

**Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología**

**Universidad Nacional Autónoma de México**



**Distribución y abundancia de la ballena de aleta  
(*Balaenoptera physalus*) en aguas adyacentes a  
Guaymas y algunas inferencias ecológicas generales  
sobre esta especie en el Golfo de California**

**T E S I S**

que para obtener el grado académico de

**Maestra en Ciencias**

(Biología Marina)

presenta

**María Guadalupe Martínez Villalba**

Director de Tesis: Dr. Juan Pablo Gallo Reynoso

Comité Tutorial: Dr. Luis Medrano González  
Dra. Diane Gendron Laniel  
Dr. Héctor Pérez-Cortés Moreno  
Dr. Jorge Urbán Ramírez

México D.F. 2008

A mi Padre †

Por haber sido mi guía en esta vida, por compartir generosamente su sabiduría y motivarme siempre a concluir lo iniciado, por su amor, apoyo incondicional y por haberme aceptado como soy. Quién si bien, ahora persiste en el viaje eterno, nunca ha estado ni estará ausente.

A mi mamá, hermana y amiga, Marthina:

Por su ejemplo de nobleza, solidaridad, desapego y lucha constante, por su protección, cuidado, sus enseñanzas y por dejarme compartir sus experiencias, por traer dicha a mi vida, por "la moldeadita que me ha dado" y por hacerme más fuerte cada día.

A mis hermanos:

Cuanin, Oscar, Mi Richie, Alex y Momin, quienes han sido fuente de admiración y respeto. Su cariño y ejemplo me han dado fortaleza para seguir siempre adelante. Me siento realmente afortunada de haber compartido con ustedes la breve y grata estancia en este planeta.

A mis cuñadas:

Espe, Sor, y Lety, por su apoyo, por los gratos momentos y las sonrisas compartidas.

A mis sobrinos:

Piquiruchis, Elías, Quechu, Zuky, Carlitos, Emilio y Andrés Manuel, principales causantes de la firme convicción que tengo de que la vida es genial y no deja de llenarte de cosas bellas.

A mi Zany, ¡Mi Eskimall!, gracias por dejarme jugar a la mamá contigo, por ser mi compañera en nuestros viajes reales e imaginarios por los océanos y bibliotecas, por aguantar mi ritmo y sus consecuencias, es decir, ¡¡¡mi neurosis!!! Te quiero Mucho.

A mi Niña, por su increíble y contrastante ejemplo de fortaleza y vulnerabilidad, su cariño, ayuda, porras y por convertirse en un integrante más de mi familia. Por las tantas noches de desvelo para conseguir una presentación decente de esta tesis, por las discusiones sobre la vida; la pasada, la presente y la futura. Por las tantas preguntas formuladas sin respuesta, por compartir "el hábitat" y aprender junto conmigo sobre la biología y ecología de las "physalus".

Y al resto de la familia que uno va eligiendo en el camino, Carmen, Paty, Daniel, Gerardo, Armando, Javier, Sandra Alcántara, Janitzio, Elsa, Jesús V. y el Dr. Gemullen, a ustedes por su lealtad y cariño incondicional.

# T A B L A D E C O N T E N I D O

	Página
<b>RESUMEN</b>	I
<b>ABSTRACT</b>	II
<b>CRÉDITOS</b>	III
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. BIOLOGÍA DE LA ESPECIE</b>	4
II.1 Descripción	4
II.2 Reproducción	4
II.3. Comportamiento	5
II.4 Alimentación	5
II.4.1 Distribución de <i>Nycthiphanes simplex</i> en el Golfo de California	6
II.5 La ballena de aleta en el Golfo de California	7
II.5.1 Distribución, abundancia y residencia	7
<b>III. OBJETIVOS</b>	14
III.1 Objetivos generales	14
III.2 Objetivos particulares	14
<b>IV. ÁREA DE ESTUDIO</b>	15
IV.2 Oceanografía geológica	16
IV.3 Oceanografía física y química	17
<b>V. MÉTODO</b>	21
V.1 Distribución espacial y temporal	26
V.2 Ocurrencia de <i>B. physalus</i> y condiciones oceanográficas	26
V.3 Abundancia absoluta	27
V.3.1 Fotoidentificación	27
V.4 Dispersión y filopatría	32
V.5 Modelado de la distribución geográfica potencial de la ballena de aleta en el Golfo de California	33
<b>VI. RESULTADOS</b>	36
VI.1 Distribución espacial y temporal	36
VI.2 Ocurrencia de <i>B. physalus</i> y condiciones oceanográficas	39
VI.3 Abundancia absoluta	48
VI.4 Dispersión y filopatría	56
VI.5. Modelado de la distribución geográfica potencial de la ballena en el Golfo de California	58

	Página
<b>VII. DISCUSIÓN</b>	60
<b>VIII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS</b>	70
<b>IX. AGRADECIMIENTOS</b>	72
<b>X. REFERENCIAS</b>	75
<b>APÉNDICES</b>	82
A. Formato de registro de datos en campo	82
B. Estimadores clásicos, y alternativos a los clásicos, de abundancia absoluta.	83
C. Mejores valores calculados de $\chi^2$ para $N_e$ calculada con distribución de Bernoulli y Tasa de Aparición de Nuevos Individuos (TANI).	86

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	Página
Tabla 1. Investigaciones realizadas para <i>B. physalus</i> en el Golfo de California	8
Tabla 2. Esfuerzo realizado en número de salidas y horas de navegación, en las temporadas 2004 y 2005	22
Tabla 3. Tipos de composición de los grupos de ballenas y sus respectivas categorías	25
Tabla 4. Códigos de las categorías de actividades efectuadas por <i>B. physalus</i> en altas y bajas abundancias	27
Tabla 5. Categorías de clasificación de aletas de <i>B. physalus</i>	29
Tabla 6. Resumen del número de salidas, ballenas observadas, fotografiadas, fotoidentificadas, y esfuerzos de observación y navegación para las temporadas 2004 y 2005	40
Tabla 7. Índices de abundancia relativa (expresada en %) al número de ballenas fotoidentificadas y observadas por salida, avistamientos y horas de navegación y observación en la temporada 2004 y 2005	41
Tabla 8. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk W	41
Tabla 9. Avistamientos de <i>B. physalus</i> en (Aa, Ab, Ta y Tb ) y variables oceanográficas y ambientales registradas (por avistamiento) durante las temporadas 2004 y 2005	42
Tabla 10. Matriz de correlaciones entre las variables oceanográficas y ambientales utilizadas	42
Tabla 11. Resumen de los autovalores de los componentes principales extraídos	42
Tabla 12. Matriz factorial representada por las cargas factoriales de cada variable para cada uno de los componentes extraídos	44
Tabla 13. Promedio y desviación estándar de las variables oceanográficas registradas de cada una de las categorías de abundancias de ballenas en alimentación y tránsito	47
Tabla 14. Número de capturas obtenidas por año	49
Tabla 15. Intervalos de captura con sus respectivos porcentajes de capturas interanuales	50
Tabla 16. Número de identificaciones, acumuladas por año y ballenas diferenciadas de 1981 a 2005	52
Tabla 17. Valores de $\chi^2$ que mejor ajustaron a la abundancia local estimada $N_e$ con FIDFID1	54
Tabla 18. Mejores $N_e$ estimadas con FIDFID1 para el arreglo homogéneo hipotético, con base en el criterio de distribución de capturas, $\chi^2_{Dc}$ y número de individuos diferentes $\chi^2_{I}$ . Se anexa la $N_e$ estimada con la distribución de capturas real	54
Tabla 19. Estimaciones de $N_e$ calculadas para los datos de captura reales con los distintos estimadores de abundancia, y las calculadas para el arreglo hipotético homogéneo con FIDFID1	55
Figura 1. Esquema de distribución de <i>B. physalus</i> en el que se refieren áreas de avistamientos de madre-cría y de ballenas en alimentación	10
Figura 2. Localización del área de estudio en el Golfo de California en las costas de Guaymas Sonora, México	16

Figura 3. Provincias topográficas del Golfo de California (Rusnak y Fisher, 1964	17
Figura 4. Provincias oceanográficas del Golfo de California	18
Figura 5. Mapa que muestra el polígono de esfuerzo de navegación durante la temporada 2004 y en el que se muestran algunas rutas de observación de ballenas	23
Figura. 6. Mapa que muestra el polígono de esfuerzo de navegación durante la temporada 2005 y en el que se muestran algunas rutas de observación de ballenas	23
Figura 7. Captura fotográfica de ambos perfiles de la aleta dorsal de una ballena en Bahía de Bacochibampo, Guaymas Sonora (Fotos de Emilia Pérez-Troyo	25
Figura 8. Captura fotográfica del perfil derecho de la aleta dorsal de una ballena de aleta, es evidente una cicatriz y ectoparásitos útiles en su identificación. Principalmente estos últimos en su identificación temporal (Foto de Calos Navarro)	28
Figura 9. Aleta dorsal dividida en cuadrantes para definir posición y número de muescas	29
Figura 10. Patrones de distribución temporal y espacial de <i>B. physalus</i> de la temporada 2004 en Guaymas	37
Figura 11. Patrones de distribución temporal y espacial de <i>B. physalus</i> , de la temporada 2005 en Guaymas	38
Figura 12. Gráfico en dos dimensiones de CP1 ("Productividad" 46.80%) y CP2 ("TSM" 24.56%) y las variables que los explican	45
Figura 13. Gráfico en dos dimensiones de los casos sobre los dos componentes principales extraídos	46
Figura14. Gráfico de las variables oceanográficas- ambientales y de las actividades en altas y bajas abundancias sobre el plano de los dos componentes principales extraídos: "Productividad" y TSM	47
Figura 15. Gráfico en tres dimensiones de las categorías de abundancias relativas a las actividades de <i>B. physalus</i> y las variables oceanográficas registradas	48
Figura 16. Histograma de frecuencia de capturas intranuales de <i>B. physalus</i> fotoidentificadas de 1981 a 2005	49
Figura 17. Recaptura de una ballena de aleta. Con base en el patrón de muescas, se determinó que fue capturada por primera vez el 15 de abril de 1987 en Puerto Libertad, Sonora (Foto: Lloyd Findley) y recapturada el 17 de febrero de 2004. (Foto: Guadalupe Martínez Villalba)	50
Figura 18. Grafico del valor de $\chi^2$ que mejor se ajustó a la abundancia local estimada ( $N_e=134$ ) para el área de Guaymas Sonora, con el método de la Distribución de Bernoulli.	51
Figura 19. Grafico de la tasa de aparición de nuevos individuos de <i>B. physalus</i> (1981-2005)	52
Figura 20. Valor de $\chi^2$ que mejor ajustó a la abundancia local estimada ( $N_e= 134$ ) para el área de Guaymas Sonora, con la TANI propuesto por Darling y Morowitz, (1986)	53
Figura 21 Gráfico de la mejor abundancia local $N_e$ estimada para Guaymas.	54
Figura 22. Mejores valores de $N_e$ estimados para el arreglo homogéneo hipotético de 6 años	55
Figura 23. Distancias entre capturas intranuales e interanuales para el área de Guaymas, otras localidades y Guaymas y en la costa este del golfo	57
Figura 24. Grafico que define la dispersión y filopatria de <i>B. physalus</i> en el área de Guaymas, entre otras localidades y Guaymas, y en la costa este del Golfo de California	57
Figura 25. Modelo generado en GARP, de la distribución geográfica potencial de <i>B. physalus</i> en el Golfo de California durante la temporada invierno-primavera	59

## RESUMEN

La ballena de aleta *Balaenoptera physalus* es la especie de misticeto más abundante en el Golfo de California (GC) con una población residente y aislada genéticamente, estimada en 600 individuos. Su residencia obedece principalmente a la alta productividad primaria que caracteriza al golfo, por lo que éste es una zona importante para su ciclo de vida. El presente estudio se efectuó en las aguas adyacentes a Guaymas Sonora, caracterizadas como un área de alimentación. El uso de la técnica de fotoidentificación permitió diferenciar individuos que regresan anualmente a esta localidad durante la temporada invierno-primavera para alimentarse, dadas las características ambientales del mar (presencia de surgencias) y las condiciones existentes que probablemente determinan la alta disponibilidad de su alimento. Se estimó la abundancia local en un grupo de 110-161 individuos con base en 93 fotoidentificaciones representativas de 25 años (1981-2005) de registros fotográficos históricos de la presencia de esta especie durante la temporada invierno-primavera, sugiriendo que se trata de una subestructura de la población total del GC. Se describe la distribución espacial y temporal de la especie, así como su relación con el hábitat durante dos temporadas de muestreo (enero a abril de 2004 y de 2005), lo cual confirma sus preferencias costeras, su arribo por el sur con dirección al norte y la delimitación de un "área - corredor" entre los 46 y los 183 metros de profundidad. También se determinó una secuencia de arribo al área acorde al transcurso de la temporada caracterizada por la alimentación y/o tránsito. Se determinó a través de un Análisis de Componentes Principales qué variables oceanográficas y ambientales, predominantes a nivel local, distinguen sus altas y bajas abundancias en tránsito y alimentación, y por consiguiente, se define a la productividad primaria como la principal causa de su presencia en Guaymas. Se comprueba con un modelo de filopatria y dispersión que *B. physalus* se mueve con tres tipos de desplazamiento en el Golfo; 1) estancia temporal en proceso de dispersión hacia otras áreas del GC, 2) regional con una dispersión limitada y 3) migratorio con un proceso de dispersión muy limitado; también se encontró que la subestructura de ballenas de Guaymas está caracterizada por presentar fidelidad al área, en una estancia temporal, mientras explora en búsqueda de alimento. Una vez que se determinó un comportamiento de retorno a la zona en periodos prolongados y al encontrar que la abundancia local es menor a la abundancia total de esta especie en el GC. Finalmente, con base en el modelado de nicho ecológico mediante GARP (Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction), se predice la distribución potencial de esta especie a lo largo del GC durante el invierno y la primavera; a partir de los datos de ocurrencia de esta especie en la localidad de Guaymas, la ocurrencia en otras localidades del golfo y de datos de variables ambientales. Lo que dado su tipo de alimentación sobre eufaúsidos, posibilitó el definir las probables áreas de alimentación en todo el golfo.

## ABSTRACT

The fin whale *Balaenoptera physalus* is the most abundant mysticete species in the Gulf of California (GC), with a resident and genetically isolated population, estimated at 600 individuals. Its residence is due principally to the high primary production that characterizes the Gulf. This sea is an important area for their life cycle. The present study was made in the adjacent waters of Guaymas, Sonora, characterized as a feeding area. The use of photoidentification allowed us to differentiate individuals that annually return to the area during winter-spring seasons to forage and probably breed, given the environmental characteristics of the sea (presence of upwelling) and the existing conditions that probably determine the high food availability. Local fin whale abundance was estimated at 110 - 161 individuals, based on 93 photoidentifications representative of 25 years (1981-2005) of historical photographic recording the presence of this species during the winter-spring season, suggesting that it is a substructure of the GC fin whales' total population. The spatial and temporal distribution of this species and their relation with the habitat was described during two years (January to April, 2004 and 2005), confirming their coastal preferences, their arrival from the south to north in an area-corridor found in depths between 46 to 183 meters. Also, an arrival sequence to the area was determined in accordance to the season's course; it was characterized by feeding and/or transiting. Using Principal Components Analysis, we found what prevailing oceanographic and environmental variables distinguish their high and low abundances while transiting and feeding. Consequently, primary productivity was defined as the main reason for their presence in Guaymas. Using a model of dispersion and philopatry, it is proven that *B. physalus* moves with three types of displacements in the GC: 1) stay temporary in a dispersal process towards other areas of the GC, 2) regional with limited dispersal process and 3) migratory with a very limited dispersal process. The Guaymas' substructure is characterized by temporal "site fidelity" during their permanence, probably scouting for food. The return of different individuals to the Guaymas area, was determined for long periods of time; additionally finding that the estimated local abundance is smaller than the total abundance of this species in the GC. Finally, their potential geographical distribution was predicted in the entire GC, during winter-spring seasons, on the basis of a niche ecological model by using GARP analyses (Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction), using the past occurrence records of this species in Guaymas and other Gulf of California localities, together with environmental variables data such as their foraging preference on euphausiids. This made possible the definition of probable feeding areas in the entire GC.

## CRÉDITOS

El presente trabajo se realizó con el apoyo económico recibido como becaria por parte del Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (CONACYT), registro de beca 183080, durante el periodo 2004-1 al 2005-2; y de la Dirección General de Estudios de Posgrado (DEGEP) durante el periodo 2004-1 y 2004-2.

Parte de este trabajo se realizó con el apoyo económico, para los viáticos en campo y estancia en Guaymas, y la embarcación del proyecto de Entrenamiento de Minorías a la Ciencia, (Minority International Training) de la Universidad de Santa Cruz, California y del Centro de Alimentación y Desarrollo, Guaymas. MIRT-UCSC-CIAD.

Parte de las salidas para la colecta de material fotográfico, se realizó con el apoyo de la embarcación y viáticos de campo del Área de protección de Flora y Fauna, Reserva de Islas del Golfo de California, Región Sonora.

Material de imágenes satelitales fueron proporcionadas por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, Instituto de Geografía, UNAM.

La construcción de los modelos con el software GARP (Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction) se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis Espaciales y Sistemas de Información Geográfica del Instituto de Biología.

El proceso y análisis del trabajo de investigación fue dirigido y revisado por el siguiente comité tutorial:

Dr. Juan Pablo Gallo Reynoso

Dr. Luis Medrano González

Dra. Diane Gendron Laniel

Dr. Héctor Pérez-Cortés Moreno

Dr. Jorge Urbán Ramírez

## I. INTRODUCCIÓN

Los cetáceos en México incluyen 31 especies constituidas en 14 familias. De las cuatro familias de cetáceos barbados, las correspondientes a Balaenopteridae y Eschrichtiidae presentan especies en las costas de la Península de Baja California. Seis de las siete especies de ballenas correspondientes a la familia Balaenopteridae, se encuentran ya sea de manera estacional o residente en el golfo de California, siendo la ballena de aleta o rorcual común (*Balaenoptera physalus*) la más abundante.

La ballena de aleta se consideró hasta antes de la época ballenera, el misticeto más abundante frente a las aguas de las costas de California donde se le cazó intensamente a fines de la década de los cincuenta y principios de los años sesenta. Fue a partir de 1968 cuando se realizó una extensa búsqueda de misticetos en la parte central y sur de California, el número de misticetos encontrados fue escaso (Leatherwood *et al.*, 1988).

