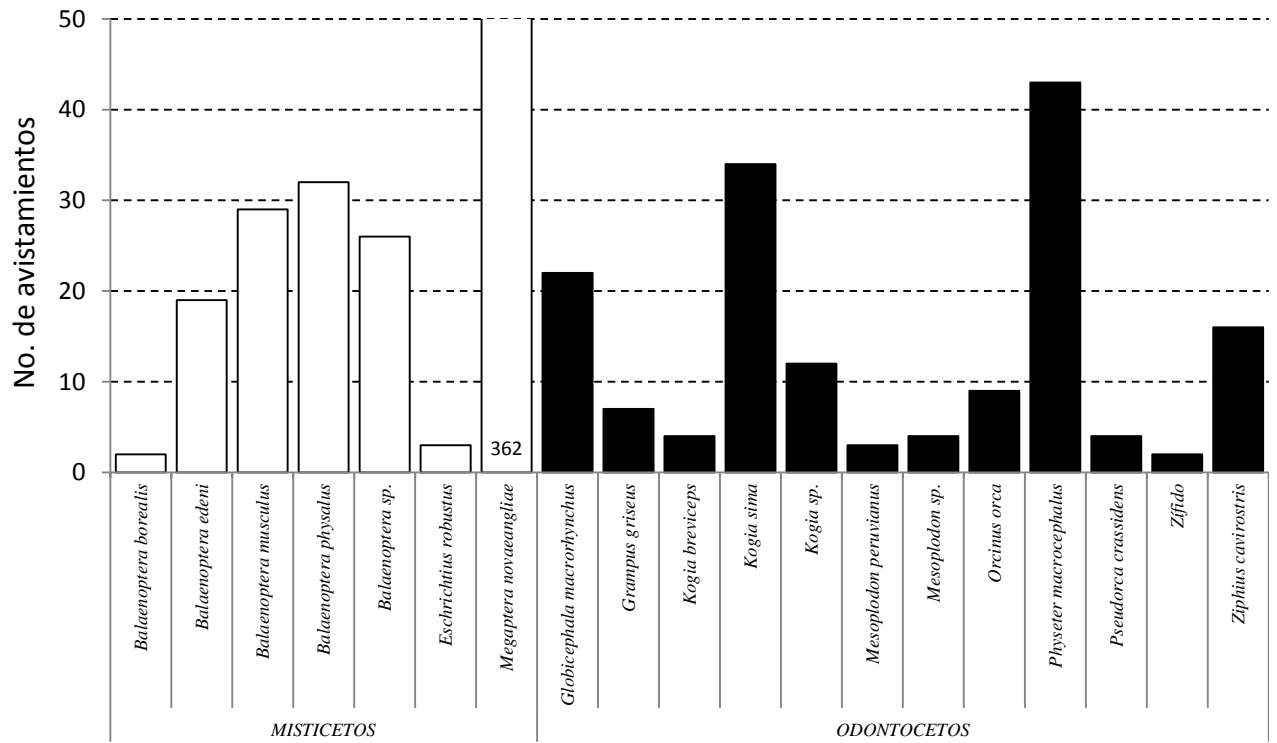


Figura 17. Avistamientos por especie de las ballenas (cetáceos >4 m) registrados durante los recorridos en barco realizados en los inviernos y veranos de agosto de 2003 a enero de 2007.

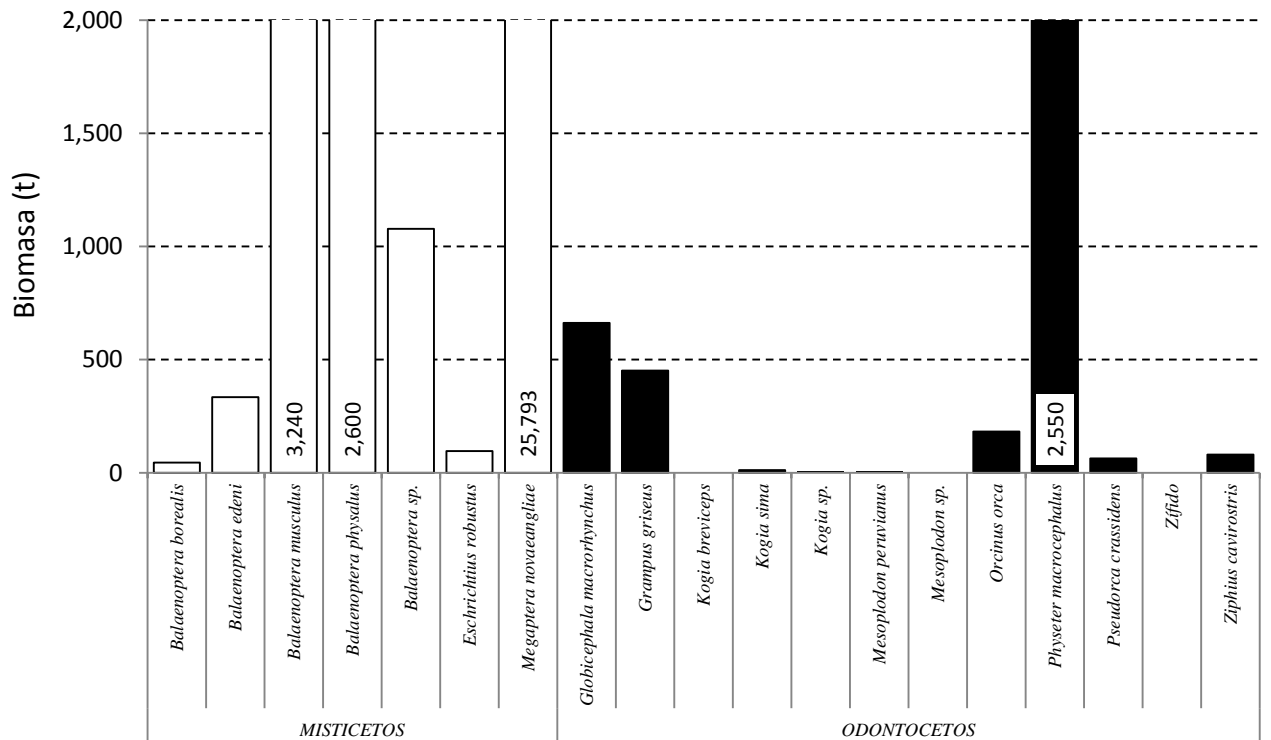


Figura 18. Distribución de la biomasa (estimada en t) por especie de las ballenas (cetáceos >4 m) registrados durante los recorridos en barco realizados en los inviernos y veranos de agosto de 2003 a enero de 2007.

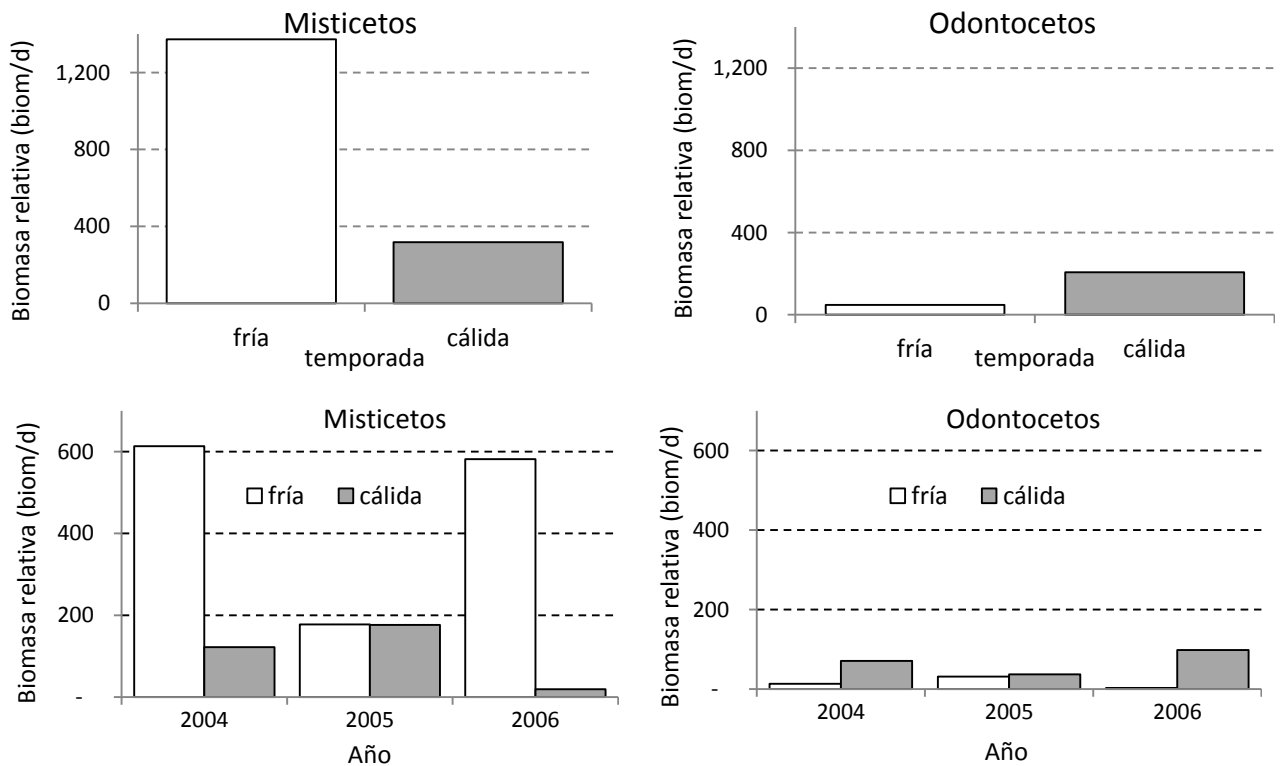


Figura 19. Variación de la biomasa relativa (expresada en toneladas por día de esfuerzo) de ballenas (cetáceos >4 m) por temporada y año, registrados durante los recorridos en barco realizados en los inviernos y veranos de agosto de 2003 a enero de 2007.

Índices Ecológicos.

Como se mencionó en el método, el análisis de la riqueza y diversidad se realizó a partir de las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004) en el GC, para los datos agrupados de barco y vuelos, organizados por la temporada del año: cálida (junio-noviembre) y fría (diciembre-mayo).

Temporada Fría

La Tabla II muestra el número de registros que se obtuvieron en la temporada fría por cada zona. A partir de la información anterior se estimaron la riqueza (R) y la diversidad de Shannon-Wiener (S/W). En la Tabla III y la Figura 20, se muestran los valores obtenidos para cada índice por zona durante la temporada fría. En las tablas II y III se aprecia que la zona con la mayor riqueza fue la zona IV y la menor fue la I, lo que se vio reflejado de la misma manera en los índices de diversidad (ver también Anexo 2, Tabla I).

Tabla II. Número de especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo), y su valor correspondiente del índice de abundancia relativa (IAR), tanto en los recorridos aéreos, como en las navegaciones en el Golfo de California. La información está agrupada de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004) representada en la imagen a la derecha.

Especie	Zona							
	I		II		III		IV	
	Avist.	IAR	Avist.	IAR	Avist.	IAR	Avist.	IAR
<i>Balaenoptera borealis</i>	1	6						
<i>Balaenoptera edeni</i>	4	25			8	15	8	3
<i>Balaenoptera musculus</i>	44	275	16	100	82	158	57	25
<i>Balaenoptera physalus</i>	61	381	33	206	12	23	6	2
<i>Balaenoptera sp.</i>	14	87	3	18	17	32	15	6
<i>Eschrichtius robustus</i>			1	6			6	2
<i>Grampus griseus</i>							15	6
<i>Globicephala macrorhynchus</i>					37	71	97	42
<i>Kogia breviceps</i>					2	3	5	2
<i>Kogia sima</i>					7	13	17	7
<i>Kogia sp.</i>					3	5	13	5
<i>Megaptera novaeangliae</i>					7	13	150	66
<i>Mesoplodon peruvianus</i>							7	3
<i>Mesoplodon sp.</i>							1	3
<i>Orcinus orca</i>					14	27	24	10
<i>Physeter macrocephalus</i>			59	368	54	104	47	20
<i>Ziphius cavirostris</i>	2	12					2	11
Zífido							26	

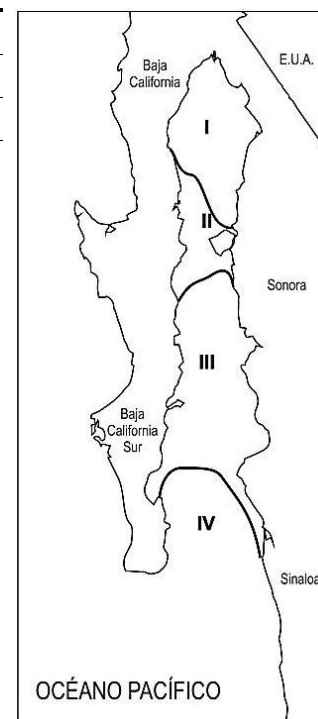


Tabla III. Índices ecológicos estimados a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo), en los recorridos aéreos y navegaciones en el Golfo de California. La información está agrupada de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004).

Zona	Individuos (estimado)	S (estimado)	IC 95% inf	IC 95% sup	ds	H'	ds	IC 95% inf	IC 95% sup
I	539.5	9.25	6.83	11.67	1.23	1.50	0.43	0.66	2.34
II	1,079.0	13.33	11.00	15.67	1.19	1.70	0.19	1.33	2.07
III	1,618.5	15.75	13.53	17.97	1.13	1.80	0.11	1.58	2.02
IV	2,158.0	17.00	14.82	19.18	1.11	1.85	0.00	1.85	1.85

Al comparar la estimación de la riqueza utilizando el criterio de Colwell et al. (2012), se observa que la zona I presentó diferencias significativas respecto de las zonas III y IV (Figura 21).

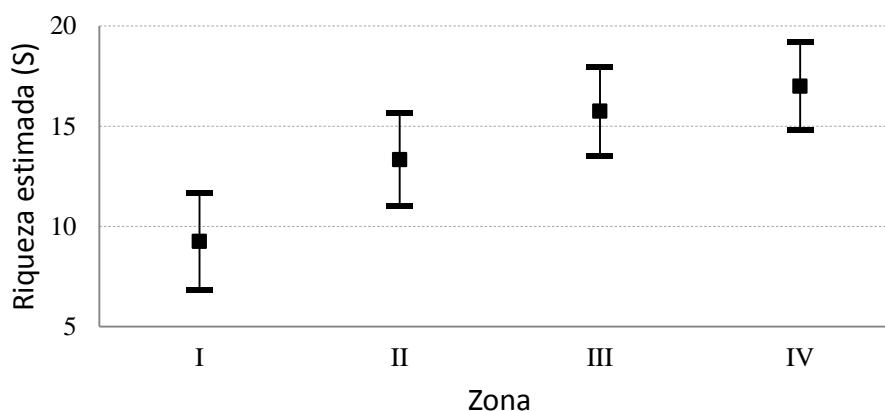


Figura 20. Comparación de las Riqueza estimada a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo)

Además se calcularon los estimadores de similitud Jaccard y Sørensen con el procedimiento propuesto por Chao et al. (2005), para comparar las zonas en que fue dividido el GC y los Morisita-Horn (M-H) y de Bray-Curtis (B-C), observando que con los índices de Chao-Jaccard (Ch-Jc) y Chao-Sørensen (Ch-Sor), las zonas que compartieron el menor número de especies fueron la I y la IV, mientras que las que compartieron un mayor número fueron las III y IV, mientras que para los estimadores de M-H y B-C hay coincidencia sólo para las zonas más disímiles (I-IV) como se observa en la Tabla IV y en la Figura 24 (ver también Anexo 2, Tabla III).

Tabla IV. Estimadores de similitud para comparar la riqueza entre zonas, para la TEMPORADA FRÍA en el Golfo de California, de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004). Ch-Jc=Chao-Jaccard, Ch-Sor=Chao-Sørensen, M-H= Morisita- Horn, B-C= Bray-Curtis, ds= desviación estándar.

Zona	Zona	Ch-Jc	ds	Ch-Sor	ds	M-H	B-C
I	II	0.452	0.318	0.623	0.296	0.518	0.437
I	III	0.486	0.218	0.654	0.218	0.529	0.365
I	IV	0.171	0.136	0.292	0.175	0.184	0.072
II	III	0.679	0.177	0.809	0.150	0.622	0.422
II	IV	0.262	0.158	0.415	0.186	0.254	0.121
III	IV	0.895	0.087	0.945	0.054	0.579	0.401

Al comparar el índice de Shannon-Wiener entre cada zona para la temporada fría, no se observaron diferencias significativas entre la zonas (Figura 21).

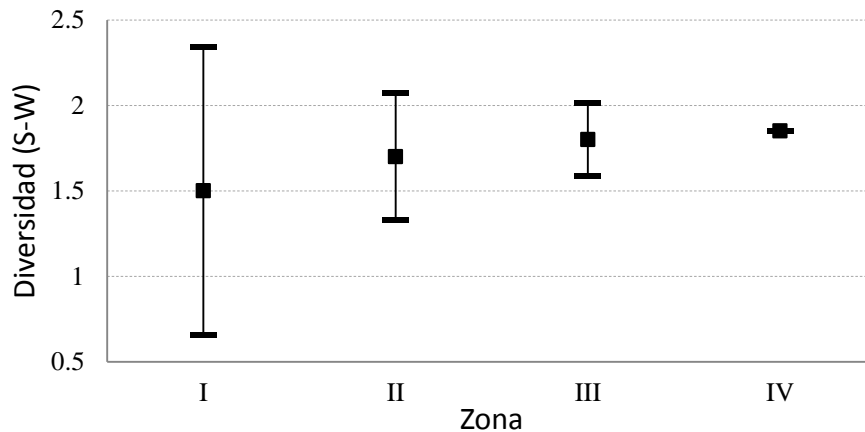


Figura 21. Comparación de la diversidad (Shannon-Weiner) estimada a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo).

Temporada Cálida

En la Tabla V se observan los registros obtenidos en la temporada cálida por cada zona, con los que se estimaron los índices ecológicos para esta temporada, que se muestran en la Tabla VI y Figura 22. Al igual que en la temporada fría, en la cálida la mayor riqueza y diversidad se presentaron en la zona IV, mientras que los menores valores ocurrieron en la zona I. Cuando comparamos los valores de la riqueza observada, también se observó lo mismo que durante la temporada fría, con diferencias significativas de la zona I con las zonas III y IV (Figura 22, ver también Anexo 2, Tabla II).

Los estimadores de similitud Chao-Jaccard y Chao-Sørensen (Chao et al. 2005) y los de Morisita-Horn y de Bray-Curtis para comparar las zonas durante la temporada cálida, mostraron resultados muy similares a los obtenidos para la temporada fría, pues durante la temporada cálida también fueron las zonas I y la IV las que compartieron el menor número de especies y las III y IV las que presentaron los mayores valores de similitud mientras que, al igual también que en la temporada fría, los estimadores de M-H y B-C sólo coincidieron en las zonas más disímiles (I-IV) (Tabla VII, Figura 24, ver también Anexo 2, Tabla IV).

Tabla V. Número de especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA CÁLIDA (junio-noviembre), y su valor correspondiente del índice de abundancia relativa (IAR), tanto en los recorridos aéreos, como en las navegaciones en el Golfo de California. La información está agrupada de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004) representada en la imagen a la derecha.

Especie	Zona							
	I		II		III		IV	
	Avist.	IAR	Avist.	IAR	Avist.	IAR	Avist.	IAR
<i>Balaenoptera borealis</i>	2	11			1	1		
<i>Balaenoptera edeni</i>			1	2	6	10	2	2
<i>Balaenoptera musculus</i>					1	1	3	3
<i>Balaenoptera physalus</i>	43	245	5	117	1	16	4	5
<i>Balaenoptera sp.</i>	12	68	5	11	5	8	8	10
<i>Globicephala macrorhynchus</i>					55	93	737	929
<i>Grampus griseus</i>			135	317	721	1222	177	223
<i>Kogia sima</i>					2	3	21	26
<i>Kogia sp.</i>			1	2	1	1	2	2
<i>Megaptera novaeangliae</i>	4	22					82	103
<i>Mesoplodon peruvianus</i>					1	1		
<i>Mesoplodon sp.</i>					2	3	1	1
<i>Orcinus orca</i>	15	85			2	3	12	15
<i>Physeter macrocephalus</i>	7	40	128	301	118	200	21	26
<i>Pseudorca crassidens</i>	58	331			65	110	25	31
Zífido							4	5
<i>Ziphius cavirostris</i>	1	5						

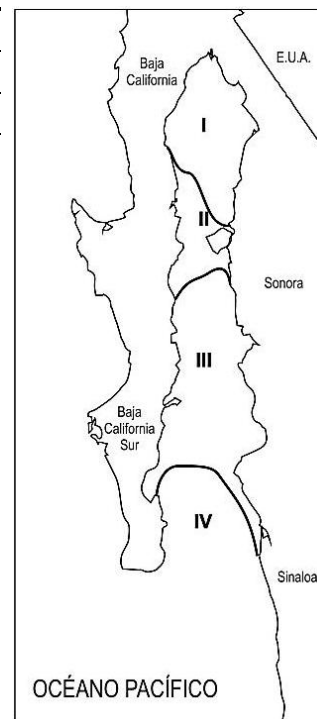


Tabla VI. Índices ecológicos estimados a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la TEMPORADA CÁLIDA (junio-noviembre), en los recorridos aéreos y navegaciones en el Golfo de California. La información está agrupada de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004).

Zona	Individuos (estimado)	S (estimado)	IC 95% inf	IC 95% sup	ds	H'	ds	IC 95% inf	IC 95% sup
I	1152.50	10.50	8.33	12.67	1.11	1.21	0.21	0.80	1.62
II	2305.00	14.50	12.59	16.41	0.97	1.54	0.24	1.07	2.01
III	3457.50	16.25	14.67	17.83	0.81	1.70	0.17	1.37	2.03
IV	4610.00	17.00	15.55	18.45	0.74	1.76	0.00	1.76	1.76

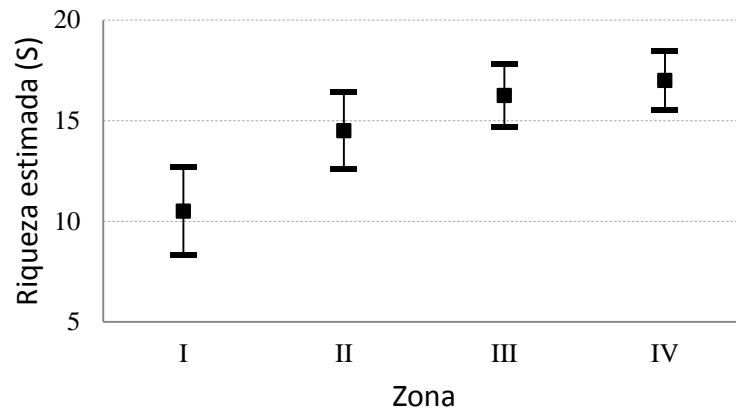


Figura 22. Comparación de la Riqueza estimada a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la temporada cálida (junio-noviembre).

Tabla VII. Estimadores de similitud para comparar la riqueza entre zonas, para la TEMPORADA CÁLIDA en el Golfo de California, de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004). Ch-Jc=Chao-Jaccard, Ch-Sor=Chao-Sørensen, M-H= Morisita- Horn, B-C= Bray-Curtis, ds= desviación estándar.

Zona	Zona	Ch-Jc	ds	Ch-Sor	ds	M-H	B-C
I	II	0.330	0.229	0.496	0.253	0.212	0.216
I	III	0.201	0.293	0.335	0.298	0.087	0.144
I	IV	0.137	0.235	0.241	0.256	0.039	0.100
II	III	0.871	0.268	0.931	0.237	0.779	0.449
II	IV	0.194	0.259	0.325	0.279	0.180	0.252
III	IV	0.925	0.151	0.961	0.103	0.306	0.260

La comparación del índice de Shannon-Wiener entre zonas para la temporada cálida, a diferencia de lo encontrado para la zona fría, sólo se observaron diferencias significativas entre las zonas I con la IV (Figura23), a diferencia de lo encontrado durante la temporada fría.

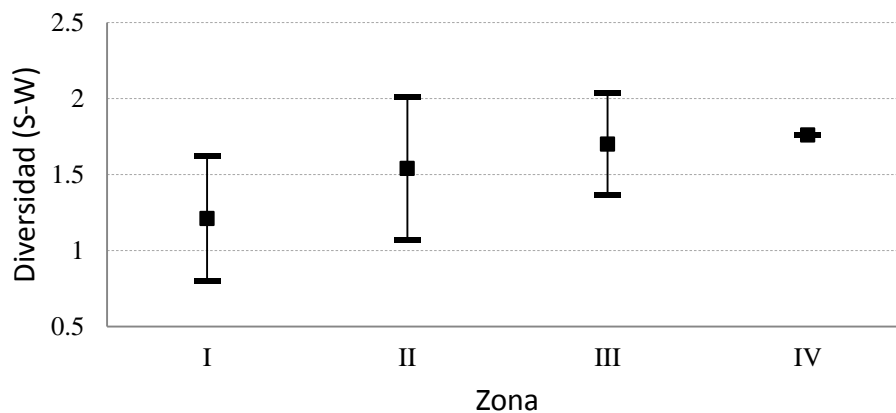


Figura 23. Comparación de la diversidad (Shannon-Wiener) estimada a partir de las especies de ballenas registradas en los avistamientos obtenidos en la temporada cálida (junio-noviembre).

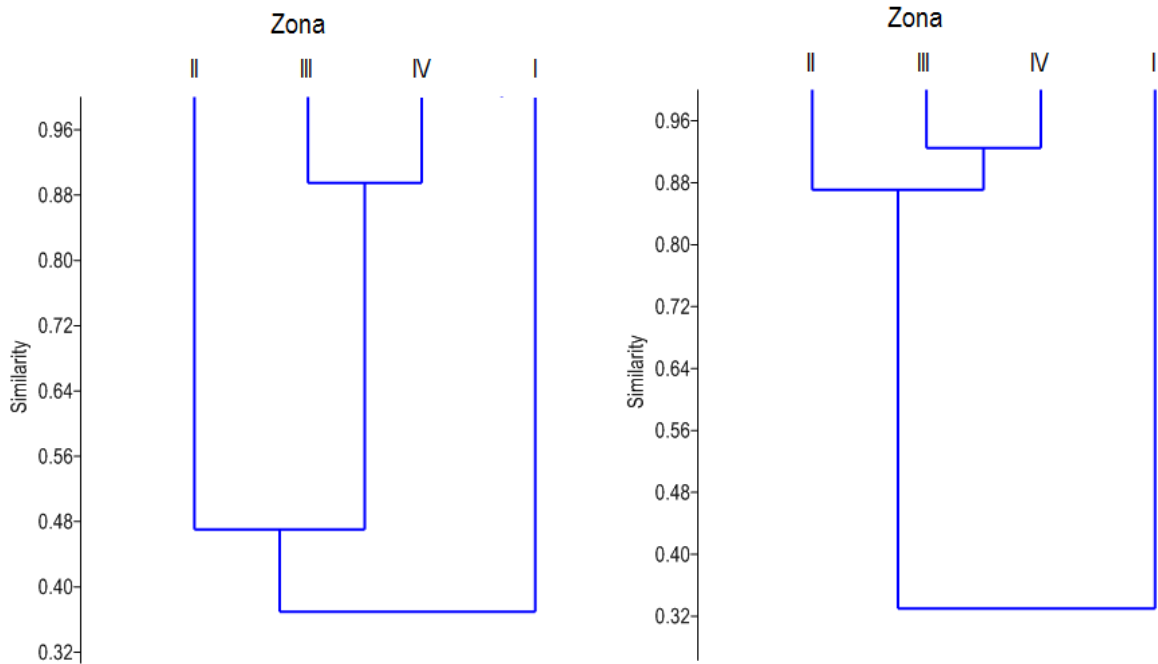


Figura 24. Comparación de la similitud entre zonas en la TEMPORADA FRÍA (izquierda) y la TEMPORADA CÁLIDA (derecha) a partir del estimador de Jaccard modificado por Chao et al. (2005).

Al realizar la comparación entre temporadas para cada zona usando el método propuesto por Chao, presentaron la similitud más alta en la zona IV y el más bajo en la zona III, mientras que el M-H y el B-C tuvieron los valores más altos en la zona I y el más bajo en la zona II (Tabla VIII).

Tabla VIII. Estimadores de similitud para comparar la riqueza entre las temporadas FRÍA Y CÁLIDA (2004-2006) en el Golfo de California, de acuerdo con las zonas propuestas por Lluch-Cota (2004). Ch-Jc=Chao-Jaccard, Ch-Sor=Chao-Sørensen, M-H= Morisita- Horn, B-C= Bray-Curtis.

Zona	Ch-Jc	Ch-Sor	M-H	B-C
I	0.329	0.495	0.484	0.410
II	0.270	0.426	0.025	0.043
III	0.163	0.280	0.053	0.122
IV	0.888	0.941	0.462	0.111

Caracterización Ambiental

Temperatura Superficial y Productividad Primaria Neta

Se gestionaron, obtuvieron y procesaron un total de 250 imágenes de la tsm, ppn y una de la batimetría. Además se alinearon a la cuadrícula (22.2 km) resultado de la estratificación del GC, con la finalidad de realizar el análisis espacial. Con esta información se obtuvieron las capas ambientales para los análisis subsecuentes. En la Figura 25 se muestra un ejemplo de la alineación de valores de la producción primaria neta.

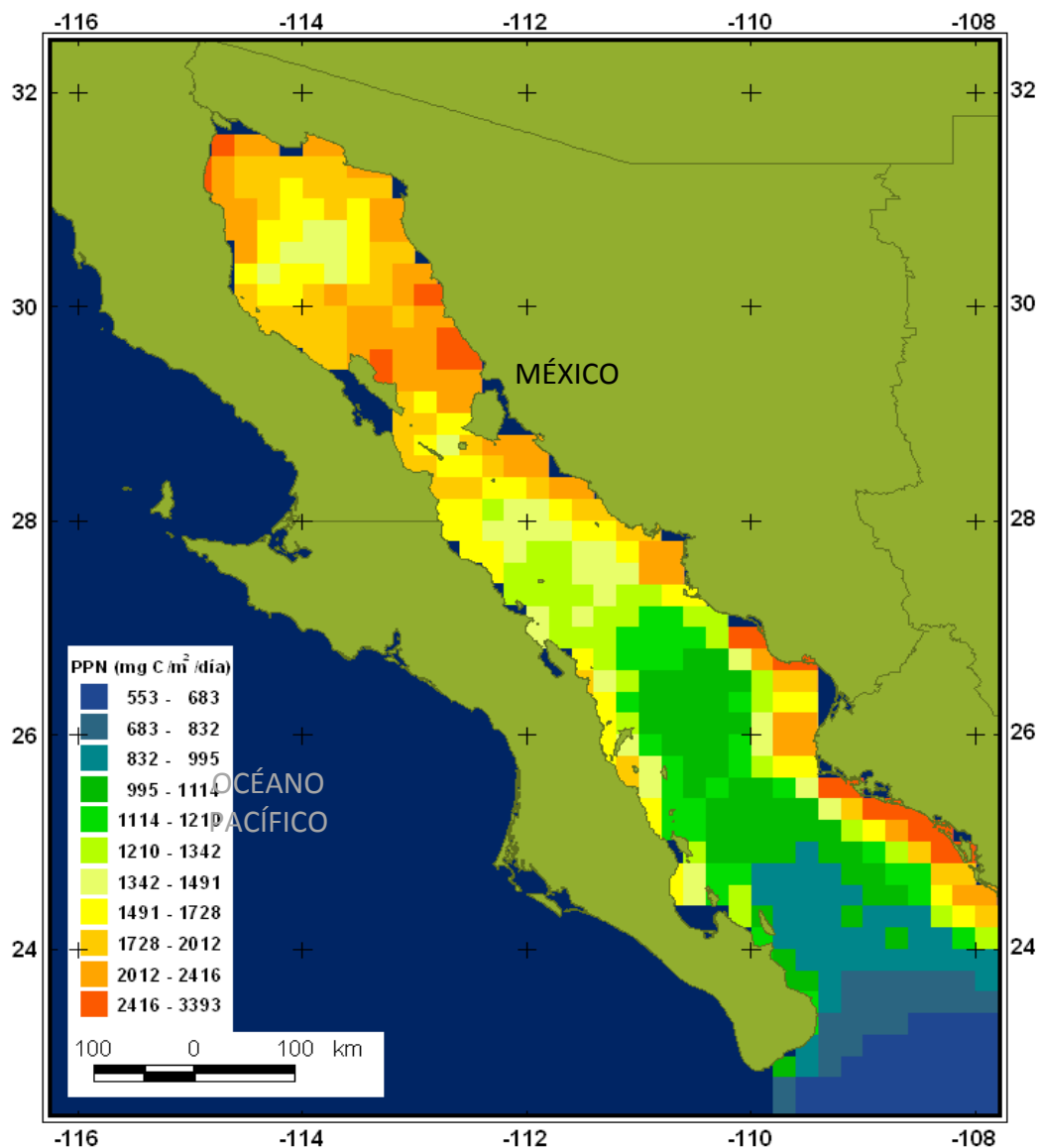


Figura 25. Ejemplo de alineación del promedio de la producción primaria neta (ppn) a la cuadrícula de estratificación del GC, durante la temporada cálida (junio-noviembre) para el periodo 2004-2006.

Profundidad

Se cuenta con la batimetría GC con una resolución de 0.0334 min (3.72 km) tal como se muestra en la Figura 26.

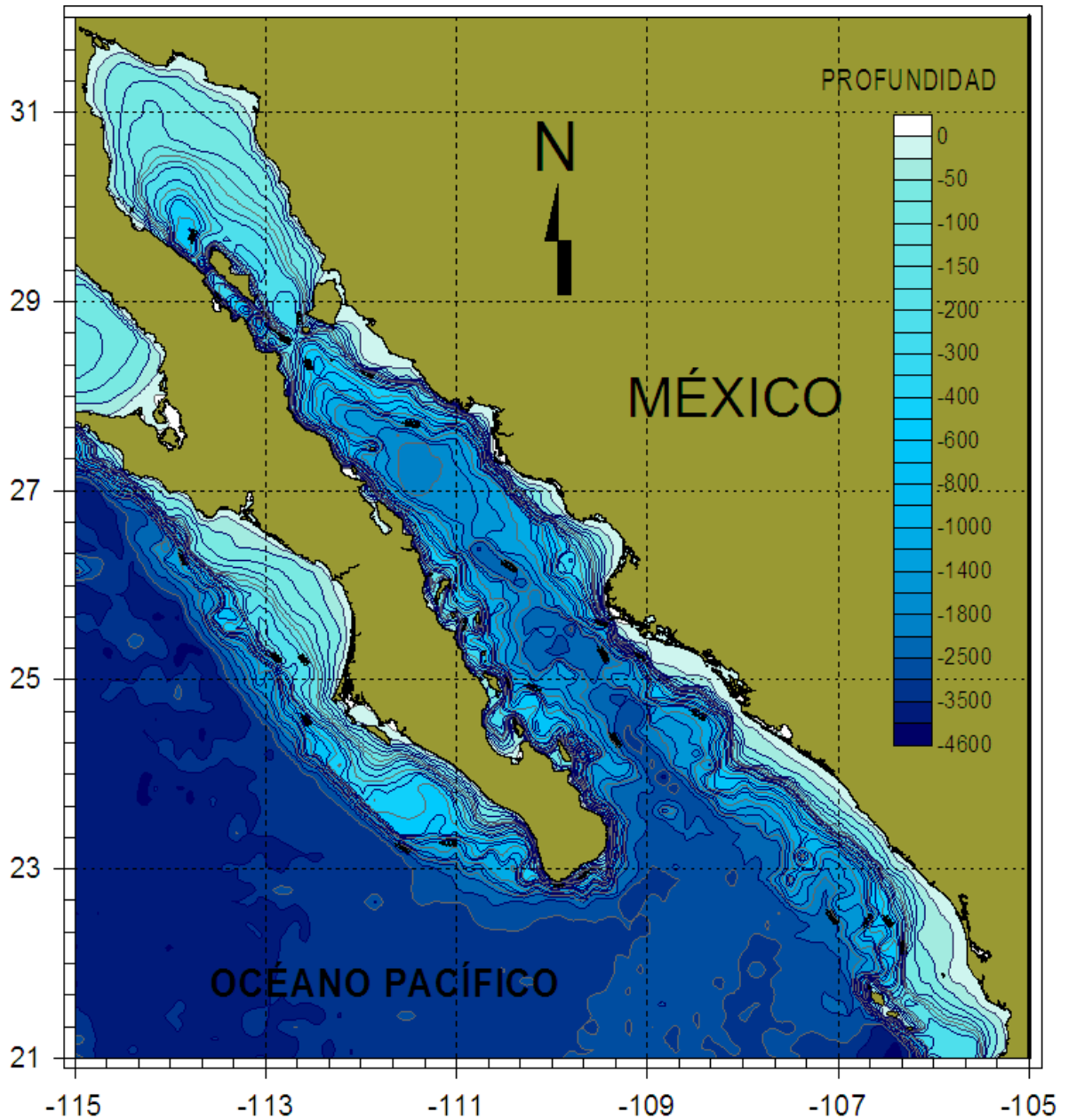


Figura 26. Batimetría del GC (resolución de 3.72 km del National Geophysical Data Center de la NOAA).

Identificación de Estructuras Oceanográficas de Mesoescala.

Como se mencionó, la identificación de las EM se realizó a partir del análisis de imágenes de clorofila-*a* del alta resolución (1 km). El resultado de la identificación de las EM se resume en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.2**, donde se muestran las estructuras identificadas para cada mes de los años de estudio (2004 a 2005) y se muestra en las Figura 27 a 29.

*Cuadro II. Número y tipo de estructuras de mesoescala observadas en el GC mediante imágenes de concentración de clorofila-*a* durante 2004-2006. RC=remolino ciclónico; RA=remolino anticiclónico; Su=surgencia; Fi=filamento de clorofila.*

Mes	2004				2005				2006			
	RC	RA	Su	Fi	RC	RA	Su	Fi	RC	RA	Su	Fi
enero	0	3	5	0	0	1	3	0	1	2	3	1
febrero	2	2	6	3	1	1	2	0	1	3	3	2
marzo	0	5	6	2	0	3	3	0	0	5	3	2
abril	2	4	5	0	1	1	5	3	3	3	4	1
mayo	2	2	5	2	0	1	2	0	0	1	4	0
junio	3	3	6	3	1	0	1	0	2	1	2	1
julio	1	1	2	0	1	0	1	0	2	0	3	0
agosto	1	1	4	0	1	0	1	0	1	0	3	0
septiembre	1	1	4	0	1	0	1	0	1	0	3	0
octubre	1	0	4	0	0	1	4	2	0	0	2	0
noviembre	1	3	3	0	3	1	3	1	2	0	3	0
diciembre	0	2	2	0	1	1	2	0	0	1	2	0
Total	14	27	52	10	10	10	28	6	13	16	35	7

2004

Para el año de 2004, se identificó la presencia de 14 remolinos ciclónicos (RC) y 27 anticiclónicos (RA), 52 surgencias y 10 filamentos; sin embargo los remolinos son eventos que pueden durar más de un mes, y en algunos casos más, por lo que este número sólo se refiere a su presencia mensual (Figura 23).

Para el mes de enero se observaron altas concentraciones de clorofila-*a* (cla-*a*) en el extremo norte del golfo, abarcando las costas de Baja California y Sonora, situación que permaneció a lo largo del año; se observaron sistemas de surgencias al sur de Isla Tiburón que se sostuvieron hasta el verano, las cuales también se observaron en la frontera de la costa continental de Sonora y en el norte de Sinaloa, además de concentraciones importantes de cla-*a* en la Bahía de La Paz y Canal de San José que indican surgencias. En el Alto Golfo inició la formación de un RA que duró hasta marzo y un RA en la parte sur del golfo cerca de la boca sólo en este mes. En febrero aumentó considerablemente la concentración de cla-*a* en la parte media del golfo, como consecuencia de la presencia de surgencias del lado continental (propias de esta época del año), así como de dos RC, provocando el transporte de pigmentos desde la costa continental hacia la peninsular, formando filamentos principalmente en la región sur del golfo. Para marzo hubo un incremento importante de la cla-*a* en el Alto Golfo, provocado por la presencia de surgencias y de dos RA, los RC de la porción media se debilitaron en las costas continentales, pero prevaleciendo aún en la primera mitad de este mes, iniciando un sistema de RA que se fortaleció y al mismo tiempo se observó la baja de los sistemas de surgencias costeras. La condición anterior se sostuvo desde abril a junio, lo que limitó las altas concentraciones de cla-*a* a la zona de las Grandes Islas y del Alto Golfo, aunque se observaron, principalmente en abril, algunos remolinos locales aunado a sistemas de surgencias muy localizados en ambas costas. En estos meses aparentemente inició la intrusión de aguas del Pacífico (Corriente Mexicana), que se caracterizan por ser oligotróficas y de baja salinidad, influenciando principalmente la boca del golfo, ya reportadas por Badan-Dangon (1998) y Shirasago et al. (2006). El verano y parte del otoño (julio, agosto, septiembre e inicios de octubre) estuvo caracterizado por la gran intrusión de esta masa de agua oligotrófica del Pacífico, lo que provocó un descenso drástico de la concentración de cla-*a* hasta prácticamente la zona de las Grandes Islas, que fue el único lugar donde se observaron altas concentraciones, con algunos RC en la porción media en julio y en el Alto Golfo, que después fueron sustituidos por RA con la consecuente baja en cla-*a*. En la segunda quincena de octubre, la influencia de esta masa de agua tropical del Pacífico disminuyó, provocando el restablecimiento de los RA primero en el Alto Golfo, y posteriormente en la región media también, lo que tuvo como consecuencia el aumento de los niveles de cla-*a*. En estos meses fue notable el incremento de los sistemas de surgencias en el Alto Golfo, en la zona de las Grandes Islas y su reaparición en la costa continental en noviembre y diciembre.

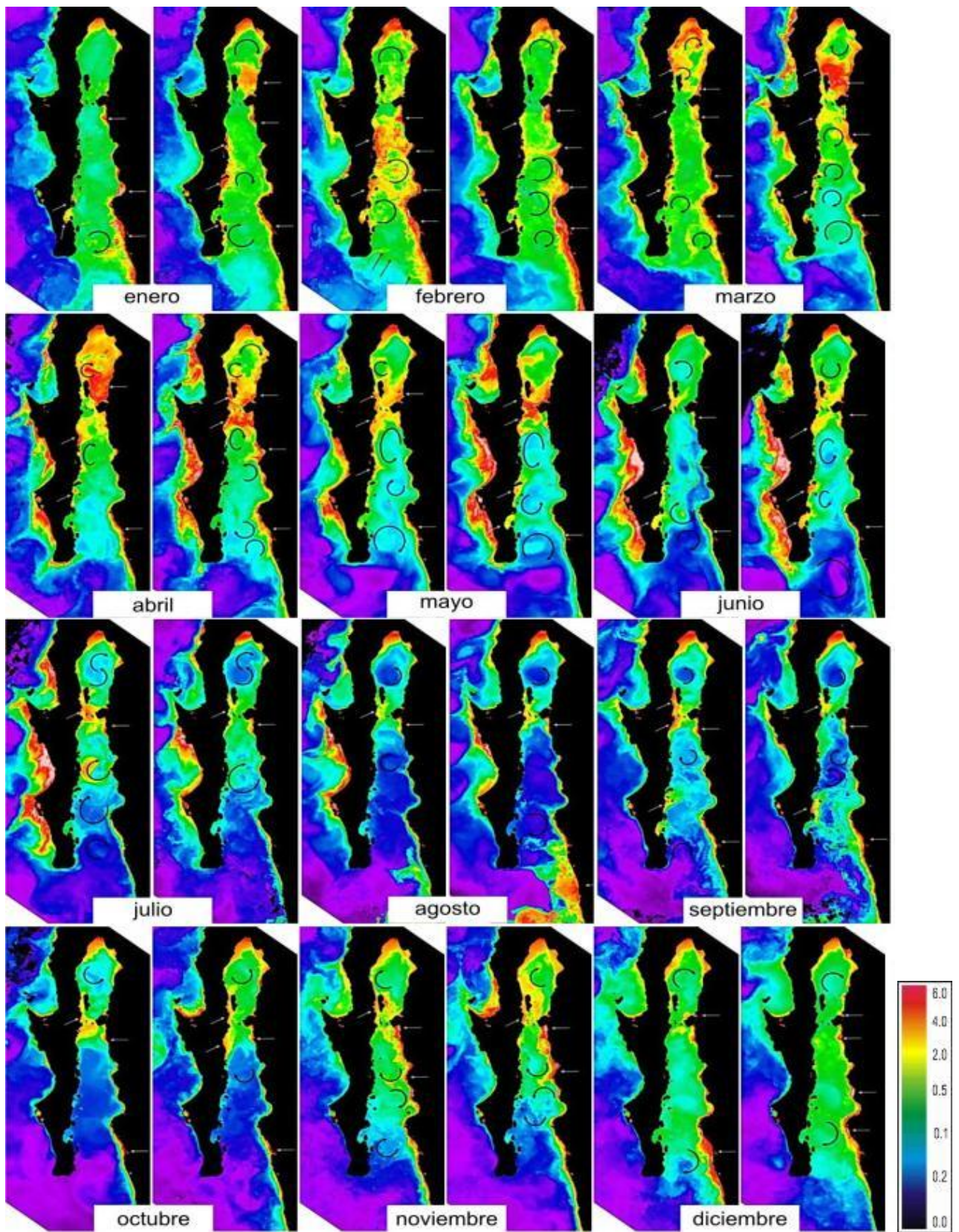


Figura 27. Figuras quincenales de la concentración de clorofila-a en 2004, para la identificación de estructuras oceanográficas de mesoescala en el Golfo de California. A la derecha se muestra la escala (mg/m³). Las flechas negras curvas indican los remolinos, las flechas blancas las surgencias y las flechas oscuras rectas los filamentos de clorofila.

2005

En el 2005 se identificó la presencia de diez RC y diez RA, 28 surgencias y seis filamentos (Figura 28).

De la misma forma que en 2004, el Alto Golfo se caracterizó por presentar altas concentraciones de *cla-a* lo largo del año en la parte más norteña, mientras que en el centro de esta región, exceptuando marzo, abril, mayo y diciembre, las concentraciones de *cla-a* fueron generalmente bajas. En enero estas concentraciones altas de *cla-a* se presentaron al noroeste de la Isla Ángel de la Guarda, pero en general se observó una circulación poco definida en este mes, en el que sólo se pudo identificar un RC en la parte sur y altas concentraciones de *cla-a* en la costa sonorenses cercana a Isla Tiburón y alrededor de la Isla Ángel de la Guarda en Loreto B.C.S. Para febrero observamos una situación similar, pero con el inicio de un RA en la parte norte y el respectivo aumento de la concentración de *cla-a*, situación que también ocurrió en la parte media a partir de la formación de un RC, aunado al incremento de la concentración de *cla-a* en ambas costas. Marzo y abril fueron los meses en los que se observó la mayor concentración de *cla-a* durante el 2005, a lo largo de prácticamente toda la costa continental principalmente, y algunos menos importantes en la costa peninsular. Durante marzo se formó un RA en la parte norte del golfo que continuó hasta mayo y siempre se asoció con altos valores de *cla-a*. La parte media del golfo se caracterizó por presentar dos RA en marzo, lo que posiblemente provocó un transporte importante de *cla-a* para el mes de abril desde la costa continental, atravesando el golfo y provocando la formación de largos filamentos en este mes. Ya desde marzo fue evidente el inicio de la influencia de la Corriente Mexicana del Pacífico, la cual tomó más fuerza en mayo y, al igual que 2004, limitó la presencia de concentraciones importantes de *cla-a* durante todo el verano hasta septiembre, disminuyendo de manera importante la concentración de *cla-a* hasta la región de las Grandes Islas. Para octubre a diciembre, la disminución de la influencia de la Corriente Mexicana, provocó el restablecimiento de las altas concentraciones de *cla-a* y la presencia de RC en la porción media y sur del GC, asociados con estos remolinos y transporte importante en forma de filamentos principalmente durante noviembre. En diciembre se

observó un aumento considerable en la concentración *cla-a* en las costas de Sinaloa, La Paz y la región de las Grandes Islas.

2006

Durante 2006 se identificó la presencia de 13 RC y 16 RA, 35 surgencias y siete filamentos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 29).

Al igual que en los dos años anteriores, en 2006 la zona del Alto Golfo se caracterizó por presentar altas concentraciones de *cla-a* a lo largo de todo el año. De enero a abril se presentaron altas concentraciones de *cla-a* en prácticamente todo el golfo disminuyendo éstas en la zona de la boca. Lo anterior provocó la presencia de varias estructuras, como sistemas con altas concentraciones de *cla-a* a lo largo de la costa continental, algunas en la costa peninsular, principalmente en la Bahía de La Paz y Loreto, además de la presencia de un RA persistente de enero a mayo en el Alto Golfo, y tanto RC y RA en el resto del golfo, aunado a la presencia de algunos filamentos. Abril fue nuevamente el mes con la mayor concentración de *cla-a*. En mayo es evidente ya la influencia de la Corriente Mexicana del Pacífico, lo que limitó durante este mes las altas concentraciones de *cla-a* en la parte media y en la boca del golfo, persistiendo sin embargo en la región del Alto Golfo y la zona aledaña a las Grandes Islas. Para junio fue muy evidente ya el cambio en las condiciones, con una disminución muy importante de las concentraciones de *cla-a* en prácticamente todo el golfo, excepto la zona de Las Grandes Islas donde hubo una baja, pero no tan importante, durante estos meses de verano hasta septiembre, el RA del Alto Golfo fue sustituido por un RC pero con baja concentración de *cla-a*. Fue en octubre cuando inicia el restablecimiento de las altas concentraciones de *cla-a*, inicialmente en el Alto Golfo y las Grandes Islas, extendiéndose esta situación de forma paulatina en noviembre y quedando restablecidas casi por completo en diciembre, mes en el que observamos concentraciones importantes de *cla-a* en prácticamente toda la costa continental.

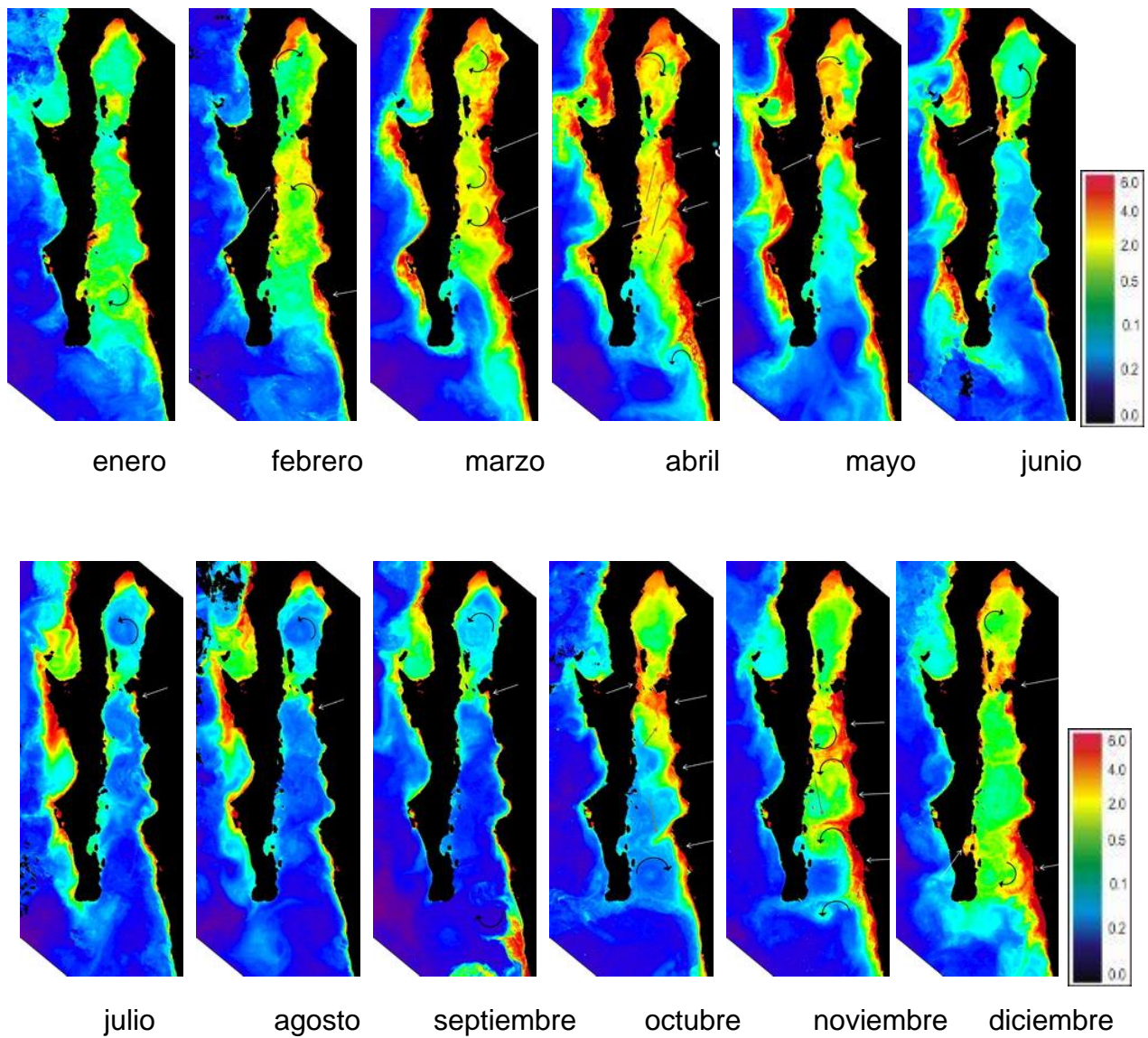


Figura 28. Figuras mensuales de la concentración de clorofila-a en 2005, para la identificación de estructuras oceanográficas de mesoescala en el Golfo de California. A la derecha se muestra la escala (mg/m³). Las flechas negras curvas indican los remolinos, las flechas blancas las surgencias y las flechas oscuras rectas los filamentos de clorofila.

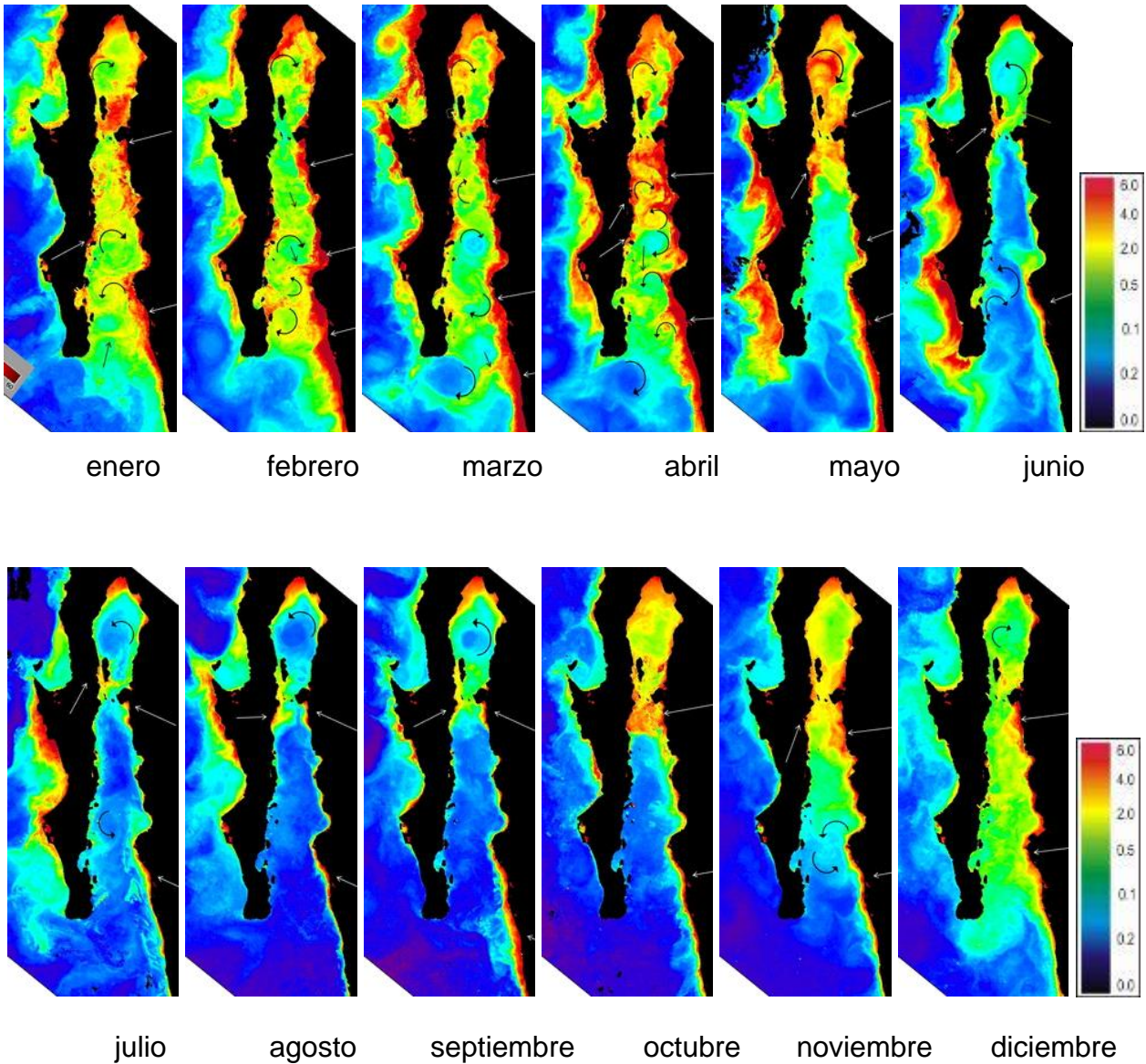


Figura 29. Figuras mensuales de la concentración de clorofila-a en 2006, para la identificación de estructuras oceanográficas de mesoescala en el Golfo de California. A la derecha se muestra la escala (mg/m^3). Las flechas negras curvas indican los remolinos, las flechas blancas las surgencias y las flechas oscuras rectas los filamentos de clorofila.

Estimación de la distribución de las especies mediante Modelos Aditivos Generalizados

Como se mencionó en el método, el análisis mediante GAM para la obtención de modelos y mapas con niveles de probabilidades de presencia (predicción), se realizó de dos maneras: la primera fue realizar el análisis incluyendo como variables predictoras a la estación y año en la base de datos; y la segunda fue realizar bases de datos por *temporada* (fría y cálida) sin discriminar entre 2005 y 2006. De tal manera, para cada una de las bases de datos, se obtuvieron el modelado y predicción de la categoría de grandes ballenas, de misticetos y de odontocetos. A continuación se describen los resultados obtenidos.

Grandes ballenas.

Los modelos que arrojó el GAM para los datos de presencia/ausencia de los diferentes análisis de la categoría de grandes ballenas, se muestran en la Tabla IX. Los tres modelos arrojados para los diferentes análisis, mostraron que la profundidad (3 *g.l.*), fue una variable que se presentó en tres los modelos para la predicción de grandes ballenas, siendo la única en invierno. Para el análisis con variables categóricas y de temporada cálida, la variable temperatura también fue muy importante. En el análisis de las variables categóricas, las variables estación y año fueron incluidas en el modelo (Tabla IX). Los GAM con variables categóricas y cálida, presentaron el valor de C más alto (0.70) para las grandes ballenas.

Tabla IX. Modelos del GAM obtenidos del análisis de las bases de datos de grandes ballenas. Se incluyen los valores de AIC y C arrojados por el GAM.

Bases de datos (análisis)	Modelo del GAM	AIC	C
Con variables categóricas	Temperatura (3 <i>g.l.</i>) + profundidad (3 <i>g.l.</i>) + estación + año	1,329.25	0.70
Fría	Profundidad (3 <i>g.l.</i>)	785.75	0.62
Cálida	Temperatura + profundidad (3 <i>g.l.</i>)	545.99	0.70

Las estimaciones derivadas del GAM para la predicción de hábitat de grandes ballenas en el GC realizado a partir de recorridos aéreos, se observan en la Figura 26. En las variables numéricas, la línea continua indica la predicción del modelo y las líneas punteadas

la varianza. En las categóricas, las líneas horizontales indican la distribución univariada y las líneas punteadas la varianza. Las rayas sobre el eje de las X indican la distribución de observaciones (con y sin avistamientos de grandes ballenas, misticetos, u odontocetos). Respecto a las variables con un intervalo de confianza al 95%, se observa que en el análisis del GAM con variables categóricas para grandes ballenas, la varianza mejor explicada para la variable temperatura osciló entre los 17° y 18°C, donde se presentó el mejor ajuste del modelo predictivo. La variable profundidad se observó desde aguas someras hasta profundidades de 1,000 m aproximadamente, a partir de los cuales, a pesar que se empiezan a alcanzar valores de predicción mayores a cero después de los 2,500, hubo un aumento notable en la varianza. El análisis con variables categóricas mostró que la variable temporada fue fría y que la variable año fue 2006. En la misma figura, se observa que en el GAM para fría, la única variable que constituyó el modelo fue la profundidad (3 *g.l.*), con menor varianza en el intervalo de los 200-800 m aproximadamente, sugiriendo que la temperatura en la temporada fría no fue importante para determinar la distribución de grandes ballenas. Para el GAM de cálida, las variables que constituyeron el modelo fueron la temperatura y la profundidad (3 *g.l.*) (Figura 30).

En la Figura 31. Superior: Valores de predicción para el GAM realizado con los registros de grandes ballenas obtenidos durante los recorridos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006. Las variables predictivas para este análisis fueron: tsm excepto invierno 31 se muestran los valores de predicción de hábitat de grandes ballenas en el GC derivados del GAM correspondiente. Los tres mapas de predicción coinciden en que en el área del Alto Golfo, el norte del golfo y el área de las Grandes Islas, fue donde se alcanzaron los valores más altos de predicción de hábitat (> a 0.18 ind/cuadrante). Además, para el mapa de predicción con variables categóricas, también se observaron valores altos en la porción media del GC (a la altura del paralelo 28 aprox.). Para la predicción de fría y cálida, hubo un incremento de sur a norte en los valores de predicción de hábitat. En general, los tres mapas de predicción mostraron que en otras áreas como Bahía de La Paz, los alrededores de Isla Cerralvo, Isla San José y el área de Loreto, se obtuvieron valores de predicción relativamente altos.

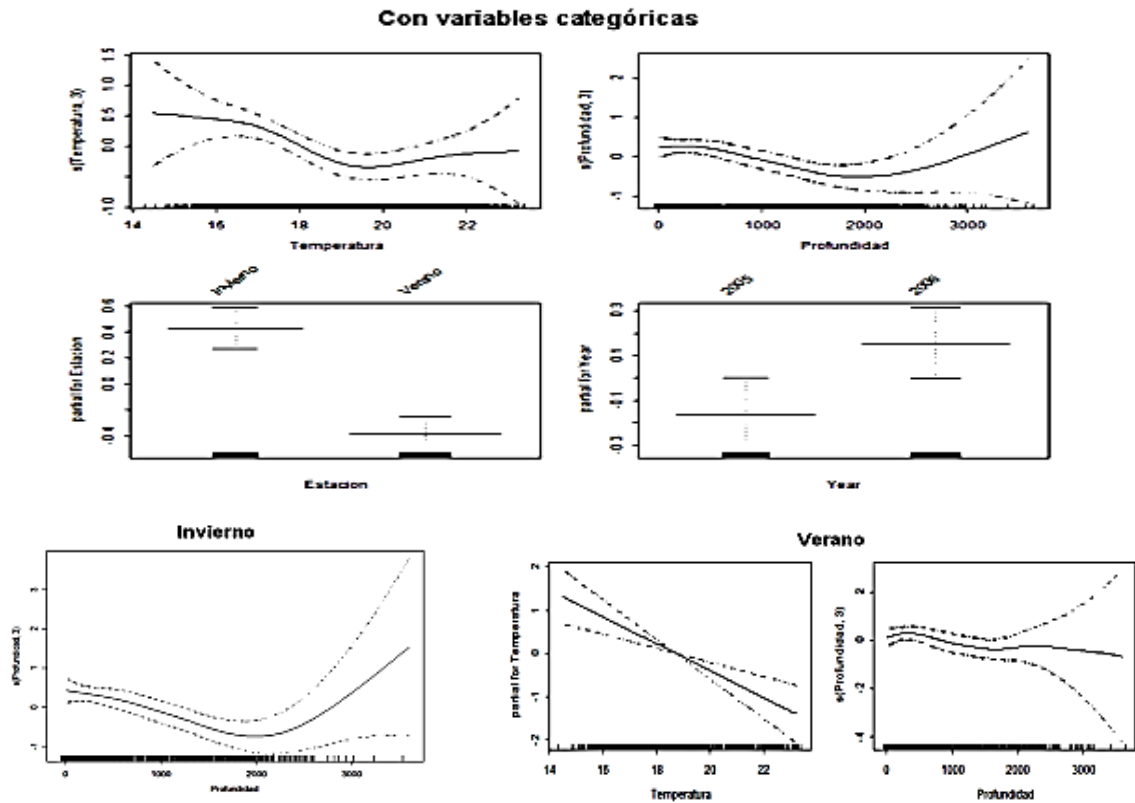


Figura 30. Estimaciones del GAM para la predicción de hábitat de grandes *ballenas* en el GC, realizado a partir de recorridos aéreos. En las variables numéricas la línea continua indica la predicción del modelo y las líneas punteadas la varianza. En las categóricas, las líneas horizontales indican la distribución univariada y las líneas punteadas la varianza. Las rayas sobre el eje de las X indican la distribución de observaciones. Variables con un intervalo de confianza al 95%.

Misticetos.

Los modelos que arrojó el GAM para los datos de presencia/ausencia de los diferentes análisis de la categoría de misticetos se muestran en la Tabla X.. De igual manera que para los modelos obtenidos para grandes ballenas, estos tres mostraron que la profundidad (3 *g.l.*) fue una variable que se incluyó en los modelos para la predicción de misticetos, siendo en invierno fue la única variable predictora arrojada por el GAM. La variable temperatura solamente fue arrojada en el modelo para verano, pero junto con la variable profundidad, alcanzó el valor más alto de C para misticetos. Para el análisis con variables categóricas, nuevamente estación y año fueron parte del modelo predictivo (Tabla X). La similitud de los modelos obtenidos con el de grandes ballenas, puede ser debido al alto número de avistamientos registrados de misticetos, ya que este grupo fue encontrado con mayor frecuencia que los odontocetos.