Fue hasta en las últimas décadas después de haber sido observada dentro del Golfo de California a lo largo de todo el año por diferentes investigadores, durante las temporadas invierno-primavera y verano-otoño, (Gilmore, 1957; Wells *et al.*, 1981; Leatherwood *et al.*, 1982; Rojas, 1984, Gambell, 1985; Leatherwood, *et al.*, 1988; Thompson *et al.* 1992; Tershy, *et al.*, 1993a; Urbán, 1996; Rice, 1998), que se propuso la hipótesis de una población residente. Hipótesis apoyada recientemente por Bérubé *et al.* (1998 y 2002), quienes encontraron un grado de diversidad genética significativamente reducido en el DNA mitocondrial y algunos loci nucleares de la población del Golfo de California con respecto a las poblaciones del Atlántico Norte, así como, un alto grado de divergencia genética con respecto a la ballena de aleta del Pacífico Nororiental característica que solo se presenta en poblaciones de distintos océanos. Con la evidencia de que se trata de una población genéticamente aislada, se han determinado tiempos de permanencia de cuando menos 24 años de individuos fotoidentificados dentro del Golfo de California (Catálogo Fotográfico del Laboratorio de Ecofisiología del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Unidad Guaymas) y que en la actualidad es relativamente abundante, calculada aproximadamente en 600 individuos (Urbán, 2000; Díaz, 2006).

La residencia de *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California obedece principalmente a los altos niveles de productividad primaria (Zeitzschel, 1969), los cuales le permiten a esta especie explotar cadenas alimentarias complejas y productivas. Se conoce que la gran abundancia de eufáusidos (*Nyctiphanes simplex*) es el principal motivo de la presencia de *B. physalus* y *B. musculus* dentro del golfo (Gendron, 1993; Del Ángel, 1997; Croll *et al.*, 2002; Urbán *et al.*, 2005a).

Dado que el estudio de *B. physalus*, al igual que el de otros misticetos, se ha dificultado entre otras cosas, por su gran tamaño y a que pasan la mayor parte de su vida semisumergidos en mar abierto, se han desarrollado técnicas como la fotoidentificación que utilizan el método de captura y recaptura y con los que se intenta sobrepasar estas limitaciones. En los últimos 30 años la aplicación de esta técnica en el estudio de la población residente de la ballena de aleta del Golfo de California, ha permitido individualizar a los animales fotográficamente y junto con la aplicación de métodos de muestreo conocer algunas características específicas de la población.

Si bien, es considerable la cantidad de trabajos sobre la biología, ecología y fisiología de *B. physalus* generados a partir de la fotoidentificación (Gallo-Reynoso, 1984; Tershy y Strong, 1984; Tershy *et al.*, 1990; Gallo-Reynoso, 1991; Tershy, 1992; Tershy *et al.*, 1993; Tershy *et al.*, 1993a; Urbán *et al.*, 2001; Croll *et al.*, 2002; Gallo-Reynoso, *et al.*, 2005; Díaz, 2006) y algunos otros realizados con técnicas más innovadoras como el marcaje por radio-satélite y otra disciplinas como la genética (Bérubé *et al.*, 1998 y 2002; Croll, *et al.*, 2001a; Urbán *et al.*, 2005a), aún se desconoce con certeza su patrón de movimiento y sus patrones de distribución espacial y estacional (invernal). Sólo se ha propuesto que *B. physalus* no presenta una distribución uniforme en espacio y tiempo y se ha sugerido un patrón de movimientos más complejo que lo que se ha planteado (Díaz, 2006), así mismo se desconocen sus áreas preferentes para la reproducción, crianza y alimentación dentro del Golfo de California. Lo anterior se ha debido a que los esfuerzos de muestreo de dichos trabajos no han sido homogéneos a lo largo y ancho del golfo. La mayoría se ha desarrollado solo a nivel local tanto en la región de las grandes islas como en la costa oeste del Golfo de California.

Pese a ciertas limitaciones, algunos de estos trabajos proponen una distribución estacional muy diferenciada en respuesta a la abundancia estacional y distribución de su principal presa (*N. simplex*), de la cual se alimentan en invierno y primavera (Rojas, 1984; Tershy, 1992; Urbán, 1996; Urbán *et al.*, 2005a; Díaz, 2006).

Sus movimientos se han asociado también a las variaciones en sus hábitos alimentarios, al ser su principal presa *N. simplex* en invierno (Del Ángel, 1997; Gendron, *et al.*, 2001) y probablemente la sardina *Sardinops sagax* en Verano (Gallo-Reynoso, 1991; Jaume-Schinkel, 2004).

Así mismo se ha documentado el movimiento de una parte de la población de *B. physalus* hacia el área de Guaymas durante la época invierno-primavera. En ésta localidad la técnica de fotoidentificación ha permitido por más de 25 años de muestreo, diferenciar individuos que regresan anualmente en la misma temporada para alimentarse, dadas las características ambientales del mar (presencia de surgencias), la alta productividad primaria y las condiciones oceanográficas que probablemente determinan la abundancia de su alimento (Gallo-Reynoso *et al.*, 2003; Gallo-Reynoso *et al.*, 2005).

Dado lo anterior y en virtud de que el Golfo de California representa una zona importante para los ciclos de vida de la población residente de *B. physalus*; un conocimiento más amplio de la ecología y biología de la población local de Guaymas, permitirá comprender aspectos importantes, tal como un mejor conocimiento de su ecología alimentaria y su dinámica poblacional, que deriven en su manejo y conservación. Algunos aspectos iniciales son: medir su tamaño poblacional; determinar qué y cómo se definen sus patrones de distribución en el espacio y tiempo; así como su presencia; y si presentan fidelidad al área.

Por otro lado, al considerar del registro de su presencia en la localidad de Guaymas y en otras localidades para la misma temporada y la información disponible del conjunto de parámetros ambientales que probablemente limiten las capacidades de especie para explotar su nicho ecológico, permitirá modelar la distribución geográfica potencial de *B. physalus* y entrever su posibles zonas de alimentación

## II. BIOLOGÍA DE LA ESPECIE

### II.1 Descripción

La ballena de aleta es la segunda especie más grande de todas las ballenas después de la ballena azul *Balaenoptera musculus*. Presenta dimorfismo sexual siendo las hembras más grandes que los machos (Würsig *et al.*, 2000). En el Pacífico Nororiental las hembras alcanzan 24 m mientras que los machos alcanzan 22 m (Leatherwood, *et al.*, 1988). Su cuerpo es alargado, redondeado anteriormente y comprimido lateralmente en el pedúnculo caudal (Leatherwood *et al.*, 1982). La cabeza es puntiaguda y observada dorsalmente tiene una forma de "V", mide aproximadamente 1/5 del tamaño de su cuerpo (Tomilin, 1957), posee una sola cresta en la porción dorsal del rostro (Rojas, 1984). Su aleta dorsal es alta y falcada, alcanza los 0.61 m de alto y se encuentra situada en el último tercio del cuerpo (Würsig y Jefferson, 1990), formando un ángulo menor de 40° con el dorso. El color de *B. physalus* es negro grisáceo, más claro en los costados y blanco en el vientre incluyendo la porción ventral de las aletas pectorales y la aleta caudal (Leatherwood *et al.*, 1982). La característica más distintiva para su identificación es la coloración asimétrica de la mandíbula inferior y las barbas, las cuales son blanco-amarillentas en el lado derecho (Würsig *et al.*, 2000). El número de barbas es variable, de 262 a 390 o más (Tomilin, 1957), el largo máximo de estas es de 0.70 m (Urbán, 2000). Posee entre 50 y 86 surcos gulares (Watson, 1981). En ocasiones, es posible observar en el dorso un área de color blanco grisáceo en forma de "V" denominada chevrón (Gambell, 1985 y Leatherwood *et al.*, 1988).

### II.2 Reproducción

En el hemisferio norte, la temporada de invierno representa la estación reproductiva para la ballena de aleta puesto que su pico máximo de reproducción se da en los meses de enero y febrero (Leatherwood *et al.*, 1988). Este rorcual llega a su madurez sexual entre los seis y los diez años de edad cuando los machos alcanzan una longitud de 17.7 m y las hembras de 18.3 m. Las hembras pueden tener una cría cada tres años con un periodo de gestación de 12.5 meses (Würsig *et al.*, 2000; Laws, 1958). La proporción sexual al nacer y a través de la mayoría de la vida es de aproximadamente 1:1, aunque la segregación diferencial de los sexos y las clases sexuales que se presentan en distintos momentos durante las migraciones estacionales puede mostrar un

desequilibrio en la cantidad de machos y de hembras en un área particular en un momento dado (Gambell, 1985). En promedio, *B. physalus* puede llegar a vivir hasta 100 años (Roe, 1979, citado en Gambell, 1985).

### II. 3 Comportamiento

La ballena de aleta puede encontrarse sola, en parejas o formando grupos de seis a siete individuos en las áreas de alimentación donde incluso pueden observarse grupos o agregaciones de 50, 100 o más individuos (Leatherwood *et al.*, 1988 y Gambell, 1985). Bucea a profundidades de hasta 230 m y en superficie exhibe un soplo de cinco y hasta ocho metros de altura; las respiraciones suelen ser de cuatro a cinco con intervalos de 10 a 20 segundos cada una y sus buceos van de cinco a 15 minutos de duración con un máximo de 26 minutos (Watson, 1981) (yo he registrado 45 minutos en el Canal de Ballenas en 1997). La velocidad promedio de nado es de 32 km/h y en el Golfo de California, se han registrado desplazamientos de 100 a 300 km/día y desplazarse hasta 1000 km en un lapso de tres a diez días (Tershy *et al.*, 1993).

Con poca frecuencia esta especie muestra sus aletas pectorales, lo hace solo cuando gira y se posiciona lateralmente para alimentarse en superficie (Würsig, 2000); ocasionalmente salta fuera del agua y es poco común ver su aleta caudal antes de iniciar un buceo profundo (Leatherwood *et al.*, 1988).

### II.4 Alimentación

La forma de alimentación de la ballena de aleta es de tipo "tragadora", la cual consiste en dar grandes bocanadas de alimento facilitadas por la expansión de los pliegues gulares seguidas de la expulsión del agua que se filtra a través de las barbas dejando el alimento detrás de las mismas (Gaskin, 1982; Urbán, 2000)

En el hemisferio norte la dieta de la ballena de aleta es de tipo generalista (ó de las más variadas, Urbán, 2000) compuesta principalmente de eufaúsidos y copépodos, seguidos de peces e incluso cefalópodos. Sin embargo, la preferencia puede cambiar dependiendo de la estación del año y la localidad (Rojas, 1984, Tomilin 1957; Nishiwaki y Hayashi, 1950; Nishiwaki y Ohe, 1951; Mizue, 1951; y Kawamura, 1982; citados en Rojas 1984).

Para la población residente del Golfo de California, el componente principal de la dieta de esta especie lo constituyen los eufaúsidos *Nyctiphanes simplex* (Terhys, 1992; Gendron, 1993; Del Ángel, 1997 y Croll *et al.*, 2001b) y probablemente la sardina *Sardinops sagax* (Gallo-Reynoso, 1991; Jaume-Schinkel, 2004).

#### II.4.1 Distribución de *Nyctiphanes simplex* en el Golfo de California

De acuerdo con Brinton y Townsend (1980) y Brinton *et al.* (1986), *Nyctiphanes simplex* es el eufaúsido de afinidad nerítica más ampliamente distribuido en el Golfo de California durante todas las estaciones del año. Sus máximas concentraciones, distribuidas de manera espaciada a lo largo de la plataforma continental de ambas costas del golfo, se dan principalmente desde mediados de invierno y durante la mayor parte de la primavera cuando los procesos de mezcla vertical (en la columna de agua) y la surgencia son más intensos. En este periodo *N. simplex* es más abundante y reproductivo. Su pico de abundancia empieza a establecerse en la parte oeste del Golfo Central, en el mes de abril, cuando prevalecen temperaturas superficiales del mar entre 17 y 20°C.

Cuando se incrementa la temperatura del agua en el Golfo de California, durante el verano (28-31°C), *N. simplex* detiene su reproducción y aumenta la pérdida de la población adulta; lo que provoca una disminución en su abundancia. Sin embargo *N. simplex* permanece inalterado en la Región de las Grandes Islas y sus canales (Brinton y Townsend, 1980; Brinton *et al.*, 1986). Este patrón de distribución estacional bien diferenciado de su principal presa alimenticia, sugiere una probable evidencia del parámetro que marca la migración de *B. physalus* dentro del golfo hacia las zonas de alimentación, en el invierno y la primavera.

Durante la temporada invernal prevalecen temperaturas (14°C) a los 10 m de profundidad, que son representativos de la capa de mezcla en la cual vive la mayoría de las especies migratorias de eufaúsidos en sus estados larvarios más avanzados. Las isotermas de temperaturas van de 14°C en la región de las Grandes Islas a 20-21°C en la boca del golfo (Brinton *et al.*, 1986). Aunque el comportamiento migratorio vertical de *N. simplex* parece variar con la localidad, éste es usualmente ascendente y nocturno. Esta especie vive durante el día y la noche en sitios cercanos a la costa generalmente por arriba de los 100 m de profundidad así como en la parte superior de la termoclina.

Se sabe que este eufaúsido produce el 80% de sus larvas en fase más temprana (*calyptosis*) en el Golfo Medio e Inferior durante el mes de febrero en localidades donde prevalecen temperaturas de alrededor de 14°C (Brinton y Townsend, 1980; Brinton *et al.*, 1986), lo cual explica sus altas abundancias en el área de Guaymas en la que en el mes de febrero predomina una temperatura superficial promedio de 16°C (Roden y Groves, 1959).

## II.5 La ballena de aleta en el Golfo de California

Con base en los registros de algunos balleneros norteamericanos, se ha podido determinar que *B. physalus* fue alguna vez el misticeto más abundante frente a las aguas de California durante el periodo primavera-verano (Scammon, 1874). No existe evidencia de que también lo fuera para el Pacífico Mexicano. Sólo se encuentran concentraciones importantes de la ballena de aleta en el Golfo de California la cual fue registrada por primera vez por Gilmore y Ewing (1954, citados en Urbán, 1996), y propuesta como una población residente (Gilmore en 1957; Wells *et al.*, 1981; Leatherwood *et al.*, 1982; Rojas, 1984; Gambell, 1985; Leatherwood, *et al.*, 1988; Thompson *et al.*, 1992; Tershy, *et al.*, 1993a; Urbán, 1996; Rice, 1998) y aislada del stock americano (Bérubé *et al.*, 1998 y 2002). Sus registros en la costa occidental de la Península de Baja California son raros (Leatherwood, *et al.*, 1982; Tershy *et al.*, 1993).

### II.5.1 Distribución, abundancia y residencia

En las últimas décadas se han realizado, en localidades específicas del Golfo de California, diversos estudios sobre la población residente de *B. physalus* relativos a su ecología y biología; entre los que destacan: ocurrencia, índices de intercambio, movimientos, distribución, abundancia, alimentación, comportamiento e incluso genética. Algunos de estos estudios se han realizado utilizando la técnica de fotoidentificación (Tabla 1).

De acuerdo con la recopilación y análisis de trabajos publicados por varios autores, en el presente estudio se ha resumido y desarrollado un esquema de distribución, reproducción y alimentación de esta especie (ver Figura 1). Aunque esta información es considerable aún permanecen algunas interrogantes acerca de los patrones de movimiento espacio-temporal, estimaciones de abundancia local en las distintas áreas de avistamiento, medidas del grado de fidelidad a dichas áreas, así como la identificación de condiciones o factores bióticos y abióticos que la determinan.

Tabla 1. Investigaciones realizadas para *B. physalus* en el Golfo de California

AUTOR	AÑO DE MUESTREO	TEMA	LOCALIDAD
Tershy y Strong, 1984	1983	Ocurrencia Comportamiento Asociación con otros Balenoptéridos Alimentación	Canal de Ballenas Bahía de Los Ángeles Bahía de Las Animas
Rojas, 1984	1982,1983,1984	Ocurrencia Distribución	Golfo de California
Gallo-Reynoso, 1984	1983	Interacción con otras especies de cetáceos	Golfo de California
Gallo-Reynoso, 1991	1983 a 1986	Alimentación sobre sardina	Golfo de California
Gendron, 1993	1988	Índice de avistamientos Distribución	Golfo de California
Urbán, 1996	1993,1994,1995	Distribución Movimientos Abundancia Estructura y diversidad génica de las agregaciones	Golfo de California
Tershy <i>et al.</i> 1990	1983-1986	Abundancia Distribución estacional Composición de la población	Canal de Ballenas Golfo de California
Tershy <i>et al.</i> , 1993	1983-1986	Sitios de avistamientos Distribución estacional Dieta y disponibilidad de alimento	Golfo de California
Tershy <i>et al.</i> , 1993a	1983	Residencia	Golfo de California
Urbán <i>et al.</i> , 2005a		Diversidad Conservación	Golfo de California
Urbán <i>et al.</i> , 2002	2002	Abundancia Residencia	Golfo de California
Pettis <i>et al.</i> , 2000a	1998-2000	Tiempos de Residencia Índices de intercambio Desplazamientos Distribución	Bahía Kino
Urbán <i>et al.</i> , 2001	1982-2000	Tiempos de Residencia Patrones de movimiento	Golfo de California
Gallo-Reynoso <i>et al.</i> , 2003	1995 a 2002	Distribución espacial y temporal	Guaymas, Sonora
Pettis <i>et al.</i> , 2000b	1981-2000	Patrones de movimientos	Guaymas Bahía Kino
Croll <i>et al.</i> 2001a	1995-1999	Fisiología, Ecología de alimentación	Bahía de La Paz Bahía de Loreto
Jaume-Schinkel, 2004	2001-2002	Hábitos alimentarios	Golfo de California
Gallo-Reynoso <i>et al.</i> 2005	1995,1996,1997	Distribución espacio temporal Índices de avistamientos	Cinturón Insular del Golfo de California
Urbán <i>et al.</i> 2005b	2001	Determinación y caracterización de hábitat.	Golfo de California
Díaz, 2006	2004-2005	Abundancia y movimientos	Golfo de California

La ballena de aleta se distribuye: durante todo el año en el NW del Golfo de California; en el área del Cinturón Insular en el verano y otoño (Rojas, 1984; Tershy *et al.*, 1990; Tershy, 1993; Gallo-Reynoso, 1991; Urbán, 1996; Gallo-Reynoso *et al.*, 2005); en las costas este y oeste de la parte central del golfo durante el invierno y primavera (Rojas, 1984; Urbán *et al.*, 2005a), al igual que en la parte sur del golfo (Gendron, 1993; y Tershy, 1993). En contraste Urbán (1996), reporta que la mayor parte de los animales de la población de esta especie se distribuye en ambas costas del golfo durante el invierno y la primavera.

En relación con los aspectos reproductivos de esta especie, Rojas (1984) reporta avistamientos de madre-cría (M-c) en el NW del golfo, cerca de San Felipe, durante todo el año y propone esta área como una área de crianza. Por su parte, Urbán *et al.* (2005a) proponen que *B. physalus* se cría y aparea durante el invierno en Bahía de Loreto (oeste de la parte central del golfo). También, se han reportado avistamientos de M-c cerca de Isla del Carmen, en el mes abril (Gendron, 1993); en Canal de Ballenas, en los meses de Julio y Agosto (Tershy y Strong, 1984); y en el Cinturón Insular, en el verano-otoño y durante el invierno en la zona de Guaymas (*Com. Pers.* J. P. Gallo-Reynoso, 2007).