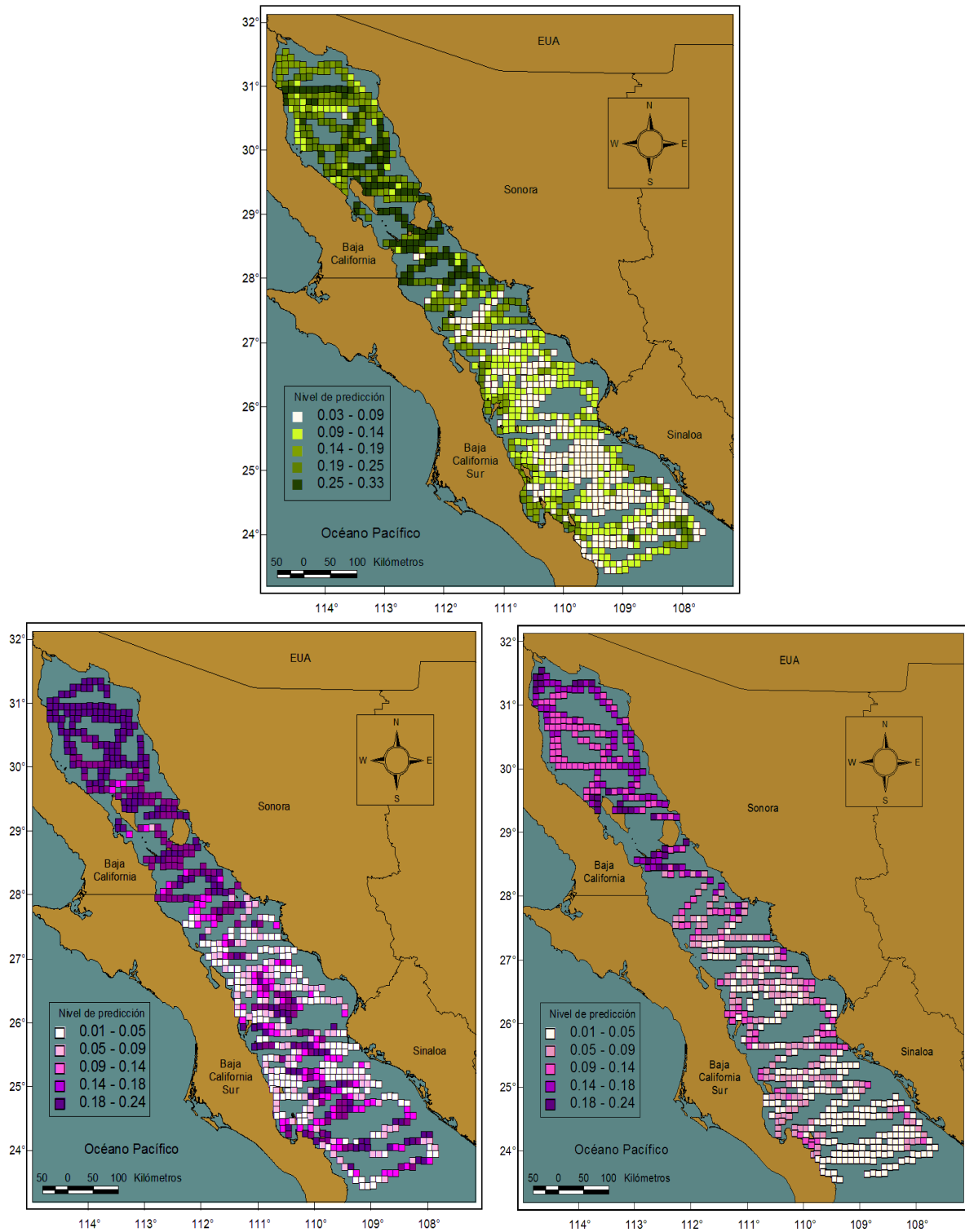


Figura 31. Superior: Valores de predicción para el GAM realizado con los registros de grandes ballenas obtenidos durante los recorridos realizados en los inviernos y veranos de 2005 y 2006. Las variables predictivas para este análisis fueron: tsm excepto invierno y profundidad. Inferior: Valores de “predicción” para el GAM realizado durante la temporada fría (izquierda) y cálida (derecha). Las variables predictivas para la temporada fría fue la profundidad y para la cálida la tsm y la profundidad.

Tabla X. Modelos del GAM obtenidos del análisis de las bases de datos de misticetos. Se incluyen los valores de AIC y C arrojados por el GAM.

Bases de datos (análisis)	Modelo del GAM	AIC	C
Con variables categóricas	Profundidad (3 g.l.) + estación + año	1040.034	0.75
Fría	Profundidad (3 g.l.)	705.2064	0.65
Cálida	Temperatura (3 g.l.) + profundidad (3 g.l.)	335.5352	0.79

En la Figura 32 se observa que en el modelo arrojado por el análisis del GAM con variables categóricas para misticetos, la varianza mejor explicada para la variable profundidad, osciló entre los 200 a 800 m de profundidad aprox., y para las variables categóricas, invierno y 2006 alcanzaron valores de predicción positivos. A pesar que el número de observaciones es mayor en el análisis con variables categóricas, en invierno, la profundidad (3 g.l.) presentó la misma tendencia y el mismo intervalo de profundidad, pero con mejor ajuste de la varianza. Para el GAM de misticetos en verano, las variables que de manera aditiva constituyeron el modelo fueron: temperatura (3 g.l.) y profundidad (3 g.l.). Este modelo fue diferente al modelo arrojado para invierno, que sólo incluyó la profundidad, sugiriendo que para estos resultados, en invierno la temperatura no fue importante para la presencia de los misticetos.

La Figura 33 muestra los valores de predicción de hábitat para misticetos en el GC a partir del análisis del GAM correspondiente. Los tres mapas de predicción coincidieron que el Alto GC, el norte del GC y el área de las grandes islas, fue donde se alcanzaron los valores de predicción de hábitat más altos. En el mapa de predicción con variables categóricas y de invierno, se observa que también se alcanzaron valores altos en la porción media del GC (a la altura del paralelo 28 aprox.), así como en el área de Loreto y Bahía de La Paz. Para la predicción de verano, se observa que, en general, en el sur del GC no hubo valores altos de predicción de hábitat (con la excepción de algunos cuadrantes).

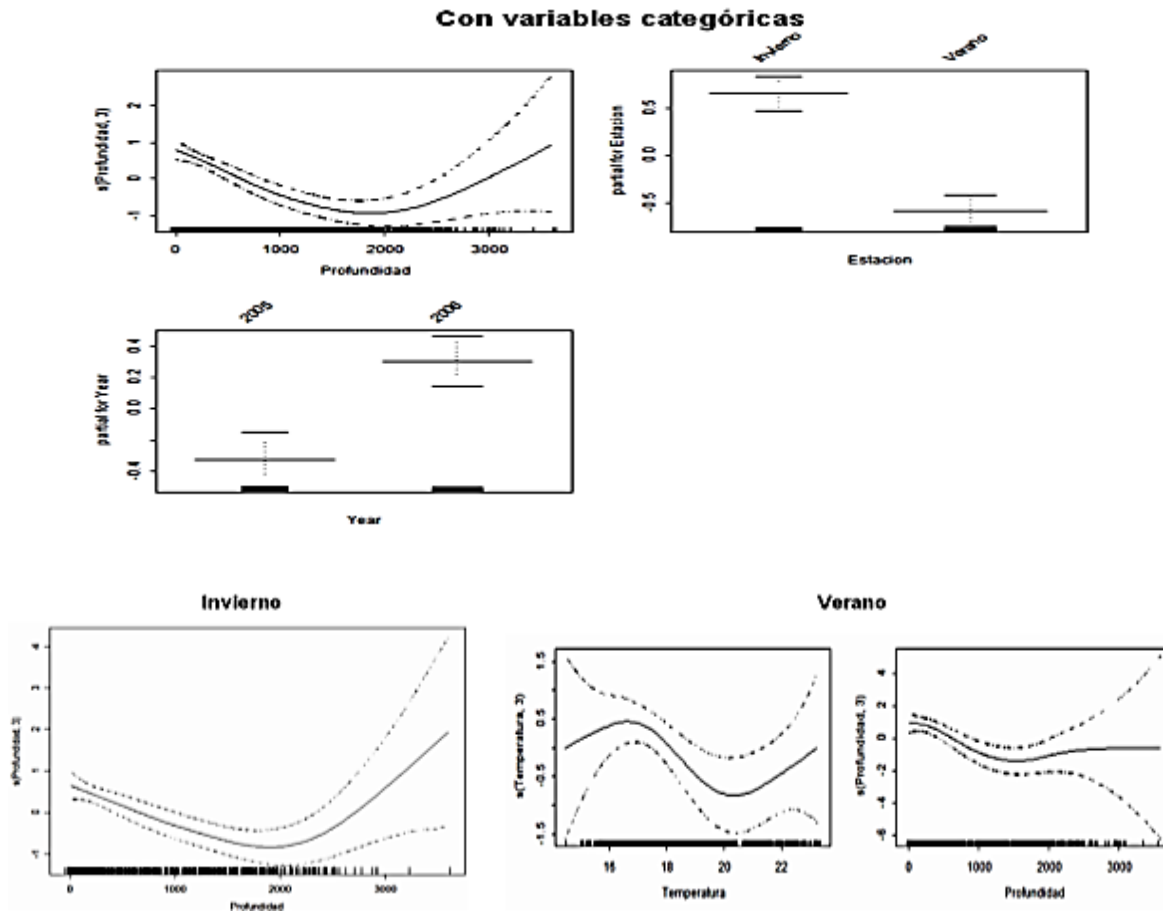


Figura 32. Estimaciones del GAM para la predicción de hábitat de *misticetos* realizado a partir de recorridos aéreos en el GC. En las variables numéricas la línea continua indica la predicción del modelo y las líneas punteadas la varianza. En las categóricas, las líneas horizontales indican la distribución univariada y las líneas punteadas horizontales la varianza. Las rayas sobre el eje de X indican la distribución de observaciones (con y sin avistamientos de misticetos). Las variables con un intervalo de confianza al 95%.

Odontocetos

Los modelos que arrojó el GAM para los datos de presencia/ausencia de los diferentes análisis de la categoría de odontocetos se muestran en la

XI. A diferencia de los modelos obtenidos para grandes ballenas y misticetos, la variable profundidad no constituyó el modelo en los 3 diferentes análisis para la predicción de odontocetos. La variable que si se incluyó en los 3 modelos resultantes fue temperatura, incluso para el análisis de invierno fue la única variable que arrojó el GAM. Otra diferencia es que en el análisis con variables categóricas, por primera vez la variable temporada no fue incluida en el modelo final. En la temporada cálida, además de temperatura, la variable profundidad constituyó el modelo predictivo (Tabla XI).

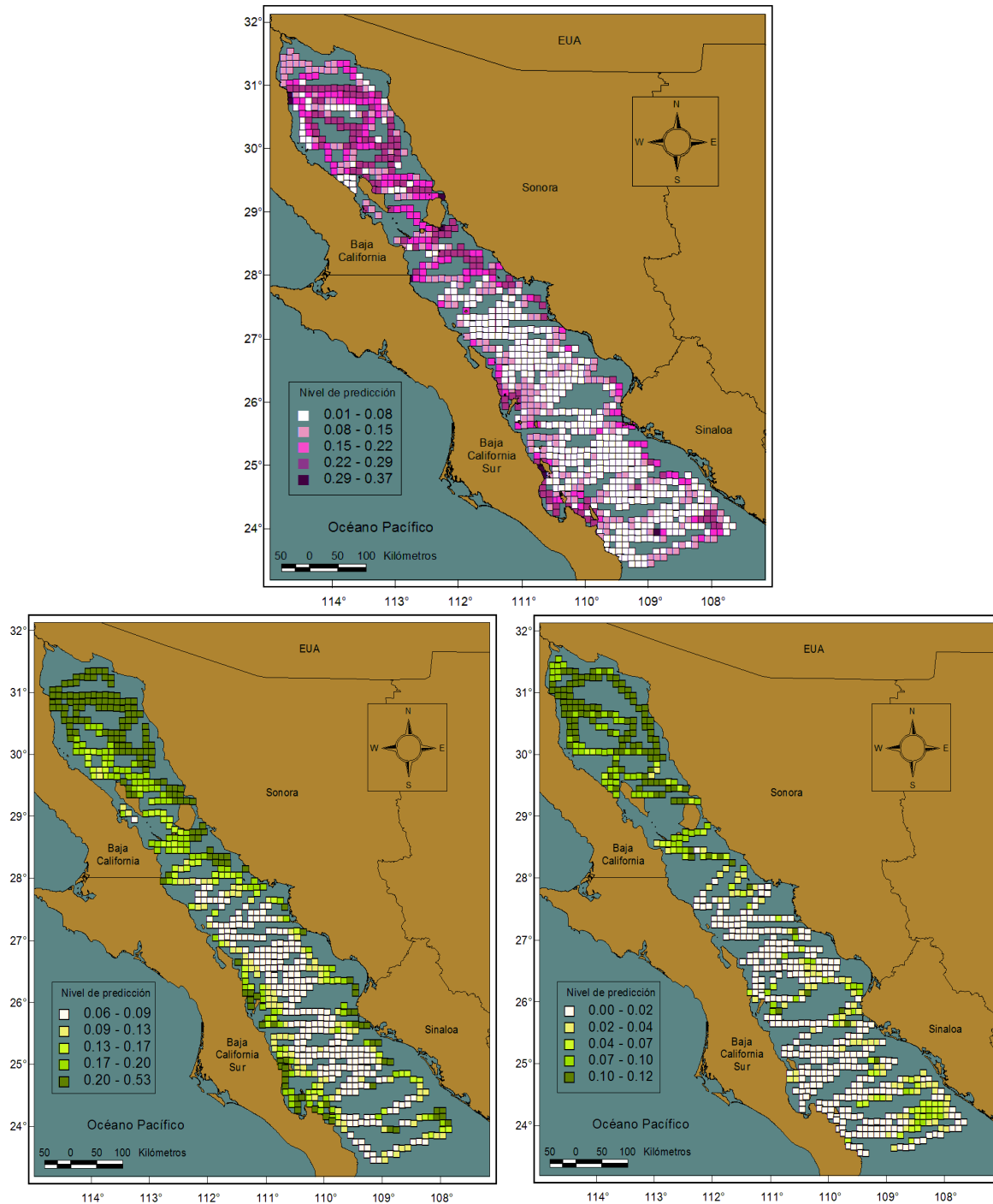


Figura 33. Superior: Valores de predicción para el GAM realizado con los registros de *misticetos* obtenidos durante los recorridos realizados en las temporadas fría y cálidas de 2005 y 2006. Las variables predictivas para este análisis fueron: profundidad y para variables categóricas estación y año. Inferior: Valores de predicción para el GAM realizado durante la temporada fría (izquierda) y cálida (derecha). Las variables predictivas para la temporada fría fue la profundidad y para la cálida la tsm y la profundidad.

Tabla XI. Modelos del GAM obtenidos de los diferentes análisis de las bases de datos de odontocetos. Se incluyen los valores de AIC y C arrojados por el GAM.

Bases de datos (análisis)	Modelo del GAM	AIC	C
Con variables categóricas	Temperatura (2 <i>g.l.</i>) + profundidad (3 <i>g.l.</i>) + año	533.45	0.74
Fría	Temperatura	222.76	0.59
Cálida	Temperatura (2 <i>g.l.</i>) + profundidad (3 <i>g.l.</i>)	322.60	0.73

En el GAM con variables categóricas para odontocetos (Figura 34), la varianza mejor explicada para la variable temperatura (2 *g.l.*), osciló entre los 18-20°C y para la variable profundidad entre los 500-1,500 m; para la variable categórica 2005, alcanzó valores de predicción positivos. En el análisis de la temporada fría la única variable que arrojó el GAM fue la tsm, siendo los 19°C donde la varianza se ajustó mejor. Para la cálida, las variables aditivas que constituyeron el modelo fueron la tsm (3 *g.l.*) y la profundidad (3 *g.l.*). En la variable temperatura, el intervalo fue más amplio que en los análisis anteriores, ya que en verano las temperaturas fueron entre los 17-20°C. En la variable profundidad también fue el intervalo de los 500- 1,500 m donde mejor se ajustaron los datos.

La Figura 35 muestra los valores de predicción de hábitat en el GC para odontocetos arrojados por el GAM. En el mapa con variables categóricas, se encontraron los valores más altos de predicción (> 0.10 ind/cuadrante) en el área de las Grandes Islas y al sur de la porción media y central del GC (al sur del paralelo 28). Desde área de Loreto hacia el sur del GC, se obtuvieron los valores más bajos de predicción. Para el análisis de invierno, las áreas del Alto GC y de las Grandes Islas fue donde ocurrieron los valores más altos, así como en el área al norte del GC y a la altura del paralelo 28, donde se obtuvieron valores de predicción relativamente altos. Los valores más bajos se obtuvieron en el sur del GC. En el mapa de predicción de la temporada cálida, en general se observó que en el sur y el norte del GC, los valores de predicción de hábitat fueron los más bajos (con la excepción de algunos cuadrantes). En el Alto GC, la Grandes Islas, y al sur del paralelo 28, algunos cuadrantes alcanzaron los valores de predicción más altos.

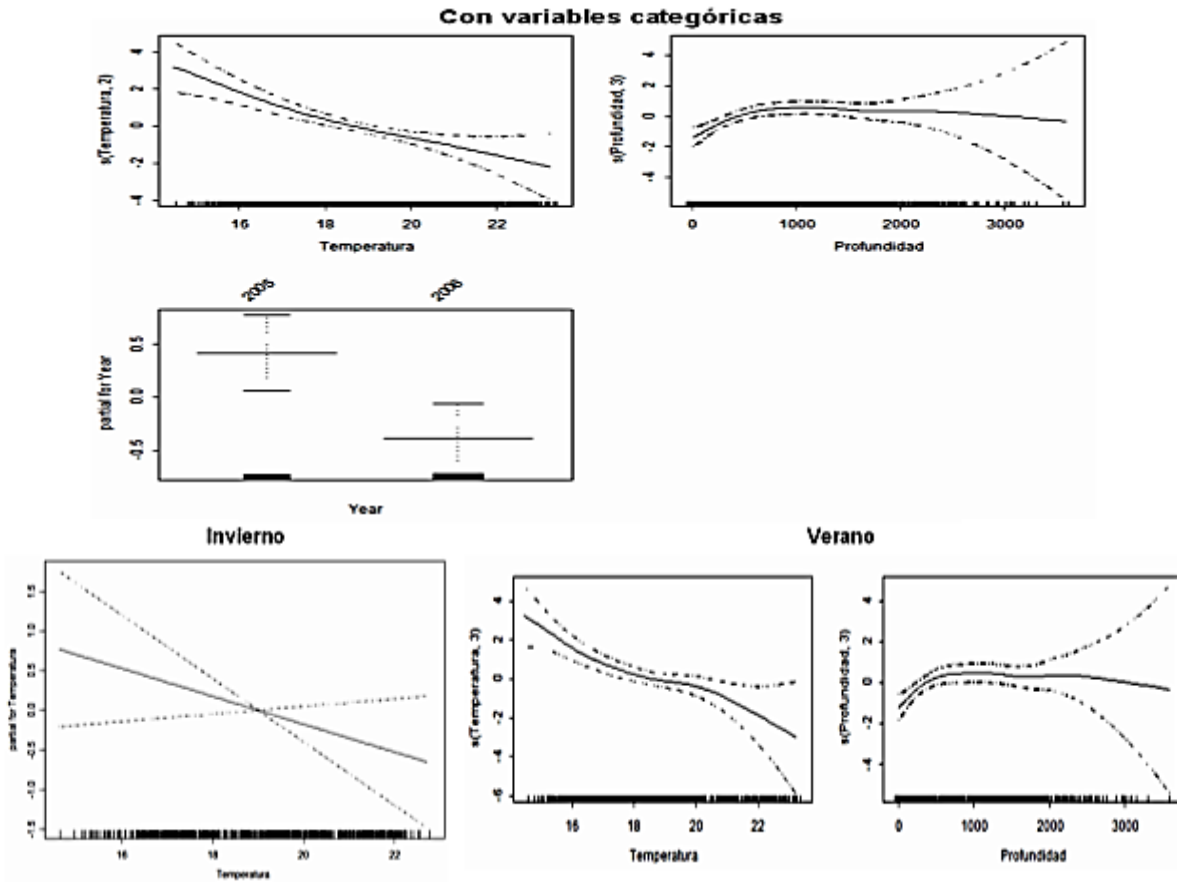


Figura 34. Estimaciones del GAM en el análisis para la predicción de hábitat de odontocetos en el GC. En las variables numéricas la línea continua indica la predicción del modelo y las líneas punteadas la varianza. En las categóricas, las líneas horizontales indican la distribución univariada y las líneas punteadas horizontales la varianza. Las rayas sobre el eje de X indican la distribución de observaciones (con y sin avistamientos de odontocetos). Las variables con un intervalo de confianza al 95%.

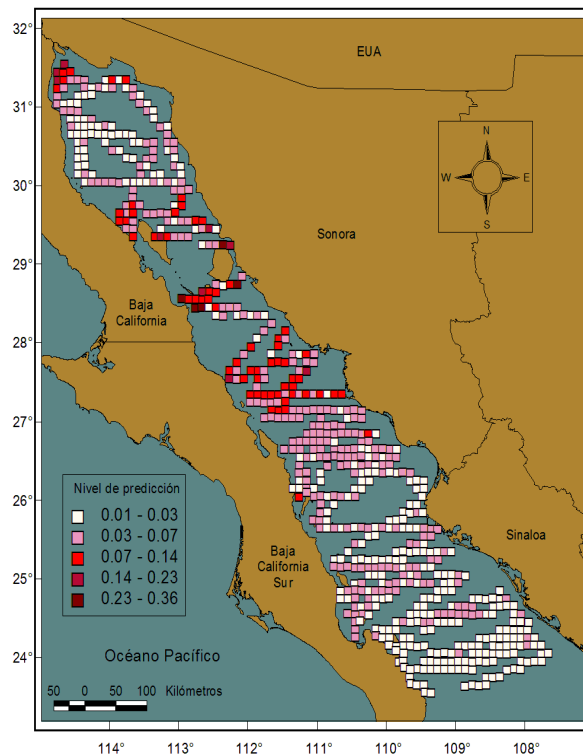
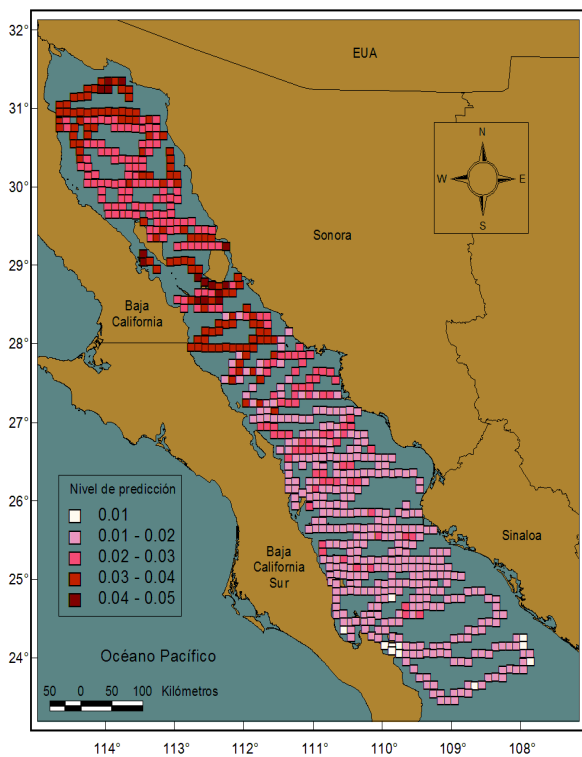
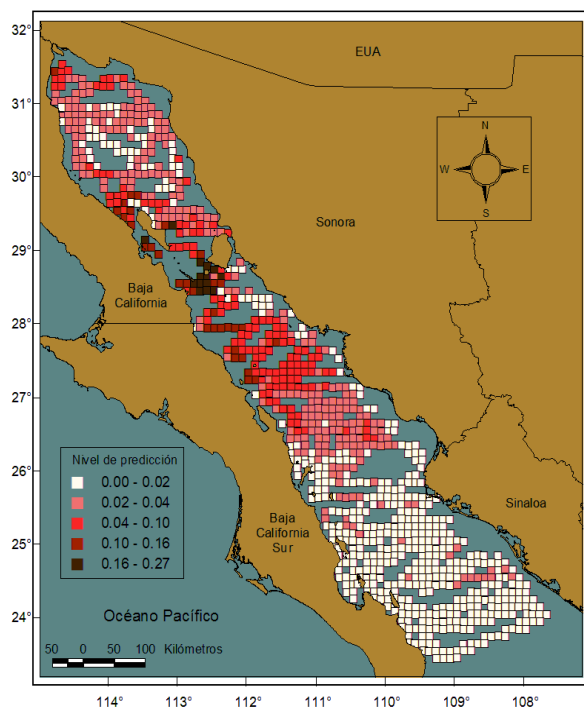


Figura 35. Superior: Valores de predicción para el GAM realizado con los registros de *odontocetos* obtenidos durante los recorridos realizados en las temporadas fría y cálidas de 2005 y 2006. Las variables predictivas para este análisis fueron: *tsm* y profundidad y para variables categóricas año. Inferior: Valores de predicción para el GAM durante la temporada fría (izquierda) y cálida (derecha). Las variables predictivas para la temporada fría fue la profundidad y para la cálida la *tsm* y la profundidad.

Modelado de la Distribución Geográfica de las Especies con base en la Máxima Entropía (Maxent)

Como se mencionó en el método, para el modelado de la distribución de los cetáceos con base la máxima entropía, se utilizó el software “MAXENT”.

Los parámetros oceanográficos y topográficos, fueron organizados de acuerdo con el año, la temporada y la estratificación espacial del GC utilizada y se estimó la relación entre los registros de las especies en los sitios y el medio ambiente y/o las características espaciales de los mismos, para los cetáceos en general (grandes ballenas), los misticetos y los odontocetos, organizados en su distribución en general, durante la temporada cálida y durante la fría.

Grandes ballenas

La predicción estimada al considerar a todas las especies estudiadas para el periodo completo, está representada gráficamente en la Figura 36, donde los valores máximos indican una alta probabilidad de condiciones adecuadas para las especies, los intermedios las condiciones típicas y los menores valores baja probabilidad. Se observa que los valores altos e intermedios se concentran alrededor y al norte de las Grandes Islas y en la costa occidental del golfo, con sólo algunos puntos importantes en la costa oriental, al norte y sur de Sonora.

Al analizar el resultado de la estimación en la Figura 37, observamos que tanto la curva de entrenamiento como la de prueba, se diferencian de la curva negra que representa un distribución al azar, lo que indica que el modelo estimado es mejor que un modelo aleatorio, sin embargo la gráfica nos dice que el desempeño del modelo no fue lo eficiente esperado.

Como resultado de la ganancia en el entrenamiento del modelo, el porcentaje de contribución de las variables al modelo fueron la tsm y la ppn, con más del 60% de la contribución, mientras que las estructuras oceanográficas de meso escala y la profundidad, no tuvieron una aportación relevante (Tabla XII). La prueba de remuestreo jackknife

muestra el resultado del área bajo la curva para cada variable, la que confirma que fue la tsm (principalmente invierno) la que contribuyó en mayor medida al modelo (Figura 38).

Las estimaciones para la temporada cálida siguen un patrón similar al mencionado, pudiendo destacar una mayor probabilidad de presencia en la costa continental (Figura 36). Las curvas de ganancia para el entrenamiento y prueba, comprobaron que el modelo se desempeñó mejor que el azar (Figura 37). Al utilizar sólo los datos ambientales para la temporada cálida en esta estimación, se obtuvo una mayor contribución de las variables, siendo que las primeras cinco variables, contribuyeron más del 88%, donde ya se ve una aportación importante de la profundidad y de algunos procesos de meso escala, como las surgencias y filamentos, tal como se observa en la prueba jackknife (Tabla XII, Figura 38).

La estimación para la temporada fría siguió un patrón similar a los anteriores, pero con una gran concentración de valores medios y altos en el alto golfo (Figura 36). Las curvas de ganancia para entrenamiento y prueba, también mostraron que el modelo fue válido y mejor al compararlo con el generado para la totalidad del periodo (Figura 37). Al igual que la temporada cálida, la estimación de la fría con valores sólo para esta temporada tuvo una mayor contribución de las variables ambientales, con más del 76% en las primeras cinco, y con valores más altos en la ppn y mayor contribución de surgencias y remolinos, como se observa en la Tabla XII y Figura 38.

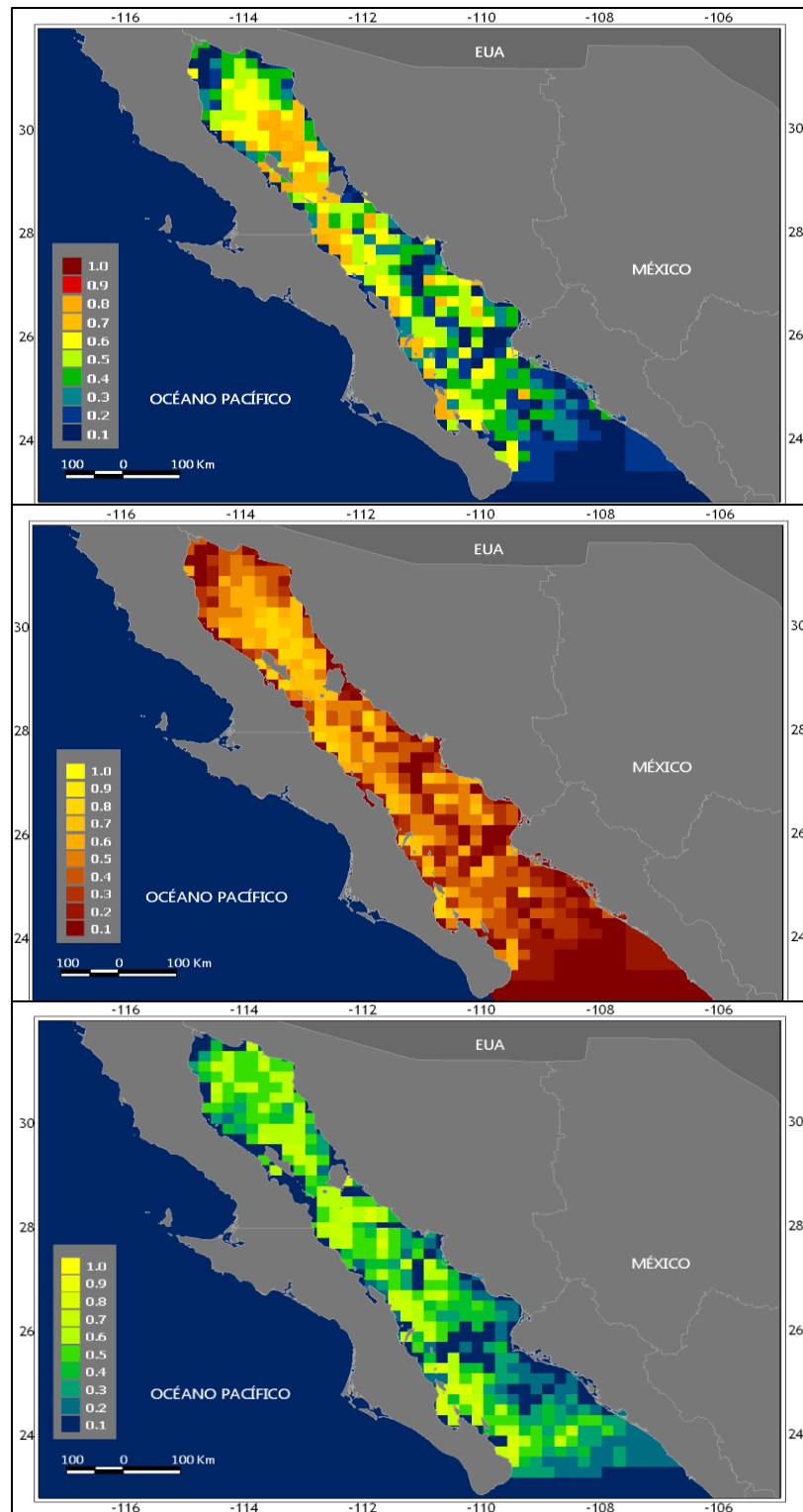


Figura 36. Predicción de la distribución de las GRANDES BALENAS estimada mediante la máxima entropía, considerando el periodo total (superior), la temporada cálida (medio) y la temporada fría (inferior), en el Golfo de California durante el periodo de estudio (2004-06). Para cada figura se indica la propia escala de color (probabilidad).

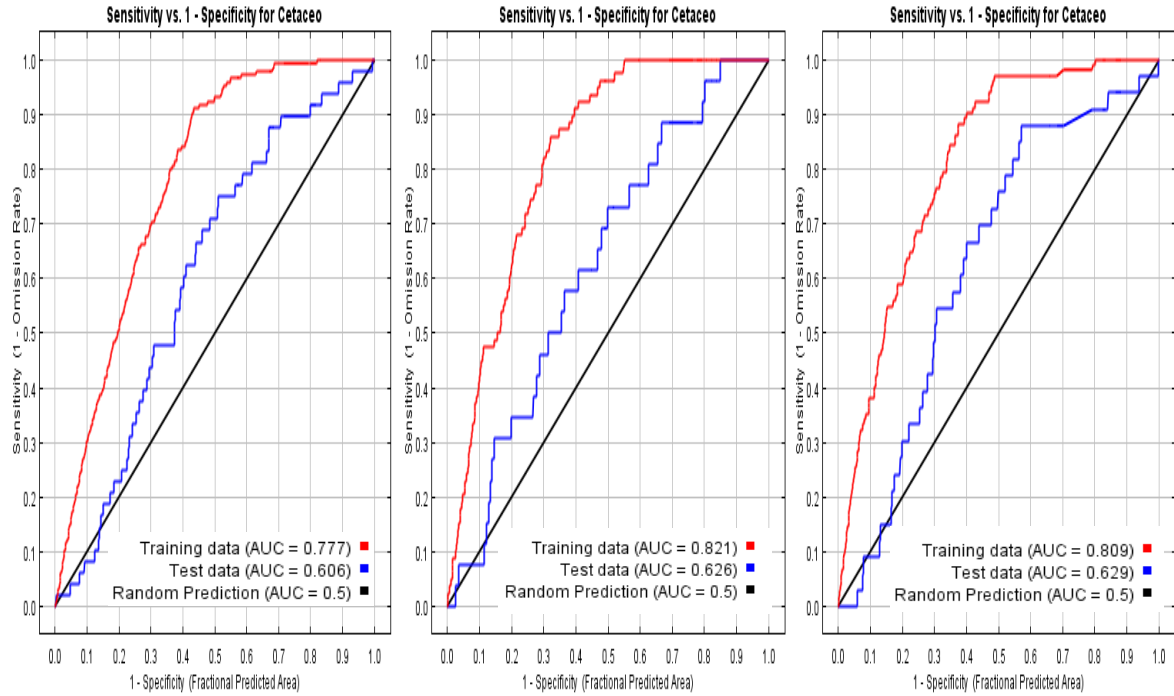


Figura 37. Curva operada por el receptor, tanto para los datos de entrenamiento, como para los de prueba para las grandes ballenas en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). En rojo se señalan los datos de entrenamiento del modelo, en azul los de prueba y la línea negra corresponde a un modelo aleatorio.