Durante el invierno-primavera *B. physalus* se alimenta: en el NE del golfo, en el Golfo Central (Rojas, 1984; Gallo-Reynoso, 1984; Gendron, 1993; Gallo-Reynoso, 2003) en el Canal de Ballenas (Tershy *et al.*, 1990) y en la Bahía de la Paz (*Com. Pers.* Gendron, 2008); en el verano, en el área del Cinturón Insular y Canal de Ballenas (Rojas 1984; Tershy y Strong, 1984; Gallo-Reynoso, 1991; Tershy *et al.*, 1993; Gallo-Reynoso *et al.*, 2005) y en el otoño, en la región oeste de las partes norte y central del golfo (Rojas, 1984).

Existen numerosos avistamientos de esta especie en localidades referidas en el Golfo de California desde San Felipe, con dirección al sur en la Bahía de San Luis Gonzága, el Canal de Ballenas y Canal Salsipuedes (Rojas, 1984; Tershy *et al.*, 1990; Gendron, 1993; Mangels y Gerrodete, 1994; Silber *et al.*, 1994; Urbán, 1996) así como, desde Los Cabos hasta Santa Rosalía, en Baja California Sur (Rojas, 1984; Gendron, 1993; Mangels y Gerrodete, 1994; Silber *et al.*, 1994; Zavala, 1996; Del Ángel, 1997; Urbán, 1996); en Sonora, se tienen registros de avistamientos desde Puerto Peñasco hasta el sur de Puerto Libertad, Bahía Kino y Guaymas (Rojas, 1984; Gendron, 1993; Mangels y Gerrodete, 1994; Silber *et al.*, 1994; Urbán 1996, Pettis *et al.*, 2000a; Gallo-Reynoso *et al.*, 2003); en Sinaloa, en Bahía de Santa Bárbara (Vidal *et al.*, 1993) y cerca de Topolobampo (*Com. Pers.* J. P. Gallo-Reynoso, 2007).

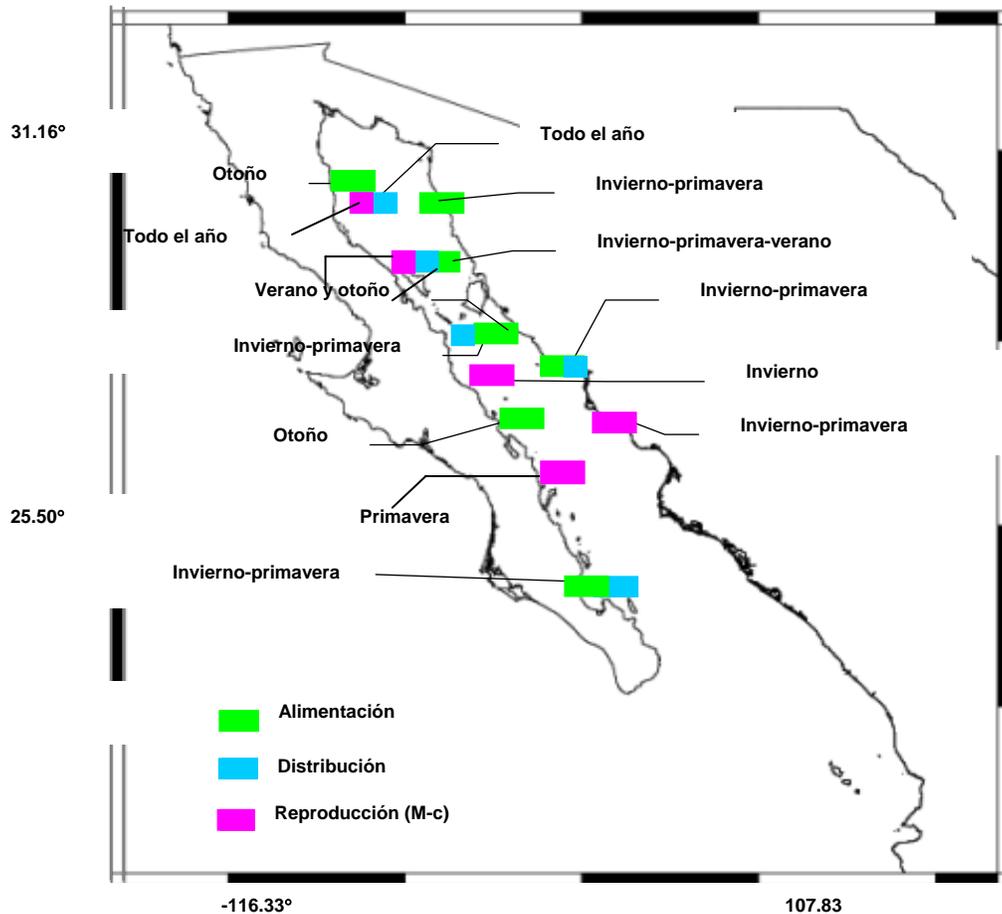


Fig. 1. Esquema de distribución de *B. physalus* en el que se refieren áreas de avistamientos de madre-cría y de ballenas en alimentación

Aún cuando los patrones que obedecen a la distribución característica de la ballena de aleta no se conocen bien, Wells *et al.* (1981) y Tershy (1992) proponen que ésta se distribuye, en la parte norte del Golfo de California, cerca de los 180 m de profundidad con fluctuaciones que van de los 26 a los 550 m, y que tal distribución está relacionada a zonas poco profundas. De modo semejante, Zavala (1996) reporta que esta especie prefiere zonas costeras, en aguas someras, con un amplia distribución preferente a la temperatura superficial del mar, coincidiendo con Rojas (1984) quien sugiere que es una especie de hábitos costeros principalmente y pelágicos en forma secundaria. Particularmente para la localidad de Guaymas Sonora, Gallo-Reynoso *et al.* (2003) reportan que *B. physalus* presenta preferencias costeras en un intervalo de 45 a 183 m de profundidad (en promedio el 54% de las observaciones se presentan en profundidades de menores a los 46 m), lo que sugieren está relacionado con la gran cantidad de nutrientes resultado de la surgencia que aflora durante el invierno-primavera en esa área.

Gallo-Reynoso *et al.*, (2005) documentan que la distribución y gran abundancia de *B. physalus* en el área del Cinturón Insular del golfo durante el verano se debe también, de manera primaria, a la alta productividad (disponibilidad de alimento). Estos autores reportan que el intervalo de profundidades de los sitios de mayor avistamiento de *B. physalus* (123 individuos de un total de 170 mysticetos observados) fue de los 29 a los 1,368 m ( $\bar{X} = 410$   $DS = 359$ ). Referente a las variables fisicoquímicas características de éstos sitios, el intervalo de temperaturas fue de los 29.3 a los 32°C ( $\bar{X} = 27$   $DS = 2.6$ ) mientras que el del color del mar según la escala de color Forel-Ule fue del 1 al 5 ( $\bar{X} = 3.7$   $DS = 1.2$ ). En contraste con los trabajos de Tershy *et al.*, (1990) y Tershy (1992) sobre abundancia, distribución y composición de la población de balenopteridos en el Canal de Ballenas, quienes reportan la observación de *B. physalus* a lo largo del año en aguas con temperaturas que oscilaron entre los 15 y los 28°C, con picos máximos de abundancia hacia finales del invierno y durante la primavera; resaltando que la abundancia no se encuentra correlacionada con la temperatura superficial del mar que prevalece en el área.

Urbán (1996) sugiere un desplazamiento de los individuos con dirección norte-sur a finales de invierno y principios de primavera; pues la mayoría de las ballenas, que se mueven entre las zonas de avistamiento conocidas, ocupan brevemente la zona norte y se desplazan hacia la zona sur donde su estancia es más prolongada. Además, propone un patrón de movimiento general de *B. physalus*; el cual se da desde aguas alejadas de la costa en la región norte del golfo (donde permanecen en el verano-otoño) hacia diversas localidades costeras del resto de éste, a mediados del invierno. Permanecen en éstas hasta el final de la primavera y al inicio del verano las ballenas retornan nuevamente hacia la región central de las grandes islas. Sin embargo, Díaz (2006) reporta movimientos de *B. physalus* a lo largo de la costa occidental del Golfo de California efectuados en estaciones interanuales (verano, invierno y primavera) y sugiere un movimiento desde la costa oriental (Bahía Kino), donde permanecen en invierno, hacia la costa occidental (Bahía de los Ángeles) en la que permanecen en Verano. Así mismo reporta que durante todo su periodo de muestreo (Junio –2004 – Abril 2005) la ballena de aleta fue más abundante en la Región de las Grandes Islas. Encuentra también que su patrón de distribución y movimientos no coinciden con los reportados en años anteriores y sugiere que se debe probablemente a variaciones ambientales que afectan la distribución de sus presas.

Mangels y Gerrodete, (1994) durante una serie de censos realizados por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), en agosto de 1993, registraron un total de 25 avistamientos de esta especie en el Golfo de California. De los cuales, 24 se realizaron en la zona norte (68 ballenas) y sólo, 2 en la zona sur (6 ballenas). Así mismo, registraron que más del 85% de esos avistamientos se ubicaron a más de 20 millas náuticas de la línea de costa, lo cual fue un probable efecto del tamaño del buque más que de la distribución real de la especie.

No se tiene trabajos relativos a la abundancia *B. physalus* en el área de Guaymas Sonora. En cambio, en la Región de las Grandes Islas destacan: el de Tershy y Strong (1984), quienes calculan un índice de avistamiento de 3.7 individuos/km y una abundancia local de 157 individuos; y el de Gallo-Reynoso *et al.* (2005); quienes reportan a *B. physalus* como la especie más abundante, la cual cubrió el 71.8% (123) del total (170) de los misticetos observados (*B. edeni*, *B. acutorostrata* y *Megaptera novaeangliae*). Ambos trabajos se realizaron durante la temporada verano-otoño.

De entre los escasos trabajos referentes a los movimientos de *B. physalus* en el Golfo de California, destaca el realizado por Pettis *et al.* (2000b), en siete localidades de la porción centro oriental del Golfo. Quienes determinaron, con la técnica de fotoidentificación, que los individuos fotografiados se encontraron en todas las localidades. Destacaron, de acuerdo a índices de intercambio ( $I$ ), que el mayor movimiento se da entre Bahía Kino y Guaymas ( $I = 4.07$ ); seguido de Bahía Kino y Puerto Libertad ( $I = 2.80$ ). Movimientos temporales registrados evidenciaron que la mayoría de las ballenas fueron re-fotografiadas en un periodo de tres a seis años; salvo un individuo que fue refotografiado 17 años después de su primer avistamiento. Por otra parte, Díaz (2006) documenta índices de intercambio, de las ballenas, menores entre la zona sur y norte; mientras que dentro de las zonas, los índices fueron mayores en la zona sur ( $I = 0.50$ ) que en la zona norte ( $I = 0.002$ ). Reporta también que la mayoría de las ballenas en las estaciones de muestreo (verano-2004 e invierno-2005) se concentraron en la zona norte (Bahía de los Ángeles y Bahía Kino).

De acuerdo a Pettis *et al.* (2000a) durante las temporadas de octubre-abril de 1998-99 y 1999-2000 en el área de Guaymas se identificaron 97 individuos; de los cuales 13 se vieron más de una vez en Bahía Kino con periodos de seis meses a un año, lo que sugirió fidelidad al área. Dicho antecedente es importante ya que propone, a manera de hipótesis, que Bahía Kino representa una zona donde la ballena de aleta se concentra durante el otoño-invierno para alimentarse. Cabe añadir que, ya con anterioridad Urbán (1996) había sugerido la existencia de fidelidad, al registrar altas tasas de recaptura de *B. physalus* dentro de varias localidades en el Golfo de California.

Referente a los parámetros de la distribución y patrones de movimiento de esta especie en el Golfo de California, se ha propuesto que la distribución y abundancia de *B. physalus* guarda relación con la de su alimento *N. simplex* (Tershy y Strong, 1984; Tershy, 1992; Gendron 1993), al comparar la distribución y abundancia de éste último propuesta por Brinton y Townsend (1980) (Urbán, 1996).

Urbán *et al.*, (2001) reportan que de 519 ballenas fotoidentificadas entre 1981 y 2000 en diferentes áreas del Golfo de California (Agiabampo, Bahía Kino, Canal de Ballenas, Guaymas, La Paz, Loreto, Puerto Peñasco, Puerto Libertad, San Felipe y San Luis Gonzága), 72 fueron recapturadas en más de un año. Determinan que el tiempo promedio entre la primera y la última captura fue de 6.8 años, con dos recapturas efectuadas en un periodo de más de 18 años. Un año más adelante, Urbán *et al.*, (2002) corroboraron la permanencia de *B. physalus* en el Golfo de California, con base a los intervalos máximos de recaptura de la fotoidentificación de 517 individuos en 10 áreas del Golfo de California entre 1988 y 2000; y estiman la abundancia de la población en 400 ballenas.

Relativo a la caracterización y uso de hábitat, Urbán *et al.* (2005b) determinaron, con base en marcas de satélite colocadas en 11 ballenas en el 2001, que *B. physalus* permanece hasta  $142.3 \pm 50.1$  días en el golfo y que pasa el verano en la zona norte en la Región de las Grandes Islas, lo cual coincidió con altas concentraciones de clorofila para esta época, así como con cambios en su dieta de eufaúsidos a sardina. Observaron que para la temporada invierno-primavera de 2005 las concentraciones de clorofila fueron atípicamente bajas en la zona sur del golfo y altas en la Región de las Grandes Islas, misma en la que las ballenas fueron avistadas alimentándose de eufaúsidos, lo que les permitió concluir que *B. physalus* es una especie residente en el Golfo de California, efectiva para encontrar y explotar zonas altamente productivas y con abundancia de eufaúsidos.

Si bien son considerables el número de trabajos realizados para la población residente de *B. physalus* del Golfo de California, la irregularidad de los esfuerzos de fotoidentificación ha hecho difícil definir sus patrones de movimientos estacionales y espaciales, así como la delimitación y uso de su hábitat. No obstante, las estimaciones de abundancia poblacional realizadas del 2000 al 2006 por diversos autores 300 ( $296 \pm 79$ ) individuos; (Urbán, 1996), 400 individuos (Urbán *et al.*, 2002); 800 individuos (Urbán *et al.*, 2005a) y 659 individuos IC= 458-1043 (Díaz, 2006); indican una población aproximada de 540 individuos (IC: 502-577).

### III. OBJETIVOS

#### 1 Objetivos Generales

- Conocer la distribución, abundancia y fidelidad de la ballena de aleta *Balaenoptera physalus* en el área de Guaymas, Sonora México.
- Predecir la distribución geográfica potencial de *B. physalus* en el Golfo de California.

#### III.2 Objetivos Particulares

- Conocer los patrones de distribución temporal y espacial de la ballena de aleta durante las temporadas invierno-primavera 2004 y 2005 en el área de Guaymas.
- Definir si las variables oceanográficas registradas durante las temporadas invierno-primavera 2004 y 2005 están relacionadas con la ocurrencia de la ballena de aleta en el área de Guaymas.
- Determinar la abundancia absoluta de la ballena de aleta en el área de Guaymas durante la temporada invierno-primavera.
- Determinar la dispersión y la fidelidad de la ballena de aleta al área de Guaymas.
- Predecir a partir de la relación de *B. physalus* con las variables oceanográficas observadas en Guaymas, la distribución potencial de *B. physalus* en el Golfo de California con el fin de determinar sus posibles zonas de alimentación.

#### IV. ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California (GC) ocupa una posición oceanográfica única entre los mares marginales del Océano Pacífico, se localiza en un intervalo latitudinal subtropical y se orienta en dirección noroeste-sureste. Está limitado por la árida Península de Baja California al oeste y los igualmente áridos y semi-áridos estados de Sonora y Sinaloa y subtropicales a tropicales de Sinaloa, Nayarit y Jalisco al este. Esto le proporciona una marcada variación estacional en el patrón de vientos, en la temperatura y la precipitación (Maluf, 1983). El GC se considera la única cuenca de evaporación en el Pacífico. Topográficamente está dividido en una serie de cuencas y trincheras, las cuales son más profundas en la parte sur y van disminuyendo hacia el norte. Tiene una longitud de 1,150 km y un ancho medio de 150 km (Álvarez-Borrego, 1983). Representa un volumen total aproximado en  $123,000 \text{ km}^3$  en una superficie de  $260,000 \text{ km}^2$ . El golfo se encuentra separado horizontalmente en dos grandes zonas por la región de las Grandes Islas (Ángel de la Guarda y Tiburón) conocido también como Cinturón Insular. La parte norte del golfo es más somera, a excepción de la Cuenca Delfín, conformada en su mayoría por plataforma continental y caracterizada por grandes amplitudes de marea. La zona sur es más profunda e influenciada por las corrientes superficiales y subsuperficiales del Océano Pacífico. En esta zona la plataforma continental en el lado oeste es más rocosa y angosta con respecto al lado este, que es más amplia (Álvarez-Borrego, 1983).

El área de Guaymas se ubica dentro de los límites de las provincias topográficas norte y central. La topografía de la provincia central caracteriza al Golfo de California, el cual se hace más ancho y más profundo en esa zona siguiendo el eje axial noroeste-sureste del centro del golfo; en dirección del conjunto de fallas que culminan en un centro de creación de piso oceánico sumamente activo en la cuenca de Guaymas a 1898 m de profundidad (Rusnak y Fisher, 1964; Van Andel, 1964).

Guaymas se localiza en la parte central del Golfo de California, en las costas del estado de Sonora (Figura 2). Los muestreos del presente estudio se efectuaron en el área de Guaymas-San Carlos; la cual ocupa el cuadrante limitado por las coordenadas:  $27^{\circ}57'36'' \text{ N}$ ,  $111^{\circ}23'24'' \text{ W}$  y  $28^{\circ}36'0'' \text{ N}$ ,  $111^{\circ}14'24'' \text{ W}$ ,  $27^{\circ}45'36'' \text{ N}$ ,  $110^{\circ}57'36'' \text{ W}$  y  $27^{\circ}53'24'' \text{ N}$ ,  $110^{\circ}52'1.2'' \text{ W}$ ; abarca una superficie de  $295 \text{ km}^2$ , recorre una distancia paralela a la costa de aproximadamente 50 km (27.78 mn) en dirección sureste-noroeste hacia la Isla San Pedro Nolasco y una distancia promedio alejada de la costa de 17.9 km (10 mn).