Tabla XII. Valor de las diez variables con mayor contribución porcentual al modelo de predicción por máxima entropía, para grandes ballenas en el periodo total, temporada cálida y fría.

Contribución de las variables al modelo					
-total-al	%	Cálida	%	Fría	%
tsm-fria-05	17.3	tsm-total-	28.7	tsm-fria-06	24.3
ppn-calida-04	16.9	surg-total-	26.5	tsm-fria-05	20.9
tsm-fria-06	14.0	ppn-calida-05	16.0	tsm-fria-04	12.7
ppn-calida-05	7.1	profundidad	14.0	ppn-total-	8.3
tsm-fria-04	6.3	giro-total-	3.2	surg-fria-	5.1
surg-calida-	5.5	fila-total-	2.6	giro-total-	4.9
profundidad	5.2	surg-calida-	2.4	giro-fria-	4.5
giro-calida-	3.7	giro-calida-	2.1	profundidad	4.3
surg-fria-	3.7	tsm-calida-05	1.6	ppn-fria-04	3.3
tsm-calida-	3.0	ppn-calida-04	1.2	fila-fria-	2.9

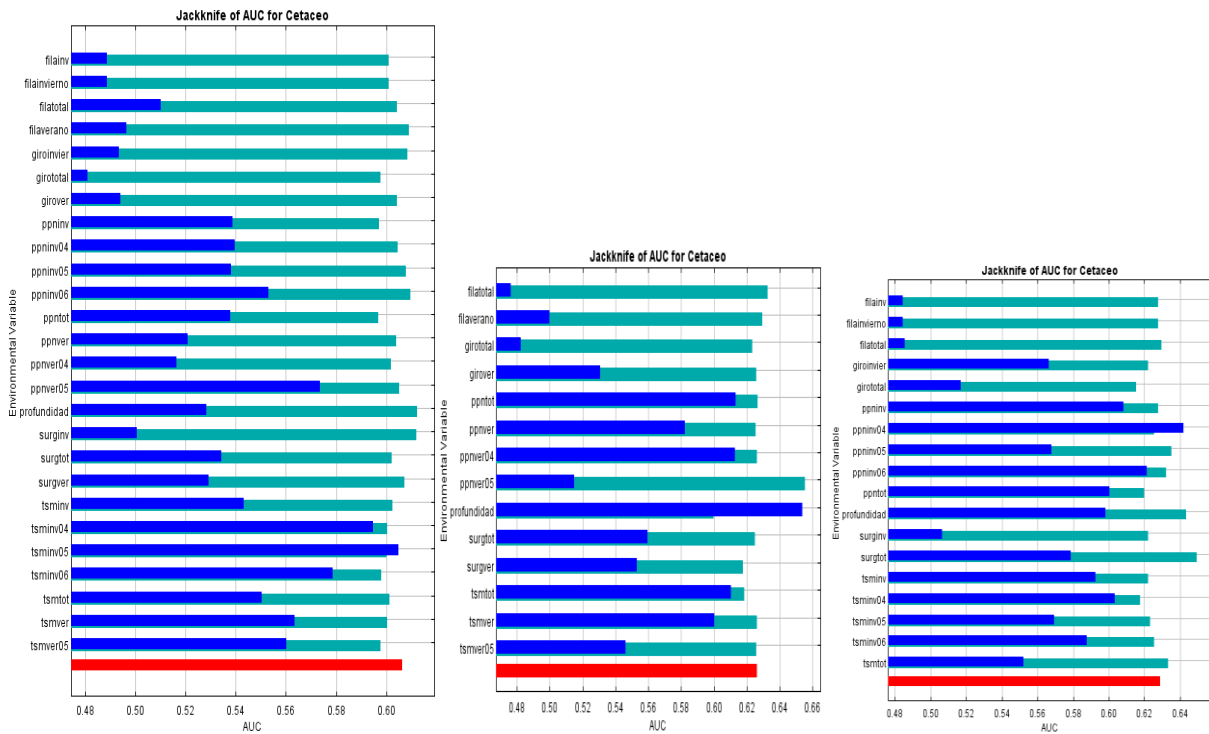


Figura 38. Prueba jackknife para la estimación de la importancia de cada variable en el modelo para las grandes ballenas en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). Se señala la contribución de cada variable. El color azul indica la ganancia o aportación sólo con la variable, el turquesa la ganancia con todas las variables menos la probada y el rojo la ganancia con todas las variables. (ver=cálida, inv=fría).

Misticetos

Para los misticetos, la predicción estimada del periodo completo, muestra valores altos de predicción para la zona ubicada al norte de las grandes islas, el Canal de Ballenas y la zona de la costa peninsular abarcando desde Loreto a aproximadamente la región cercana a Cabo Pulmo, con una casi total ausencia de valores altos en la costa continental (Figura 39). El análisis de la estimación muestra que las curvas de entrenamiento y de prueba se diferencian de la curva que representa una distribución al azar, pero la curva de prueba no tuvo un desempeño alto (Figura 40). La tsm fue la variable que aportó más al modelo, pero los remolinos y la profundidad también aparecen entre las cinco con mayor aportación (Tabla XIII). La prueba jackknife muestra que la tsm, ppn y profundidad fueron aportaciones importantes al modelo y que los remolinos y surgencias, así como la profundidad, también tuvieron aportaciones importantes (Figura 41).

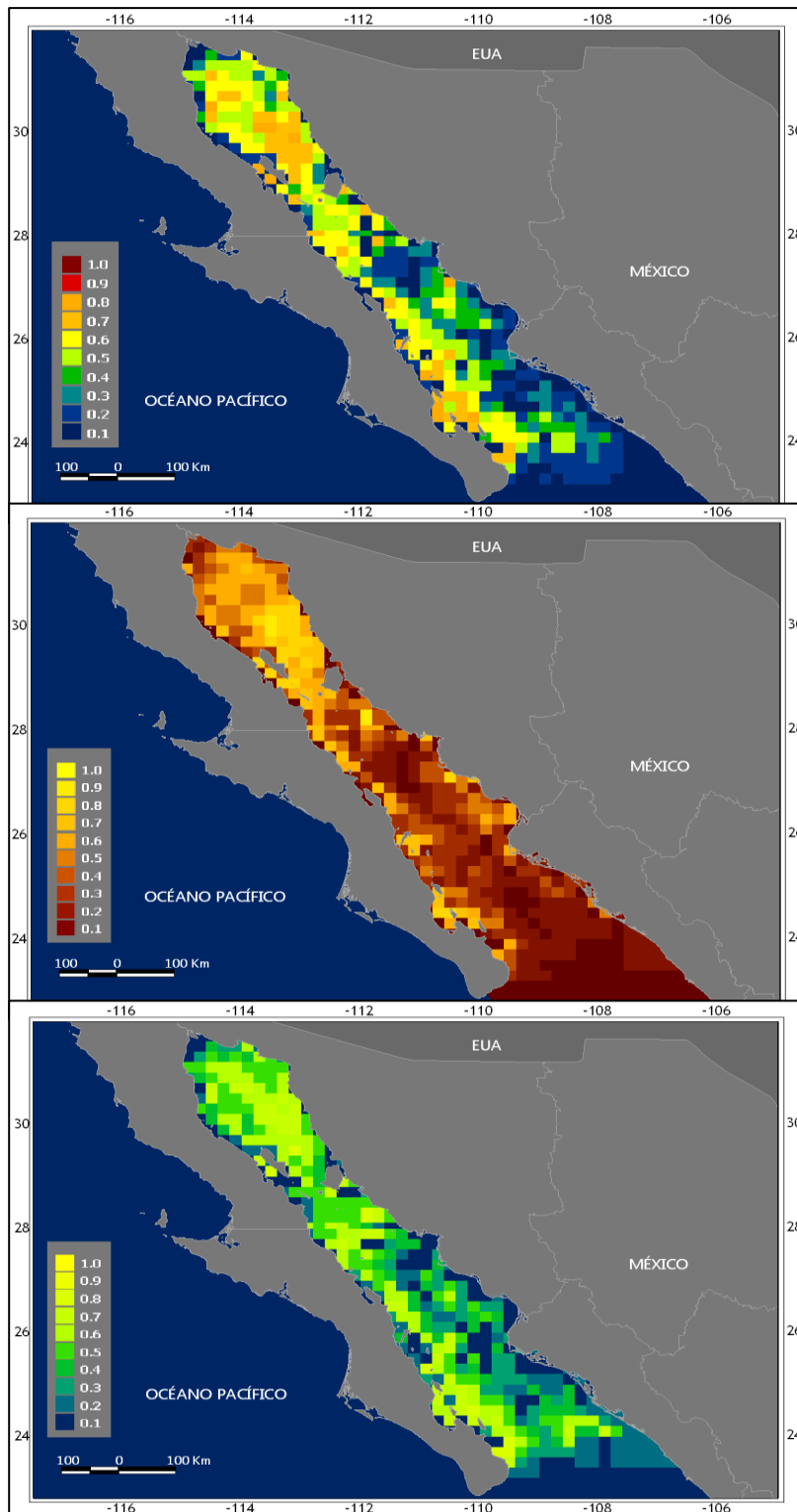


Figura 39. Predicción de la distribución de los MISTICETOS estimada mediante la máxima entropía, considerando el periodo total (superior), la temporada cálida (medio) y la temporada fría (inferior), en el Golfo de California durante el periodo de estudio (2004-06). Para cada figura se indica la propia escala de color (probabilidad).

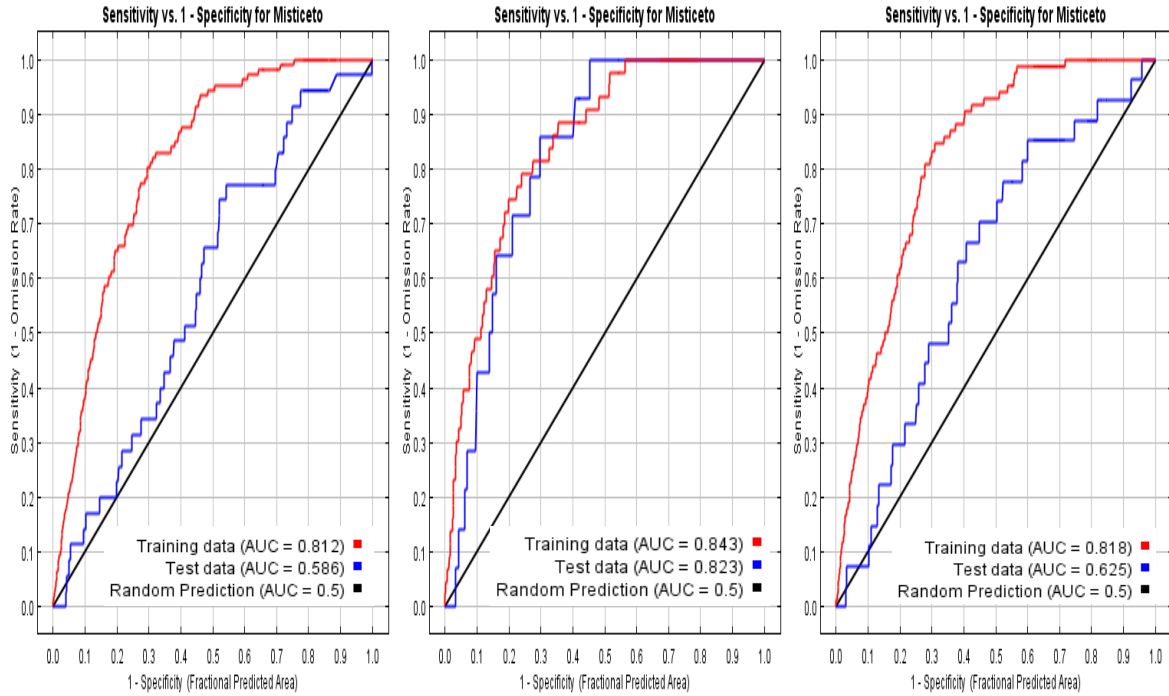


Figura 40. Curva operada por el receptor, tanto para los datos de entrenamiento, como para los de prueba para los MISTICETOS en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). En rojo se señalan los datos de entrenamiento del modelo, en azul los de prueba y la línea negra corresponde a un modelo aleatorio.

Tabla XIII. Valor de las diez variables con mayor contribución porcentual al modelo de predicción por máxima entropía, para MISTICETOS en el periodo total, temporada cálida y fría.

Contribución de las variables al modelo					
--total-al-al	%	Cálida	%	Fría	%
tsm-fria-06	22.6	surg-total-	24.9	tsm-fria-04	25.7
tsm-fria-04	18.8	tsm-total-	21.8	tsm-fria-05	16.7
tsm-fria-05	16.8	profundidad	19.4	giro-fria-	12.1
giro-fria-	7.5	ppn-calida-05	8.4	tsm-fria-06	12.0
profundidad	6.5	ppn-calida-04	7.9	surg-fria-	10.6
ppn-fria-05	3.1	tsm-calida-	7.2	profundidad	6.0
ppn-fria-04	2.9	giro-calida-	3.3	fila-fria-	3.6
surg-calida-	2.8	ppn-total-	2.3	ppn-fria-04	3.1
surg-fria-	2.5	surg-calida-	1.9	giro-total-	2.2
ppn-calida-05	2.4	fila-total-	1.2	surg-total-	2.0



Figura 41. Prueba jackknife para la estimación de la importancia de cada variable en el modelo para MISTICETOS en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). Se señala la contribución de cada variable. El color azul indica la ganancia o aportación sólo con la variable, el turquesa la ganancia con todas las variables menos la probada y el rojo la ganancia con todas las variables. (ver=cálida, inv=fría).

La Figura 39 muestra que en la temporada cálida, el modelo estableció condiciones apropiadas para la presencia de misticetos principalmente en la zona norte del golfo, al norte de las Grandes Islas, con algunos valores altos en la costa peninsular hasta su extremo sur. Las curvas de entrenamiento y prueba son muy similares entre sí, sugiriendo que algunas variables están correlacionadas, pero en general representan una buena estimación (Figura 40). En esta temporada las surgencias, la tsm y la profundidad aportaron casi el 65% al modelo, con aportaciones importantes de ppn (Tabla XIII). En este punto se debe considerar que las surgencias que se mencionan, al menos en la costa peninsular, pueden en realidad referirse a un proceso de mezcla provocado por mareas. El análisis jackknife revela que la profundidad fue la variable con la aportación más importante (Figura 41).

En la temporada fría, la estimación muestra una gran similitud con la realizada para el periodo total, con valores altos al norte de las grandes islas y a lo largo de la costa peninsular (Figura 36). Las curvas de entrenamiento y de prueba se diferenciaron de la curva que representa una distribución al azar, pero su desempeño fue menor que en la temporada cálida (Figura 37). La Tabla XIII muestra que la tsm, los remolinos y las surgencias fueron las variables con la mayor aportación, con filamentos de clorofila dentro de las diez variables que mayor aportación tuvieron, sin embargo la prueba jackknife mostró que la tsm y la ppn fueron las variables con mayor aportación al modelo (Figura 38).

Odontocetos

La predicción de los odontocetos para el periodo completo (Figura 42), muestra que se estimó una distribución en casi todo el golfo, excepto en la zona norte y en la costa continental hacia el sur; con los valores más altos en el Canal de Ballenas, al norte de Santa Rosalía y en la costa peninsular de Loreto hasta al sur de La Paz. La Figura 43 muestra que el desempeño del modelo en las curvas de entrenamiento y de prueba fue mayor al azar. Para el periodo completo, el recuento porcentual mostró que las variables que más contribuyeron al modelo fueron la tsm en temporada fría y las surgencias en temporada cálida con casi el 65% del total (Tabla XIV), sin embargo la prueba de remuestreo jackknife mostró que la tsm y la ppn fueron las variables con mayor aportación al modelo, con muy poca participación de los procesos de mesoescala (Figura 44).

Para la temporada cálida, la predicción que se muestra en la Figura 42 señala un comportamiento similar al encontrado para el periodo completo, con valores altos de predicción al norte de las Grandes Islas, al norte de Santa Rosalía y las zonas aledañas a Loreto y La Paz, pero más puntuales respecto al periodo completo, mientras en la zona sur se observaron valores menores. En el análisis del modelo (Figura 43), si bien la curva de entrenamiento indica un desempeño regular, la de prueba no fue mejor que una distribución al azar, indicando que esta estimación deberá tomarse con precaución. Las variables que más contribuyeron al modelo fueron las surgencias con casi el 30% (considerando lo mismo que en el caso anterior, procesos de mezcla por mareas en la costa

peninsular), la tsm y la ppn, sin embargo el jackknife indica que la profundidad tuvo un papel importante en la estimación (Tabla XIV, Figura 44).

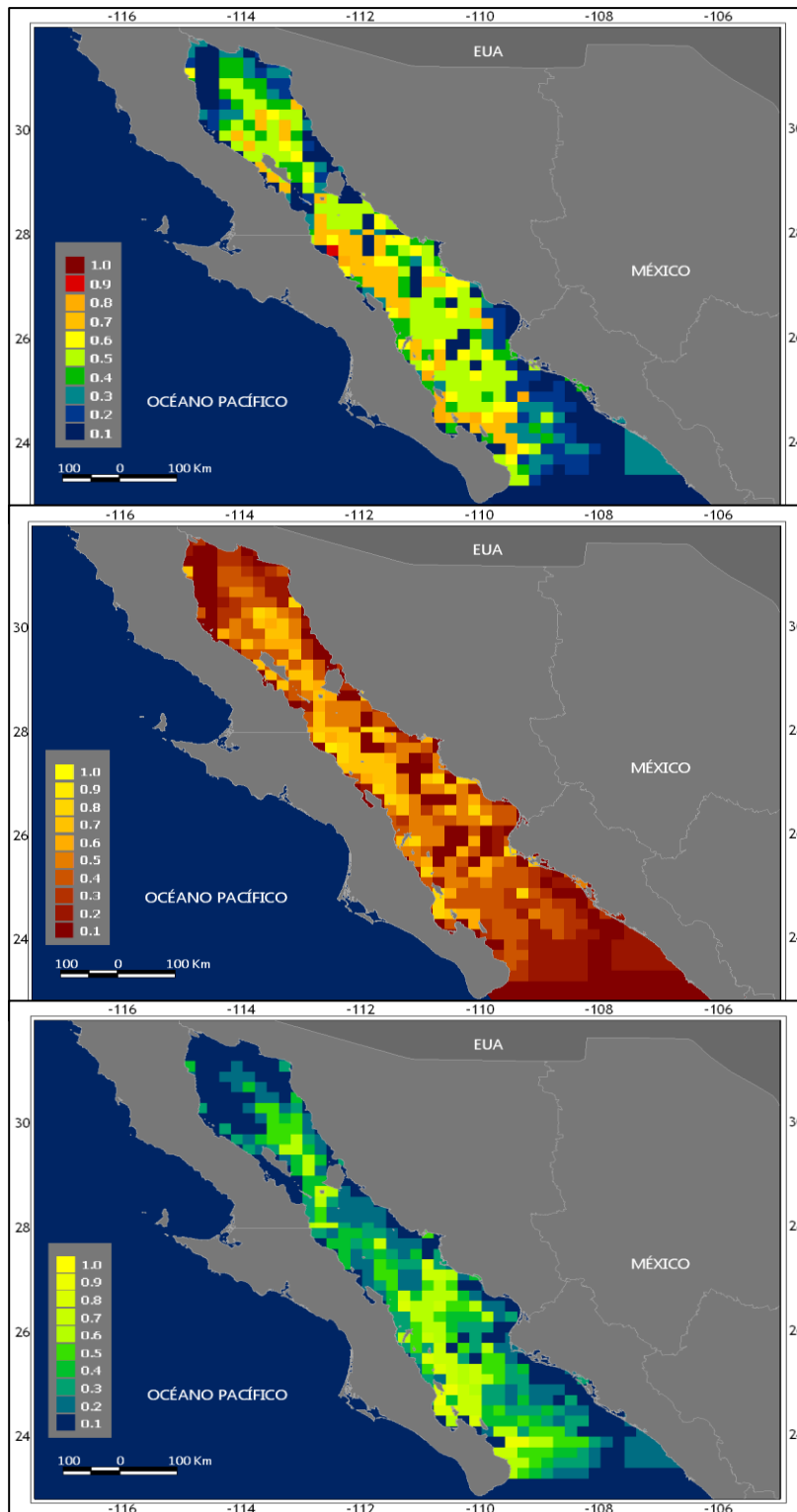


Figura 42. Predicción de la distribución de los ODONTOCETOS estimada mediante la máxima entropía, considerando el periodo total (superior), la temporada cálida (medio) y la temporada fría (inferior), en el Golfo de California durante el periodo de estudio (2004-06). Para cada figura se indica la propia escala de color (probabilidad).

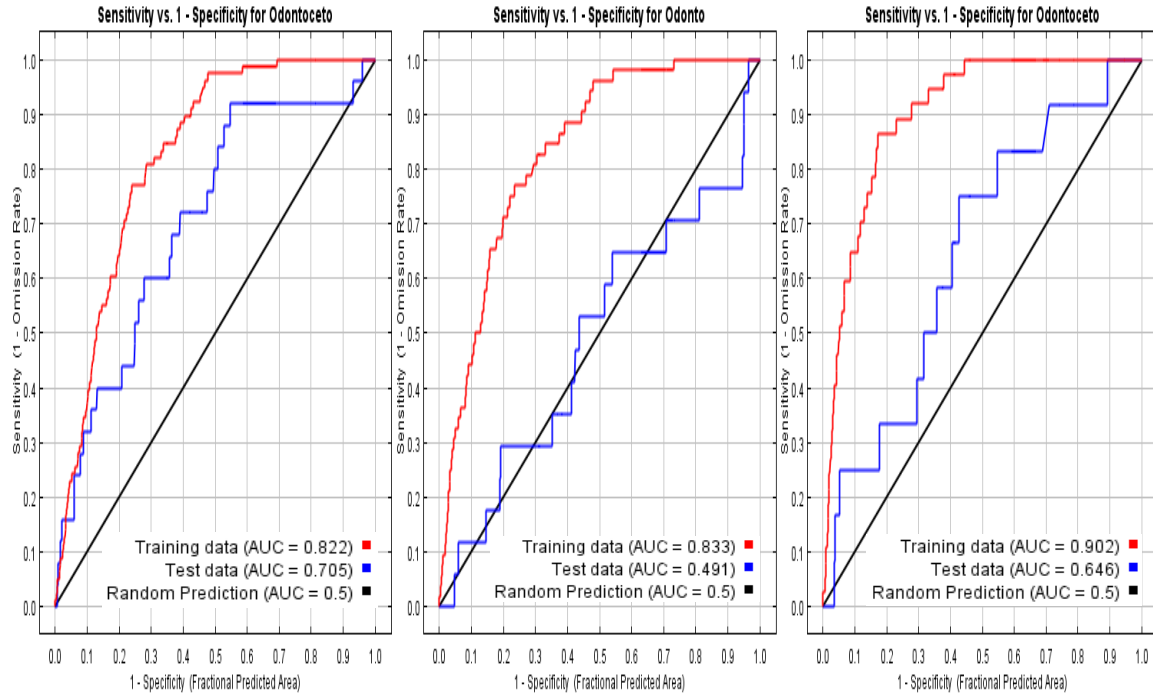


Figura 43. Curva operada por el receptor, tanto para los datos de entrenamiento, como para los de prueba para los ODONTOCETOS en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). En rojo se señalan los datos de entrenamiento del modelo, en azul los de prueba y la línea negra corresponde a un modelo aleatorio.

Tabla XIV. Valor de las diez variables con mayor contribución porcentual al modelo de predicción por máxima entropía, para ODONTOCETOS en el periodo total, temporada cálida y fría.

Contribución de las variables al modelo					
-total-al	%	Cálida	%	Fría	%
tsm-fria-06	22.2	surg-total-	29.9	tsm-fria-06	19.4
tsm-fria-	15.7	tsm-total-	15.9	giro-total-	16.9
surg-calida-	14.2	ppn-calida-05	13.2	tsm-fria-05	11.6
tsm-fria-05	12.5	surg-calida-	10.4	tsm-total-	10.1
ppn-calida-05	9.2	fila-calida-	7.6	ppn-fria-06	10.0
fila-calida-ano	4.3	profundidad	7.3	tsm-fria-04	6.8
giro-fria-	4.0	giro-total-	6.3	profundidad	6.8
tsm-fria-04	2.7	fila-total-	3.6	surg-fria-	6.4
profundidad	2.4	ppn-calida-	2.8	surg-total-	3.9
surg-fria-	2.1	giro-calida-	2.4	tsm-fria-	2.5

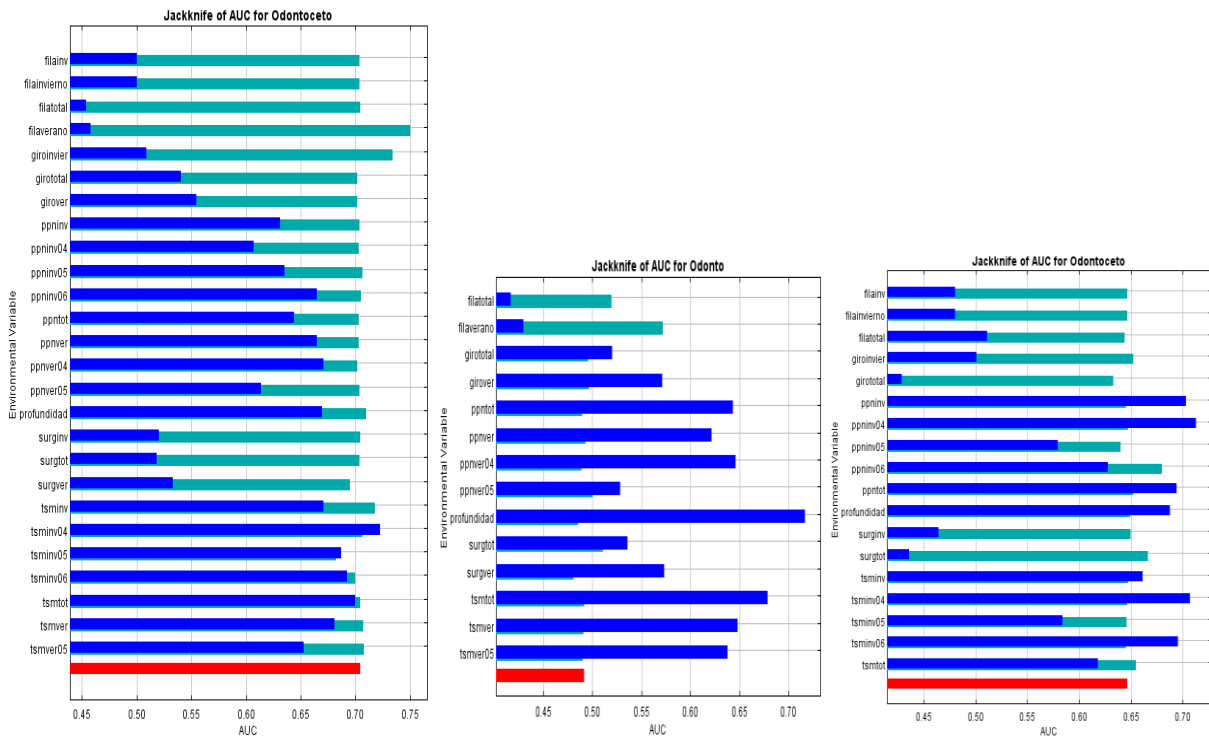


Figura 44. Prueba jackknife para la estimación de la importancia de cada variable en el modelo para ODONTOCETOS en la estimación para el periodo total (izquierda), cálida (centro) y fría (derecha). Se señala la contribución de cada variable. El color azul indica la ganancia o aportación sólo con la variable, el turquesa la ganancia con todas las variables menos la probada y el rojo la ganancia con todas las variables. (ver=cálida, inv=fría).

En la temporada fría el modelo estimó condiciones favorables para una distribución más sureña en general, con valores muy bajos al norte y altos al sur de sonora y frente a las costas de Loreto y La Paz, hasta el extremo sur de la península, distinto a lo estimado para la temporada cálida (Figura 42). En esta temporada, las curvas de entrenamiento y de prueba se comportan mejor que una distribución al azar y con mejor respuesta respecto a las dos estimaciones anteriores de odontocetos (Figura 43). Las variables con mayor contribución fueron la tsm, los remolinos y las surgencias, pero el jackknife mostró que las variables con mayor aportación fueron la tsm, la ppn y la profundidad, con poca aportación de las estructuras de mesoescala (Tabla XIV y Figura 44).

Regiones Prioritarias para la Conservación de Ballenas en el Golfo de California

Se realizó un análisis espacial alimentado con el resultado de los análisis anteriores, que integró las variables biológicas, ecológicas y ambientales para, en una evaluación eco-espacial, definir zonas importantes para la distribución de las ballenas, aplicando el modelo empírico propuesto en la metodología.

El análisis anterior fue realizado para las grandes ballenas en general, sin distinguir entre odontocetos y misticetos, pero sí se consideró la variación temporal (temporadas cálida y fría), de lo que derivaron tres propuestas, una general, una para la temporada cálida y otra para la temporada fría.

Propuesta general

En la Figura 45, se observa que la distribución de las grandes ballenas con base en una proyección anual (sin distinguir entre temporadas cálida y fría) se proyecta con los valores altos principalmente hacia la región norte del golfo, alrededor de las grandes islas y en la costa peninsular al suroeste, en el área comprendida entre las bahías de Loreto y La Paz. Las zonas con los valores más altos se ubicaron en el alto golfo, el Canal de Ballenas y al sur de Isla Tiburón. Esta propuesta coincide en gran medida a las obtenidas a partir de los modelos aditivos generalizados y de los basados en la máxima entropía.

Temporada cálida

En esta temporada, y también coincidiendo con las propuestas derivadas de los GAM y MAXENT, se observa de forma muy clara una concentración de los valores medios altos y altos del índice de presencia al norte del GC, con un descenso importante en estos valores en el resto del GC, sin embargo aún se observan algunos valores altos en la costa penínsulas, principalmente entre Santa Rosalía y Bahía Concepción, en la Bahía de Loreto (con uno de los pocos valores altos en esta temporada) y en la zona del Canal de San José y la Bahía de La Paz. La otra zona con valores altos fue la que corresponde al Canal de Ballenas al norte del golfo (Figura 46).

Temporada fría

Nuevamente similar a lo ocurrido con las estimaciones a partir del GAM Y MAXENT, durante la temporada fría las zonas con valores altos se extienden a lo largo del GC, disminuyendo su importancia en la región del alto golfo, con un incremento al sur de las grandes islas, en la costa suroccidental, desde el sur de Bahía Concepción hasta Cabo Pulmo. Cabe destacar que un gran número de estratos con valores altos se concentraron entre las zonas de Loreto hasta Cabo Pulmo (Figura 47).

La costa continental presentó algunos valores medios pero principalmente bajos en las tres propuestas

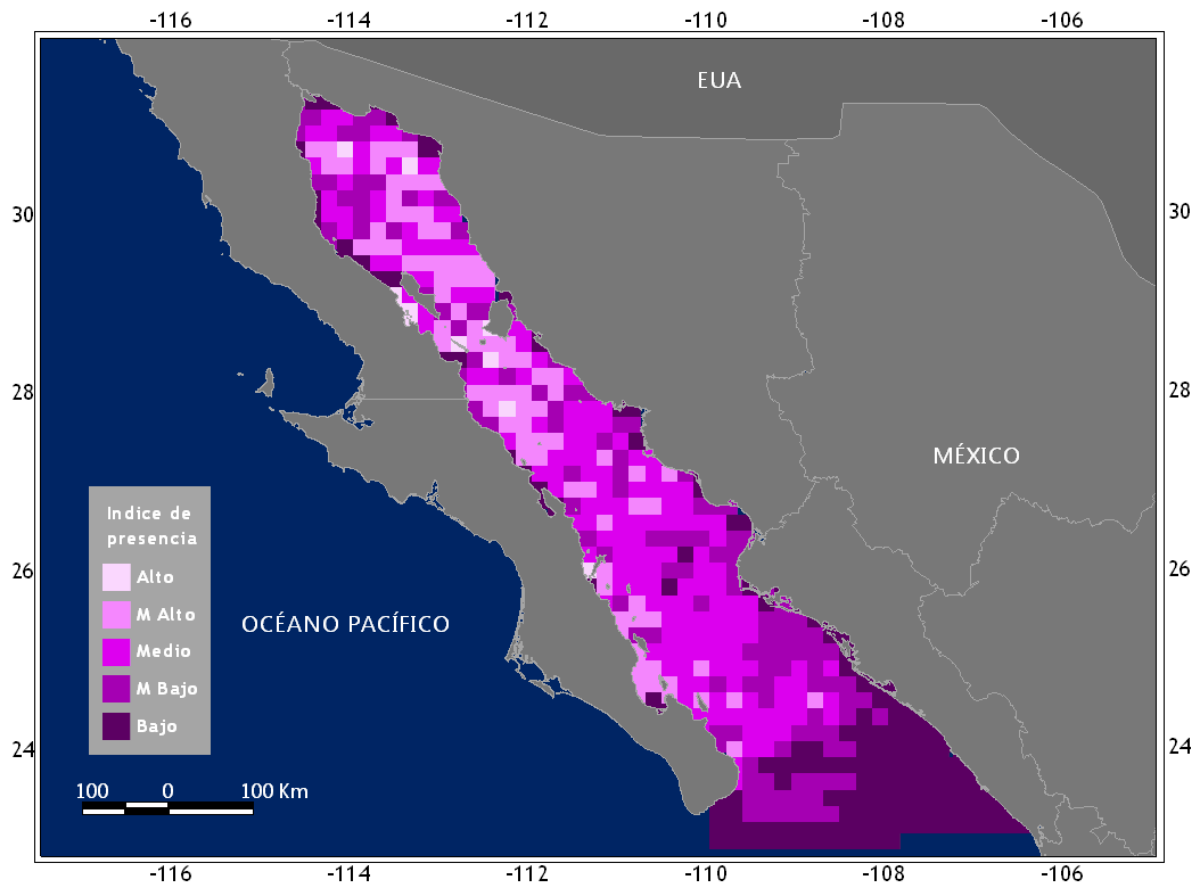


Figura 45. Propuesta de zonas con presencia importante para las grandes ballenas, en el Golfo de California durante el PERIODO DE ESTUDIO (2004-06), realizada a través de la evaluación eco-espacial. La escala se determinó mediante los "cortes naturales" en la distribución de frecuencias del índice de presencia obtenido. Los valores de presencia importante corresponden al índice alto y medio alto.

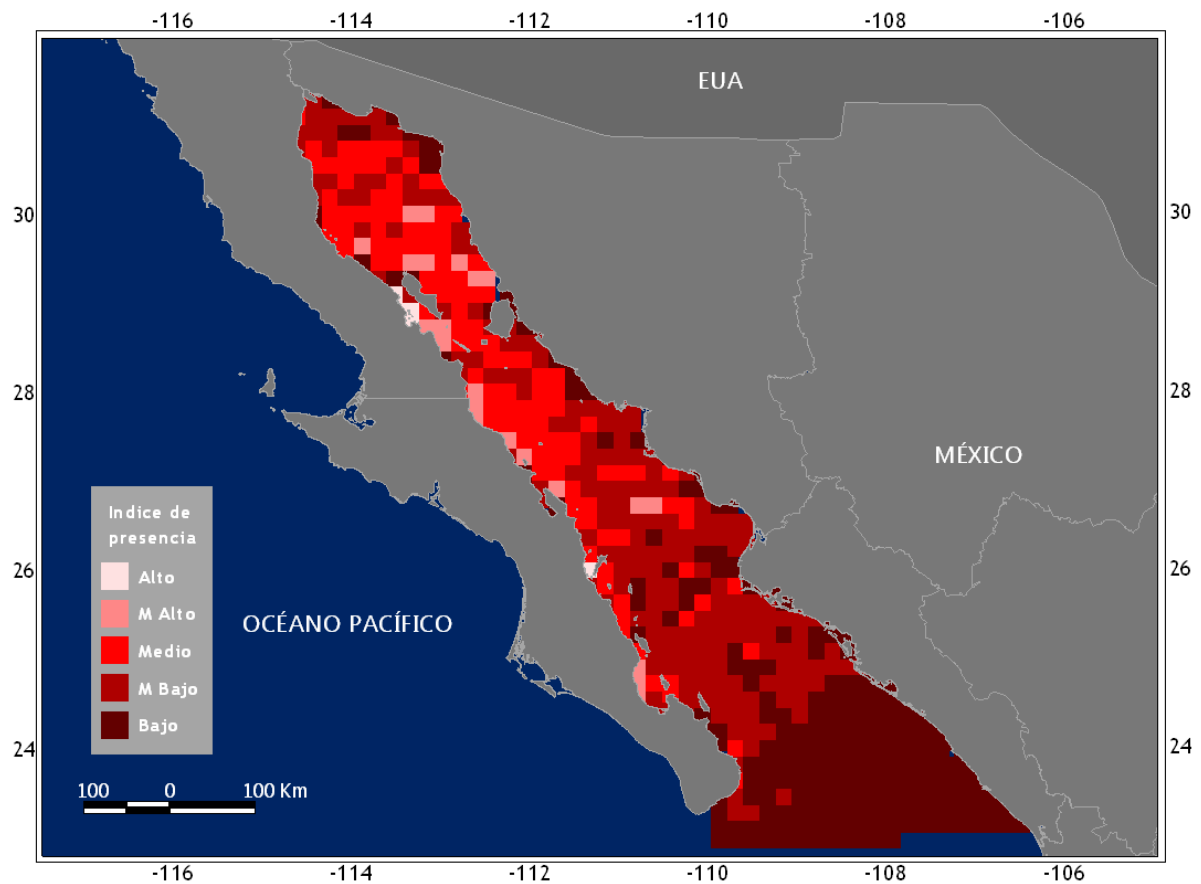


Figura 46. Propuesta de zonas con presencia importante para las *grandes ballenas*, en el Golfo de California durante la *TEMPORADA CÁLIDA* del periodo de estudio (2004-06), realizada a través de la evaluación eco-espacial. La escala se determinó mediante los “cortes naturales” en la distribución de frecuencias del índice de presencia obtenido. Los valores de presencia importante corresponden al índice alto y medio alto.

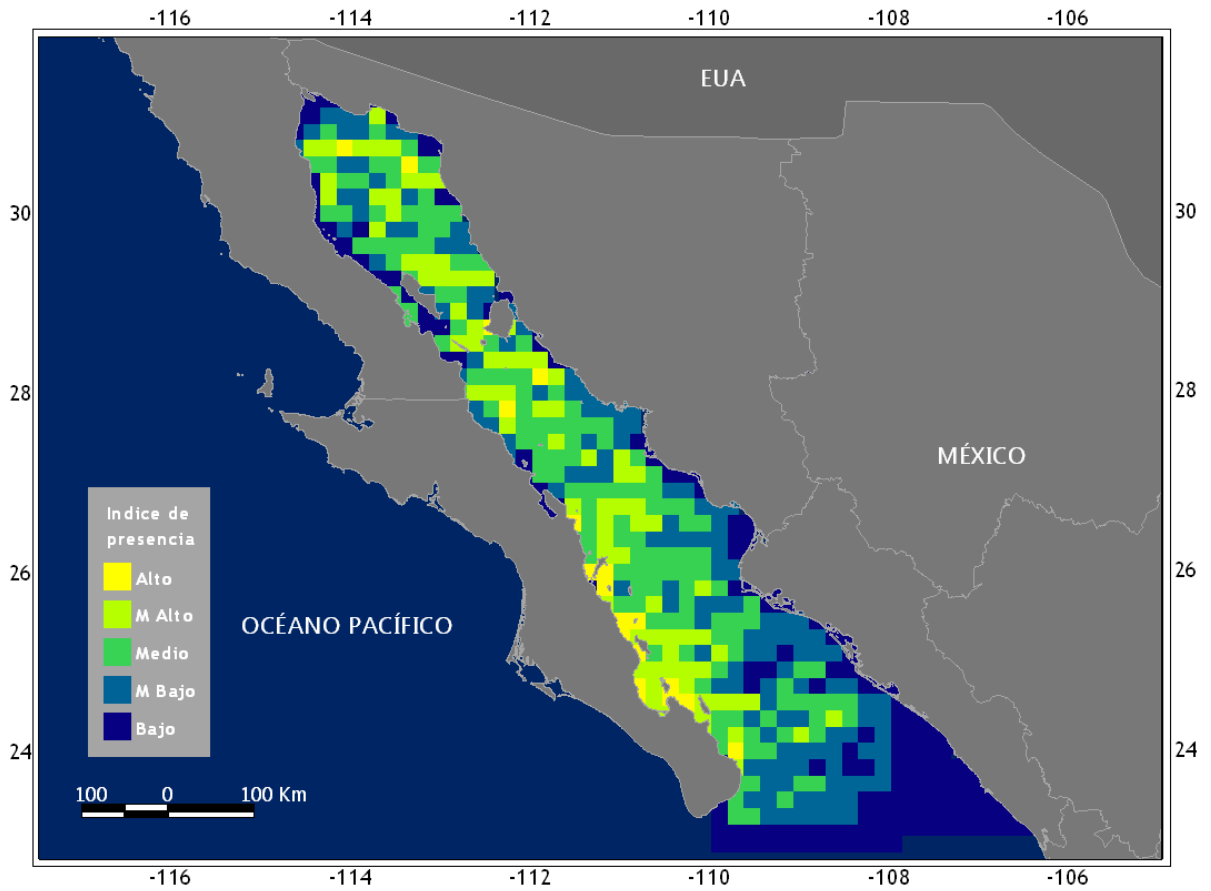


Figura 47. Propuesta de zonas con presencia importante para las grandes ballenas, en el Golfo de California durante LA TEMPORADA FRÍA del periodo de estudio (2004-06), realizada a través de la evaluación eco-espacial. La escala se determinó mediante los “cortes naturales” en la distribución de frecuencias del índice de presencia obtenido. Los valores de presencia importante corresponden al índice alto y medio alto.

VII. Discusión

Abundancia relativa y distribución de las grandes ballenas

Al observar la frecuencia de avistamientos de ballenas y su distribución a partir de una base de datos de 30 años (Figura 11), es evidente que la mayor parte del esfuerzo se concentró en la costa suroccidental del GC con una gran cantidad de registros en esta zona, una situación semejante se presentó en el periodo de estudio, donde hubo una gran concentración de registros en la misma zona, incluyendo además la zona del Canal de Ballenas en la región noroccidental (Figs. 6 y 16). Durante los recorridos aéreos de 2005-06, con un muestreo sistemático a lo largo del golfo, los registros se observan más distribuidos en el área de estudio y su concentración ya no fue tan evidente, aunque cabe mencionar que en los transectos aéreos, el acercamiento a la costa fue muy puntual con poco esfuerzo en esta zona (Figuras 5 y 12). Lo anterior parece indicar que los valores obtenidos de distribución y abundancia relativa hayan estado fuertemente influidos por el esfuerzo. Por otra parte, es necesario considerar que la variabilidad ambiental puede ocasionar sesgos dramáticos en la distribución de los cetáceos, lo que puede confundir nuestra capacidad de detectar e interpretar las tendencias de la abundancia (Forney, 2000).

El tamaño de las especies registradas no influye en la estimación total de biomasa durante los vuelos, pues coincide con las especies con mayor frecuencia de registros: la ballena azul, el rorcual común y el cachalote, especies de gran tamaño que generaron estimaciones altas de biomasa; sin embargo hubo otras especies de odontocetos pequeños con un importante número de avistamientos, como el cachalote enano (*Kogia sima*), el calderón de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*) y el zífido de Cuvier (*Ziphius cavirostris*), que podrían haber tenido valores altos de biomasa, sin ser los máximos.

En el caso de los recorridos en barcos, vemos que la frecuencia de avistamientos cambió de forma muy importante respecto a las especies registradas, pues para el caso de los mysticetos, la especie dominante fue la ballena jorobada, debido principalmente a que las navegaciones en embarcación alcanzaron latitudes más sureñas, siendo que el extremo sur de la península de B.C. (desde Cabo Pulmo hasta Cabo San Lucas en B.C.S., aunque

pude extenderse hasta el sur de Sinaloa y Nayarit) es la zona que utiliza esta especie para sus actividades de reproducción durante el invierno (Urbán y Aguayo 1987, Salinas y Bourillón 1988, Álvarez et al. 1990, Ladrón de Guevara 1995 y Urbán et al. 1997,) mientras que para los odontocetos, el cachalote también fue la especie dominante, pero con un número importante de avistamientos de cachalotes enanos respecto al que se registró durante los vuelos, debido probablemente a que estos organismos son de talla pequeña y más difíciles de detectar desde el aire.

La Figura 15 muestra la comparación de la distribución de la biomasa por temporada y por año durante los recorridos aéreos. En el caso de los misticetos se observó una diferencia de más de cuatro veces el valor en invierno respecto al verano, situación que fue consistente en ambos años; mientras que los odontocetos tuvieron un comportamiento distinto, con una biomasa mayor en casi dos magnitudes durante el verano, sin embargo en ellos lo anterior no fue consistente en ambos años, pues en 2006 presentaron una biomasa ligeramente mayor durante el invierno. Cabe recordar que los vuelos se realizaron de forma sistemática a lo largo de golfo, por lo que el esfuerzo fue básicamente el mismo durante los cuatro recorridos. Para poder comparar la biomasa en los recorridos en barco, debido a la heterogeneidad del esfuerzo entre temporadas y años, se estimó la biomasa relativa al esfuerzo (biomasa por día), observándose un comportamiento similar al encontrado en los vuelos, con mayor biomasa de misticetos en la temporada fría y menor en la cálida respecto a los odontocetos (Figura 19).

La presencia de ballena azul en la porción norte del GC se encuentra documentada en Gendron (2002) y Chávez (2006) también se reporta en la porción sur del GC, sobre todo en la zona marina de Loreto e islas adyacentes (Sears 1987, Leatherwood et al. 1988, Gendron 1990), así como en la boca del golfo (Gendron 2002). La presencia del rorcual común también es de las mejor documentadas, además que es importante considerar que existe una población residente en el GC (Gilmore 1957, Leatherwood et al. 1988, Rojas 1984, Urbán 1996, Rice 1998, Bérubé et al. 1998 y Bérubé et al. 2002). En el golfo esta especie ha sido registrada en la región norte en San Felipe, San Luis Gonzaga, Canal de Ballenas y Canal de Salsipuedes (Rojas 1984, Tershy et al. 1990, Gendron 1993, Vidal et al.

1993, Mangels y Gerrodette 1994, Silber et al. 1994, Urbán 1997) y también ha habido avistamientos en Puerto Peñasco, Puerto Libertad, Bahía Kino y Guaymas (Rojas 1984, Gendron 1993, Vidal et al. 1993, Mangels y Gerrodette 1994, Silber et al. 1994, Urbán 1997 y Pettis et al. 2000), lo que puede asociarse a la gran cantidad de avistamientos que hubo en Canal de Ballenas en este estudio. En el sur han sido muchos los registros desde Los Cabos hasta Santa Rosalía, siendo la Bahía de La Paz y el canal de la Isla San José, una zona importante de concentración de la especie (Rojas 1984, Gendron 1993, Wade y Gerrodette 1993, Mangels y Gerrodette 1994, Zavala 1996, Del Angel 1997, Barlow et al. 1997, Urbán 1997).

Urbán y Gómez Gallardo (2008) mencionan que para los odontocetos, la especie más frecuente para el área de Bahía de La Paz a Loreto fue el calderón de aletas cortas, con el 42% del total de los avistamientos que realizaron de 2003 a 2007, seguido por el cachalote enano con el 22%, de un total de 176 avistamientos. Esta última especie fue la más registrada desde el Canal de San Lorenzo, cerca de La Paz, hasta Los Cabos, con 45 registros y mencionan que esta zona en particular fue muy importante para los zífidos (mesoplodones y zífio de Cuvier). De manera similar, Ferguson et al. (2006) predijeron una alta densidad de zífidos en el Golfo de California, Troyo (2008) y Salvadeo et al. (2009) reportan valores altos de biomasa para el cachalote, el calderón de aletas cortas, el zífio de Cuvier y el cachalote enano, todo lo anterior coincidiendo con lo encontrado en este estudio.

Tanto en los recorridos aéreos como en barco, fue evidente una mayor presencia de cetáceos en general en la temporada fría, además de una extensión en la distribución de los avistamientos, con un número importante de registros en las regiones norte y sur del golfo (Figuras 12 y 16, 48 A y B); mientras que en la temporada cálida durante los vuelos, se observaron agregaciones importantes en la porción central, coincidiendo con la presencia de cachalotes en esa zona asociados a zonas profundas y al sistema altamente productivo de Las Grandes Islas (Figuras 12 y 16, 48 C y D); no así en los recorridos en barco que fueron más costeros. Lo anterior coincide con lo reportado por Mangels y Gerrodette (1994), quienes reportaron un número importante de avistamientos de odontocetos (cachalotes, cachalotes enanos, mesoplodones y zífios de Cuvier) en la misma región central, en una

serie de cruceros de julio a noviembre de 1996. También Paniagua (2009) obtuvo una cantidad importante de registros de cachalotes durante julio-agosto, principalmente en la región central entre Santa Rosalía y las Grandes Islas.

La presencia de la ballena azul en el GC, ha sido reportada desde los ochentas (Leatherwood y Reeves 1983) con movimientos migratorios anuales entre esta zona y las costas de California (Calambokidis et al. 1990), siendo el golfo reconocido como sitio de crianza de la especie (Gendron 2002) durante el invierno. Considerando la gran masa corporal de la ballena azul (Tabla I) y el gran número de avistamientos ocurridos prácticamente sólo en la temporada fría (Figura 48 A), se podrían explicar los altos valores de biomasa en esa temporada. En relación con el rorcual común, Tershy et al. (1993) reportan que más del 75% de los avistamientos en todas las regiones del GC, se han realizado durante el invierno; de acuerdo con lo anterior, Urbán (1997) menciona que durante el estudio realizado de junio de 1994 a junio de 1997, en verano-otoño, la especie se distribuyó preferentemente en aguas alejadas de la costa de la zona norte, mientras que durante invierno-primavera, la mayor parte de los avistamientos de estas ballenas se concentraron a lo largo de la región costera del golfo (más del 80% de un total de 908 rorcuales avistados). Por otro lado, Díaz (2006) menciona que durante junio 2004 a abril 2005, este rorcual fue igualmente abundante durante el invierno y el verano, pero probablemente fue consecuencia que una parte del esfuerzo que realizó en verano ocurrió en Bahía de Los Ángeles, zona reportada con alta presencia de esta ballena a lo largo del año (Rojas 1984, Aguayo et al. 1986, Tershy et al. 1990, Gendron 1993, Vidal et al. 1993, Mangels y Gerrodette 1994, Silber et al. 1994, Urbán 1997). Los resultados del presente trabajo mostraron que el 78% de los avistamientos en los recorridos aéreos ocurrieron en la temporada fría (N=96), coincidiendo con lo reportado anteriormente y con los altos valores de biomasa durante el invierno. En el periodo de estudio, este rorcual también presentó una gran masa corporal (Tabla I) con una alta frecuencia de registros en la zona norte del golfo durante la temporada cálida (Figura 48 C), donde han sido registradas densas concentraciones en lugares muy puntuales como Canal de Ballenas y de Salsipuedes, y las Bahías de los Ángeles, San Luis Gonzaga, Kino y Guaymas (Guerrero et al. 2006).

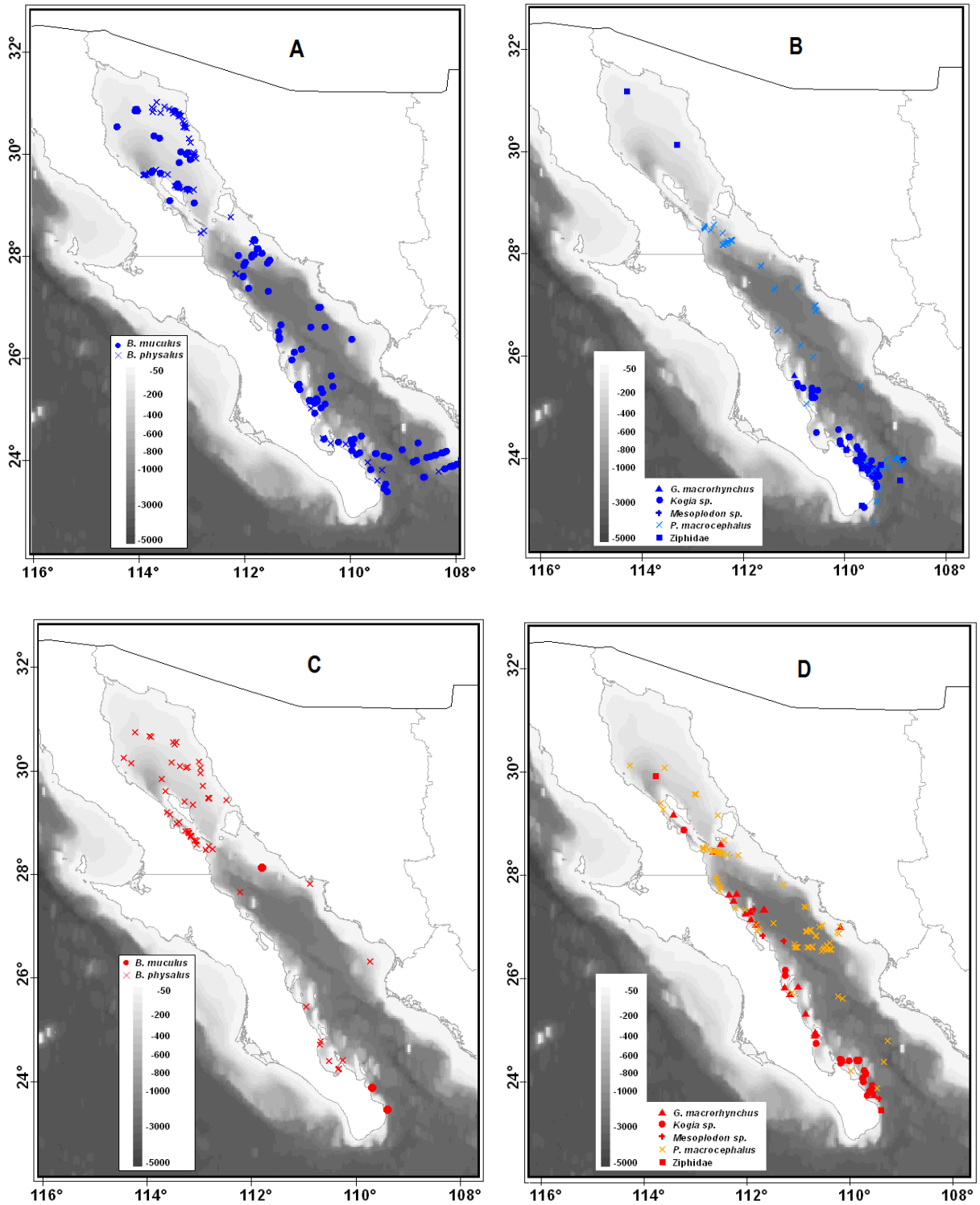


Figura 48. Distribución de los mysticetos y odontocetos con más registros en relación con la profundidad durante las temporadas fría (A=misticetos y B=odontocetos) y cálida (C=misticetos y D=odontocetos) en el Golfo de California durante el periodo de estudio (2004-06). La profundidad se indica en la escala de grises en metros.

Índices Ecológicos.

En la Tabla III y la Figura 20 se observa que la riqueza fue aumentando desde el norte (zonas I y II) hacia el sur (zonas III y IV), durante la temporada fría con un valor casi cuatro veces mayor en la zona IV respecto a la I. La diversidad presentó un comportamiento similar, con menores valores de diversidad en las zonas norteñas respecto a aquellas del sur. Lo anterior señala que hubo una marcada dominancia por pocas especies en las zonas I y II, mientras que en las otras dos, la abundancia fue menos heterogénea entre las especies. Esto se puede observar en la Figura 46, donde las zonas I y II (norte) presentaron altos valores de abundancia relativa (IAR) en sólo tres de las especies observadas respectivamente, mientras que en la III y IV (sur) el IAR se distribuyó más homogéneamente entre las especies registrada. Las zonas I y II fueron dominadas por la presencia de misticetos, con excepción de cachalote en la zona II, continuando estos con una alta presencia hasta la zona III, que incluye las zonas marinas de Loreto y Bahía de La Paz, mientras que en la zona IV predominó la ballena jorobada y varias especies de odontocetos.

Los resultados anteriores apoyan lo reportado por Chávez (2006) en un estudio realizado con en marzo-abril del 2005, con transectos en el GC sobre grandes ballenas quien, mediante un análisis de Procedimiento Permutacional de Multi-Respuesta, determinó que la zona de las Grandes Islas fue un hábitat similar al Alto Golfo y distinto de la región al sur de dicha zona. Además, indicó que el hábitat de la ballena azul y del rorcual común fue diferente, sugiriendo que no existió sobreposición durante la temporada fría. También reportó que el rorcual común presentó una elevada fidelidad a la zona del Alto Golfo, pero que la ballena azul no presentó un patrón específico de fidelidad a ninguna región en particular, mientras que los cachalotes habitaron regiones del golfo con características ambientales diferentes del resto de las especies. Brinton y Townsend (1980) ya habían propuesto que el GC se podía dividir en dos grandes regiones: una al norte de las Grandes Islas y otra al sur, con base en la distribución y abundancia de eufáusidos.

Al comparar los valores de la diversidad en la temporada fría (Figura 21), se observa que no hubo diferencias entre las zonas, lo anterior posiblemente relacionado por la gran fidelidad ya mencionada del rorcual común a zona del Alto Golfo, lo que se ve reflejado en los altos valores de abundancia relativa de dicha especie en esa zona y por lo mismo y con lo ya documentado para esa parte del GC (Figura 49). Al observar el resultado de los estimadores de similitud, se pudo observar la misma tendencia, las zonas más disímboles fueron la I y la IV, mientras las más parecidas fueron la III y IV, lo anterior para los estimadores usando la propuesta de Chao et al. (2005).

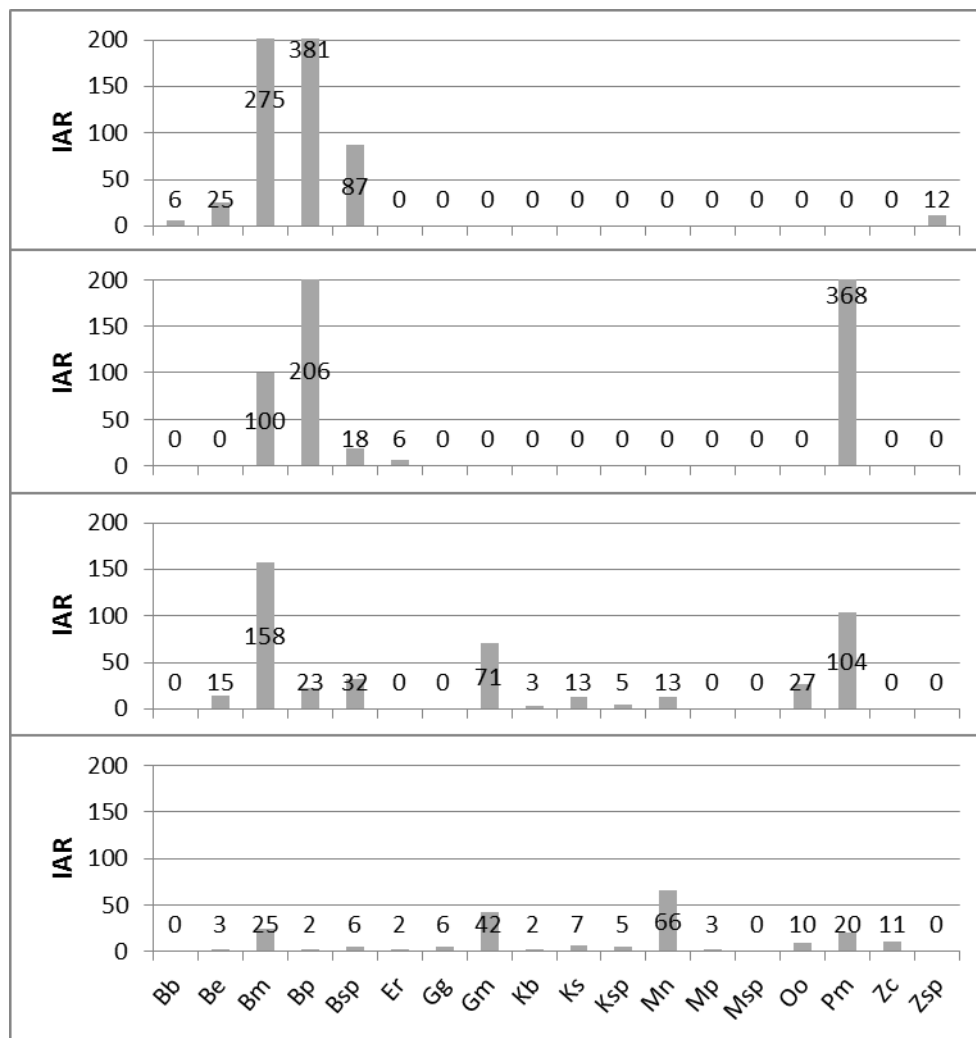


Figura 49. Abundancia relativa (IAR) en la TEMPORADA FRÍA, de las especies registradas para cada zona en el Golfo de California. Las zonas se presentan en orden descendente y latitudinal I-IV (norte-sur). Bb-*Balaenoptera borealis*, Be-B. *edeni*, Bm-B. *musculus*, Bp-B. *physalus*, Bsp-*Balaenoptera* sp., Er-*Eschrichtius robustus*, Gg-*Grampus griseus*, Gm-*Globicephala macrorhynchus*, Kb-*Kogia breviceps*, Ks-K. *sima*, Ksp-*Kogia* sp., Mn-*Megaptera novaeangliae*, Mp-*Mesoplodon peruvianus*, Msp-*Mesoplodon* sp., Oo-*Orcinus orca*, Pm-*Physeter macrocephalus*, Zc-*Ziphius cavirostris*, Zsp-Zífido.

Al observar los valores de la riqueza en la temporada cálida y su comparación por zona (Tabla VI, Figura 23), es claro que hubo un comportamiento similar a la temporada fría, pero la diversidad tuvo valores menores en todas las zonas. Al igual que el año anterior, la Figura 50 muestra que la abundancia relativa los cetáceos tuvo valores muy altos en un par de especies, en las zonas del norte del GC, mientras que en las zonas del sur destaca un IAR extremadamente alto del delfín de Risso en la zona III y en la zona IV también se presentó un valor extremo del IAR para otro odontoceto, sin embargo en estas dos zonas hubo un mayor número de especies presentes.

Es posible que la zona sur del GC sea un área de transición que recibe la visita de especies provenientes de aguas del Pacífico y que varían constantemente, mientras que la zona norte del golfo es un área más estable en ese sentido, donde la composición específica de la comunidad es más homogénea, índice de altos valores de producción primaria y de una gran cantidad de recursos alimenticios disponibles, que pueden albergar números importantes de cetáceos de talla grande (ballena azul, rorcuales común y tropical y cachalote), como lo demuestra la gran cantidad de registros en esta zona ya documentada en la sección anterior. El hecho que haya habido IAR altos de ballena azul, es una muestra de lo anterior, pues esta especie presenta una de las demandas de energía más elevadas por ser el animal de mayor bio-volumen conocido (Fiedler et al. 1998, Acevedo-Gutiérrez et al. 2002, Croll et al. 2005), lo mismo para la presencia del rorcual común en estas zonas y con una presencia a lo largo de todo el año (Rojas 1984, Tershy et al. 1990, Vidal et al. 1993, Silber et al. 1994 y Urbán 1997).

En la zona sur del GC, específicamente en la Bahía de La Paz, ha sido reportado el descenso de la diversidad de cetáceos acoplado con temperaturas altas (Flores-Ramírez et al. 1996). Salvadeo et al. (2009; 2010; 2011) reportaron la presencia del rorcual tropical en esta zona durante el invierno y su posible asociación con la variabilidad interanual de El Niño oscilación del sur, y también analizaron los avistamientos del delfín de costados blancos del Pacífico (*Lagenorhynchus obliquidens*), los cuales ocurren sólo en la temporada fría. Con las observaciones anteriores proponen un dinamismo estacional en la estructura

de la comunidad de odontocetos, debido a cambios en las abundancias de las especies dominantes y comunes, así como a la presencia o ausencia de las especies escasas.

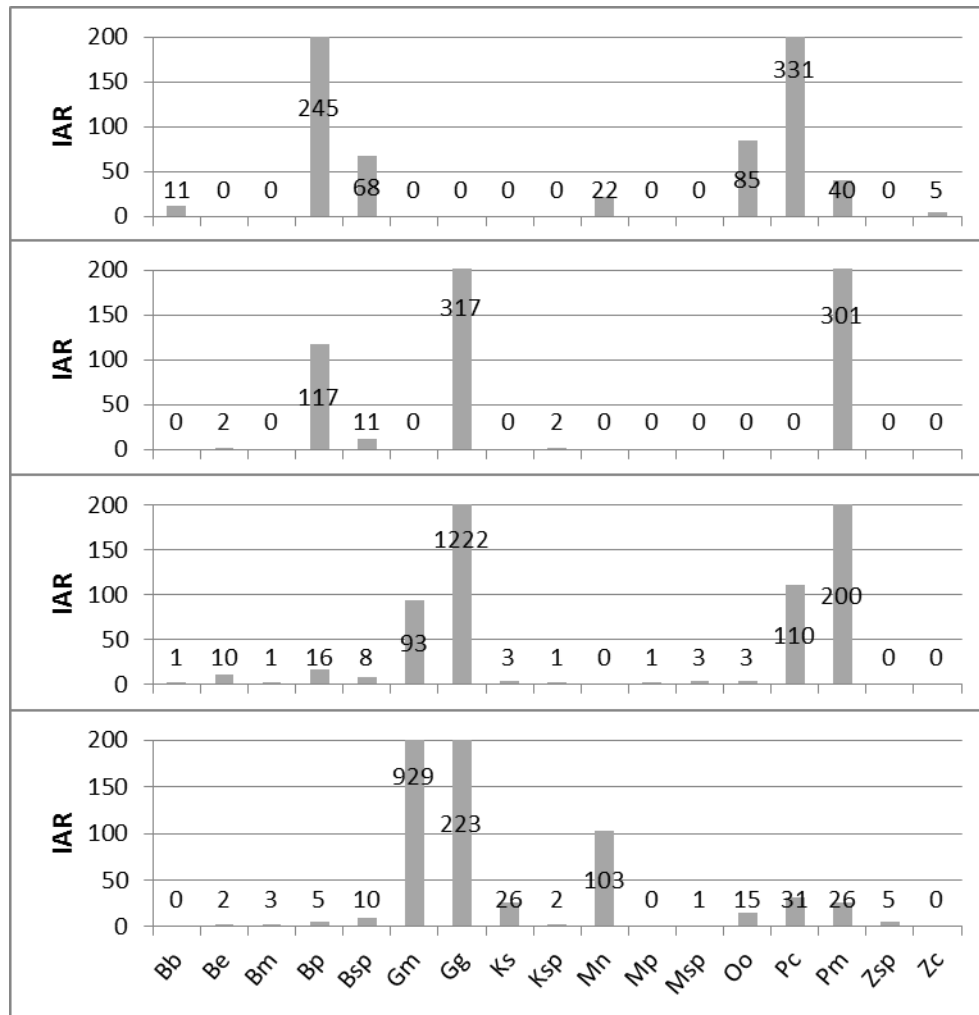


Figura 50. Abundancia relativa (IAR) en la temporada cálida, de las especies registradas para cada zona en el Golfo de California. Las zonas se presentan en orden descendente y latitudinal I-IV (norte-sur). Bb-*Balaenoptera borealis*, Be-*B. edeni*, Bm-*B. musculus*, Bp-*B. physalus*, Bsp-*Balaenoptera* sp., Er-*Eschrichtius robustus*, Gg-*Grampus griseus*, Gm-*Globicephala macrorhynchus*, Kb-*Kogia breviceps*, Ks-K. *sim*a, Ksp-*Kogia* sp., Mn-*Megaptera novaeangliae*, Mp-*Mesoplodon peruvianus*, Msp-*Mesoplodon* sp., Oo-*Orcinus orca*, Pm-*Physeter macrocephalus*, Zc-*Ziphius cavirostris*, Zsp-Zífido,

En la comparación de los índices de diversidad en esta temporada, sólo la zona I se diferenció de la zona más sureña (IV), situación distinta a lo ocurrido en la temporada fría, sugiriendo una distribución más restringida en la zona del Alto Golfo respecto al sur (Figura 23). Los estimadores de similitud confirma lo visto con la diversidad, pues el menor índice de similitud fue entre la zona I a IV en los cuatro índices estimados (Chao-Jaccard, Chao-

Sørensen, Morisita-Horn y Bray-Curtis), mientras que la mayor similitud fue para las zonas III vs IV y II vs III (Tabla VII). En general lo visto en los índices reportados está influenciado por la geografía de la zona y en las regiones establecidas para su comparación, ya que zonas contiguas pueden compartir más especies que las zonas más alejadas entre sí.