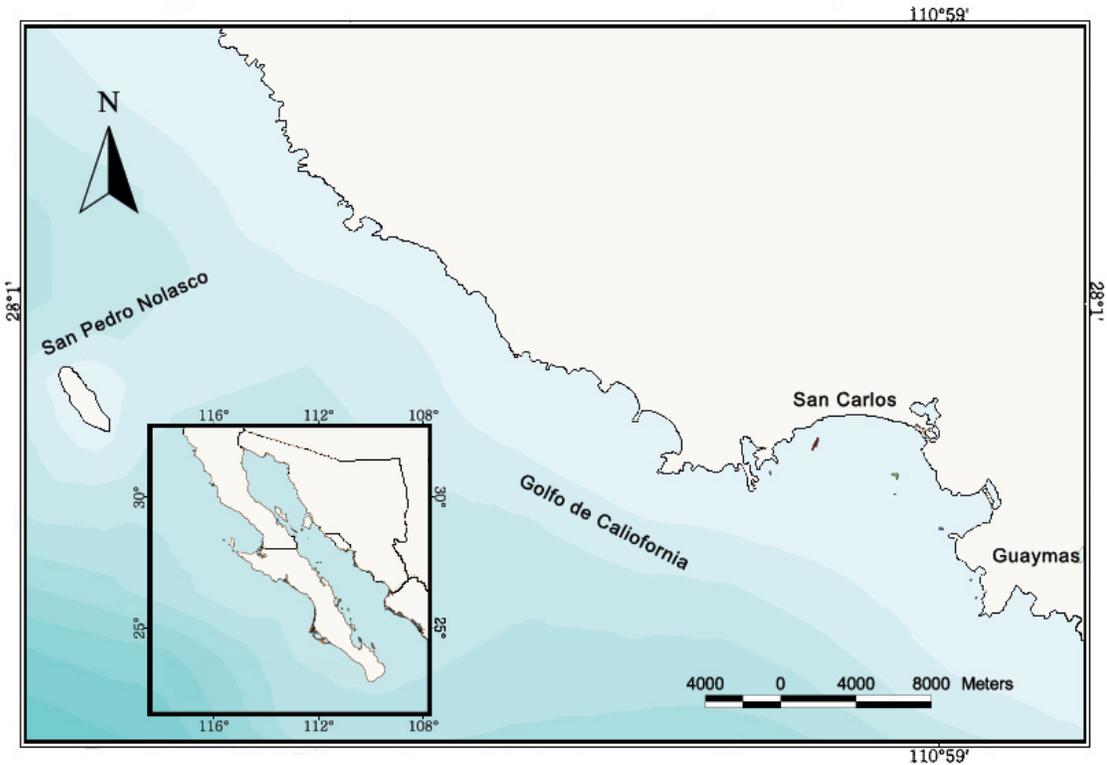


Fig. 2. Localización del área de estudio en el Golfo de California en las costas de Guaymas Sonora, México

## IV.2 Oceanografía geológica

Desde el punto de vista geológico el GC se divide en tres regiones o provincias topográfica; norte, central y sur (Rusnak y Fisher, 1964) (Figura 3).

La primera está delimitada desde la desembocadura del Río Colorado hasta una línea imaginaria que comprende desde la Cuenca Salsipuedes hacia Guaymas. La región central tiene como límite la línea entre Santa Rosalía y el sur de Topolobampo. Al sur del límite anterior, se registra la tercera región, la cual se extiende hasta Cabo Corrientes, Jalisco (Tovilla, 1991).

Un rasgo notable de la topografía de la provincia central y concretamente de la Cuenca de Guaymas, es la capa de sedimento que predomina en toda la morfología, el cual es de origen biogénico acumulado en por lo menos los últimos 2.5 millones de años (Tovilla, 1991). Solamente las Islas Tortuga, San Marcos y Santa Inés, así como Bahía de Concepción, son las estructuras superficiales de origen volcánico más notables de esta provincia.

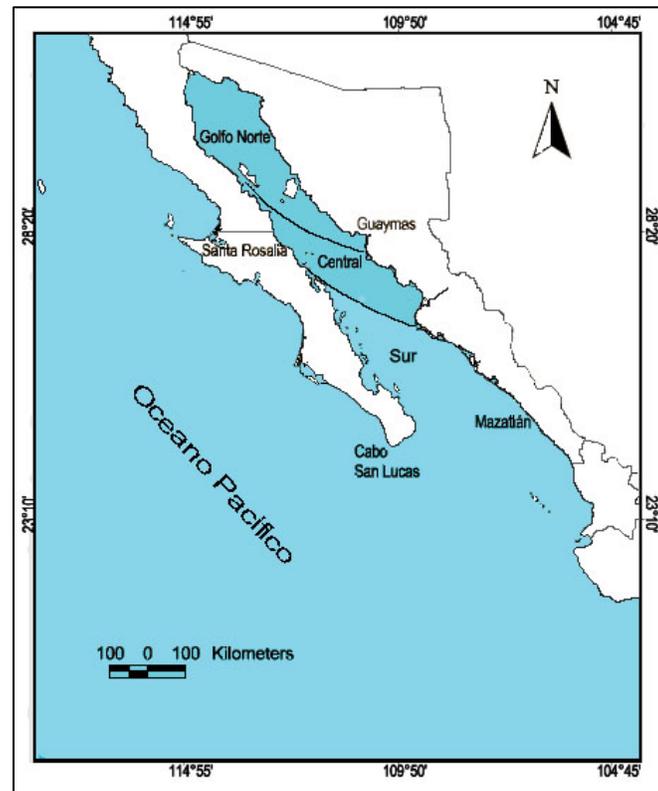


Fig. 3. Provincias topográficas del Golfo de California (Rusnak y Fisher, 1964)

### IV.3 Oceanografía física y química

De acuerdo con Roden y Emilson (1980), y Case y Cody (1983), el Golfo de California puede dividirse en cuatro provincias distintas desde el punto de vista oceanográfico, Golfo Superior, Canal de Ballenas y Fosa Salsipuedes, Golfo Inferior y entrada del golfo (Figura 4).

El área de estudio se localiza en la provincia del Golfo Inferior. En ésta, las amplitudes de mareas son pequeñas y aunque se caracteriza por una fuerte corriente hacia el sur cerca de sus límites occidentales las diferencias en corrientes son menos importantes que aquellas producidas por el viento. En superficie, las corrientes son llevadas predominantemente hacia el sureste en invierno y hacia el noroeste en verano en respuesta a los patrones mayores del viento (Tovilla, 1991). La temperatura superficial muestra una marcada diferencia entre el invierno y el verano, alcanzando valores de 16°C y 31°C, respectivamente. En el sentido vertical, la temperatura decrece rápidamente con la profundidad. A los 100 m de profundidad la temperatura se reduce hasta alcanzar 14°C (Robinson, 1973), a los 300 m alcanza los 5°C. Se encuentra en una misma relación que en el pacífico ecuatorial.

El patrón de circulación superficial del Golfo de California está relacionado, entre otros factores, con el sistema de vientos locales.

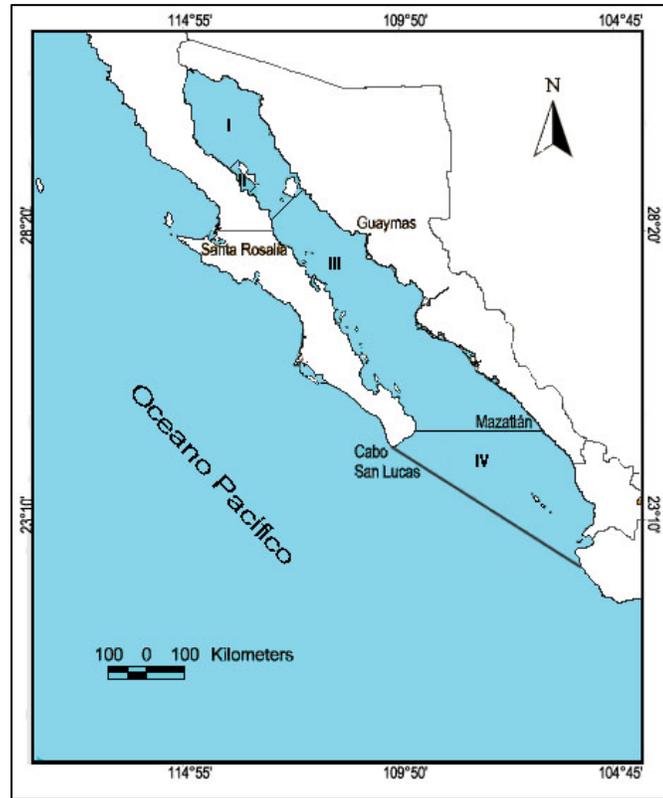


Fig. 4. Provincias oceanográficas del Golfo de California

Durante el invierno éstos tienen una dirección de norte a sur con propiedades principales de ser fríos y secos, mientras que en verano van de sur a norte en conjunto con masas de aire húmedo tropical, los cuales originan precipitaciones pluviales y crean condiciones hidrográficas específicas.

Las características topográficas juegan un papel importante en la circulación y afloramiento de las aguas del fondo. Durante el invierno, el flujo geostrófico es predominante con dirección hacia el sureste, precisamente cuando los vientos soplan del noroeste paralelos a la costa este del golfo, alejando las aguas superficiales de la costa este (Roden, 1958). De este modo, las aguas más densas de las capas inferiores reemplazan a las aguas superficiales de menor densidad, lo que produce desplazamientos ascendentes y da lugar al fenómeno de surgencia, característico del lado este de la región; al mismo tiempo se desarrollan frentes oceánicos muy notorios (Tovilla, 1991).

La circulación del agua hacia el sureste en invierno va de acuerdo con la circulación superficial generalizada del golfo para esta época, con velocidades entre los 35 y 40 cm/seg en noviembre, diciembre y enero. A los 200 m la circulación es la misma pero a velocidades menores (25 cm/seg).

Durante el verano, la circulación del flujo geostrófico se invierte y coincide con la circulación del agua generalizada del golfo en esa época, es decir, las corrientes tienden hacia el noroeste desde la entrada del golfo hasta los 28° de latitud, precisamente cuando los vientos soplan del sureste repitiéndose el mismo mecanismo que se presenta en invierno pero en forma inversa. Roden y Groves (1959) concluyen que el agua superficial entra al golfo en su mayoría por el lado este.

La presencia y distribución de la materia orgánica disuelta (MOD) y la materia orgánica particulada (MOP) ésta relacionada a la dinámica del transporte externo e interno al sistema, así como a la actividad biológica. El primero contribuye principalmente a través del arrastre de los ríos y el viento, con una gran cantidad de sólidos en suspensión (STS) como arenas, limos y arcillas en la parte inorgánica; siendo el medio cuantitativamente más importante de MOP al Golfo de California por vía fluvial. El segundo resulta de los procesos biológicos de los florecimientos fitoplanctónicos, de acuerdo a la cantidad de nutrientes disponibles estacionalmente (Nichols, 1966; Green 1968 citados en Tovilla, 1991). Específicamente en el área de estudio, la presencia de la MOD y de la MOP se encuentra estrechamente relacionada con la acción de los transportes efectuados por el viento desde las zonas áridas de la costa de Sonora, así como con las corrientes de marea y las surgencias (De la Lanza, 1991). El aporte importante de STS lo constituye el viento, cuyos efectos más notables se presentan en los meses de enero a marzo y de julio a agosto con velocidades elevadas y constantes, una gran cantidad de estos sólidos está constituida principalmente por la MOP.

Los contenidos de MOP, MOD y STS tienen un gradiente de mayor a menor desde la costa hacia el mar abierto, con los máximos durante la época de lluvia en el verano. Lo mismo se observa para la productividad primaria registrada en el área de estudio que se localiza en el Golfo Inferior, En ésta la productividad varía ampliamente de sur a norte de menor a mayor; en consecuencia cambia la MOP (Round, 1967 citado en Tovilla, 1991). Se encuentran altos niveles de biotina, pentosas, hexosas, uracilos y vitamina B<sub>12</sub>, lo cual puede estar relacionado con la alta productividad registrada principalmente en el área de Guaymas (Tovilla, 1991).

Estimaciones de MOP y STS efectuadas por González-Farías *et al.* (1986, citado en Tovilla 1991) en la temporada invierno-primavera a lo largo del Golfo de California, arrojan valores de 1.33 a 1.70 mg/l de MOP correspondientes principalmente a la parte este del golfo. En esta época sucede la surgencia en la costa de Sinaloa y la Cuenca de Guaymas, reflejando valores máximos (1.70 mg/l). Área en la que el fitoplancton representa la mayor fuente de detritus (Roden y Groves, 1959; Badán Dagon *et al.*, 1985, citados en Tovilla, 1991). Una porción considerable de la MOD está constituida por ácidos húmicos, los cuales ingresan al medio marino por vía fluvial (Christman y Gjessing, 1986 citados en Tovilla, 1991).

## V. MÉTODO

Para el desarrollo de los objetivos planteados se utilizaron, de manera parcial o total, los datos de *B. physalus* recabados en el área de Guaymas durante los periodos enero-abril de 2004 y enero-abril de 2005 (temporada invierno-primavera 2004 y 2005); así como los datos recabados de 1981 a 2003 y recopilados en el catálogo fotográfico del Laboratorio de Ecofisiología del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., (CIAD) Unidad Guaymas. Adicionalmente, se utilizaron los registros de avistamientos de *B. physalus* publicados por otros autores durante la misma temporada en diferentes localidades del Golfo de California.

### Obtención de datos (Trabajo de Campo)

En ambas temporadas, siempre que las condiciones climáticas lo permitieron, se realizaron salidas con una frecuencia de una a dos veces por semana. Se utilizó la embarcación de investigación "Mirounga" de 22 pies de eslora con motor dentro de borda, ecosonda y GPS (geoposicionador satelital) integrado. Dependiendo del clima se trató de cubrir el mismo recorrido, esfuerzo de búsqueda (horas de navegación) y esfuerzo de observación para cada una de estas salidas (Tabla 2).

Los recorridos se basaron en investigaciones previas al presente trabajo, dado que en ellas se han definido corredores preferenciales; y en los posibles sitios de localización (Pettis *et al.*, 2000b; Gallo-Reynoso *et al.*, 2003, Mahaffy, 2003 reporte interno no publicado) (Figura 5 y 6). Una vez observadas las ballenas en el área de estudio se continuó con monitoreos matutinos diarios subsecuentes desde un punto en tierra para corroborar su permanencia, o no, en el área.

Tabla 2. Esfuerzo realizado en número de salidas y horas de navegación, en las temporadas 2004 y 2005

NO. SALIDA	FECHA	ESFUERZO DE NAVEGACIÓN (HRS.)	ESFUERZO EN HRS. DE OBSERVACIÓN	NO. SALIDA	FECHA	ESFUERZO DE NAVEGACIÓN (HRS.)	ESFUERZO EN HRS. DE OBSERVACIÓN
1	20-Ene-04	3.50	1.65	1	11-Ene-05	2.75	1.67
2	17-Feb-04	4.17	2.25	2	18-Ene-05	1.75	1.25
3	28-Feb-04	2.50	0	3	19-Ene-05	5.00	3.00
4	09-Mar-04	2.42	0	4	21-Ene-05	3.38	2.78
5	13-Mar-04	6.00	1.6	5	29-Ene-00	3.62	0.60
6	15-Mar-04	1.67	1.33	6	31-Ene-00	2.00	0.33
7	16-Mar-04	1.00	0.6	7	05-Feb-05	3.50	0.00
8	17-Mar-04	1.58	0	8	13-Feb-05	2.50	0.33
9	20-Mar-04	4.00	0.33	9	15-Feb-05	4.67	0.00
10	27-Mar-04	3.50	0	10	17-Feb-05	3.00	0.00
11	30-Mar-04	1.42	0	11	20-Feb-05	4.67	0.00
12	08-Abr-04	1.75	0	12	22-Feb-05	5.83	2.83
13	09-Abr-04	3.50	0	13	26-Feb-00	2.50	0.58
14	05 Abr-04	2.00	0.5	14	09-Mar-05	3.83	1.50
				15	10-Mar-05	3.17	1.55
				16	15-Mar-05	3.00	0.00
				17	17-Mar-05	1.92	0.00
				18	29-Mar-05	5.17	1.75
				19	01-Abr-05	5.00	0.00
				20	08-Abr-05	4.38	0.00
				21	15-Abr-05	3.18	0.00
				22	16-Abr-05	2.00	0.00
Total horas		39.00	8.26	Total horas		76.82	18.18

La velocidad de navegación fue constante, entre 9 y 12 nudos (16.7 y 22.2 km/hr). Se permaneció de dos a 10 millas náuticas alejados de la costa. La embarcación se detuvo cada veinte minutos para localizar a las ballenas y escuchar posibles soplos. Se utilizaron binoculares de 10 x 50.

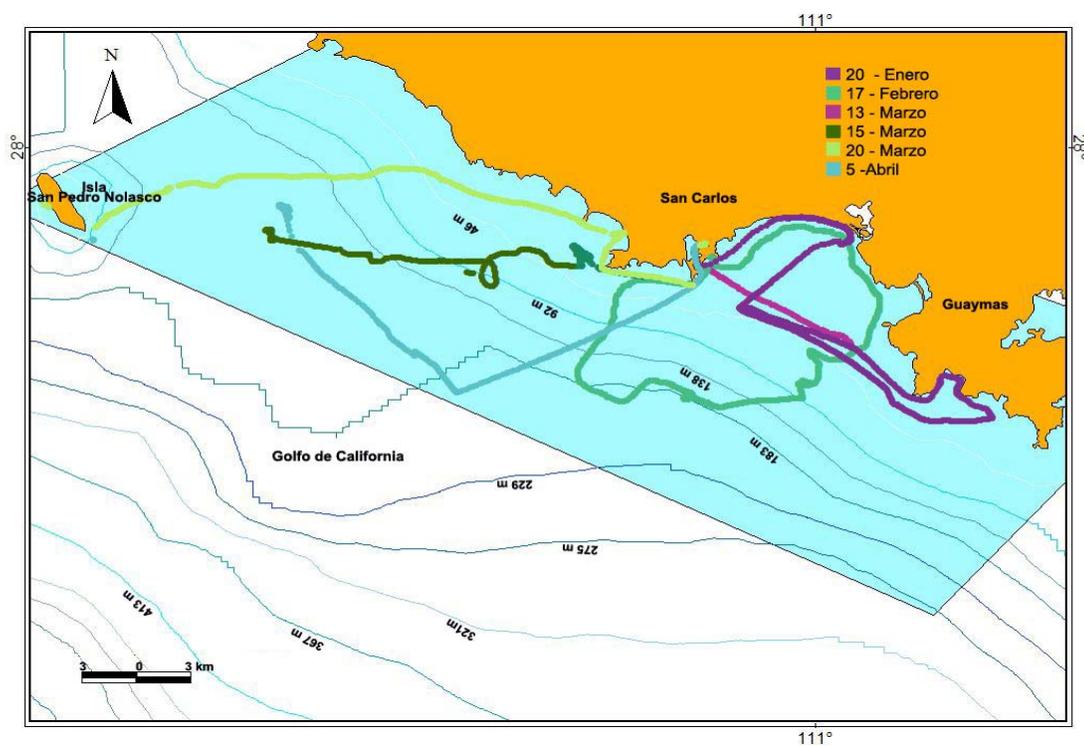


Fig.5. Mapa que muestra el polígono de esfuerzo de navegación durante la temporada 2004 y en el que se muestran algunas rutas de observación de ballenas

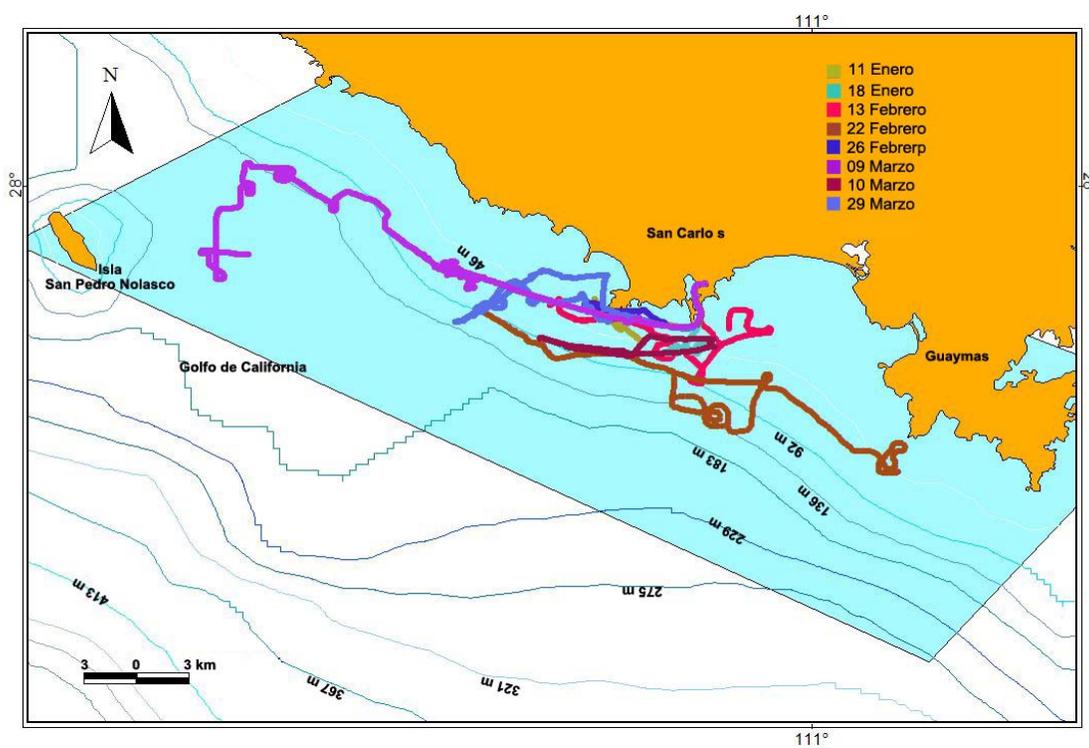


Fig. 6. Mapa que muestra el polígono de esfuerzo de navegación durante la temporada 2005 y en el que se muestran algunas rutas de observación de ballenas

Para cada avistamiento se tomó nota de las condiciones oceanográficas prevalecientes en el instante mismo, en un formato elaborado para ello (Apéndice A), tales como: estado del mar en escala de Beaufort (B), dirección y velocidad del viento, nubosidad, transparencia (Transp) con disco de Secchi, temperatura superficial del mar (TSM) y temperatura ambiente, salinidad (S) con refractómetro manual y color superficial del agua del mar (C). Este último se midió en la escala de color Forel-Ule, la cual ha sido probada como una herramienta confiable para medir de manera indirecta la productividad del mar (Gallo-Reynoso, *et al.*, 2005). Esta escala esta compuesta de colores estándares, elaborados a partir de una variedad de sales inorgánicas, los cuales describen la apariencia visual del agua de mar una vez que alguno de ellos, al compararlos a contraluz con la superficie del mar, coincide en color. Así, la escala de medición refleja un “índice de color” que va del I al X; el valor mínimo representa una productividad deficiente (mayor claridad o color azul del mar) y a medida que éste aumenta, una productividad creciente (mayor turbidez o color del mar verde-café).

La variable topográfica “profundidad” se calculó a partir de las cartas náuticas de San Carlos Sonora, No. S.M.233.2 Escala: 1:7,500; Edición 2001; Datum: WGS84, y del Golfo de California No. S.M.200 parte norte, Escala: 1:369,000; Edición 1999; Datum: WGS8. Ambas, producidas y publicadas en papel por la Secretaría de Marina, en conjunto con los datos localización geográfica de cada avistamiento.

En el mismo formato, también se registró: hora y localización geográfica del inicio y fin de cada avistamiento; actividad de los organismos [tránsito (T), alimentación en superficie o en la columna de agua (A)], asociación con otras especies y la presencia de crías. En el caso de grupos, se anotó el tamaño y composición de acuerdo con las categorías definidas en la Tabla 3. El criterio utilizado para definir a los grupos fue el propuesto por Wilson, 1975 (citado en Tershy 1993a), quién considera como un grupo a los individuos que nadan una distancia menor de 50 m entre si, muestran un mismo comportamiento; así como patrones de nado y respiración coordinados.

Tabla 3. Tipos de composición de los grupos de ballenas y sus respectivas categorías

COMPOSICIÓN DEL GRUPO	CATEGORÍA
Parejas adultas	(P)
Madre con cría	(M-c)
Tríos de adultas	(T)
Solitarias	(S)
Más de tres adultas	(+T)

Durante la toma de fotografías, se procuró obtener el mayor número posible de fotos de ambos perfiles (izquierdo y derecho) de la aleta dorsal (Figura 7). La distancia aproximada entre la embarcación y la ballena fue de 30 m. Se empleó una cámara reflex de formato de 35 mm con una apertura de 16 velocidades de disparo mayores a 1/750 seg; y telefoto zoom, ultrasónico con autoenfoco, de 70-300 mm. Asimismo, películas de papel a color ASA 200, o ASA 100 dependiendo de la iluminación del día. Cuando fue posible también se utilizaron rollos de transparencias. Se navegó siempre en posición perpendicular al eje longitudinal del desplazamiento de los organismo a fin de obtener fotos lo más nítidas posibles y de la mejor calidad posible.



Fig. 7. Captura fotográfica de ambos perfiles de la aleta dorsal de una ballena en Bahía de Baco-chibampo, Guaymas Sonora (Fotos de Emilia Pérez-Troyo)

Durante cada sesión fotográfica se tomaron datos de: número de individuo, perfil de la aleta o porción del cuerpo fotografiado, número de rollo y foto empleado, rumbo de la ballena, cambios en la actividad o comportamiento. Al término de cada película, ésta se etiquetó con la fecha y número subsecuente, para evitar posteriores confusiones con el número y secuencia de películas utilizadas.

## ANALISIS DE DATOS

### **V.1 Distribución espacial y temporal**

Las coordenadas de avistamientos y las rutas de navegación registradas con el geoposicionador satelital (GPS), durante las temporadas 2004 y 2005, se ubicaron en un mapa del área de estudio (Origen: cobertura Golfo de California: Centro para el Conocimiento y Aprovechamiento de los Recursos Naturales CECARENA; Fuente: CIAD; modificado del original por Janitzio Égido Villarreal), el cual se elaboró en ArcView GIS 3.2<sup>a</sup>. Se diferenciaron los registros de avistamientos por cada mes para cada temporada, con la finalidad de conocer los patrones y áreas preferentes de distribución espacio-temporal de *B. physalus*.

### **V.2 Ocurrencia de *B. physalus* y condiciones oceanográficas**

En hojas de cálculo de Microsoft Excel 2003, se vaciaron los datos de los avistamientos registrados referentes a: la información fotográfica de cada ejemplar fotoidentificado, actividad realizada, número de veces avistado, fechas y coordenadas de los avistamientos, localidad, tiempo de observación, tiempo de horas navegadas, ruta de desplazamiento; así como, las demás variables oceanográficas colectadas en campo.

Con base en la cantidad de ballenas observadas e identificadas en ambas temporadas, se estimó la abundancia relativa al número de ballenas observadas e identificadas por: avistamiento, salida, hora navegada y hora de observación. La misma información se utilizó para calcular el porcentaje de ballenas fotoidentificadas con respecto al número de ballenas fotografiadas, a fin de estimar la eficiencia de capturas fotográficas.

Se calculó el porcentaje de ballenas en actividad de alimentación (A) y/o tránsito (T) por avistamiento. A partir de estos datos se calculó la abundancia relativa al número de ballenas en alimentación y tránsito por hora de navegación para cada avistamiento de cada salida.

Lo anterior permitió diferenciar en avistamientos de ballenas en alimentación y tránsito en altas y bajas abundancias (Ab, Aa, Tb y Ta) (Tabla 4); acompañados de sus correspondientes valores de variables oceanográficas y ambientales registradas (TSM, C, S, Transp., B y Prof.) por avistamiento. Se descartaron los datos de avistamientos en los que al menos el dato de una variable estuvo ausente.

Tabla 4. Códigos de las categorías de actividades efectuadas por *B. physalus* en altas y bajas abundancias

CATEGORÍA	OBSERVADAS/HORA DE NAVEGACIÓN	CÓDIGO
Ballenas en alimentación en bajas abundancias	0.17 -1.47	Ab
Ballenas en alimentación en altas abundancias	1.47- 2.71	Aa
Ballenas en tránsito en bajas abundancias	0.7 - 0.51	Tb
Ballenas en tránsito en altas abundancias	1.0 -1.143	Ta

Se les aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) (Statistica 6.0) a estos datos de altas y bajas abundancias con sus respectivos promedios de las variables oceanográficas y ambientales registradas por avistamiento [(temperatura superficial del mar (TSM); salinidad ( $S^0/_{00}$ ); transparencia (Transp.); fuerza del mar en escala de Beufort (B) y profundidad (P)], con el fin de definir si las abundancias y ocurrencia *B. physalus* están influidas o determinadas por dichas variables. Adicionalmente, los mismos datos se procesaron en el software SigmaPlot 8.0 para visualizar y analizar de manera gráfica la relación de las variables oceanográficas con la ocurrencia y abundancia de *B. physalus* en el área de estudio.

### V.3 Abundancia absoluta

#### V.3.1 Fotoidentificación

En el Golfo de California, son considerables los esfuerzos de fotoidentificación que se han dirigido a los estudios de estos mamíferos marinos en vida libre. Dado que no se recurre a la captura ni implantación de marcas, sino por el contrario, se basa en las marcas o cicatrices naturales; deformidades; presencia de ectoparásitos; variaciones en la forma de la aleta dorsal, y mas efectivamente en los patrones de pigmentación presentes en los organismos (Figura 8).

Además las identificaciones conseguidas son exactas. Por otro lado, no se afecta el comportamiento de los animales, tampoco se influye en su sobrevivencia y la probabilidad de volver a ser capturados.



Fig. 8. Captura fotográfica del perfil derecho de la aleta dorsal de una ballena de aleta, es evidente una cicatriz y ectoparásitos útiles en su identificación. Principalmente estos últimos en su identificación temporal (Foto de Calos Navarro)

Una vez impresas las fotografías, a cada una se le asignó un código de identificación conformado por: las letras iniciales del género y la especie: número de rollo y foto, letras iniciales de la localidad donde fueron fotografiadas y fecha (Ejemplo: Bp-R1F3BA15/03/04 que significa: foto 3 de *B. physalus* del rollo1, tomada en la localidad Bahía Algodones el 15 de marzo de 2004). Posteriormente se seleccionaron las fotografías de mejor calidad, para lo cual se consideró el enfoque, ángulo y condiciones de iluminación.

Cada foto se analizó y clasificó con base en el "patrón de muescas" (número, posición y forma de las muescas, (Figura 9), forma de la aleta (Tabla 5), y en lo posible, marcas o cicatrices naturales en el dorso. Se descartó el uso de fotos de aletas sin alguna marca aparente, a menos que la forma fuera muy peculiar o rara. La presencia del cirrípedo *Xenobalanus globicipitis* se utilizó como un criterio de fotoidentificación sólo de las capturas intranuales debido a que su presencia sobre la aleta dorsal de las ballenas es temporal. Los negativos de las fotos elegidas de mejor calidad se etiquetaron de la misma manera que las impresiones. Cuando fue necesario, para una mejor identificación, se analizaron sobre una caja de luz con ayuda de una lupa.

Tabla 5. Categorías de clasificación de aletas de *B. physalus*

CATEGORÍA	NÚMERO Y POSICIÓN DE LAS MUESCAS	FORMA DE LA ALETA.
1	Aleta limpia	Muy peculiar o rara
2	Marcas, cicatrices o muescas en el borde inferior, <b>cuadrante I</b> .	Irregular Falcada Muy falcada Redondeada Triangular, Alargada o aplanada
3	Marcas, cicatrices o muescas en el borde inferior: <b>cuadrante II</b> .	
4	Marcas, cicatrices o muescas en el borde exterior: <b>cuadrante III</b> .	
5	Marcas, cicatrices o muescas en el borde exterior: <b>cuadrante IV</b> .	

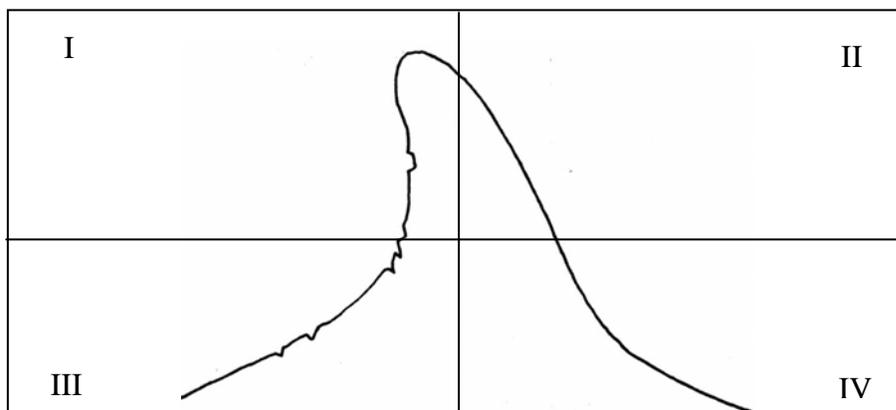


Fig.9. Aleta dorsal dividida en cuadrantes para definir posición y número de muescas

Los negativos y fotografías, se digitalizaron en Adobe Photoshop 7.0 a una resolución de 500 ppp. Para su análisis y comparación con otras fotos se recortó a las aletas dorsales en sus bordes con el fin de diferenciar la forma y patrones de muescas. Esta información se almaceno en una base de datos conservando el código asignado al clasificarlas

Al tomar en cuenta las similitudes o diferencias en el patrón de muescas de las aletas las impresiones, negativos y digitalizaciones de las ballenas individualizadas se compararon por más de un revisor y se definió si se trataba de los mismos individuos capturados, o no, previamente en una misma temporada; entre las temporadas 2004 y 2005; o de individuos capturados en años anteriores y registrados en el catálogo del Laboratorio de Ecofisiología del CIAD. La duración de cada sesión destinada a la clasificación e identificación de los individuos fue de dos a tres horas, con repeticiones por la misma o diferentes personas, para disminuir posibles errores en su fotoidentificación. A continuación, los individuos diferenciados como capturas intranuales, interanuales y nuevas capturas en el área de estudio, se agregaron al catálogo. Se consideró captura intranual, a los individuos capturados más de una vez en la misma temporada; interanual, a los individuos capturados una o más veces en años diferentes (incluidas las nuevas capturas).

Se definió como posible tiempo de residencia en el área de estudio al intervalo entre recapturas intranuales, dado que se trata de individuos que permanecen o retornan al área de estudio al menos por un tiempo estacional. Aunque con esto no se descarta que las ballenas puedan efectuar movimientos a localidades cercanas, y más aún, cuando ya se han registrado altos índices de intercambio (II) entre localidades cercanas (Pettis *et al.*, 2000a).

La abundancia se determinó al tomar en cuenta sólo el número y frecuencia de capturas interanuales, como ballenas que fueron capturadas una o más ocasiones en años diferentes. Esto es, por un conjunto de animales que regresan anual y regularmente al área estudiada en su ciclo periódico de desplazamientos. Lo cual significa que en el área de Guaymas, hay un tamaño poblacional local o efectivo  $N_e$  menor al tamaño de la poblacional total. Con los mismos datos se elaboró un histograma de frecuencia de capturas para conocer la proporción y frecuencia de los individuos que regresan al área de estudio. También, se calcularon los intervalos máximos y mínimos entre la primera y última captura.

Una vez que se conocieron el número y frecuencia de las capturas, se determinó el tamaño de la población local con distintos estimadores poblacionales de abundancia absoluta, incluyendo los clásicos de marcaje y recaptura, como el de Petersen modificado por Bailey (1951) y el de Jolly-Seber (Jolly, 1965); y otros como el de la Distribución de Bernoulli o Binomial y la Tasa de nuevos individuos propuesto por Darling y Morowitz (1986) (Apéndice B). También se usó el programa FIDFID1 desarrollado por L. Medrano González de la Facultad de Ciencias UNAM.

## Simulación con FIDFID1

El programa FIDFID1 estima el tamaño de la poblacional local a través de la distribución del número real de capturas y de la curva de acumulación de nuevos individuos; en tanto que estos análisis permiten naturalmente el uso de capturas acumuladas en varios períodos. En sentido amplio FIDFID1 simula el muestreo interanual hecho en la realidad al capturar a los individuos sin reemplazo en un mismo año; de modo que se consideran solamente las recapturas interanuales las cuales son estadísticamente diferentes. El muestreo se hace 100 veces para calcular una distribución promedio del número de capturas y el número promedio de individuos diferentes capturados de una población de tamaño  $Ne$  variable. La distribución del número de capturas y el número de individuos diferentes capturados por año en la simulación, se comparan con los datos reales mediante los estadísticos de bondad de ajuste de mínimos cuadrados:  $\chi^2 D_c$  para la distribución de capturas,  $\chi^2 I$  para el número de individuos diferentes identificados y  $\chi^2 T = \chi^2 D_c + \chi^2 I$  para un estimador de evidencia total. De esta manera, se determina la mejor  $Ne$  estimada bajo los criterios de distribución de capturas  $D_c$  y número de individuos diferentes identificados  $I$ .

Con el fin de conocer si existe un efecto del esfuerzo invertido (temporadas 2004 y 2005) que se utiliza en el cálculo de la estimación de  $Ne$ , primero se determinó que la distribución de capturas reales equivale a un número efectivo de años con el mismo esfuerzo  $Te$  como sigue:

$$Te = \frac{1}{\sum_{i=1}^n pi}$$

Donde  $pi$  es la frecuencia relativa de capturas del año  $i$  y  $tt$  el número total de años de capturas. (Formulación sacada de un modelo de genética de poblaciones. Véase el cálculo del número efectivo de alelos de una población en: Nei M. 1987. Molecular evolutionary genetics. Columbia University Press).

Posteriormente con el valor de  $Te$  calculado, se hizo un arreglo de distribución homogéneo de las capturas reales y se buscó en el programa FIDFID1 la mejor estimación de  $Ne$  con base a los valores de los estadísticos:  $\chi^2 D_c$ ,  $\chi^2 I$ ,  $\chi^2 T$ .