La mayor similitud de la zona IV entre temporadas (fría y cálida) indica que, además de ser la zona con mayor diversidad, las condiciones en esta zona son favorables para la mayor parte de las especies que se distribuyen ahí a lo largo del año, mientras que en la zona III hay cambios importantes entre las temporadas que promueven cambios importantes en la estructura comunitaria de las ballenas en esta zona.

Al respecto, Troyo (2008) no encontró diferencias significativas en el valor recíproco de Simpson, mientras Flores-Ramírez et al. (1996), en su estudio de la comunidad de los cetáceos en la Bahía de La Paz y Alba-Fernández (1997), analizando la comunidad de los odontocetos en la misma zona, tampoco encontraron diferencias significativas entre estaciones, coincidiendo los resultados de este estudio con las propuestas anteriores. Este patrón observado en la Bahía de La Paz, puede deberse a la combinación en la presencia de especies como los odontocetos, que habitan la bahía durante todo el año y los misticetos que están presentes solo durante ciertas épocas del año con propósitos de alimentación y/o reproducción. Lo planteado, se contrapone con las diferencias significativas registradas entre estaciones por Rubio (2002), cuando estudió la comunidad de los misticetos en la Bahía de La Paz, debido a que la mayoría de estas especies se presentan principalmente durante la estación templada.

Caracterización Ambiental

La actividad de las estructuras oceanográficas de mesoescala (EM) fue inferida a través del uso de imágenes de *cla-a* pues, como ya se comentó, son buenos indicadores que no se ven influenciados por la radiación solar y su variación diaria (Paden et al. 1991, Pegau et al. 2002). En 2004 la actividad oceanográfica fue muy intensa, con un gran número y variedad de EM hasta el mes de junio, cuando inició la intrusión de agua

oligotrófica del Pacífico, situación que se intensificó conforme avanzó el verano hasta la región de las Grandes Islas pasa y generando la circulación de la parte norte del golfo, donde se mantuvieron las surgencias y los remolinos ciclónicos; pero a mediados de octubre disminuyó la influencia de esta masa de agua tropical, provocando el restablecimiento de los remolinos y surgencias, iniciando en las zonas del Alto Golfo y de las Grandes Islas, siguiendo en la costa continental a final del año (Figura 27). El año de 2005 tuvo un comportamiento similar con una actividad intensa, pero ya desde marzo se apreció la influencia de la intrusión de aguas de Pacífico, influyendo incluso la región de las Grandes Islas (Figura 28). Durante 2006 hubo altas concentraciones de *cla-a* a lo largo de todo el año, de enero a abril en prácticamente todo el golfo. Las EM se mantuvieron en el Alto Golfo y las Grandes Islas, restableciéndose las condiciones a lo largo del golfo a partir de octubre (Figura 29).

La intrusión de masas de agua oligotrófica del Pacífico durante el verano, que entran en forma de una corriente de talud, interacciona con la geografía de las costas continentales formando giros ciclónicos (Zamudio et al. 2008), causando divergencia superficial y acrecentando el efecto negativo de estas aguas oligotróficas, además de las surgencias débiles o nulas de la costa peninsular del GC por la débil fuerza de los vientos que en esta temporada soplan desde el sureste. (Jiménez-Illéscas et al. 1997, Platt et al. 2005). Estos vientos débiles con intensidades medias y frecuentes calmas, provocan una termoclina bien desarrollada e incluso aflorada en superficie, con una consecuente estratificación de las capas superficiales durante todo el verano, siendo máxima en agosto (Álvarez-Borrego 1983) y generando diferencias importantes de temperatura entre invierno y verano.

Lo anterior confirma lo ya descrito acerca de la gran productividad de la zona norte del golfo, principalmente durante el invierno, así como la permanencia de dichas condiciones a lo largo de todo el año en esta zona; mientras la región sur se ve afectada en la temporada cálida por masas provenientes del Pacífico, que provocan condiciones oligotróficas. En marzo-abril, las bajas temperaturas registradas en el Alto Golfo, principalmente alrededor de las Grandes Islas, que son principalmente causadas por la

mezcla de agua producida por corrientes de mareas y eventos de surgencias forzadas por vientos del noroeste (Álvarez-Borrego, 1983; Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Álvarez-Borrego, 2002), propician elevadas concentraciones de clorofila con las que *B. physalus* estuvo altamente correlacionada (Chávez 2006).

A pesar de lo anterior fueron evidentes algunas diferencias entre los años de estudio, donde el 2005 fue el que presentó una mayor influencia de las aguas tropicales, provocando la menor cantidad de EM, sobre todo de los remolinos (Cuadro 2).

El GC se caracteriza por una alta productividad biológica (Álvarez-Borrego y Lara-Lara 1991, Álvarez-Borrego 2002 y Lluch-Cota 2004) debido a los fenómenos oceanográficos como los aquí identificados y que coinciden con otros estudios previos (Lavin y Marinone 2003, Marinone 2003, Zamudio et al. 2008). La circulación observada en invierno y verano en el Golfo de California, es muy similar a la obtenida *in situ* (Marinone 2003, Palacios-Hernández et al. 2002 y Carrillo et al. 2002) lo que confirma que el uso de imágenes de satélite es una buena alternativa para este tipo de estudios. Además, esta fuente de información ambiental, provee una cobertura espacial y temporal que difícilmente podría ser obtenida por otro medio, con otra gran ventaja: a resoluciones bajas (p.ej. 4 km), es de libre acceso hasta ahora.

En la Figura 51 se puede observar la distribución de los cetáceos durante el periodo de estudio en las temporadas fría y cálida respectivamente, en relación con la ppn y la tsm. La ppn fue mayor en todo el golfo durante la temporada fría, lo que se relaciona con lo ya descrito; mientras que en la temporada cálida se observa claramente la intrusión de las aguas oligotróficas del Pacífico. Lo anterior influyó de forma importante la distribución de los cetáceos, que en la temporada fría tuvieron una distribución más amplia en el golfo, mientras que en la cálida su distribución se vio limitada en las zonas con valores bajos de ppn. También se observa que las zonas I y II (Alto Golfo y Grandes Islas) mantuvieron sus valores de ppn altos en ambas temporadas.

Chávez (2006) no encontró una relación clara entre las especies de ballenas que registró (talla grande) y las variables ambientales analizadas (clorofila, tsm), sin embargo encontró una afinidad del rorcual común a valores bajos de tsm. Los resultados de este

trabajo, coinciden parcialmente con dicho planteamiento, pues la distribución de los cetáceos, principalmente los mysticetos, en ambas temporadas, mostraron una ligera preferencia a los valores bajos de tsm (Figura 51). Lo anterior se puede apreciar mejor en la Figura 52, donde se observa que los valores de IAR disminuyeron drásticamente en el verano y latitudinalmente, con valores más altos en las zonas I y II. Un comportamiento similar tuvo la ppn, con una disminución de sus valores en las zonas más sureñas. Los odontocetos en cambio no tuvieron un comportamiento muy claro, pues fueron más escasos en la temporada fría y muy abundantes en la cálida. Para comprobar lo anterior, se determinó el comportamiento mensual de la tsm graficando sus promedios mensuales, respecto de la biomasa total registrada para el cada mes de un año tipo del periodo de estudio. En la Figura 53 se observa que se presentó un comportamiento inverso muy marcado entre la biomasa respecto de la tsm y, al estimar el coeficiente de correlación de Pearson, (prueba de normalidad $K-S$ Dist.=0.183 N=10 $p=0.082$) se obtuvo un valor de correlación de -0.858, (N=10, $p=0.00148$), lo que indicó una correlación negativa alta y significativa. Cabe mencionar que en esta prueba no se distinguió entre mysticetos y odontocetos y es para todo el golfo, por lo que es muy probable que la biomasa de los mysticetos haya influido en este resultado. Lo anterior coincide con lo reportado por los diversos autores ya mencionados al discutir la distribución y abundancia, en el sentido que las ballenas con mayor masa corporal, se distribuyen con preferencia en aguas con valores bajos de tsm y productivas, con excepción del cachalote.

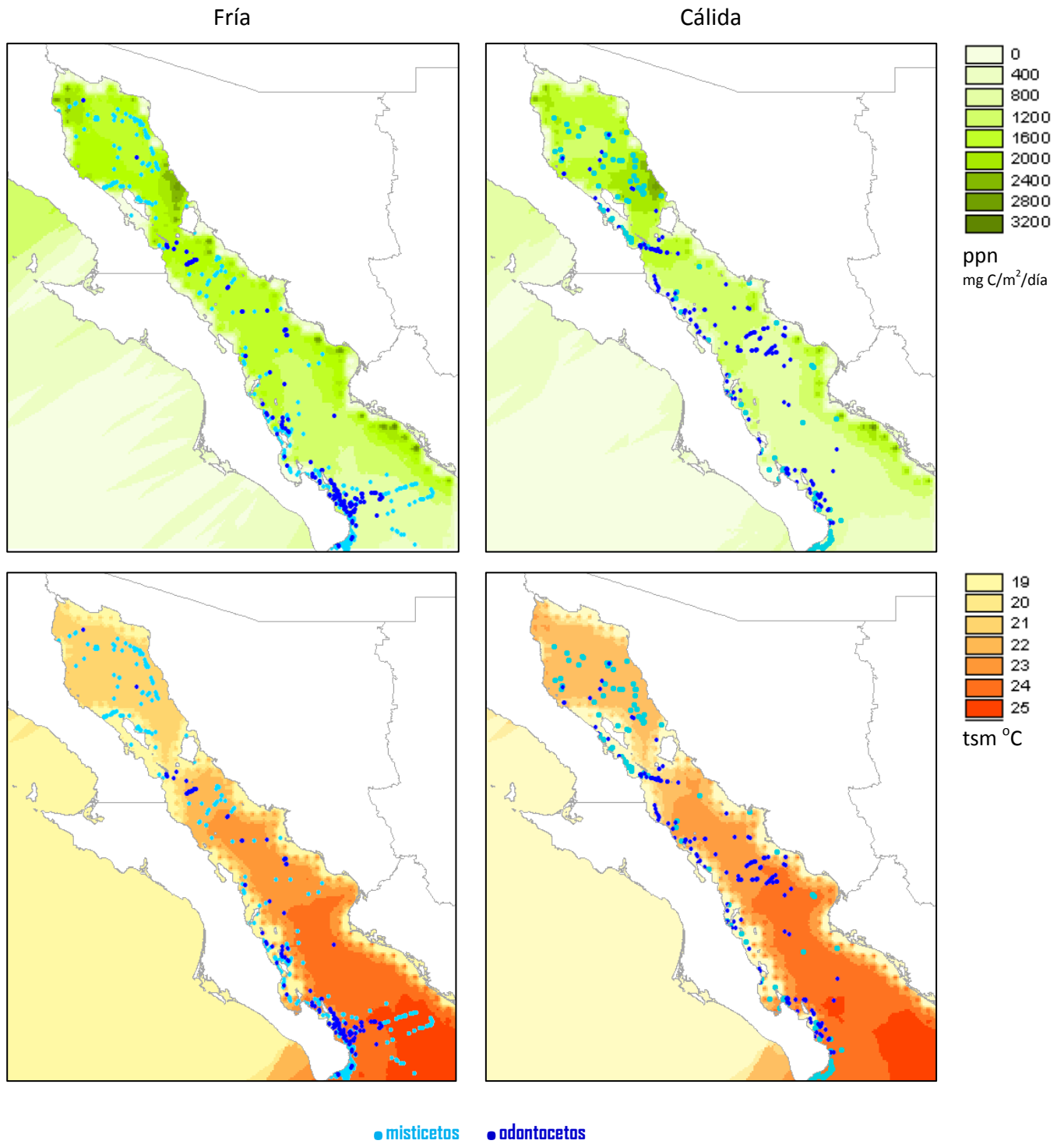


Figura 51. Distribución de avistamientos en relación con la producción primaria neta (superior) y la temperatura superficial del mar (inferior) durante la temporada fría (izquierda). La leyenda se muestra en el extremo derecho.

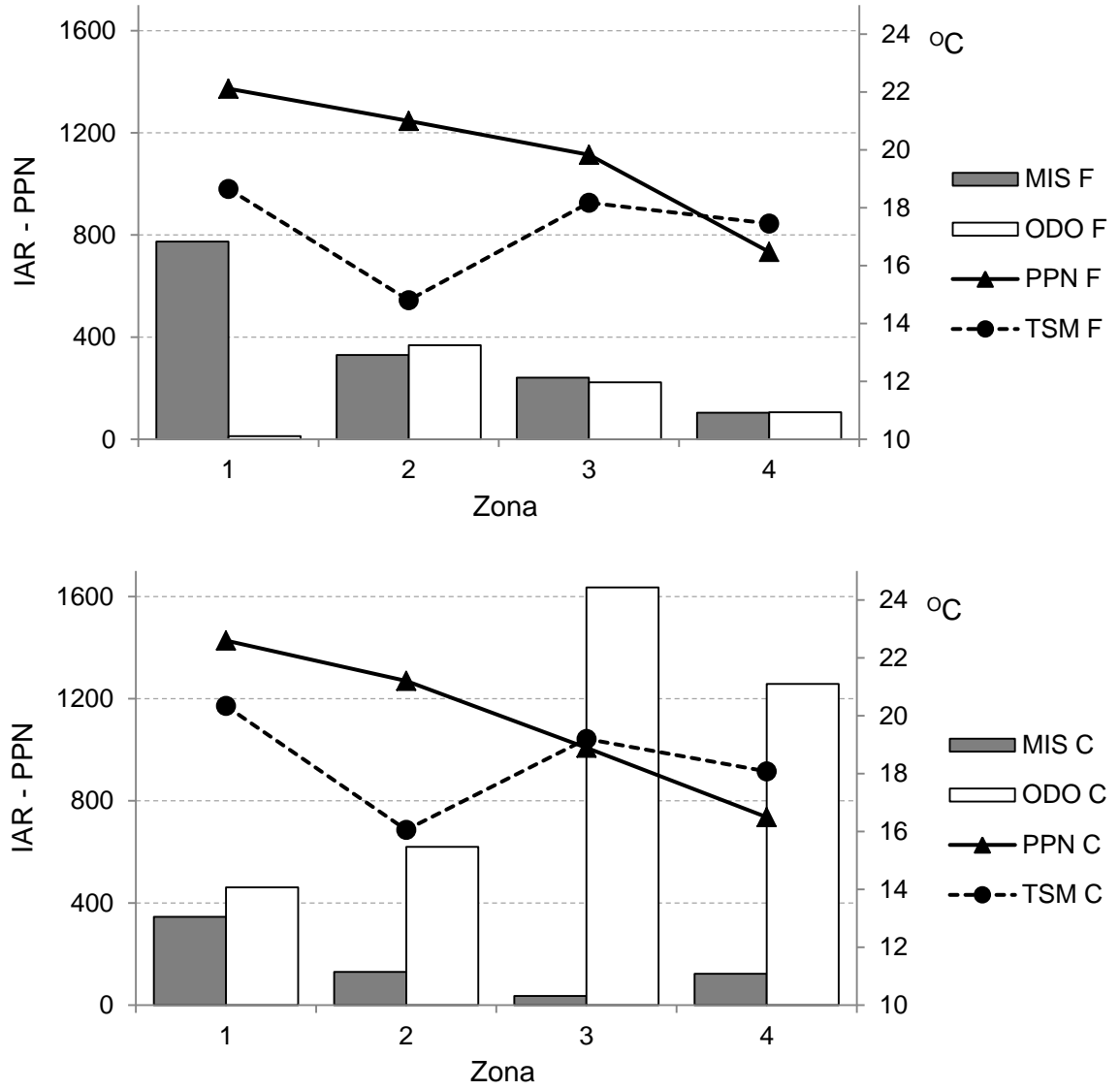


Figura 52. Relación entre el Índice de Abundancia Relativa (IAR) de misticetos (MIS) y odontocetos (ODO), con los valores promedio de la producción primaria neta (PPN) y la temperatura superficial del Mar (tsm), por zona y temporada (fría superior, cálida inferior). La escala del IAR y la PPN ($\text{mg C}/\text{m}^2/\text{día}$) se muestra a la izquierda, de la tsm a la derecha ($^{\circ}\text{C}$).

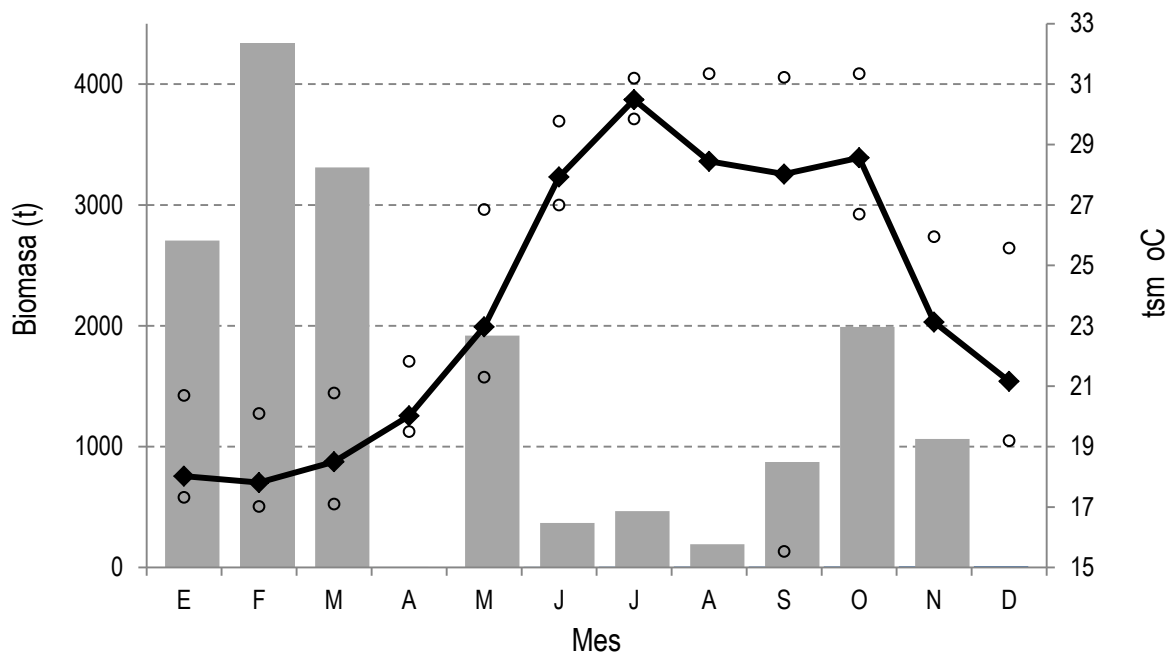


Figura 53. Relación del comportamiento mensual de la temperatura superficial del mar (tsm) (valores mensuales promedio del periodo de estudio), con la biomasa total estimada para cada mes del periodo. Los círculos indican los valores máximos y mínimos de la tsm.

Estimación de la distribución (Modelos aditivos generalizados, Máxima Entropía, Modelo conceptual propuesto)

En este trabajo se utilizaron dos estimaciones de la distribución, una que contempla el uso de modelos aditivos generalizados (GAM por sus siglas en inglés), y otra basada en el concepto de la máxima entropía (MAXENT). Por lo anterior surge la pregunta: ¿Por qué usar dos estimaciones similares en su aplicación y resultados, pero distintas en su concepción? La respuesta es justamente la última parte de la pregunta, por su concepción distinta, ya que hay una diferencia muy básica entre ambos modelos, más allá de la concepción teórica probabilística que los sustenta: el GAM considera datos de presencia/ausencia, mientras que el MAXENT utiliza de datos sólo presencia.

Para el presente estudio se contó con dos fuentes principales de información, una proveniente de una serie de navegaciones en barcos de mediano calado, donde se realizó un muestreo pseudo-aleatorio, pero que no tuvo como fin primordial determinar la

distribución de las grandes ballenas a lo largo del GC, además de haber sido principalmente costero debido a la autonomía limitada de las embarcaciones utilizadas; y la otra obtenida a partir de un muestreo aéreo, sistemático, que abarcó el área de estudio y que fue diseñado para estudiar la distribución y abundancia de las ballenas en el golfo.

Si bien para la propuesta de zonas de distribución de ballenas en el GC se requiere de información en toda el área, la información generada a partir de los recorridos aéreos fue limitada por su cantidad (sólo fueron cuatro recorridos de 8-10 días c/u) debido al alto costo que representa la contratación de este tipo de medios.

Al comparar los modelos de presencia-ausencia con los de sólo-presencia usando el mismo conjunto de datos, se ha encontrado un mejor desempeño de los de presencia-ausencia, lo que ha provocado que la mayoría de los investigadores los utilicen siempre que sea posible, sin embargo dichos estudios comparativos se limitaron a especies terrestres (Brotons et al. 2004) y poblaciones teóricas (Hirzel et al. 2001), por lo que no se sabe si dicho desempeño se mantiene en el ambiente marino, donde la detección de muchas especies es mucho menor que en el caso terrestre; sin embargo, si bien los modelos de presencia-ausencia posiblemente ofrezcan una mejor estimación de la distribución de las especies dentro de un área estudiada, los que utilizan sólo-presencia han demostrado hacerlo casi de la misma manera (MacLeod et al. 2008). Es importante mencionar que sólo muestreos diseñados sistemáticamente, o bien con una cobertura intensa y amplia, serían necesarios para utilizar los modelos de presencia-ausencia, premisa que difícilmente se cubrirá con recorridos en barco, pues su costo y el tiempo y esfuerzo empleados, serían prácticamente imposibles de solventar, sobre todo en países como el nuestro, donde el financiamiento para la investigación es limitado.

La mayoría de las especies de cetáceos presentan una alta capacidad de desplazamiento y pasan una cantidad importante de tiempo bajo la superficie, lo que provoca que su detección y la estimación del tamaño de grupo sean difíciles. MacLeod et al. (2008) sugieren que las aproximaciones de presencia-ausencia proporcionan la mejor capacidad predictiva para estos grupos y, por lo tanto, probablemente el mejor entendimiento de la distribución de las especies en relación con variables eco-geográficas,

por lo que sugiere siempre que sea posible, que tales aproximaciones de presencia-ausencia deben usarse. No obstante, el mismo autor menciona que cuando es difícil determinar la ausencia real en una zona por la naturaleza del muestreo (lo que en este estudio representa la información proveniente de los barcos), los modelos de sólo-presencia pueden producir buenas estimaciones de la distribución de especies marinas, pues trabajan significativamente mejor que modelos aleatorios. Williams (2003) también propone que los modelos de presencia-ausencia, generalmente tienen capacidad predicativa más alta para especies con mayor posibilidad de ser registradas, pero que no funcionan tan bien como los de sólo-presencia cuando su detección es baja. Para los cetáceos, el número de falsas ausencias en los datos para la construcción del modelo, pueden ser suficientes para violar el requisito de los modelos de presencia-ausencia, de que todos los datos sean verdaderos (MacLeod et al. 2008, Best et al. 2012). Por lo anterior, dependerá de la naturaleza de la información que se utilice, así como de la plataforma y diseño del muestreo mediante el cual haya sido obtenida la información, el tipo de modelo a utilizar.

Los modelos aditivos generalizados han probado su eficacia como técnicas que permiten establecer relaciones entre las variables ambientales y la presencia de cetáceos, con la finalidad de estimar (modelar) la distribución en áreas determinadas. Elith y Leathwick (2009) mencionan que los GAM son similares a los GLM, pero más versátiles por el uso de funciones suavizadoras para describir las respuestas no lineales de los datos, por lo que han proporcionado una útil flexibilidad adicional para el montaje de las relaciones ecológicamente realistas.

En cuanto al uso de los modelos basados en el principio de máxima entropía (Maxent), Elith et al. (2006) comprobaron que estos superaron constantemente métodos más establecidos y probados, cuando se trata de estudios realizados con datos de sólo presencia. En una comparación del desempeño de 16 métodos para el modelado de la distribución de especies utilizando este tipo de datos, Maxent superó el desempeño de GAM e incluso de los GML (modelos lineales generalizados), debido justamente a que fue diseñado para modelar estudios con datos de sólo presencia, por lo que al compararlos con

estudios con datos de presencia/ausencia, fueron más efectivos para las especies y regiones evaluadas. Elith y Leathwick (2009) mencionan que se está llegando a un acuerdo en la mejor forma de modelar con datos de solo presencia, pues la comparación de los registros de presencia con puntos de fondo o pseudo-ausencia (metodología utilizada en estos modelos para considerar aquellos puntos donde no hubo registros), ahora ya es común (p.ej. utilizando GARP, ENFA, MaxEnt, y los métodos de regresión).

En relación a los estudios con cetáceos utilizando estos modelos que consideran observaciones con presencia/ausencia, Forney et al. (2012) señalan que los GAM ofrecen un marco sólido para modelos predictivos de la densidad de cetáceos, siempre y cuando haya suficientes observaciones de cada especie, y que los estudios puedan caracterizar adecuadamente toda la gama de variabilidad oceanográfica. Por su parte Dalla et al. 2012, realizaron un estudio para estimar la distribución de las ballenas jorobadas en el área de British Columbia, Canadá utilizando GAM; encontrando que estas ballenas se asociaron fuertemente con las características de latitud, profundidad, pendiente y distancia a la isobata de los 100 m, y en menor medida a los frentes de tsm; pero no presentaron una relación clara con la clorofila o la producción primaria neta. Best et al. (2012) modelaron con GAM la distribución de cetáceos para el Golfo de México, y encontraron relación principalmente con la profundidad y la sst para misticetos, pero con los cachalotes y los zífidos sólo encontraron una relación clara con la profundidad (áreas profundas); lo que coincidió con este estudio. Friedlaender et al. (2011) utilizando Maxent, modelaron el nicho para los depredadores de krill (pingüino de Adelaide, foca cangrejera, y las ballenas jorobada y minke), encontrando una mayor relación a variables ambientales, en comparación a las concentraciones (enjambres) de krill. Pendleton et al. (2012) predijeron el hábitat de la ballena franca del Atlántico Norte (*Eubalaena glacialis*) con Maxent, y encontraron que el hábitat de la ballena cambió estacionalmente y que la definición se hizo más precisa cuando incluyeron a la distribución de su presa principal, el copépodo *Calanus finmarchicus*, en el modelo.

Al revisar los resultados arrojados en las estimaciones para la distribución de las ballenas en el presente trabajo, observamos coincidencia entre ambos modelos (GAM y

Maxent), con un patrón definido en la temporada fría de extensión de la distribución a lo largo del golfo, una contracción durante la temporada cálida hacia la región norte principalmente para los misticetos, pero con valores altos en el centro y suroeste para los odontocetos. Las principales variables que definieron la distribución fueron la tsm, las surgencias, la ppn y para el GAM la profundidad fue importante también.

La distribución estimada coincide en general con lo discutido en el apartado de distribución, donde se puede apreciar que los procesos oceanográficos del sistema de las Grandes Islas y el Canal de Ballenas, generan condiciones particulares que promueven altos valores de primaria a lo largo de todo el año (Badan-Dagon et al. 1991, Paden et al. 1991, Santamaría-del-Ángel et al. 1994, Soto-Mardones et al. 1999, López et al. 2006) y por lo tanto, ofrecen cantidades suficientes de alimento para sostener poblaciones de ballenas de gran talla en dicha zona. La zona central presenta procesos más estacionales con una importante generación de remolinos ciclónicos y anticiclónicos, así como trenes de remolinos, principalmente en verano (Pegau et al. 2002, Zamudio et al. 2008), lo que permite mantener valores de producción primaria relativamente altos en verano y con la presencia de cañones submarinos, permiten contar con las condiciones adecuadas para la presencia de cachalotes y otros odontocetos en la zona a lo largo del año. La zona sur, que se caracteriza por la presencia de frentes oceánicos, al compartir masas de agua del golfo y del Pacífico, la convierte en una zona de transición compleja, que se ve influenciada por aguas oligotróficas del Pacífico en la temporada cálida, pero que afectan principalmente a las costas continentales (Marinone 2003, Zamudio, 2008), lo que sostiene condiciones favorables para la producción de alimento para los cetáceos en general durante la temporada fría y para odontocetos y algunos misticetos (rorcual tropical) en la cálida.

Comparación con las propuestas existentes

Al revisar la propuesta general, que considera la totalidad del periodo de estudio y compararla con las propuestas existentes (Figura 54), se observan similitudes y diferencias que se exponen a continuación:

Respecto a la propuesta de la Coalición del Golfo de California (CGC) (Arriaga et al. 1998, Barrera et al. 2004) que se refiere a las áreas de importancia biológica específicamente para mamíferos marinos, se puede observar una coincidencia importante en la zona norte del GC y en la zona costera desde Loreto hasta Cabo Pulmo (Figura 54 A). Las principales diferencias ocurren en la zona costera continental, que abraza del sur de Sonora y norte de Sinaloa, donde la CGC la propone como un área con un índice de importancia biológica alto, mientras que en los resultados de este trabajo, tanto en la propuesta final, como en las propuestas resultado de las estimaciones por los GAM y MAXENT, no se observan un gran número de valores altos en esta zona. Otra diferencia importante con la propuesta de la CGC, es la ausencia de valores altos en la porción central del golfo, al sur de Isla Tiburón, zona que tiene valores altos y medio altos en esta propuesta y que fue una zona importante para los odontocetos en las estimaciones por GAM y MAXENT (Figs. 31, 33, 35, 36, 39, 42, 45-50).

Al comparar la propuesta de Planeación Ecorregional para la Conservación Marina del GC que realizaron Ulló et al. (2006 COBI), se observan aún menos coincidencias, entre las que se pueden mencionar zonas importantes al norte del GC y las zonas costeras de Loreto y La Paz, pero nuevamente observamos que dicha propuesta considera la costa continental del sur de Sonora y norte de Sinaloa importante y la ausencia en la región central del GC (Figura 54 B).

La tercer propuesta, realizada por Aburto y Sagastegui en 2006 (Figura 54 C), toma las áreas que actualmente cuentan con algún estatus de protección y propone algunas zonas que deberían agregarse a las mismas. En esta propuesta se observan coincidencias con las áreas que se proponen, principalmente en la zona central del golfo y la ampliación de la zona de Loreto.

A partir de los resultados obtenidos, se definieron las zonas con base en la propuesta para grandes ballenas en general durante el periodo de estudio (Figura 45), considerando que la misma representa bien las variaciones que se observaron entre las temporadas cálida y fría (Figuras 46 y 47 respectivamente).