#### V.4 Dispersión y filopatría

Se determinó la dispersión y la filopatría con el modelo "*ad hoc*" desarrollado por L. Medrano González (UNAM). Se calculó la distancia  $d$  (km) entre capturas intranuales e interanuales y se utilizó el periodo (días) a fin de determinar la velocidad media de dispersión a través del tiempo.

Sólo se utilizaron los datos de recapturas intranuales e interanuales disponibles para el área de Guaymas, de las cuales se tuvo información completa de localización geográfica (latitud y longitud); así como de las capturas de individuos realizadas por vez primera en una localidad diferente y posteriormente capturadas en Guaymas.

Para efectos comparativos, se utilizaron los datos de intervalos de capturas intranuales (días) y distancias (km) de la costa este del golfo, disponibles en el trabajo de Urbán (1996) sobre la ballena de aleta en el Golfo de California.

El modelo establece que la velocidad media  $V$  entre las capturas interanuales e intranuales es una función alométrica descendiente con respecto al tiempo en virtud de que la distancia máxima de dispersión  $D$  es casi constante, esto es:

$$V_t = V_1 t^{-k}$$

Donde:  $V_1$  es la distancia recorrida en una unidad de tiempo (un día), por lo que  $V_1$  se denomina parámetro de vagilidad (o movimiento). El parámetro  $k$  define inversamente la distancia media de dispersión en el tiempo ( $D_t$ ) y puede calcularse como sigue:

$$D_t = \frac{v_1 t^{1-k} - k}{1-k} \quad \text{si } k \neq 1$$

$$D_t = V_1 (\ln(t) + 1) \quad \text{si } k = 1$$

Mientras menor es el valor de  $k$ , el radio de dispersión de los animales es mayor, por lo que  $k$  se llama parámetro de dispersión.

## V.5 Modelado de la distribución potencial de *B. physalus* en el Golfo de California

Para la modelación de la distribución potencial de *B. physalus* se utilizó la herramienta GARP (*Genetic Algorithm for Rule-set Prediction*), software desarrollado por D. Stockwell (Stockwell y Noble, 1992; Stockwell y Peters, 1999), puesto que se ha probado de manera efectiva en la predicción de nicho y distribución de pequeños y grandes mamíferos, así como en varios grupos de plantas (Anderson *et al.*, 2003; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001).

GARP genera a través de un algoritmo genético un modelo de nicho ecológico (Peterson, 2001), el cual describe un conjunto de condiciones ambientales bajo las cuales las especies debieran ser capaces de mantener sus poblaciones. Esto es, predice a partir de mapas electrónicos de parámetros ambientales y puntos de ocurrencia de las especies, aquellas partes de un área donde el ambiente es tal que aumenta la probabilidad de encontrar una especie. La proyección geográfica de este modelo de nicho, con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), en un mapa que delinea su distribución potencial, produce las regiones de posible presencia en las que no existen registros (Stockwell y Peters, 1999; Anderson *et al.*, 2002a; Anderson *et al.*, 2003). Finalmente el modelo se evalúa estadísticamente, en relación con el área predicha, a través de una  $\chi^2$  con base en las muestras de puntos al azar, al comparar el éxito de predicción observado con el esperado.

En el proceso de generación del modelo de nicho ecológico los puntos de ocurrencia se dividen en dos grupos: puntos de entrenamiento, los cuales son utilizados para generar el modelo; y los puntos de prueba para evaluarlo. GARP busca entonces, a través de un proceso iterativo no azaroso (100 iteraciones o menos), correlaciones entre los valores de presencia y ausencia de las especies, y de los parámetros ambientales. Para lo cual, emplea diferentes tipos de condicionantes ambientales ("rules", o reglas en donde cada tipo de condición ambiental implementa un método diferente para la construcción de los modelos predictivos iniciales de la especie en cuestión) en un procedimiento de evaluación y prueba de éstas, su eventual incorporación o rechazo al modelo y así sucesivamente. De este procedimiento surge una condicionante ambiental que resulta en un modelo inicial de nicho ecológico o distribución inicial de la especie (<http://nhm.ku.edu/desktopgarp/UsersManual.html#intro> Desktop GARP, 2003; Stockwell y Peters, 1999).

La precisión de la predicción inicial se corrobora con dos conjuntos de puntos seleccionados al azar, 1250 muestreados de los puntos de ocurrencia conocidos y 1250 muestreados de la región de estudio. La precisión predictiva se calcula con la suma de los puntos que fueron correctamente predichos con la especie presente y los puntos que fueron correctamente predichos con la especie ausente, dividido por el número total de puntos en los dos conjuntos. Este método ha mostrado ser el más indicado para disminuir errores en la distribución de especies por omisión es, decir, predecir presencia en áreas donde la especie realmente esta presente, y por comisión, predecir presencia en áreas donde la especie está realmente ausente (Stockwell y Noble 1992; Stockwell y Peters, 1999).

Se utilizaron los registros de ocurrencia de *B. physalus* recabados en las temporadas 2004 y 2005 del presente estudio; los disponibles en la tesis de Díaz (2006), y los de otras publicaciones Gendron (1993), Tershy (1993), Silber *et al.*, (1994), Urbán (1996). La selección de las coberturas geográficas y bases de datos de las variables oceanográficas utilizadas se realizó con base en las variables registradas durante los avistamientos de *B. physalus* (temperatura superficial del mar, salinidad y profundidad). Adicionalmente se utilizó la variable clorofila.

Se dispuso de las coberturas geográficas de temperatura de los meses de enero, febrero, marzo y abril de 2004 y 2005; de origen: National Oceanic & Atmospheric Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA-AVHRR); con resolución espacial de 1 km. Fuente: Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, Instituto de Geografía, UNAM modificadas con el apoyo de la Técnico Académico O. Salmerón G.

Las bases de datos para la elaboración de las coberturas mensuales de salinidad, con resolución de  $\frac{1}{4}$  de grado de latitud y longitud así como la concentración promedio de clorofila para la temporada invierno-primavera (enero, febrero, marzo y abril) con resolución de 1 grado; se descargaron del World Ocean Atlas (WOA2001) de la National Oceanographic Data Center (NODC) perteneciente a la NOAA. La base de datos para la elaboración de la cobertura de batimetría con resolución de 2 mn (3.8 km) se descargó de Satellite Geodesy, IGPP, SIO; UCSD Global Topography, Measured and Estimated Seafloor Topography. ([http://topex.ucsd.edu./marine\\_topo/mar\\_topo-html](http://topex.ucsd.edu./marine_topo/mar_topo-html)). A partir de las bases de datos de las variables ambientales y la batimetría se elaboraron las coberturas geográficas en el software ESRI ArcView 3.2<sup>a</sup>.

Los registros georeferenciados de presencia de *B. physalus*, en el Golfo de California, en adición con todas las coberturas generadas se homogeneizaron a una resolución espacial de 0.010 x 0.010 (aproximadamente 1km x 1km de tamaño de celda o píxel) y se cortaron todas haciéndolas coincidir en sus límites geográficos.

La construcción de los modelos se llevo a cabo en el Laboratorio de Análisis Espaciales y Sistemas de Información Geográfica del Instituto de Biología con el apoyo de la M. en C. C. Ballesteros, en una versión PC de GARP de dominio público. Se generaron 100 modelos predictivos; de éstos se seleccionaron sólo los 20 modelos en los que el error de omisión (predecir ausencia de la especie cuando en realidad esta presente) fuera mínimo. De esos 20, se seleccionaron los 10 modelos que estuvieran más cercanos a la mediana del porcentaje del área predicha con respecto al total del área de estudio, para ponderar el error de comisión o sobrepredicción (Anderson *et al.*, 2002b).

Para obtener un modelo de predicción representativo, los 10 modelos obtenidos se sobrepusieron y retuvieron sólo los pixeles correspondientes a aquellos modelos que predijeron la presencia de *B. physalus*. Posteriormente se proyectaron, con el Software ESRI ArcView GIS 3.2<sup>a</sup>, en el Golfo de California (Origen cobertura Golfo de California: Centro para el Conocimiento y Aprovechamiento de los Recursos Naturales CECARENA Fuente: CIAD modificado del original por J. Égido); y se obtuvo el modelo de la distribución potencial de *B. physalus*, a una resolución de 0.01 km.

## VI. RESULTADOS

### VI.1 Distribución espacial y temporal

El esfuerzo de búsqueda para la temporada de enero a abril del 2004 expresado en horas totales de navegación fue de 39 h, mientras que el esfuerzo en horas totales efectivas de observación, es decir, desde el inicio hasta el fin de cada avistamiento de ballenas, fue de 8.26 h. Para la temporada enero a abril del 2005, el esfuerzo de búsqueda fue de 76.82 h y el de observación de 18.18 h.

Para la temporada 2004 se realizaron 14 salidas; sólo en 7 de ellas se observó *B. physalus*, en el resto se observaron otras especies de mamíferos marinos, tales como: *B. borealis*, *Delphinus capensis*, *Megaptera novaengliae* y *Pseudorca crassidens*. En el 56.5% de estas salidas se registró una fuerza de mar en escala Beaufort de 1 y en el 43.5% restante varió de 2 a 3.

De acuerdo con el registro de los avistamientos de *B. physalus*, la distribución espacio-temporal de las ballenas de aleta registradas durante la temporada 2004 (95.5% de los avistamientos) evidencia que la mayoría de éstas prefieren las áreas costeras menores a los 138 m de profundidad (Figura 10). Aun cuando se recorrieron sitios distintos a los definidos como corredores preferenciales o posibles sitios de localización (Pettis *et al.*, 2000b; Gallo-Reynoso *et al.*, 2003, Mahaffy, 2003 reporte interno no publicado) (Figura 5 y 6).

En una exploración de la distribución mensual de las ballenas, se observa que ocupan la zona sur del área de estudio en los meses de enero y febrero, con preferencia a profundidades entre los 50 m y 138 m, contrario a la distribución del mes de marzo, la cual se presentó más pegada a la costa a profundidades menores a los 46 m y hacia la porción norte. La temperatura superficial del mar (TSM) mensual en esta temporada fue de 20°C en enero, 15.3°C en febrero y 19.3°C en marzo.

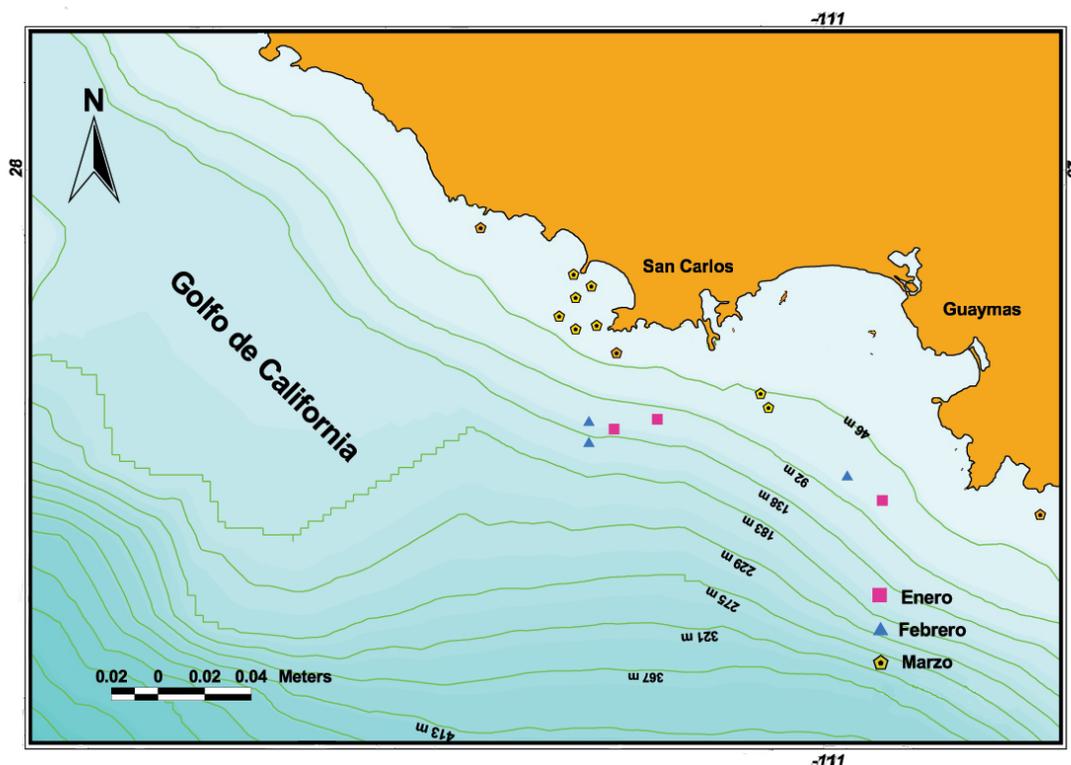


Fig. 10. Patrones de distribución temporal y espacial de *B. physalus* de la temporada 2004 en Guaymas

Para la temporada 2005 se realizaron 22 salidas, en 13 de ellas se observó *B. physalus*, en 7 se observaron otras especies de mamíferos marinos, entre ellas, *M. novaengliae*, *B. borealis*, *B. acurostrata*, *B. musculus*, *B. edeni*, *Eschrichtius robustus*, *Berardius bairdii*, *Kogia sima*, *Tursiops truncatus*, *D. capensis* y *Globicephala macrorhynchus*; en las 2 salidas restantes no se observó ninguna especie. El 52.7% de las salidas se registro una fuerza de mar en la escala de Beaufort de 0, el 32.7% de 1 y en el 14.6% restante de 2.

No obstante que la búsqueda se realizo en sitios declarados previamente preferenciales de *B. physalus*, la distribución espacio-temporal de los avistamientos de ballenas registrados para la temporada 2005 (Figura 11) muestra que el 93.5% de las ballenas avistadas prefieren zonas costeras en profundidades menores a los 138 m. En contraste con 2004, ésta se extendió más hacia el norte, hasta la altura de la Isla San Pedro Nolasco. De manera general, se observa que la mayoría de los avistamientos se registraron en profundidades de los 46 a los 92 m.

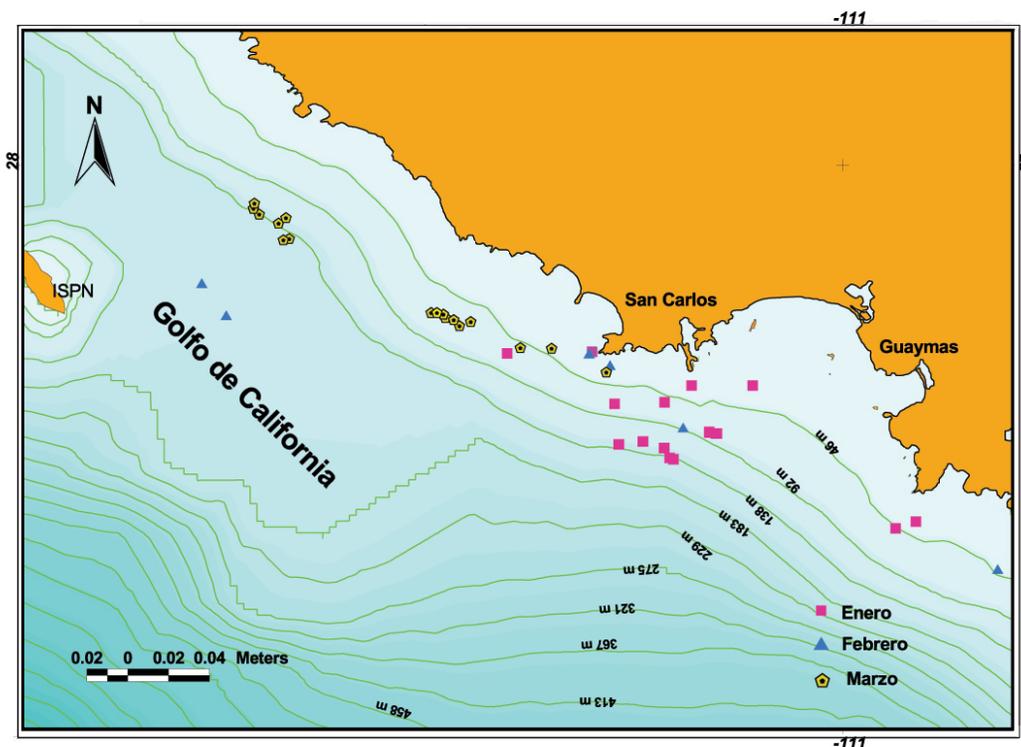


Fig. 11. Patrones de distribución temporal y espacial de *B. physalus*, de la temporada 2005 en Guaymas

Un examen de la distribución mensual muestra que de manera, similar a la temporada 2004, las ballenas ocupan la zona sur en los meses de enero y febrero, salvo los avistamientos registrados, durante éste último que se encuentran más al norte del área de estudio y alejados de la costa. Destaca también, que en el mes de marzo *B. physalus* se distribuye entre los 46 y 183 m de profundidad.

Para la temporada 2005, la TSM promedio registrada en los meses de enero, febrero y marzo, fue de 18.3°C, 17.2°C y 15.2°C respectivamente. Se observa una disminución de la temperatura acorde al transcurso de la temporada de muestreo.

Para ambas temporadas la distancia mínima y máxima entre los avistamientos de *B. physalus* y la costa fue de 2.5 km y 10 km respectivamente

## VI.2 Ocurrencia de *B. physalus* y condiciones oceanográficas

### Índices de abundancia relativa

El esfuerzo invertido en horas totales de navegación y observación, el número de salidas realizadas junto con el número de éstas en que se observaron ballenas, así como, el número de ballenas observadas en actividad de alimentación y tránsito, y el número de ballenas fotografiadas se muestran en la Tabla 5. También se observan las abundancias relativas al número de ballenas observadas, fotografiadas y fotoidentificadas por hora de navegación.

Para ambas temporadas se observaron ballenas en aproximadamente el 50% de las salidas. Las horas de observación fueron equivalentes al 20% del esfuerzo total de horas navegadas (Tabla 6). El esfuerzo en horas de navegación se duplicó para la temporada 2005, lo cual se reflejó en el triple de ballenas observadas con respecto a las de la temporada 2004. Lo que permite establecer una relación directamente proporcional entre el número de ballenas observadas y el esfuerzo invertido en horas de navegación.

Las principales actividades que presentaron las ballenas en ambas temporadas fueron de alimentación (A) y tránsito (T); siendo más frecuente la alimentación, 17% mayor en la temporada 2005 que en la temporada 2004. Asimismo se observó que en la mayoría de los avistamientos de ballenas en alimentación, éstas se encontraban en grupos pequeños, de 3 o 4 individuos; y grandes desde, 8 hasta 13 individuos.

En cuanto al porcentaje del número de ballenas fotografiadas y fotoidentificadas, con relación al número de ballenas observadas, es mucho mayor el número de fotografiadas para la temporada 2004 (82%) que para la temporada 2005 (60.7%). Una situación similar se presenta con el porcentaje del número de ballenas fotoidentificadas, el cual para la temporada 2004 fue de 78.3% y para la temporada 2005 fue de 57.4%. Es probable que las diferencias entre porcentajes de ballenas fotografiadas entre temporadas se deban a las condiciones climáticas y a la actividad que los organismos se encontraban realizando; 77% en alimentación para la temporada 2005 mientras que 60.9% en la temporada 2004.

Tabla 6. Resumen del número de salidas, ballenas observadas, fotografiadas, fotoidentificadas, y esfuerzos de observación y navegación para las temporadas 2004 y 2005

	TEMPORADA 2004	TEMPORADA 2005
Salidas en que se observaron ballenas (%)	50%	59.09%
Numero de ballenas observadas	23	61
Numero de ballenas fotografiadas	19	37
Numero de ballenas fotoidentificadas	18	35
Numero de ballenas en alimentación	14	47
Numero de ballenas en transito	9	14
Ballenas observadas/hr de navegación	0.59	0.79
Ballenas observadas/hr de observación	2.7845	3.3553
Numero de ballenas fotografiadas/hr de observación	0.49	0.48
Numero de ballenas fotoidentificadas/hr de navegación	0.46	0.47
Numero de ballenas fotoidentificadas/hr de observación	2.1792	1.9252
Numero de horas de observación/hr de navegación	0.21	0.24
Porcentaje de ballenas en alimentación/hr de navegación	61%	77%
Porcentaje de de ballenas en transito/hr de navegación	39	23%

La eficiencia de fotoidentificación (numero de ballenas fotoidentificadas/numero de ballenas fotografiadas) fue del 94.7% para la temporada 2004 y del 94.6% para la temporada 2005.

Las diferencias entre los porcentajes de ballenas fotografiadas, y por lo tanto de ballenas fotoidentificadas, con relación a las ballenas observadas, influyeron de manera mínima en el cálculo de los índices de abundancia relativa al número de ballenas fotoidentificadas por: salida, avistamiento, horas de navegación y observación (Tabla 7).

Referente a los índices de abundancia relativa al número de ballenas observadas, éstos son mayores en la temporada 2005, lo que se debió probablemente a la abundancia absoluta que se presentó en los momentos en que estos fueron calculados. Diferencias más notables se encontraron en los índices de abundancia relativa al número de ballenas observadas por salida, avistamiento y hora de navegación entre ambas temporadas (Tabla 7)

Tabla 7. Índices de abundancia relativa (expresada en %) al número de ballenas fotoidentificadas y observadas por salida, avistamientos y horas de navegación y observación en la temporada 2004 y 2005,

	TEMPORADA	SALIDA REALIZADA	AVISTAMIENTO REALIZADO	HORA NAVEGADA	HORA DE OBSERVACIÓN
Abundancias relativas al número de ballenas fotoidentificadas por:	2004	1.2857	2.5714	0.4615	2.1792
	2005	1.5217	2.6923	0.4556	1.9252
Abundancias relativas al número de ballenas observadas por:	2004	1.6429	3.2857	0.5897	2.7845
	2005	2.6522	4.6923	0.7941	3.3553

Para comprobar de manera estadística la significancia de las diferencias entre los índices de abundancia relativos al número de ballenas observadas; se les aplicó una prueba de ajuste de distribución normal con el paquete estadístico SAS JMP 5.0.1 y se encontró que no se ajustaban a una distribución normal (Tabla 8).

Por consiguiente, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para determinar si se presentaron diferencias entre los índices de abundancia, relativos al número de ballenas observadas por salida, avistamiento, hora de navegación y hora de observación, obtenidos para ambas temporadas. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas,  $P < 0.05$ .

Tabla 8. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk W

	NUMERO DE BALLENAS OBSERVADAS/SALIDA REALIZADA	NUMERO DE BALLENAS OBSERVADAS/AVISTAMIENTO REALIZADO	NUMERO DE BALLENAS OBSERVADAS/HR NAVEGADA	NUMERO DE BALLENAS OBSERVADAS/HR DE OBSERVACIÓN
W	0.881944	0.902784	0.894980	0.871536
Prob<W	0.0187	0.0481	0.0337	0.0142

El Análisis de Componentes Principales (ACP), ejecutado sobre los datos de abundancias de ballenas en tránsito y alimentación (Ab, Aa, Tb y Ta) y sus respectivos datos de las variables oceanográficas y ambientales (Tabla 9); definió que nuevos componentes principales (grupo de variables) determinan la ocurrencia de *B. physalus*, en el área de Guaymas.

Tabla 9. Avistamientos de *B. physalus* en (Aa, Ab, Ta y Tb ) y variables oceanográficas y ambientales registradas (por avistamiento) durante las temporadas 2004 y 2005

CÓDIGO	TSM (° C)	COLOR DEL MAR	TRANSPARENCIA (m)	BEAUFORT	PROFUNDIDAD (m)
Ab	19.0	5	7.0	1	108
Ab	16.5	4	8.0	0	16
Ab	20.0	5	7.0	1	50
Ab	19.0	4	12.0	1	79
Ab	15.0	4	13.0	2	94
Ab	14.5	5	7.0	1	107
Ab	20.0	4	8.0	1	75
Aa	19.0	4	5.0	1	108
Aa	16.0	5	7.0	1	150
Aa	18.0	4	14.0	0	34
Aa	18.0	4	12.0	2	69
Aa	14.2	5	3.5	0	247
Tb	19.0	5	7.0	1	97
Tb	16.5	4	8.0	1	273
Tb	14.5	5	7.0	0	121
Tb	18.0	4	12.0	2	8
Tb	15.0	4	13.0	2	52
Tb	15.0	4	13.0	2	58
Tb	17.8	5	8.0	1	152
Ta	18.0	4	11.0	2	65
Ta	18.0	4	10.0	0	71
Ta	18.0	4	12.0	2	71

La matriz de correlaciones entre las variables oceanográficas y ambientales (Tabla 10) muestra que existen altas correlaciones ( $>0.3$ ) entre algunas de ellas, sugiriendo acertada la aplicación del ACP.

Tabla 10. Matriz de correlaciones entre las variables oceanográficas y ambientales utilizadas

VARIABLE	Correlaciones (BphGuayMV)				
	TSM	Color	Transparencia	Beaufort	Profundidad
TSM	1.00	-0.15	0.00	0.05	-0.33
Color	-0.15	1.00	-0.68	-0.35	0.40
Transparencia	0.00	<b>-0.68*</b>	1.00	0.53	-0.57
Beaufort	0.05	<b>-0.35*</b>	<b>0.53*</b>	1.00	-0.26
Profundidad	<b>-0.33*</b>	<b>0.40*</b>	<b>-0.57*</b>	-0.26	1.00

\*Estos valores indican las correlaciones significativas al nivel 0.01

La elección del número de componentes principales la realizó el paquete estadístico, con base en el método de contraste típico de caída, de manera que el primer componente recogió la mayor proporción posible de variabilidad de las variables originales y el segundo, la máxima variabilidad posible no recogida por el primero. Los autovalores calculados para cada uno de los componentes principales extraídos con rotación ortogonal varimax, la proporción en porcentaje de la varianza y la varianza explicada acumulada, que explica el 71.4% de la varianza total; se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resumen de los autovalores de los componentes principales extraídos

Valor	Autovalores (BphGuayMV)			
	Autovalor	% TOTAL	Acumulado	Acumulado
1	2.467576	46.80%	2.467576	46.80
2	1.100782	24.56%	3.568357	71.37

En la matriz factorial (Tabla 12) aparecen las cargas factoriales (correlaciones entre las variables y los componentes principales) de cada variable sobre cada componente principal extraído. Se muestra que el primer componente (CP1) está constituido por dos grupos de variables con cargas factoriales altas (>0.70); el primero integrado por las variables: Transparencia (Transp.) (0.925316) y escala de Beaufort (B) (0.717073), con valores altos de correlaciones positivas, lo que indica que estas variables varían juntas, y el segundo grupo conformado por la variable Color del Mar (C) con un valor alto de correlación negativo, (-0.784343). La diferencia en los signos de los grupos, indica que se comportan de manera inversa. El segundo componente está definido por la variable temperatura superficial del mar (TSM) (-0.934454).

Al primer componente se le etiquetó Factor "Productividad" (ya que se asocia a la presencia de alimento), por ser las variables Color del Mar y Transparencia indicadores indirectos de la productividad. Al segundo componente (CP2) se le etiquetó Temperatura Superficial del Mar (TSM), ya que está altamente correlacionado de manera negativa con solo esa variable.

No se tomó en cuenta a la variable Beaufort, no obstante su carga factorial alta sobre el primer componente principal, dado que esta influye sólo en la oportunidad de observar o no a las ballenas a nivel superficial, más no influye directamente en su ocurrencia.

Tabla 12. Matriz factorial representada por las cargas factoriales de cada variable para cada uno de los componentes extraídos

Cargas de los factores (Rotación varimax) (BphGuayMV in BphGuayMV270806)  
Extracción: Componentes principales  
(Las cargas marcadas son: > .700000)

VARIABLE	CP 1 "PRODUCTIVIDAD"	CP 2 "TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR" (TSM)
TSM	-0.018586	<b>-0.934454</b>
Color	<b>-0.784343</b>	0.155800
Transp.	<b>0.925316</b>	-0.033505
Beaufort	<b>0.717073</b>	0.104307
Prof.	-0.595378	0.564320
Expl.Var	2.340419	1.227938
Prp.Totl	0.468084	0.245588

La representación gráfica, en dos dimensiones, de los valores de las cargas factoriales de cada variable sobre cada uno de los componentes principales extraídos: "Productividad" (CP1) y TSM (CP2) se observa en la Figura 12. Se agrupan en color rojo las variables que definen a cada uno de los componentes. Las variables del primer grupo; color del mar (C), Beaufort (B) y transparencia (Transp.) se posicionan con relación a sus magnitudes en los extremos del CP1 (eje X), mientras que en el CP2 (eje Y), en la parte central.

Es notable una fuerte correlación entre las variables B y Transp., así como un comportamiento inversamente proporcional de éstas con respecto a la variable C. En el segundo grupo su única variable, TSM, se posiciona en un extremo, con respecto a su magnitud, del CP2 y en la parte central del CP1. Finalmente, la variable profundidad (P) con carga factorial poco significativa (Tabla 12), se encuentra alejada, con respecto a sus magnitudes, en ambos ejes.

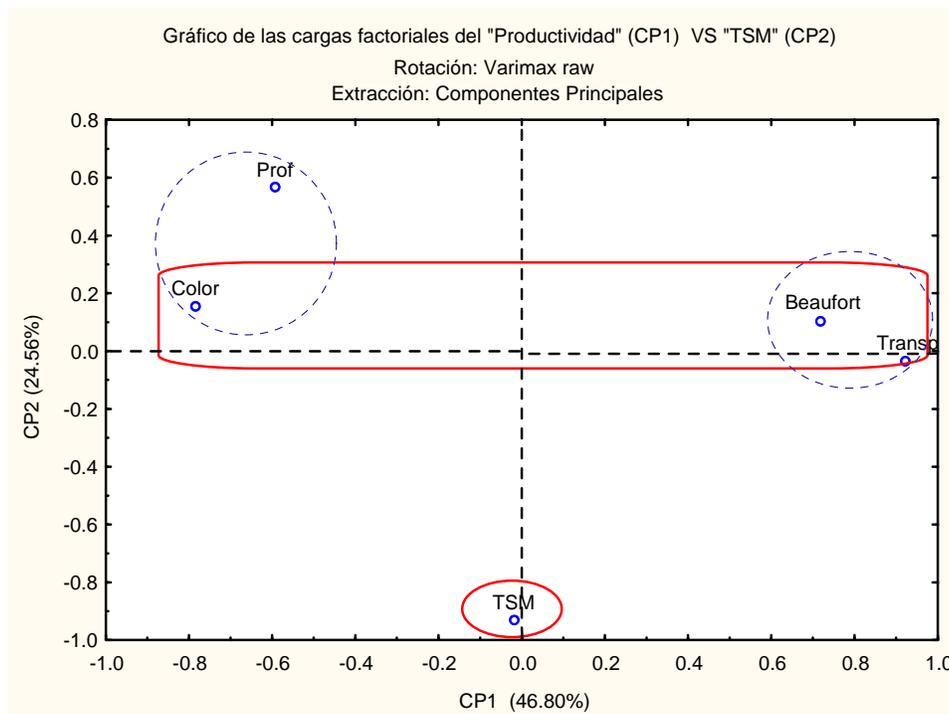


Fig.12. Gráfico en dos dimensiones de CP1 ("Productividad" 46.80%) y CP2 ("TSM" 24.56%) y las variables que los explican

El ACP no permitió determinar la influencia de la profundidad en la ocurrencia de *B. physalus*, ya que los componentes principales extraídos se basaron en cargas factoriales mayores a 0.70.

Al graficar las categorías de abundancias (casos) sobre los dos componentes principales extraídos (Figura 13), no se observa un patrón de distribución definido para las altas y bajas abundancias, aún cuando es visible que la mayoría de éstas están más cerca y dispersas a lo largo del primer componente; en tanto que en el segundo se localizan hacia los valores positivos.

De manera general y con base en los fundamentos de la técnica estadística, la cercanía de los casos al origen de ambos componentes refleja que tienen poca relación con éstos últimos, es decir, los componentes no permiten explicar claramente la ocurrencia de *B. physalus*, en altas o bajas abundancias, simplemente explican que ocurren debido a la "Productividad" y la "TSM" predominantes en el área.

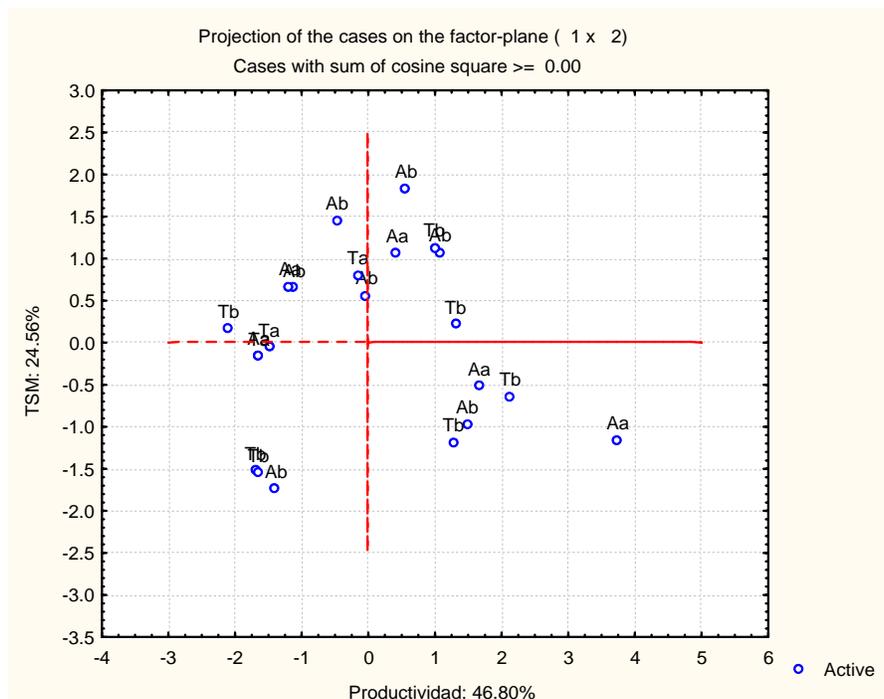


Fig. 13. Gráfico en dos dimensiones de los casos sobre los dos componentes principales extraídos

Por otra parte se proyectan en forma dual sobre la misma grafica de los casos, a las variables oceanográficas-ambientales que definen a cada uno de los componentes principales (Figura 14).

No se observa similitud entre casos y variables que permita determinar que las altas y bajas abundancias de *B. physalus*, están relacionadas más con una variable que con otra. Sólo se observa con base en su proximidad en el plano, cercanía o agrupamiento entre algunos casos.

La mayoría de los que se encuentran próximos entre sí, están cerca de la variable TSM que define al CP2. Al parecer ambos componentes, "Productividad" y "TSM", determinan de manera sinérgica la presencia de esta especie en el área de estudio.

Los casos de la Tabla 9 se agruparon por categoría de alimentación y tránsito en altas y bajas abundancias. Se promedió el valor de sus respectivas variables oceanográficas TSM, C, Transp. y P., formándose cuatro grupos de datos (Tabla 13). Éstos se graficaron en tres dimensiones en SigmaPlot 8.0 como un análisis alternativo que permitiera determinar de manera cualitativa la relación entre la ocurrencia de *B. physalus* y las variables registradas durante las temporadas 2004 y 2005 (Figura 15). En éste análisis se incluyó a la variable profundidad (P).

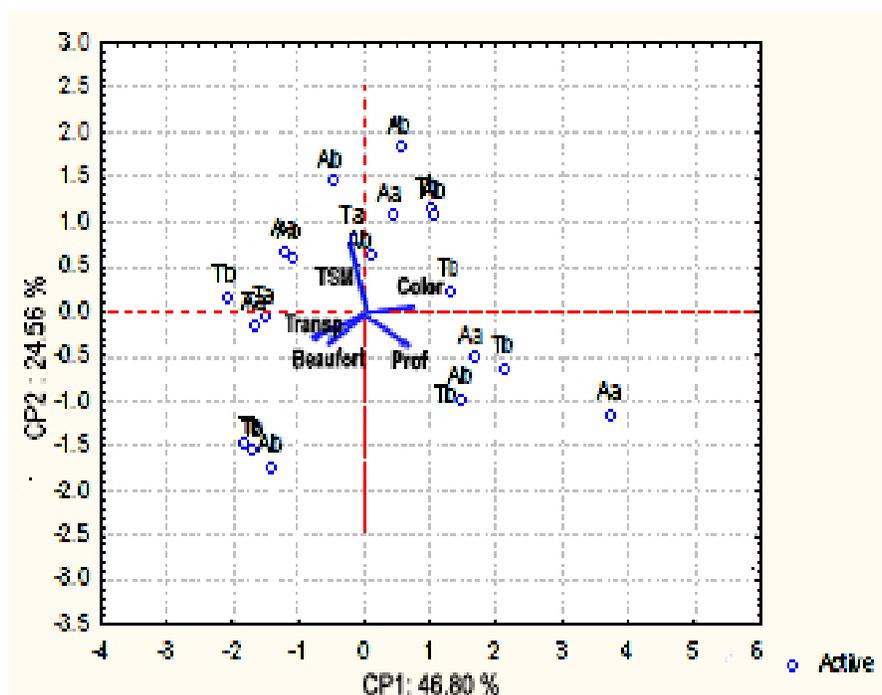


Fig.14. Gráfico de las variables oceanográficas- ambientales y de las actividades en altas y bajas abundancias sobre el plano de los dos componentes principales extraídos: 'Productividad' y TSM

Tabla 13. Promedio y desviación estándar de las variables oceanográficas registradas de cada una de las categorías de abundancias de ballenas en alimentación y tránsito

	TSM		COLOR		TRANSPARENCIA		PROFUNDIDAD	
	$(\bar{X})$	$(DE)$	$(\bar{X})$	$DE$	$(\bar{X})$	$(DE)$	$(\bar{X})$	$(DE)$
Ab	17.7143	2.35	4.4286	0.5345	8.8571	2.5448	75.3365	33.029
Aa	17.0400	1.9256	4.4000	0.5477	8.3000	4.5222	121.5455	94.755
Tb	16.5429	1.7643	4.4286	0.5345	9.7143	2.8115	108.5822	94.66
Ta	18.0000	0.000	4.0000	0.000	11.0000	1.00	68.8189	3.1935

El análisis gráfico (Figura 15) describe relaciones de ballenas en tránsito en altas abundancias (Ta) cuando prevalecen valores altos de temperatura y transparencia, y a bajas profundidades. Las ballenas en tránsito en bajas abundancias (Tb) se presentaron con el registro de las temperaturas más bajas, transparencias intermedias y profundidades altas. En cuanto a las ballenas en actividad de alimentación, éstas se presentaron en bajas abundancias (Ab) cuando predominaron temperaturas un poco menores a las registradas en tránsito en altas abundancias (Ta), a bajas profundidades y valores bajos de transparencia. En tanto que para las ballenas en alimentación en altas abundancias (Aa), se observa un descenso evidente de temperatura ( $17^{\circ}\text{C}$ ), el valor más bajo de transparencia (8.30 m) y el valor más alto de profundidad registrado (121 m).