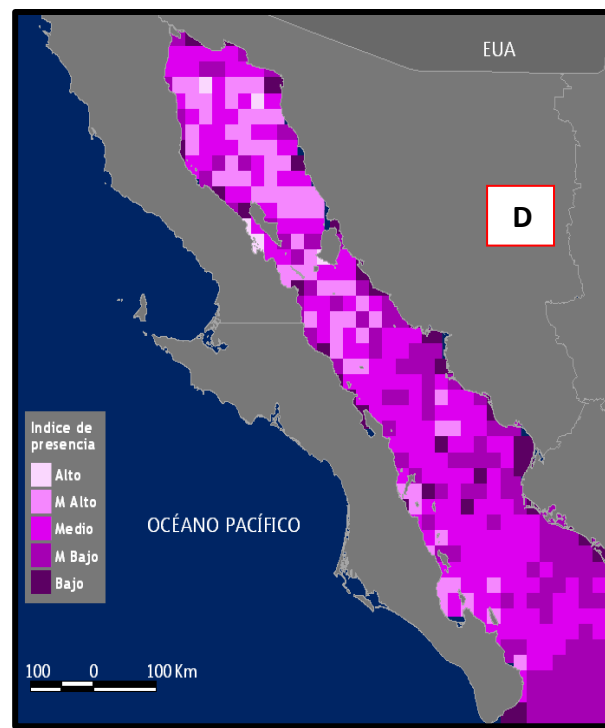
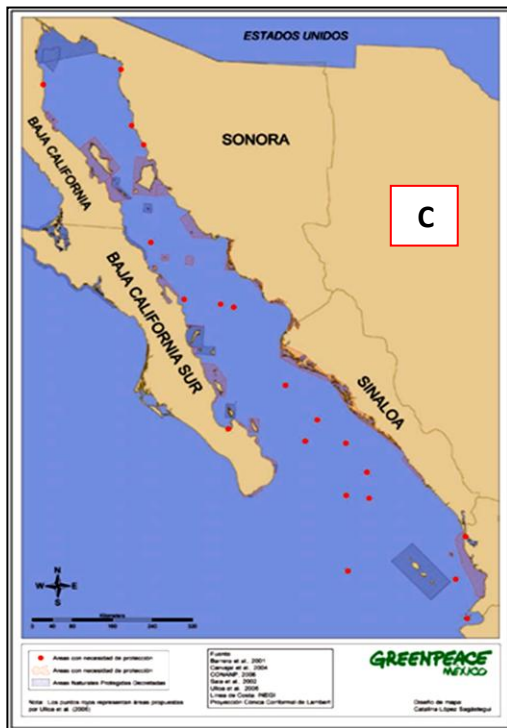
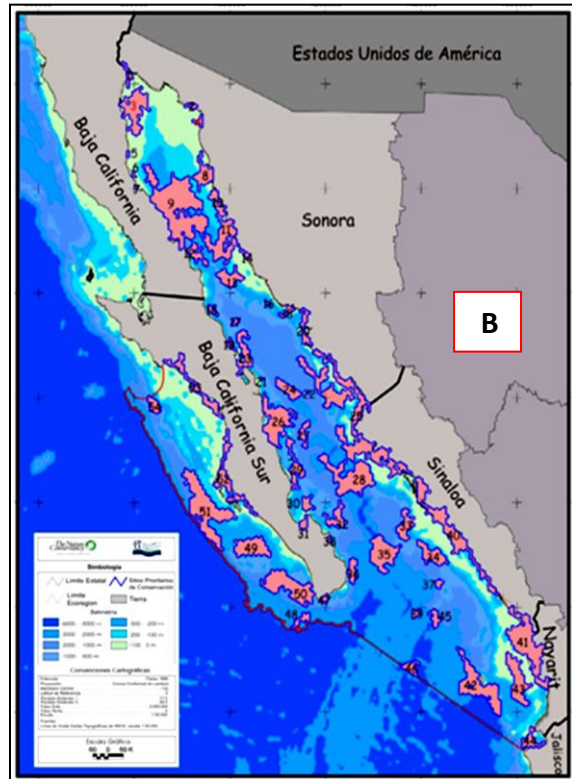


Figura 54. Comparación de las propuestas existentes con la que se realiza en este trabajo. Superior izquierda: Áreas de Importancia Biológica (AIB) para Mamíferos Marinos - Coalición del Golfo de California en 2001, superior derecha: Planeación Ecorregional para la Conservación Marina del GC y la costa occidental de B.C.S., - COBI 2006, inferior izquierda: Red de Reservas Marinas del GC propuesta por Aburto y López-Sagástegui en 2006 e inferior derecha: esta propuesta.

Propuesta de Zonas Prioritarias para la Conservación de Grandes Ballenas en el GC

A partir de los resultados obtenidos derivados de la caracterización ambiental, del modelado de la distribución a partir de la relación de la presencia de las ballenas con las características ambientales y de la integración de todos estos resultados, en la Figura 55 se muestran las zonas propuestas, las cuales se describen a continuación:

Zona I, Alto Golfo

Se ubica en la región más norteña del GC y se caracteriza por ser una zona en la que se observan agregaciones importantes de ballenas de talla grande, como las ballenas azules durante la temporada fría, los rorcuales comunes y los cachalotes a lo largo del año y una presencia menor de otros mysticetos como el rorcual tropical y la ballena de sei. Es una zona donde ocurren eventos oceanográficos de mesoescala de manera frecuente y a lo largo de todo el año, que promueven condiciones aptas para una producción primaria alta. Es importante mencionar que en esta zona se distribuye además, el único cetáceo endémico de México, el de menor talla y que su distribución se limita al Alto Golfo, la vaquita; la cual no fue considerada en este estudio por su talla menor, pero que sin duda representa un reto para las acciones de manejo y conservación del gobierno mexicano, pues su población se encuentra en un estado crítico, con una población estimada en menos de 250 animales (Rojas et al. 2006) y con proyecciones tan críticas, como que en ocho años pueden llegar a un punto donde su extinción sea irremediable (Jaramillo et al. 2007).

Zona II, Grandes Islas

Es sin duda es una zona de gran importancia para las grandes ballenas, pues está influenciada por la circulación del Alto Golfo y, además de los remolinos y surgencias, en esta zona es muy importante la circulación de mareas, lo que, al igual que el Alto Golfo,

promueve eventos de producción primaria alta durante todo el año. Lo anterior permite la presencia constante de una gran biomasa de cetáceos, principalmente rorcual común y cachalotes, pero en el invierno también es frecuente la ballena azul. Importante remarcar el Canal de Ballenas y la zona al sur de Isla San Esteban, con valores muy altos de predicción.

Zona II, Centro

Esta zona está caracterizada por grandes profundidades, surgencias estacionales importantes y con una marcada diferencia en sus características oceanográficas entre las estaciones cálida y fría. Como se observó en el modelado de la distribución, esta zona es particularmente importante para los odontocetos, pues fueron muy notorios sus altos valores de predicción para este grupo durante el verano. Entre las especies más importantes que se distribuyen en esta zona, está sin duda el cachalote.

Zona IV, Suroeste (costa peninsular)

Abarca principalmente el área marina desde Loreto hasta el extremo sur de la península, contemplando el sistema de Islas de Loreto, Isla San José, el Archipiélago de La Partida-Espíritu Santo y la Isla Cerralvo. Es una zona de características más oceánicas, con taludes marinos pronunciados y en la que su interacción con el Pacífico provoca la presencia de frentes oceánicos que provocan procesos importantes de producción primaria. Al ser una zona transicional entre el GC y el Pacífico presenta los mayores valores de riqueza y diversidad de especies de grandes ballenas respecto de las otras zonas. Durante el invierno hay agregaciones importantes de ballena azul y ballena jorobada y a lo largo del año podemos observar la presencia de los rorcuales común y tropical. Además se caracteriza por la gran diversidad de odontocetos cetáceos que presenta.

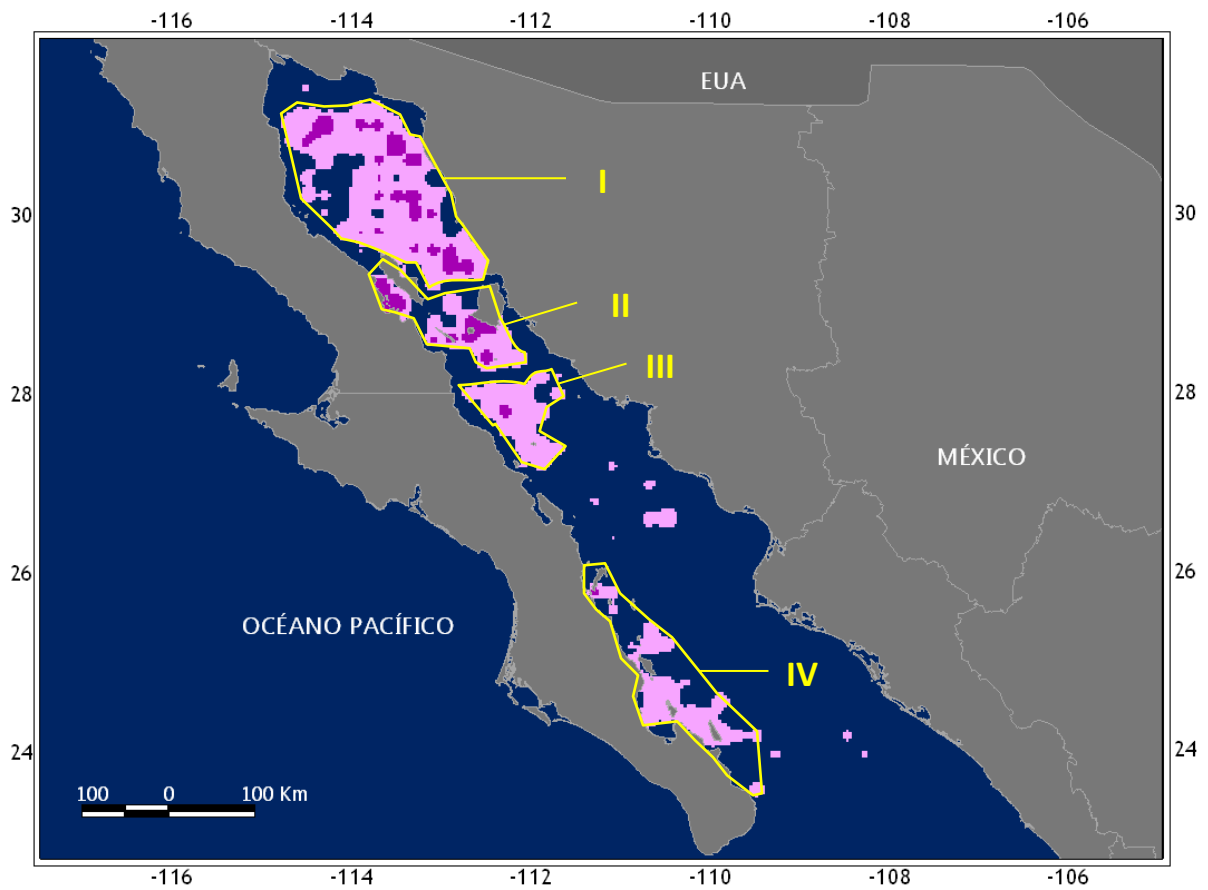


Figura 55. Propuesta de Zonas Importantes para la Conservación de las Grandes Ballenas en el GC. El área general de cada zona se delimita en color rosa, los sitios con una probabilidad muy alta de presencia de grandes ballenas están señalados en púrpura.

VIII. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Distribución y abundancia

- Las grandes ballenas se distribuyeron con mayor abundancia en el norte y suroeste del GC, con una ausencia marcada en la costa continental, a partir del sur de Sonora.
- La biomasa más abundante de misticetos en el área, estuvo representada por los grandes rorcuales (ballena azul y rorcual común) en el norte y por la ballena jorobada en el sur. En los odontocetos la mayor biomasa correspondió a los cachalotes y calderones de aletas cortas, pero en el sur hubo además un número importante de zifios y cachalotes enanos.

Índices Ecológicos

- La riqueza de especies aumentó a menores latitudes, tanto en la temporada fría, como en la cálida.
- La diversidad tuvo un comportamiento correspondiente con la riqueza, en aumento conforme disminuyó la latitud sin importar la temporada del año. Sólo hubo diferencias significativas entre la diversidad de la zona I respecto a la III y IV en la temporada cálida.
- Los mayores valores de similitud se presentaron entre las zonas III y IV y los menores entre las zonas I y IV, sobre todo en la temporada cálida.

Caracterización ambiental

- La zona del Alto Golfo presentó características oceanográficas y procesos de mesoescala que favorecieron la producción primaria principalmente en invierno.

- La zona de las Grandes Islas mantuvo valores altos de clorofila-*a*, productividad y surgencias durante todo el año.
- Las zonas del centro y del suroeste se caracterizaron por una intensa actividad de mesoescala durante la temporada fría, y una caída drástica de la misma durante la cálida, principalmente la central, asociada principalmente a la intrusión de masas de agua tropical proveniente del Pacífico.

Modelado de la distribución

- El uso de los modelos aditivos generalizados y de los basados en el principio de máxima entropía, demostraron ser eficientes para estimar la distribución de las grandes ballenas.
- La estimación de la distribución usando las dos herramientas fue coincidente en general, estimando que durante el invierno hay una distribución amplia a lo largo del golfo por parte de las grandes ballenas, pero que en el verano esta distribución se limita a las regiones centro y norte del mismo. Las variables que tuvieron una mayor contribución en la estimación de la distribución fueron: la tsm, los procesos de mesoescala (principalmente surgencias y remolinos) y en menor medida la ppn y la profundidad.
- La integración de la información, reforzó el resultado obtenido por los anteriores y fue útil para definir las zonas de importancia para la conservación

Regiones prioritarias para la conservación

- A partir del análisis propuesto, se establecieron cuatro zonas: Alto Golfo, Grandes Islas, Centro y Suroeste.
- La propuesta de zonas coincide en parte con otras propuestas anteriores relacionadas con zonas prioritarias de conservación, pero presenta dos diferencias importantes: la zona Centro que no había sido considerada y la ausencia de una zona en la costa continental, a partir del sur de Sonora.

IX. Literatura citada

- Aburto O., O. y C. López-Sagástegui. 2006. Red de Reservas Marinas del Golfo De California: Una Compilación de los Esfuerzos de Conservación. Greenpeace México. México D.F. 32 pp.
- Acevedo-Gutiérrez, A., D.A. Croll y B.R. Tershy. 2002. High feeding cost limit dive time in the largest whales. *J. Exp. Biol.* 205:1747-1753 pp.
- Aguayo L., A. J. Urbán-R., R. Sánchez-T. y L. Rojas-B. 1986. Diversidad y distribución de los cetáceos en el Golfo de California. Resúmenes: XI Reunión Internacional para el Estudio de Mamíferos Marinos. Guaymas, Son., México.
- Alba-Fernández, C.I. 1997. Estructura Comunitaria de los Odontocetos de Bahía de La Paz y Alrededores, B.C.S., México (Mayo de 1989 a Abril de 1995). Tesis de Licenciatura. U.A.B.C.S. La Paz, B.C.S. 66 pp.
- Álvarez, C., A. Aguayo, R. Rueda y J. Urbán. 1990. A note on the stock size of humpback whales along the Pacific coast of México. *Rep. Int. Whal. Commn.* (Special Issue 12): 191-193 pp.
- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California, 427-450. En: Ketchum, B.K. (Ed.) *Ecosystems of the world 26. Estuaries and enclosed areas*. Elsevier, Amsterdam.
- Álvarez-Borrego, S. 2002. Physical oceanography, 1-25. En: Case, T., M. Cody & E. Ezcurra (Eds.) *Island Biogeography of the Gulf of California*. Oxford University Press.
- Álvarez-Borrego, S., Rivera, J.A. G. Gaxiola-Castro, M.J. Acosta-Ruiz y R.A. Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 5(2):53-71 pp.
- Álvarez-Borrego, S y Schwartzlose, R.A. 1979. Water masses of the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 6 (1,2): 43-63 pp.
- Álvarez-Borrego, S. y J.R. Lara-Lara. 1991 The Physical Environment and Primary Productivity of the Gulf of California. Chapter 26 En: Simoneit, B.R.T. and J.P. Dauphin (Eds.) *The Gulf and Peninsular Province of the California's*. *Am. Assoc. Petr. Geo. Memor.* 47 pp.
- Anónimo. 2002. Acuerdo que establece como área de refugio para proteger las especies de grandes ballenas de los subórdenes Mysticeti y Odontoceti, las zonas marinas que forman parte del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. *Diario Oficial de la Federación*. 24 de mayo de 2002.
- Arias A., J.P. 1998. Regionalización del Golfo de California: propuesta a partir de concentración de pigmentos fotosintéticos (CZCS). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S. México.
- Arriaga C., L., E. Vázquez D., J. González C., R. Jiménez R., E. Muñoz L. y V. Aguilar S. 1998. *Regiones marinas prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

- Badan-Dangon, A. 1998. Coastal circulation from the Galapagos to the Gulf of California. In: *The Sea, Pan Regional Vol. 11*. A. R. Robinson and K. H. Brink (Eds). John Wiley and Sons, 315-343 pp.
- Badan-Dangon, A., Dorman, C.E., Merrifield, M.A. y Winant, C.D. 1991. The lower atmosphere over the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 96(16): 877-896.
- Barlow, J., K. A. Forney, P. S. Hill, R. L. Brownell, J. V. Carretta, D. P. DeMaster, F. Julian, M. S. Lowry, T. R. Ragen y R. R. Reeves. 1997. U.S. Pacific marine mammal stock assessments. NOAA Tech. Mem. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-248. 223 pp
- Barrera G., E. Parra S., M del P., A., J. Vaca, H. Licón y L. Findley. 2004. Prioridades de Conservación para el Golfo de California. World Wildlife Fund México, Programa Golfo de California. 70 pp.
- Baumgartner, T.R. y Christensen, N.Jr. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *Journal of Marine Research*, 43: 825-848.
- Beier, E. 1997. A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*. 27(5): 615-632.
- Bérubé, M., A. Aguilar, D. Dedanto, F. Larsen, G. Notarbartolo-Di-Sciara, R. Sears, J. Sigurjonsson, J. Urbán R. y P. J. Palsboll. 1998. Population genetic structure of North Atlantic, Mediterranean and Sea of Cortez fin whales, *Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758): Análisis of mitochondrial and nuclear loci. *Molecular Ecology* 7:585-600 pp.
- Berubé M., A., J. Urbán R., A. Dizon, R.L. Brownell y P.J. Pasbøll. 2002. Genetic identification of a small and highly isolated population of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Sea of Cortez, México. *Conservation Genetics* 3: 183-190 pp.
- Best, P.B. 2007. *Whales and Dolphins of the Southern African Subregion*. Cambridge University Press, 338 pp.
- Best B.D., P.N. Halpin, A.J. Read, E. Fujioka, C.P. Good, A. LaBrecque E.A., R.S. Schick, J.J. Roberts, L.J. Hazen, S.S. Qian, D.L. Palka, L.P. Garrison y W.A. McLellan. 2012. Online cetacean habitat modeling system for the US east coast and Gulf of Mexico. *Endang Species Res* 18:1-15 pp.
- Brinton E. y W. Townsend. 1980. Euphasiids in the Gulf of California-The 1957 cruises. CalCOFI Rep. 21: 211-236 pp.
- Brotans, L., W. Thuiller, M.B. Araujo y A.H. Hirzel. 2004. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography* 27:437-448 pp.
- Brownell, Jr., L. Robert, L.T. Findley, O. Vidal, A. Robles y S. Manzanilla N. 1987. External morphology and pigmentation of the vaquita, *Phocoena sinus* (Cetacea: Mammalia). *Mar. Mamm. Sci.* 3(1):22-30. 1987.

- Brusca, R.C., L.T. Findley, P.A. Hastings, M.E. Hendrickx, J. Torre-Cosio y A.M. VanDer-Heiden. 2005. Macrofaunal diversity in the Gulf of California, 179-203. En: Cartron, J.L.E., G. Ceballos y R.S. Felger. (Eds.) *Biodiversity, ecosystems and conservation in northern Mexico*. Oxford University Press.
- Buckland, S.T., D.R. Anderson, K.P. Burnham y J.L. Laake. 1993. *Distance sampling: estimating abundance of biological populations*. Ed. Chapman and Hall, London.
- Calambokidis, J.; G. H. Steiger; J. C. Cabbage; K. C. Balcomb; C. Ewald; S. Kruse; R. Wells y R. Sears. 1990. Sightings and movements of blue whales off Central California 1986-1988 from photoidentification of individuals. *Rep. Intl. Whal. Commn.. Spec. Iss.* 12: 343-348.
- Cárdenas H., G. 2008. Distribución y hábitat de zífidos en la costa sudoccidental del Golfo de California (Cetacea: Ziphiidae)". Tesis Maestría, Universidad Autónoma de B.C.S., México. 75 pp.
- Carrillo, L., M.F. Lavín y E. Palacios-Hernández. 2002. Seasonal evolution of the geostrophic circulation in the northern Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54: 157-173.
- Chávez, A.M. 2006. Caracterización del hábitat de grandes cetáceos del Golfo de California durante invierno. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas CICIMAR-IPN. La Paz B.C.S. México.
- Chao, A. y T.-J. Shen. 2003. Nonparametric estimation of Shannon's index of diversity when there are unseen species in sample. *Env. Ecol. Stat.* 10: 429-443.
- Chao, A., R.L. Chazdon, R.K. Colwell y T.J. Shen. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters* 8: 148-159 pp.
- Croll, D. A., Tershy, B. R., Hewitt, R. P., Demer, D. A., Fiedler, P. C., Smith, S. E., Armstrong, W., Popp, J. M., Kiekhefer, T., Lopez, V. R., Urbán, J. y Gendron, D. (1998). An integrated approach to the foraging ecology of marine birds and mammals. *Deep-Sea research II*. 45: 1353-1371.
- Croll, D.A., B. Marinovic, S. Benson, F.P. Chavez, N. Black, R. Ternullo y B.R. Tershy. 2005. From wind to whales: trophic links in a coastal upwelling system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 289:117-130.
- Colwell, R.K., A. Chao, N.J. Gotelli, S.-Y. Lin, C.X. Mao, R.L. Chazdon y J.T. Longino. 2012. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology* 5:3-21.
- Cummings, W.C., P.O. Thompson y J. Ha Samuel. 1986. Sounds from Bryde, *Balaenoptera edeni*, and Finback, *B. physalus*, whales in the Gulf of California. *Fishery Bulletin*. 84(2): 359-370.

- Dalla R., L., J.K.B. Ford y A.W. Trites. 2012. Distribution and Relative Abundance of Humpback Whales in Relation to Environmental Variables in Coastal British Columbia and Adjacent Waters. *Continental Shelf Research* 36:89–104 pp.
- De Lanza-Espino, G. 1991. *Oceanografía de los mares mexicanos*. AGT Editor. México. 569 pp.
- Del Ángel Rodríguez, J.A., 1997. Hábitos alimentarios y distribución espacio-temporal de los rorcuales común (*Balaenoptera physalus*) y azul (*B. musculus*) en La Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S., México, 68 pp.
- Demarcq, H., D. Dagorne y J.J. Agenbag. 2011. Biological Response Associated With a Coastal Upwelling Event, pp. 209-239. En: J.Morales, V. Stuart, T. Platt y S. Sathyendranath (Eds). *Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Marine Applications Resources Conservation and Management*. U PRESPO and IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Díaz G., C. F. 2006. Abundancia y movimientos del rorcual común, *Balaenoptera physalus*, en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 49 pp.
- Elith, J., C.H. Graham, R.P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R.J. Hijmans, F. Huetmann, J.R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L.G. Lohmann, B.A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. Overton, A.T. McC. Peterson, S.J. Phillips, K.S. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R.E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M.S. Wisz y N.E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151 pp.
- Elith J. y J.R. Leathwick. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annu. Rev Ecol. Evol. Syst.* 40: 677–697 pp.
- Elith, J., S.J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y.E. Chee y C.J. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity Distrib.* (17): 43–57.
- Emilsson, I. y M. Alatorre A.. 1980. Recent investigations on the circulation in the outer part of the Gulf of California, pp. 1-24. En: Ayala-Castañares, A., F.B. Phleger, R. Schwartzlose y A. Laguarda (Eds.). *Memorias Simposio El Golfo de California*. Univ. Nal. Autón. Méx. México, D.F.
- Enríquez P., 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, U.A.B.C.S. 59 pp.
- Ferguson, M.C., J. Barlow, S. B. Reilly y T. Gerrodette. 2006. Predicting Cuvier's (*Ziphius cavirostris*) and Mesoplodon beaked whale population density from habitat characteristics in the eastern tropical Pacific Ocean. *J. Cetacean Res. Manage.* 7(3):287–299 pp.

- Fiedler P.C., S.B. Reilly, R.P. Hewitt, D. Demer, V.A. Philbrick, S. Smith, W. Armstrong, D.A. Croll, B.R. Tershy y B.R. Mate. 1998. Blue whale habitat and prey in the California Channel Islands. *Deep-Sea Res.* 45:781-1801 pp.
- Findley, L.T., O. Vidal, A.L. Figueroa, J. Vélez, J. Maldonado, S. Fernández y G. Álvarez. 1988. Los cetáceos en el Golfo de California durante 1987. Resúmenes de la XIII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz B.C.S. México. 6-9 abril de 1998.
- Findley L.T. y O. Vidal. 2002. Gray whales (*Eschrichtius robustus*) at calving sites in the Gulf of California, México. *J. Cetacean Res. Manage.* 4(1):27-40 pp.
- Flores-Ramírez. S. 1989. La Presencia del Rorcual de Bryde (*Balaenoptera edeni*, Anderson, 1978) en el Golfo de California. Tesis de Licenciatura, UABCS. México. 106 pp.
- Flores-Ramirez, S., J. Urban R., G. Villarreal-Chavez y R. Valles-Jimenez. 1996. Spatial and temporal changes in the cetacean community structure at Bahía de La Paz, B.C.S., Mexico (1988-1991). *Ciencias Marinas* 22(2):151-173 pp.
- Forney, K.A. 2000. Environmental Models of Cetacean Abundance: Reducing Uncertainty in Population Trends. *Conservation Biology* 14(5):1271-1286 pp.
- Forney, K.A., M.C. Ferguson, E.A. Becker, P.C. Fiedler, J.V. Redfern, J.B., I.L. Vilchis, L.T. Ballance. 2012 . Habitat-based spatial models of cetacean density in the eastern Pacific Ocean. *Endang Species Res* 16: 113–133 pp.
- Franklin, J. (2009) *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Friedlaender, A.S., D.W. Johnston, W.R. Fraser, J.Burns., P.N. Halpin y D.P.Costa. (2011). Modelado de nicho ecológico de los depredadores de krill alrededor simpátrica Bahía Margarita, Península Antártica Occidental *Deep-Sea Research* 58:1729–1740 pp.
- García-Morrales, R. 2008. Análisis de la Variabilidad Superficial de Mesoescala en el Golfo de California y su Relación con la Distribución y Abundancia Relativa de Mysticetos (2005-2006). Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 115 pp.
- Gaskin. D.E. 1983. *The ecology of wales and dolphins*. Heinemann editors.Londres. 459 pp.
- Gendron D. 1990. Relación entre la abundancia de eufáusidos y la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) en el Golfo de California. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). 64pp.
- Gendron D. 1993. Índice de avistamientos y distribución del género *Balaenoptera* en el Golfo de California, México durante febrero, marzo y abril de 1988. *Revista de Investigación de la UABCS*. Número Especial de la SOMEMMA 1:21-30 pp.
- Gendron, D. 2002. Ecología poblacional de la ballena azul, *Balaenoptera musculus*, de la península de Baja California. Tesis de Doctorado, CICESE. Ensenada, B.C.112 p.
- Gendron, D. y S. Chávez R. 1996. Recent sei whale (*Balaenoptera borealis*) sightings in the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals* 22(2): 127-130 pp.

- Gendron, D. y S.L. Mesnick. 2001. Sloughed skin: A method for the systematic collection of tissue samples from Baja California blue whales. *Journal of Cetacean Research and Management* 3(1):77-79 pp.
- Gendron, D.; S. Aguiniga y J. D. Carriquiry. 2001. ^{15}N and ^{13}C in skin biopsy samples: A note on their applicability for examining the relative trophic level in three orca species. *Journal of Cetacean Research and Manage.* 3(1):41-44 pp.
- Gilmore R.M. 1957. Whales around in Cortés Sea. Tragic strandings in the Gulf of California. *Pacific Discovery* 10: 22-27 pp.
- Godínez-Sandoval V. M. 2011. Dinámica y termodinámica en la entrada exterior al Golfo De California. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Marinas, UABC, México. 139 pp.
- Good, I.J. 1953. The population frequencies of species and the estimation of population parameters. *Biometrika* 40: 237-264.
- Guerrero, R., M. J. Urbán R. y L. Rojas B. 2006. *Las Ballenas del Golfo de California*. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat) México, D.F. 524 pp.
- Hirzel, A. H., V. Helfer y F. Metral. 2001. Assessing habitat-suitability models with a virtual species. *Ecological Modelling*. 145: 111-121 pp.
- Heyning, J. E. y T. D. Lewis. 1990. Entanglements of baleen whales in fishing gear off Southern California. (SC/41/PS14). *Rep. Int. Whal. Commn* 40: 427-431.
- Jaquet N. y 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 pp.
- Jaramillo L., A.M., L. Rojas B. y T. Gerrodette. 1999. A new abundance estimate for vaquitas: First step for recovery. (*Phocoena sinus*). *Marine Mammal Science* 15(4):957-973 pp.
- Jaramillo-Legorreta, A., L. Rojas-Bracho, R.L. Brownell Jr. A.J. Read, R.R. Reeves, K. Ralls y B. L. Taylor. 2007. Saving the Vaquita: Immediate Action, Not More Data. *Conserv Biol.* 21(6):1653-55 pp.
- Jiménes-Illescas, A. R., M. Obeso-Nieblas y D. A. Salas de León. 1997. Oceanografía física de Bahía de La Paz. En: Urbán R., J. and M. Ramírez R. (Eds) *La Bahía de la Paz, investigación y conservación*. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS. México. 345 pp.
- Ladrón de Guevara P., P. 1995. La ballena jorobada *Megaptera novaeangliae* (Borowski, 1781) en la Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, Mexico. (Cetacea: Balaenopteridae). Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 155 pp.
- Lavín, M.F. y Marinone, S.G. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. En: *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. O.U. Velasco Fuentes et al. (Eds). Kluwer Academic Publishers. Países Bajos. 173-204 pp.
- Lavín, M. F., E. Beier, J. Gómez-Valdés, V. M. Godínez-Sandoval y J. García. 2006. On the summer poleward coastal current off SW México. *Geophysical Research Letters* 33, L02601, doi:10.1029/2005GL024686

- Leatherwood, S. y R. R. Reeves. 1983. *The Sierra Club handbook of whales and dolphins*. Sierra Club Books, U.S.A. 47-51 pp.
- Leatherwood, S., R.R. Reeves, W.F. Perrin y W.E. Evans. 1988. *Whales, dolphins and porpoises of the Eastern North Pacific and adjacent Arctic waters: a guide to their identification*. Dover Publications, Inc., New York. 245 pp.
- Lluch-Cota, S.E. 2004. Gulf of California, 1-7 pp. In: *Marine Ecosystems of the North Pacific. PICES Spec. Pub. 1*. 1280 pp.
- Lluch-Cota, S., E. A Aragón N., F. Arreguín S., D. Aurióles G., J. Bautista R., R.C. Brusca, R. Cervantes D., R. Cortés A., P. Del-Monte L., A. Esquivel H., G. Fernández, M.E. Hendrickx, S. Hernández V., H. Herrera-C., M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D. Lluch-Cota, J. López M., S.G. Marinone, M.O. Nevárez M., S. Ortega G. E. Palacios C., E. Parés S., G. Ponce D., M. Ramírez-Rodríguez, C. Salinas-Z., R.A. Schwartzlose, y A. P. Sierra B. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography* 73: 1–26 pp.
- López, J.M. 2005. Variabilidad anual e interanual de la clorofila- (SeaWiFS) y el viento superficial (QuikSCAT) en el Alto Golfo de California: su circulación y asociación. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. 62 pp.
- López, M., Candela, J. y M.L. Argote. 2006. Why does the Ballenas Channel have the coldest SST in the Gulf of California? *Geophysical Research Letters*, 33:1-5 pp.
- MacLeod, C., L. Mandleberg, C. Schweder, S.M. Bannon y G. Pierce. 2008. A comparison of approaches for modelling the occurrence of marine animals. *Hidrobiología*. 612:21–32 pp.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Maluf, L.Y. 1983. The Physical Oceanography, 26-45. En: Case, T. J. y M. L. Cody (Eds.) *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. University of California Press, Berkeley.
- Mangels, K.F. y T. Gerrodette. 1994. Report of cetacean sightings during a marine mammal survey in the eastern Pacific Ocean and the Gulf of California aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan July 28-November 6, 1993. NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-211. 88 pp.
- Marinone, S.G. 2003. A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 108: 21-27 pp.
- Mazzoca, L., S. Atkinson y E. Nitta. 1998. Deaths and entanglements of humpback whales, *Megaptera novaeangliae* in the main Hawaiian Islands 1972-1996. *Pac. Sci.* 52(1):1-13 pp.
- McClain, E.P., W.G. Pichel y C.C. Walton. 1985. Comparative performance of AVHRR based multichannel sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research* 90: 11587–11601 pp.

- Moore, S.E. 2008. Marine Mammals as Ecosystem Sentinels. *Journal of Mammalogy* 89(3):534–540 pp.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Navarro-Olache, L.F., M.F. Lavín, L.G. Alvarez-Sánchez y A. Zirino. 2004. Internal structure of SST features in the central Gulf of California. *Deep Sea Research II*, 51: 673-687 pp.
- Niño-Torres, C.A., J. Urbán-Ramírez. y O. Vidal. 2011. Mamíferos Marinos del Golfo de California: Guía Ilustrada. Publicación Especial No. 2. Alianza WWF México-Telcel. 192 pp.
- Norris, K. S. y W. N. McFarland. 1958. A new harbor porpoise of the genus *Phocoena* from the Gulf of California. *Journal of Mammalogy* 39(1):22-39 pp.
- Ortega Ortiz, J.G. 2002. Multiscale analysis of cetacean distribution in the Gulf of Mexico. Dissertation Abstracts International Part B: *Science and Engineering*. 63(4):1735 pp.
- Paden, C.A., M.R. Abbott y C.D. Winant. 1991. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California, 1. Sea surface temperature variability. *Journal of Geophysical Research*, 96(C10):18337-18359 pp.
- Palacios, D.M. 2003. Oceanographic Conditions Around the Galápagos Archipelago and their Influence on Cetacean Community Structure. Ph.D. Dissertation. Oregon State University. 178 pp.
- Palacios-Hernández, E., E. Beier, M.F. Lavín y P. Ripa. 2002. The effect of the seasonal variation of stratification on the circulation of the northern Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, 32:705-728 pp.
- Paniagua M., A. 2009. Caracterización del hábitat de los cetáceos comunes en el Golfo de California durante julio-agosto 2007. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas IPN, 93 pp.
- Pearce, J. y S. Ferrier. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological Modelling* 133:225-245 pp.
- Pegau, W.S., Boss, E. y Martínez, A., 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. *Geophysical Research Letters*. 29(9) doi:-10.1029/2001GL014076.
- Pendleton D.E., P.J. Sullivan, M.W. Brown, T.V. N. Cole, C.P. Good, C.A. Mayo, B.C. Monger, S. Phillips, N.R. Record y A.J. Pershing. 2012. Weekly predictions of North Atlantic right whale *Eubalaena glacialis* habitat reveal influence of prey abundance and seasonality of habitat preferences. *Endangered Species Research* 18: 147–161
- Pettis, J., S. Jaume, Tadeo Pfister, X. Basurto, J. Urbán R., J. P. Gallo y L. Findley. 2000. Patrones de movimientos de las ballenas de aleta, *Balaenoptera physalus*, fotografiadas en Bahía Kino y Guaymas, Sonora. Resúmenes: V Congreso Nacional de Mastozoología. Mérida, Yucatán, México.

- Phillips S.J., R.P. Anderson y R.E. Schapire. 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, 655-662 pp.
- Phillips S.J., R.P. Anderson y R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190:231-259 pp.
- Phillips S.J. y M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175 pp.
- Platt, T., H. Bouman, E. Devred, C. Fuentes-Yaco y S. Sathyendranath. 2005. Physical forcing and phytoplankton distributions. *Scientia Marina* 69(1): 55-73
- Redfern, J. V., M. C. Ferguson, E. A. Becker, K. D. Hyrenbach, C. Good, J. Barlow, K. Kaschner, M. Baumgartner, K. A. Forney, L. T. Ballance, P. Fauchald, P. Halpin, T. Hamazaki, A. J. Pershing, S. Qian, A. Read, S. Reilly, L. Torres y C. Werner. 2006. Techniques for cetacean-habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series* 310: 271– 295 pp.
- Reeves, R.R., B.S. Stewart, P.J. Clapham y J.A. Powell. 2002. *National Audubon Society Guide to Marine Mammals of the World*. Alfred A. Knopf, New York. 527 pp.
- Rice, D. W. 1998. Marine mammals of the world. Systematics and distribution. Special Publication No. 4. The Society of Marine Mammalogy. 231 pp.
- Ripa, P., 1990. Seasonal circulation in the Gulf of California. *Ann. Geophys.* 8: 559– 564 pp.
- Rojas B., L. 1984. Presencia y distribución del rorcual común, *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. Univ. Nacional Autónoma de México. México. 157 pp.
- Rojas, L. y B. Taylor. 1999. Risk factors affecting the vaquita (*Phocoena sinus*). *Marine Mammal Science* 15(4):974-989 pp.
- Rojas-Bracho, L., R. R. Reeves y A. Jaramillo-Legorreta. 2006. Conservation of the vaquita *Phocoena sinus*. *Mammal Rev.* 36(3):179-216 pp.
- Rubio C., N. 2002. Dinámica de la Estructura Comunitaria de Mysticetos en la Bahía de La Paz B.C.S., México (1988-1995). Tesis de Licenciatura. UABCS. México. 52 pp.
- Salinas Z., M. y L. Bourillón. 1988. Taxonomía y distribución de los mamíferos marinos de Bahía de Banderas, Jal., México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 211 pp.
- Salvadeo, Ch. 2008. Análisis de la Comunidad de Odontocetos y la Relación con su Ambiente, en el Extremo Suroccidental del Golfo de California, México (2003-2006). Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 63 pp.
- Salvadeo, C.J., A. Gómez-Gallardo U., D. Lluch-Belda y J. Urbán R. 2009. The Odontocete Community and its Environment In the Southwestern Gulf of California. *Lat. Am. J. Aquat. Mamm.* 7(1-2): 23-32 pp.

- Salvadeo C.J., D. Lluch-Belda, A. Gómez-Gallardo U., J. Urbán R. y C.D. MacLeod, 2010. Climate change and a poleward shift in the distribution of the Pacific white-sided dolphin in the northeastern Pacific. *Endang Species Res*: 11: 13–19 pp.
- Salvadeo C.J., S. Flores-Ramírez, A. Gómez-Gallardo U., C. MacLeod, D. Lluch-Belda, S. Jaume-Schinkel, J. Urbán R. 2011. El rorcual de Bryde (*Balaenoptera edeni*) en el suroeste del Golfo de California: Su relación con la variabilidad de ENOS y disponibilidad de presas. *Ciencias Marinas*, 37(2): 215–225 pp.
- Santamaría del Ángel, E. Álvarez-Borrego, S. y Muller-Karger, F. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99(C4):7411-7421 pp.
- Sears, R. 1987. The photographic identification of individual blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Sea of Cortez. *Cetus* 7(1):14-17 pp.
- Shirasago G., B., M. Obeso N. y E.L. Perez L. 2006. Análisis de la intrusión de aguas del Pacífico al Golfo de California mediante datos de satélite y mediciones de campo. En: Primer Congreso Internacional de Oceanografía y XIV Congreso Nacional de Oceanografía.
- Silber, G.K. 1990. Occurrence and distribution of the Vaquita *Phocoena sinus* in the Northern Gulf of California. *Fish.Bull.* 88(2): 339-346 pp.
- Silber, G.K.; M.W. Newcomer; P.C. Silber; H.Pérez-Cortes M. y G.M. Ellis. 1994. Cetaceans of the northern Gulf of California: Distribution, occurrence, and relative abundance. *Mar. Mamm. Sci.* 10(3):283-298 pp.
- Soto-Mardones, L., S.G. Marinone y A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad espacio-temporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25(1): 1-30 pp.
- Strub, P. T. y C. James. 2002. Altimeter-derived surface circulation in the large-scale NE Pacific Gyres. Part 1. seasonal variability. *Progr. Oceanogr.* 53:163-183 p..
- Tershy, B.R. y D. Breese. 1991. Sightings and feeding of gray whales in the northern Gulf of California. *J. Mamm.*, 72(4):830-831 pp.
- Tershy, B.R. y D. Breese y S. Álvarez-Borrego. 1991. Increase in cetacean and seabirds numbers in the Canal de Ballenas during El Niño-Southern Oscillation event. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 69:299-302 pp.
- Tershy, B.R. 1992. Body size, diet, habitat use, and social behavior of Balaenoptera whales in the Gulf of California. *J. Mamm.*, 73(3):477-486 pp.
- Tershy, B. R.; D. Breese and C.S. Strong. 1990. Abundance, seasonal distribution and population composition of balaenopterid whales in the Canal de Ballenas, Gulf of California, Mexico. *Rept. Int. Whal. Commn. Special Issue* 12:369-375 pp.
- Tershy, B.R., J. Urbán, D. Breese, L. Rojas y L. Findley. 1993. Are Fin Whales Resident to the Gulf of California? *Revista de Investigación Científica de la UABCS. Número Especial de la SOMEMMA* 1: 69-72 pp.

- Troyo V., B. 2008. Estructura Comunitaria de los Cetáceos en el extremo suroccidental del Golfo de California Durante el 2005. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de B.C.S. México. 79 pp.
- Ulloa, R., J. Torre, L. Bourillón, N. Alcantar y A. Gondor. 2006. PLANEACIÓN E CORREGIONAL PARA LA CONSERVACIÓN MARINA: Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur. Comunidad y Biodiversidad A.C. México. 153 pp.
- Urbán R., J. 1997. El rorcual común *Balaenoptera physalus*, en el Golfo de California, México. Universidad Autónoma de Baja California. Sur. Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar. Informe final SNIB- CONABIO proyecto No. B040 . México D. F.
- Urbán, J. y A. Aguayo L. 1987. Spatial and seasonal distribution of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, in the Mexican Pacific. *Mar. Mammal Sci.* 3(4):333-344 pp.
- Urbán R., J. y S. Flores R. 1996. A note on Bryde's Whales (*Balaenoptera edeni*) in the Gulf of California, México. *Rep. int. Whal. Commn.* 46: 453-457 pp.
- Urbán, J., A. Gómez Gallardo U., M. Palmeros R. y G. Velázquez Ch. 1997. Los mamíferos marinos de la Bahía de La Paz. En: J. Urbán R. y M. Ramírez R. (Eds.). Pp. 193-217. La Bahía de La Paz. Investigación y Conservación. UABCS, CICIMAR, SCRIPPS, México. 327 pp.
- Urbán R., J., S. Jaume, B. Tershy, J. Pettis, L., Findley, J.P. Gallo, A. Acevedo, D. Croll, y O. Vidal. 2001. Residency times and movement patterns of fin whales in the Gulf of California, México. Pp. 220-221. In. Abstracts, 14th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, November 28-December 3, Vancouver, Canada.
- Urbán, J., L. Rojas-Bracho, H. Pérez-Cortés, A. Gómez-Gallardo, S. L. Swartz, S. Ludwig y R. L. Brownell, Jr. 2003a. A review of gray whales (*Eschrichtius robustus*) on their wintering grounds in Mexican waters. *J. Cetacean Res. Manage.* 5(3): 281-295.
- Urbán R., L. Rojas-Bracho., M. Guerrero Ruiz, A. Jaramillo-Legorreta y L. T. Findley. 2005. Cetacean Diversity and Conservation in the Gulf of California. Pp. 276-297 En: Cartron, J.E., G. Ceballos y R.S. Felger (Eds.). *Biodiversity, Ecosystems and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, U.S.A.
- Urbán R., J. y A. Gómez-Gallardo U. 2008. Informe Técnico Final del proyecto de Investigación: Manejo y Conservación de Ballenas en las Regiones Prioritarias De Loreto, La Paz y Los Cabos Golfo De California. Universidad Autónoma de B.C.S. 147 pp.
- Vidal, O. y G. Pechter. 1989. Behavioral observations on fin whale, *Balaenoptera physalus*, in the presence of killer whale, *Orcinus orca*. *Fish. Bull.* U.S. 87(2): 370-373
- Vidal, O. y L.T. Findley. 1986. Recent stranding of sperm whales in the Gulf of California, Mexico. *J. Mamm.* 67(4):770-771 pp.

- Vidal, O., L.T. Findley y S. Leatherwood. 1993. Annotated checklist of the marine mammals of the Gulf of California. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History* 28:1-16 pp.
- Vidal, O., K.V. Waerebeek y L.T. Findley. 1994. Cetaceans and gillnet fisheries in Mexico, Central America and the wider Caribbean: A preliminary review. *Rept. Int. Whal. Commn. Special Issue* 15:221-233 pp.
- Wade, P. y T. Gerrodette. 1993. Estimates of cetacean abundance and distribution in the Eastern Tropical Pacific. *Rep. Int. Whal. Commn.* 43: 477-493 pp.
- Watson, L. 1988. *Whales of the World*. The Threshold Foundation. Hong Kong. 302 pp.
- Wiley, D. N., R. A. Asmutis, T. D. Pitchford y D. P. Gannon. 1995. Stranding and mortality of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, in the mid-Atlantic and southeast United States, 1985-1992. *Fish. Bull.* 93: 196-205.
- Williams, A. K. 2003. The influence of probability of detection when modelling species occurrence using GIS and survey data. Tesis de doctorado, Blacksburg University, Blacksburg, USA.
- Wyrtki, K. 1965. Surface currents of the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* (5): 269-304 pp.
- Wyrtki, K. 1966. Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 4:33-68 pp.
- Zamudio, L., P. Hogan, y E. J. Metzger 2008. Summer generation of the Southern Gulf of California eddy train, *Journal of Geophysical Research Res.*, 113, C06020, doi:10.1029/2007JC004467.
- Zar, H.J. 2010. *Biostatistical Analysis*. 5ª Edición. Ed. Pearson Prentice Hall, USA. 944 pp.
- Zavala H., V. 1996. Distribución de *Balaenoptera musculus* y *B. physalus* en función de algunos factores físicos, en la zona comprendida entre Bahía Magdalena y Punta Concepción, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. ENEP-Iztacala UNAM, México. 57 pp.
- Zavala-González, A., J. Urbán R. y C. Esquivel-Macias. 1994. A note on artisanal fisheries interactions with small cetaceans in Mexico. *Rept. Int. Whal. Commn. Special Issue* 15:235-237.
- Zeitzschel, B. 1969. Primary Productivity in the Gulf of California. *Jour, Mar. Biol.* Vol. 3:201-207 pp.

ANEXO I.
**Acuerdo que estableció el refugio para
proteger las especies de grandes ballenas de
las aguas del territorio nacional**

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

ACUERDO por el que se establece como área de refugio para proteger a las especies de grandes ballenas de los subórdenes Mysticeti y Odontoceti, las zonas marinas que forman parte del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

VICTOR LICHTINGER WAISMAN, Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 80 fracción VII de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 5o. fracción I, 9o. fracción XVII, 60, 60 Bis, 65, 66, 67, 68, 69 y 76 de la Ley General de Vida Silvestre; 3o. y 60 Fracción II de la Ley Federal del Mar; 3 fracción V de la Ley de Pesca; 1o., 4o. y 5o. fracciones I y XXV del Reglamento Interior de esta Secretaría, y

CONSIDERANDO

Que la flora y fauna silvestres constituyen un recurso natural que forman parte de la riqueza pública de la Nación, correspondiendo al Estado su conservación, para lograr un desarrollo sustentable;

Que México cuenta con una gran diversidad de cetáceos, entre los que se identifican 39 de las 81 especies conocidas mundialmente en las zonas marinas que forman parte del territorio nacional de la República Mexicana;

Que México ha colaborado activamente con los esfuerzos internacionales para la protección de cetáceos, desde el año de 1933, cuando se adhiere a la Convención de Ginebra para la Protección de Ballenas; en 1938 aprueba el Convenio Internacional para la Reglamentación de la Caza de la Ballena; en 1948 México formaliza su adhesión a la Convención Internacional y Protocolo para la Reglamentación de la Caza de la Ballena; en 1991 México se adhiere a la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES);

Que en 1989 el Instituto Nacional de la Pesca, la Sociedad Mexicana de Mamíferos Marinos y la Universidad de Baja California Sur junto con el Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guaymas, Centro de Investigaciones de Quintana Roo y la Facultad de Ciencias de la UNAM, conformaron la propuesta del Programa de Investigación de los Mamíferos Marinos;

Que las autoridades mexicanas han promovido el establecimiento de redes para la atención de varamientos de mamíferos marinos, con la colaboración de instituciones de investigación, asociaciones conservacionistas y personas interesadas en la conservación de los mismos;

Que diferentes especies y poblaciones de cetáceos, se encuentran actualmente amenazadas o en peligro de extinción, por la cacería desmedida, cuyas poblaciones se encuentran en proceso de recuperación;

Que México promovió y se adhirió al Código de Conducta para la Pesca Responsable, formulado en el seno de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, con el que se comprometió a conservar los ecosistemas acuáticos y a pescar de forma responsable, a fin de asegurar la conservación y la gestión efectiva de los recursos acuáticos vivos, mediante la inducción del uso de artes de pesca selectivas y ambientalmente seguras, con enfoque precautorio, decisiones sobre conservación y ordenación en materia de pesquerías, con base en datos científicos fidedignos disponibles, medidas de ordenación que aseguren la conservación no sólo de la especie objetivo, sino también de aquellas especies pertenecientes al mismo ecosistema o dependientes o que estén asociados a ellas;

Que es obligación de las autoridades establecer medidas favorables para la recuperación de las especies en riesgo, tomando en cuenta las mejores evidencias científicas disponibles hasta el momento;

Que el artículo 60 Bis de la Ley General de Vida Silvestre, prevé que ningún ejemplar de mamífero marino, cualquiera que sea la especie, podrá ser sujeto de aprovechamiento extractivo, ya sea de subsistencia o comercial, con excepción de la captura que tenga por objeto la investigación científica y la educación de instituciones acreditadas;

Que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con la colaboración de instituciones de investigación científica y de diversas organizaciones conservacionistas, ha analizado los resultados de estudios y evaluaciones que indican que en la mayor parte del mar patrimonial de México, se concentra un gran número de ejemplares de grandes ballenas, algunas consideradas como especies en riesgo, razón por la que se hace necesario establecer un área de refugio para dichas especies;

Que de acuerdo con dichos estudios, se hace necesario proteger a las especies de grandes ballenas, especies de tamaño mayor a 4 metros incluidas en los subórdenes Mysticeti y Odontoceti, que son las siguientes:

Suborden	Familia	Subfamilia	Nombre científico	Nombre común	IUCN	NOM-059	NOM-059-02	CITES	
Odontoceti	Delphinidae	Globicephalinae	<i>Peponocephala electra</i>	Calderón pigmeo			Protección especial	Apéndice II	
			<i>Feresa attenuata</i>	Orca Pigmea			Protección especial	Apéndice II	
			<i>Pseudorca crassidens</i>	Orca falsa			Protección especial		
			<i>Orcinus orca*</i>	Orca	Riesgo Bajo	Protección especial	Protección especial	Apéndice II	
			<i>Globicephala macrorhynchus*</i>	Ballena piloto	Riesgo Bajo		Protección especial	Apéndice II	
			Ziphiidae	<i>Berardius bairdii*</i>	Zifio de Baird	En peligro		Protección especial I	Apéndice I
				<i>Ziphius cavirostris*</i>	Zifio de Cuvier			Protección Especial	Apéndice II
				<i>Mesoplodon europaeus*</i>	Mesoplodonte antillano			Protección Especial	Apéndice II
				<i>Mesoplodon ginkgodens*</i>	Mesoplodonte japonés			Protección Especial	Apéndice II
					<i>Mesoplodon peruvianus*</i>	Mesoplodonte pigmeo			Protección Especial
Kogiidae		<i>Kogia breviceps</i>	Cachalote pigmeo			Protección Especial	Apéndice II		
		<i>Kogia simus</i>	Cachalote enano			Protección Especial	Apéndice II		
	Physeteridae		<i>Physeter macrocephalus*</i>	Cachalote	Vulnerable	Protección especial	Protección Especial	Apéndice I	
Mysticeti	Balaenidae		<i>Eubalena glacialis*+</i>	Ballena franca	En Peligro		Peligro de Extinción	Apéndice I	
	Eschrichtidae		<i>Eschrichtius robustus*+</i>	Ballena gris	Riesgo Bajo	Protección especial	Protección especial	Apéndice I	
	Balaenopteridae	Megapterinae	<i>Megaptera novaeangliae*+</i>	Rorcual Jorobado	Vulnerable	Protección especial	Protección especial	Apéndice I	
		Balaenopterinae	<i>Balaenoptera musculus*+</i>	Ballena azul	En Peligro	Protección especial	Protección Especial	Apéndice I	
			<i>Balaenoptera physalus*+</i>	Rorcual común	En Peligro	Protección especial	Protección especial	Apéndice I	
			<i>Balaenoptera borealis*+</i>	Rorcual de sei	En Peligro	Protección especial	Protección Especial	Apéndice I	
			<i>Balaenoptera edeni*+</i>	Rorcual de Bryde			Protección especial	Apéndice I	
			<i>Balaenoptera acutorostrata*+</i>	Rorcual minke	Riesgo Bajo		Protección especial	Apéndice I	

* Especies incluidas en el reglamento de la Comisión Ballenera Internacional.

+ Indica las especies incluidas en la NOM-131-ECOL-1998.

** Especies cuyo rango de distribución no abarca aguas nacionales, y que ocasionalmente bajan hasta territorio mexicano.

Que derivado de los diversos estudios orientados al conocimiento de las especies de cetáceos mencionados en el presente instrumento y las condiciones naturales que permiten su sobrevivencia, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos, he tenido a bien expedir el siguiente:

ACUERDO

ARTICULO PRIMERO.- Se establece como área de refugio para proteger a las especies de grandes ballenas de los subórdenes Mysticeti y Odontoceti, relacionadas en el penúltimo considerando del presente Acuerdo, las zonas marinas que forman parte del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, mismas que incluyen el mar territorial, las aguas marinas interiores, la zona contigua y la zona económica exclusiva.

ARTICULO SEGUNDO.- La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, será la encargada de administrar el área de refugio, con la participación que corresponda a otras dependencias del Ejecutivo Federal.

ARTICULO TERCERO.- La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en coordinación con las dependencias del Ejecutivo Federal competentes, y con la participación de los sectores social y privado interesados, formularán los programas de protección regionales que integrarán el programa de protección del área de refugio, de conformidad con lo establecido en el presente Acuerdo y con sujeción a las disposiciones legales aplicables.

Dichos programas deberán contener por lo menos, lo siguiente:

- I. La descripción de las características físicas, biológicas, sociales y culturales del área de refugio, que especifique el estado actual del conocimiento de las especies que se pretenden proteger, las principales subzonas del refugio utilizadas por especies en sus diversas funciones biológicas, así como las principales amenazas a su sobrevivencia;
- II. Los objetivos específicos del área de refugio;
- III. Las medidas de manejo y conservación necesarias;
- IV. La delimitación de las zonas prioritarias para la conservación de una o varias especies, las cuales serán identificadas de acuerdo con su importancia para la reproducción, crecimiento, alimentación, migración y otras funciones relacionadas con los ciclos de vida de las mismas;
- V. Los programas y acciones a realizar a corto, mediano y largo plazo, estableciendo su vinculación con el Plan Nacional de Desarrollo, así como con los programas sectoriales correspondientes. Dichas acciones comprenderán, entre otras las siguientes: de investigación, de educación ambiental, de protección, de desarrollo de actividades recreativas y turísticas, de financiamiento para la administración del área, de prevención, control de contingencias y de vigilancia, así como las demás que por las características propias del área de refugio se requieran, sin que ello obstaculice o restrinja las actividades productivas, comerciales, recreativas y de turismo que se realicen dentro del área de refugio a que se refiere este Acuerdo, salvo por lo dispuesto en las disposiciones legales aplicables, y
- VI. La forma en que se organizará la administración del área y los mecanismos de coordinación con otras dependencias del Ejecutivo Federal y con los gobiernos estatales y municipales, así como la concertación de acciones con los sectores social y privado, interesados en la protección y conservación.

ARTICULO CUARTO.- Dentro del área de refugio ballenero a que se refiere este Acuerdo, no se obstaculizarán o restringirán las actividades productivas, comerciales, recreativas y de turismo que se realicen, salvo por lo dispuesto en las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con el apoyo de la sociedad civil organizada, atenderá las contingencias ambientales asociadas con el varamiento de las especies a que se refiere el presente acuerdo; con tal propósito, se consolidará la red nacional de atención a varamientos y se desarrollarán los procesos de capacitación necesarios para la adecuada ejecución de dichos trabajos de salvamento.

ARTICULO QUINTO.- La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, fomentará el mantenimiento de las condiciones ambientales necesarias para la continuidad de las funciones biológicas de las especies a que se refiere el presente Acuerdo, tales como la reproducción, nacimiento, crianza, crecimiento, aprendizaje, migración y alimentación.

ARTICULO SEXTO.- La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con la participación de instituciones y sociedades científicas y académicas, coordinará, promoverá y ejecutará las investigaciones pertinentes orientadas a la conservación y fomento de las especies enunciadas en el penúltimo considerando del presente Acuerdo.

ARTICULO SEPTIMO.- Dentro del área de refugio, la realización de actividades orientadas a la observación de ballenas, se llevará a cabo conforme a lo previsto en la Norma Oficial Mexicana NOM-131-ECOL-1998, que establece lineamientos y especificaciones para el desarrollo de actividades de observación de ballenas, relativas a su protección y la conservación de su hábitat, publicada en el **Diario Oficial de la Federación**, el 10 de enero del año 2000, y demás ordenamientos legales aplicables.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en coordinación con los gobiernos de los estados y, en su caso, con la participación que corresponda a los municipios, y en forma concertada con los centros de investigación y docencia, las sociedades científicas, las organizaciones no gubernamentales y las personas interesadas, promoverá el incremento del conocimiento del público sobre las especies de grandes ballenas y su importancia para el equilibrio ecológico del medio marino.

ARTICULO OCTAVO.- Corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la inspección y vigilancia de lo dispuesto en el presente Acuerdo, sin perjuicio de las atribuciones que en su caso corresponda a las demás dependencias del Ejecutivo Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias.

ARTICULO NOVENO.- El incumplimiento al presente Acuerdo, será sancionado de conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Vida Silvestre y demás disposiciones legales en la materia, sin perjuicio de la responsabilidad civil o penal que resulte, en términos de la legislación aplicable.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- El presente Acuerdo entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

SEGUNDO.- La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, elaborará los programas de protección regionales que integrarán el programa de protección del área de refugio en un término de 730 días, contados a partir de la entrada en vigor del presente Acuerdo.

TERCERO.- La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicará en el **Diario Oficial de la Federación**, un resumen de los programas de protección respectivos.

Dado en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los veintidós días del mes de mayo de dos mil dos.-
El Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Víctor Lichtinger Waisman**.- Rúbrica.

Anexo 2.
Índices Ecológicos:
Riqueza, Diversidad y Similitud

Anexo 2, Tabla 1. Salida para la corrida de la estimación de la riqueza (S) y los índices de diversidad de las grandes ballenas en el Golfo de California durante la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo), así como su desv. estándar (SD) y sus intervalos de confianza (CI) al 95%.

EstimateS (Version 9.1.0), Copyright R. K. Colwell: <http://purl.oclc.org/estimates>
Diversity Output from Input File: Temporada fria (June 23, 2013)

ZONA	I	II	III	IV
Individuals (computed)	539.50	1079.00	1618.50	2158.00
S(est)	9.25	13.33	15.75	17.00
S(est) 95% CI Lower Bound	6.83	11.00	13.53	14.82
S(est) 95% CI Upper Bound	11.67	15.67	17.97	19.18
S(est) SD	1.23	1.19	1.13	1.11
S Mean (runs)	8.59	13.34	15.82	17.00
Singletons Mean	0.00	0.00	0.00	0.00
Singletons SD (runs)	0.00	0.00	0.00	0.00
Doubletons Mean	0.57	0.70	0.53	0.00
Doubletons SD (runs)	1.18	0.80	0.50	0.00
Uniques Mean	8.59	8.57	7.43	5.00
Uniques SD (runs)	3.85	3.02	3.05	0.00
Duplicates Mean	0.00	4.77	4.91	7.00
Duplicates SD (runs)	0.00	2.28	2.53	0.00
ACE Mean	8.59	13.34	15.82	17.00
ACE SD (runs)	3.85	2.99	1.31	0.00
ICE Mean	8.59	37.47	28.61	20.74
ICE SD (runs)	3.85	16.64	9.33	0.00
Chao 1 Mean	8.59	13.34	15.82	17.00
Chao 1 95% CI Lower Bound	8.59	13.34	15.82	17.00
Chao 1 95% CI Upper Bound	9.13	14.16	16.62	17.54
Chao 1 SD (analytical)	0.21	0.33	0.34	0.24
Chao 2 Mean	8.59	16.91	20.67	17.94
Chao 2 95% CI Lower Bound	13.59	14.13	16.90	17.11
Chao 2 95% CI Upper Bound	13.59	30.24	38.48	24.74
Chao 2 SD (analytical)	0.00	3.31	4.45	1.39
Jack 1 Mean	8.59	17.63	20.77	20.75
Jack 1 SD (analytical)	0.00	3.06	3.30	2.25
Jack 2 Mean	0.00	17.63	22.43	20.92
Jack 2 SD (runs)	0.00	4.20	3.88	0.00
Bootstrap Mean	8.59	15.48	18.20	19.03
Bootstrap SD (runs)	3.85	3.56	1.72	0.00
MMRuns Mean	0.00	16.17	96.59	55.61
MMMeans (1 run)	0.00	23.87	24.21	23.83
Cole Rarefaction	15.75	16.81	16.98	0.00
Cole SD (analytical)	0.97	0.42	0.13	0.00
Alpha Mean	1.64	2.19	2.44	2.52
Alpha SD (analytical)	0.23	0.24	0.24	0.23
Shannon Mean	1.50	1.70	1.80	1.85
Shannon SD (runs)	0.43	0.19	0.11	0.00
Shannon Exponential Mean	4.92	5.55	6.10	6.35
Shannon Exponential SD (runs)	2.18	1.12	0.68	0.00
Simpson Inv Mean	3.78	4.09	4.52	4.79
Simpson Inv SD (runs)	1.37	0.79	0.33	0.00

Anexo 2, Tabla II. Salida para la corrida de la estimación de la riqueza (S) y los índices de diversidad de las grandes ballenas en el Golfo de California durante la TEMPORADA CÁLIDA (junio-noviembre), así como su desv. estándar (SD) y sus intervalos de confianza (CI) al 95%.

**EstimateS (Version 9.1.0), Copyright R. K. Colwell: <http://purl.oclc.org/estimates>
Diversity Output from Input File: Temporada calida (June 23, 2013)**

ZONA	I	II	III	IV
Individuals (computed)	1152.5	2305	3457.5	4610
S(est)	10.5	14.5	16.25	17
S(est) 95% CI Lower Bound	8.33	12.59	14.67	15.55
S(est) 95% CI Upper Bound	12.67	16.41	17.83	18.45
S(est) SD	1.11	0.97	0.81	0.74
S Mean (runs)	9.98	14.39	16.25	17
Singletons Mean	1.11	1.62	1.47	1
Singletons SD (runs)	1.63	1.13	0.5	0
Doubletons Mean	0.92	0.76	0	0
Doubletons SD (runs)	1	0.98	0	0
Uniques Mean	9.98	8.24	5.31	3
Uniques SD (runs)	3.52	1.76	1.8	0
Duplicates Mean	0	6.15	6.75	6
Duplicates SD (runs)	0	2.35	1.31	0
ACE Mean	11.03	15.55	17.13	17.52
ACE SD (runs)	4.87	2.55	0.54	0
ICE Mean	9.98	32	21.15	18.56
ICE SD (runs)	3.52	6.03	2.38	0
Chao 1 Mean	11.36	15.52	16.72	17
Chao 1 95% CI Lower Bound	10.27	14.6	16.28	17
Chao 1 95% CI Upper Bound	19.36	25.33	23.8	18.52
Chao 1 SD (analytical)	1.84	2.01	1.38	0.54
Chao 2 Mean	9.98	16.86	17.47	17.32
Chao 2 95% CI Lower Bound	15.79	14.87	16.44	17.02
Chao 2 95% CI Upper Bound	15.79	27.41	24.69	21.6
Chao 2 SD (analytical)	0	2.53	1.55	0.74
Jack 1 Mean	9.98	18.51	19.79	19.25
Jack 1 SD (analytical)	0	2.71	1.82	0.75
Jack 2 Mean	0	18.51	20.44	18.75
Jack 2 SD (runs)	0	2.09	1.65	0
Bootstrap Mean	9.98	16.45	18.07	18.34
Bootstrap SD (runs)	3.52	1.9	0.37	0
MMRuns Mean	0	21.94	48.53	28.85
MMMeans (1 run)	0	23.42	22.59	21.85
Cole Rarefaction	14.86	16.28	16.74	17
Cole SD (analytical)	1.1	0.68	0.45	0
Alpha Mean	1.52	2.06	2.21	2.23
Alpha SD (analytical)	0.18	0.2	0.2	0.19
Shannon Mean	1.21	1.54	1.7	1.76
Shannon SD (runs)	0.21	0.24	0.17	0
Shannon Exponential Mean	3.44	4.81	5.53	5.84
Shannon Exponential SD (runs)	0.76	1.09	0.94	0
Simpson Inv Mean	2.65	3.57	4.15	4.36
Simpson Inv SD (runs)	0.7	0.98	0.88	0

Anexo 2, Tabla III. Salida para la corrida de los estimadores de similitud entre zonas de las grandes ballenas en el Golfo de California durante la TEMPORADA FRÍA (diciembre-mayo), así como su desv. estándar (SD) y sus intervalos de confianza (CI) al 95%.

EstimateS (Version 9.1.0), Copyright R. K. Colwell: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>
 Shared Species and Similarity Statistics Output from Input File: Temporada fria (June 23, 2013)

ZONA 1	I	I	I	II	II	III
ZONA 2	II	III	IV	III	IV	IV
Sobs First Sample	6	6	6	5	5	11
Sobs Second Sample	5	11	15	11	15	15
Shared Species Observed	3	4	4	4	5	11
ACE First Sample	6	6	6	5	5	11
ACE Second Sample	5	11	15	11	15	15
Chao Shared Esimated	0	0	0	0	5	11
Jaccard Classic	0.375	0.308	0.235	0.333	0.333	0.733
Sorensen Classic	0.545	0.471	0.381	0.500	0.500	0.846
Chao-Jaccard-Raw Abundance-based	0.452	0.486	0.171	0.679	0.262	0.895
Chao-Jaccard-Est Abundance-based	0.452	0.486	0.171	0.679	0.262	0.895
Chao-Jaccard-EstSD Abundance-based	0.318	0.218	0.136	0.177	0.158	0.087
Chao-Sorensen-Raw Abundance-based	0.623	0.654	0.292	0.809	0.415	0.945
Chao-Sorensen-Est Abundance-based	0.623	0.654	0.292	0.809	0.415	0.945
Chao-Sorensen-EstSD Abundance-based	0.296	0.218	0.175	0.150	0.186	0.054
Morisita-Horn	0.518	0.529	0.184	0.622	0.254	0.579
Bray-Curtis	0.437	0.365	0.072	0.422	0.121	0.401

Anexo 2, Tabla III. Salida para la corrida de los estimadores de similitud entre zonas de las grandes ballenas en el Golfo de California durante la TEMPORADA CÁLIDA (junio-noviembre), así como su desv. estándar (SD) y sus intervalos de confianza (CI) al 95%.

EstimateS (Version 9.1.0), Copyright R. K. Colwell: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>
 Shared Species and Similarity Statistics Output from Input File: Temporada calida (June 23, 2013)

ZONA 1	I	I	I	II	II	III
ZONA 2	II	III	IV	III	IV	IV
Sobs First Sample	8	8	8	6	6	14
Sobs Second Sample	6	14	14	14	14	14
Shared Species Observed	3	6	6	6	6	12
ACE First Sample	8.000	8.000	8.000	6.000	6.000	18.074
ACE Second Sample	6.000	18.074	14.571	18.074	14.571	14.571
Chao Shared Estimated	0.000	0.000	0.000	6.000	6.000	13.000
Jaccard Classic	0.273	0.375	0.375	0.429	0.429	0.750
Sorensen Classic	0.429	0.545	0.545	0.600	0.600	0.857
Chao-Jaccard-Raw Abundance-based	0.330	0.201	0.137	0.871	0.194	0.921
Chao-Jaccard-Est Abundance-based	0.330	0.201	0.137	0.871	0.194	0.925
Chao-Jaccard-EstSD Abundance-based	0.229	0.293	0.235	0.268	0.259	0.151
Chao-Sorensen-Raw Abundance-based	0.496	0.334	0.241	0.931	0.325	0.959
Chao-Sorensen-Est Abundance-based	0.496	0.335	0.241	0.931	0.325	0.961
Chao-Sorensen-EstSD Abundance-based	0.253	0.298	0.256	0.237	0.279	0.103
Morisita-Horn	0.212	0.087	0.039	0.779	0.180	0.306
Bray-Curtis	0.216	0.144	0.100	0.449	0.252	0.260