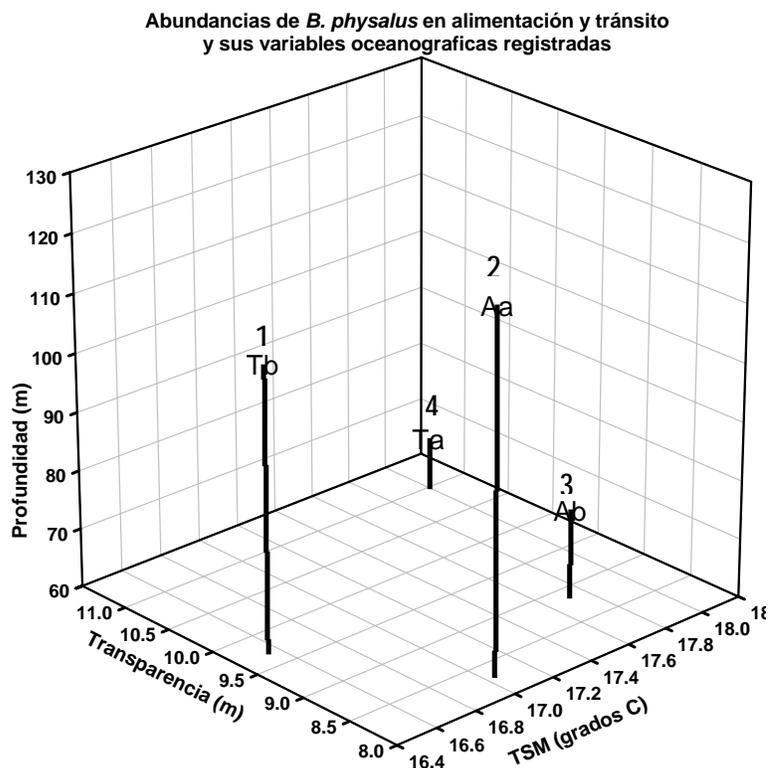


Fig. 15. Gráfico en tres dimensiones de las categorías de abundancias relativas a las actividades de *B. physalus* y las variables oceanográficas registradas

En resumen se establecen, localmente, dos relaciones entre las abundancias de ballenas en tránsito y alimentación; la primera representa altas abundancias de ballenas en tránsito a bajas profundidades y cuando aumenta la temperatura y la transparencia. Mientras que la segunda relación, muestra que las ballenas en alimentación son más abundantes en altas profundidades y al disminuir la temperatura y la transparencia. Se guarda una relación inversamente proporcional entre las actividades realizadas más que con su abundancia, al ser ésta última mayor con la actividad de alimentación.

### VI.3 Abundancia absoluta

#### Proporción y frecuencia de individuos que retornan al área de Guaymas

Para determinar la abundancia absoluta se utilizaron en su totalidad las capturas interanuales de 13 años de muestreo, representativos de un universo de 25 años (1981-2005), a partir de las cuales se obtuvieron un total de 93 fotoidentificaciones (Tabla 14) y se diferenciaron 64 individuos

Se observa que la mayor parte de las capturas se concentran en tres años de muestreo (2001, 2004 y 2005), mismos en los que se presenta la mayor cantidad de capturas interanuales e intranuales, reflejo de un mayor esfuerzo de muestreo para estos años. A pesar de que se invirtió un esfuerzo similar al de la temporada 2001 en las temporadas invierno y primavera de los años 2002 y 2003, los registros de esta especie fueron casi nulos.

Tabla 14. Número de capturas obtenidas por año

AÑO	No. DE INDIVIDUOS FOTOIDENTIFICADOS POR AÑO
1981	3
1982	4
1984	4
1987	4
1993	1
1995	1
1996	8
1999	4
2000	2
2001	15
2002	4
2004	16
2005	27
TOTAL	93

Las frecuencias de captura de los 93 individuos fotoidentificados revelan que 42 (65.6%) de ellos fueron capturados una vez, 15 (23.4%) dos veces y 7 (11%) tres veces (Figura 16).

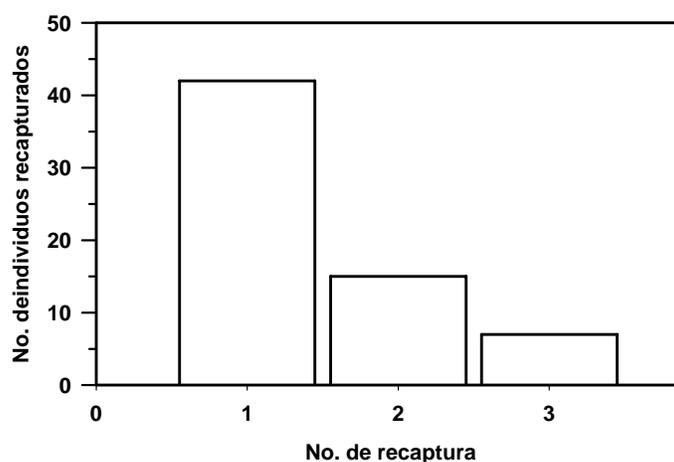


Fig. 16. Histograma de frecuencia de capturas intranuales de *B. physalus* fotoidentificadas de 1981 a 2005

### Intervalos máximo y mínimo entre capturas interanuales

El intervalo máximo entre la primera y última captura del total de capturas interanuales fue de 24 años; el mínimo, de un año. El cálculo de los distintos intervalos de captura y de sus correspondientes números de capturas interanuales expresadas en porcentaje muestra que el 50% de las capturas se llevaron a cabo en un intervalo de 1 a 3 años (Tabla 15).

Tabla 15. Intervalos de captura con sus respectivos porcentajes de capturas interanuales

INTERVALOS DE CAPTURA (AÑOS)	(%) DEL NÚMERO DE CAPTURAS INTERANUALES
24	13.64
21	13.64
18	13.64
9	4.55
4	4.55
3	27.27
1	22.73

El intervalo máximo y mínimo entre capturas intranuales fue 59 días y 28 días respectivamente para la temporada 2004 y de 2 y 69 días para la temporada 2005; definidos en el presente estudio como tiempo de estancia o permanencia.



Fig. 17. Recaptura de una ballena de aleta. Con base en el patrón de muescas, se determinó que fue capturada por primera vez el 15 de abril de 1987 en Puerto Libertad, Sonora (Foto: Lloyd Findley) y recapturada el 17 de febrero de 2004. (Foto: Guadalupe Martínez Villalba).

La abundancia local  $N_e$  de *B. physalus* calculada en el área de Guaymas, para el momento de la última temporada de muestreo (2005), con el estimador de Bayley a la modificación del estimador de Petersen (1951) fue de  $N_e= 154$  individuos ( $ES_N= 7.82$ ), mientras que con el estimador de Jolly (1965) fue de  $N_e= 161$  individuos ( $ES_N= 76$ ).

Con el método de la Distribución de Bernoulli (Darling y Morowitz, 1986) que utiliza los valores  $X_i$  (número de identificadas  $i$  ocasiones distintas en  $n$  identificaciones) que mejor se ajustan al valor de  $N_e$  a través de la prueba de bondad de ajuste de los mínimos cuadrados; se encontró, con base en el criterio de distribución de capturas  $D_c$ , que el mejor valor de  $N_e$  fue de 134 individuos ( $X^2D_c= -21.889$ ) (Apéndice C). Los valores de  $X^2$  calculados para distintas  $N_e$  se observan en la Figura 18.

El número acumulado de identificaciones, en el orden en que fueron compiladas (por año), y el número de ballenas diferenciadas (Tabla 16), permitió la construcción del gráfico de la tasa de aparición de nuevos individuos TANI (Figura 19).

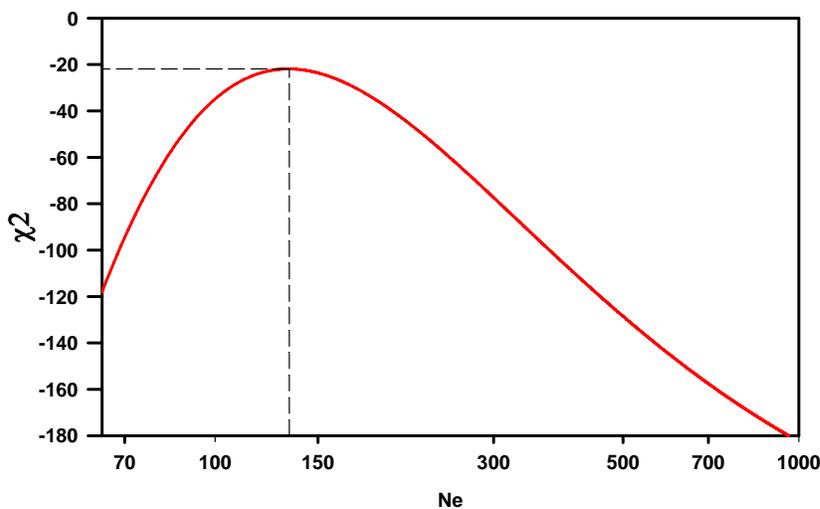


Fig. 18. Gráfico del valor de  $\chi^2$  que mejor se ajustó a la abundancia local estimada ( $N_e=134$ ) para el área de Guaymas Sonora, con el método de la Distribución de Bernoulli.

Tabla 16. Número de identificaciones, acumuladas por año y ballenas diferenciadas de 1981 a 2005

AÑO	TOTAL DE IDENTIFICACIONES	NÚMERO ACUMULATIVO DE IDENTIFICACIONES	NÚMERO ACUMULATIVO DE BALENAS DIFERENCIADAS.
1981	3		
1982	4	7	7
1984	4	11	11
1987	4	15	15
1993	1	16	16
1995	1	17	17
1996	8	25	24
1999	4	29	28
2000	2	31	29
2001	15	46	44
2002	4	50	44
2004	16	66	53
2005	27	93	64
TOTAL	93		

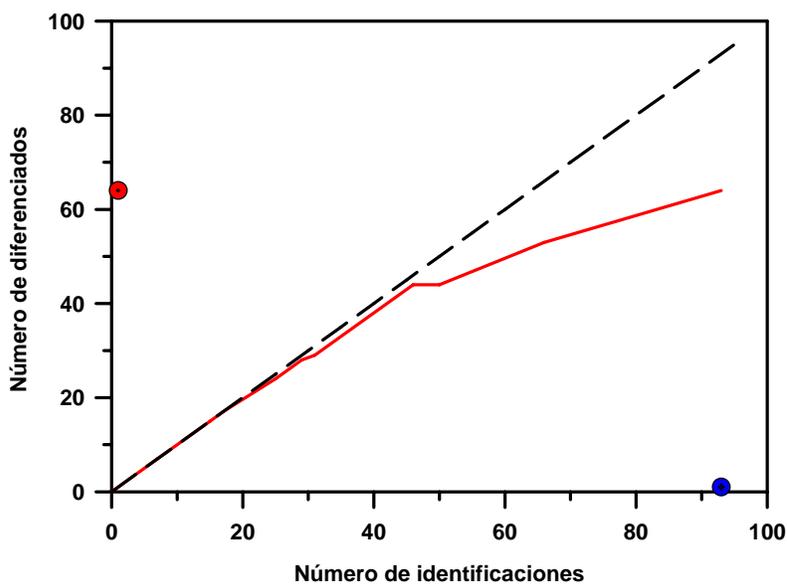


Fig. 19. Gráfico de la tasa de aparición de nuevos individuos de *B. physalus* (1981-2005). El punto rojo expresa el número de ballenas diferenciadas (64); el azul muestra el total de identificaciones que permitieron su diferenciación (93). La línea punteada expresa la tasa de aparición teórica si cada ballena identificada fuera nueva; la línea continua, la tasa de aparición real.

Se observa al inicio que la TANI (Darling y Morowitz, 1986) es alta, a medida que se va progresando en las identificaciones ésta empieza a decrecer, al aparecer individuos identificados previamente.

Dado que es imposible calcular gráficamente el tamaño total de la población local con la curva de aparición de nuevos individuos, es decir conseguir que  $y=N$  (entiéndase  $N$  como  $Ne$ ) o la curva se haga asíntota, ya que se necesitaría un número considerable de fotoidentificaciones imposibles de realizar en la realidad; dado los altos costos de las salidas de muestreo. El estimador de abundancia de la TANI permitió calcular el tamaño poblacional local, una vez que se iteró con los diferentes valores de  $Ne$  y el número de identificaciones realizadas ( $y$ ) y se llegó al número de individuos diferenciados por año ( $x$ ), de los cuales se midió, con el estadístico de mínimos cuadrados, la diferencia con respecto a los datos reales. La abundancia local estimada fue de  $Ne= 134$  individuos. ( $\chi^2I= -3.74$ ) (Figura 20).

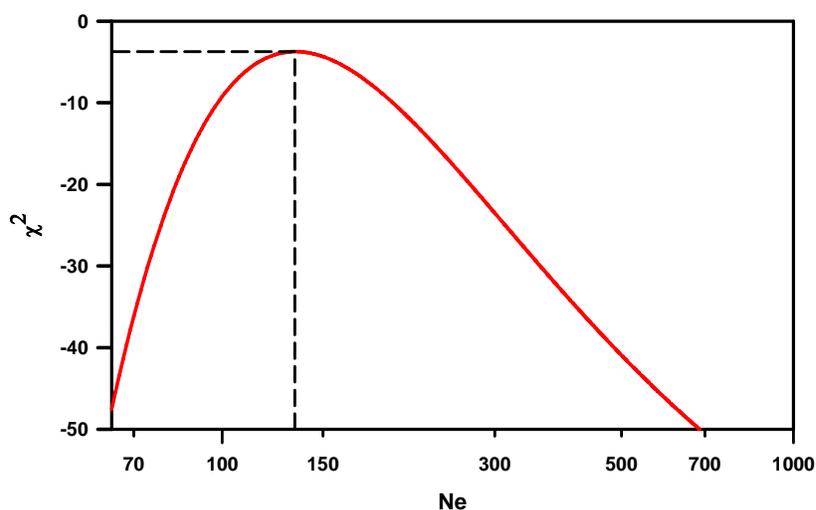


Fig. 20. Valor de  $\chi^2$  que mejor ajustó a la abundancia local estimada ( $Ne= 134$ ) para el área de Guaymas Sonora, con la TANI propuesto por Darling y Morowitz, (1986).

El mejor tamaño poblacional local  $Ne$  estimado con el programa FIDFID1, bajo el criterio del mínimo valor de  $\chi^2$  de la distribución de capturas fue de  $Ne= 110$  individuos; en tanto que, para el número de individuos diferentes identificados fue de  $Ne= 120$  (Figura 21 y Tabla 17). Esto quiere decir que al menos el 20% la población total de *B. physalus*, residente del Golfo de California, calculada en 600-656 individuos (Urbán, 2005a; Díaz, 2006) visita anualmente el área de Guaymas.

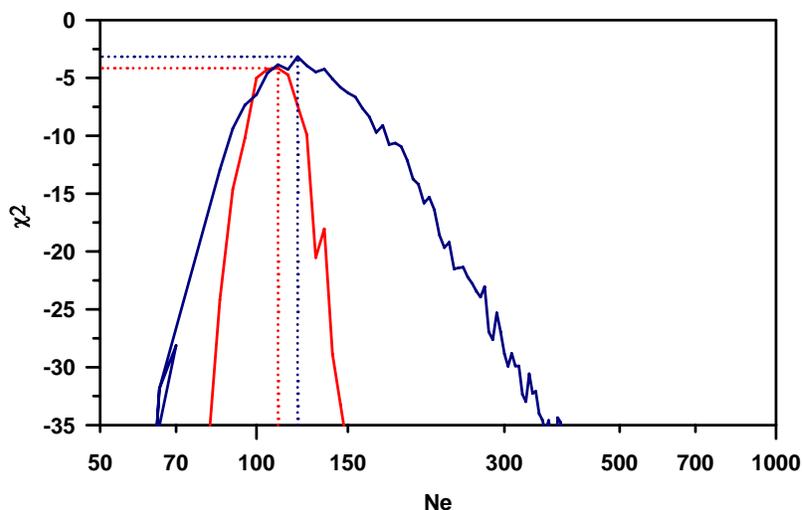


Fig. 21 Gráfico de la mejor abundancia local  $N_e$  estimada para Guaymas. La curva en color azul corresponde a los valores del número de individuos diferentes ( $\chi^2I$ ) y la curva en color rojo corresponde a los de distribución de capturas ( $\chi^2D_c$ ).

Tabla 17. Valores de  $\chi^2$  que mejor ajustaron a la abundancia local estimada  $N_e$  con FIDFID1

$N_e$	$\chi^2D_c$	$\chi^2I$	$\chi^2 T$
110	<b>-4.165</b>	-3.885	-8.020
120	-7.382	<b>-3.176</b>	-10.558

Con el mismo programa de simulación se estimó que los 13 años de capturas variables hechas en la realidad equivalen a 6.3 años de captura de 15 individuos por año. A partir de esta información se hizo un arreglo hipotético homogéneo de distribución de las 93 capturas reales en 6 años; de forma que el número de capturas por año quedó: 16, 15, 15, 15, 16 y 16 individuos/año. Bajo este arreglo se estimó con FIDFID1 que el mejor tamaño de  $N_e$  bajo el criterio de los mínimos valores de fue de  $N_e= 105$  individuos para la distribución de capturas y de  $N_e= 105$  para individuos diferentes (Tabla 18 y Figura 22).

Tabla 18. Mejores  $N_e$  estimadas con FIDFID1 para el arreglo homogéneo hipotético, con base en el criterio de distribución de capturas,  $\chi^2D_c$  y número de individuos diferentes  $\chi^2I$ . Se anexa la  $N_e$  estimada con la distribución de capturas real

ARREGLOS (AÑOS)	$N_e$	$\chi^2D_c$	$\chi^2I$	$\chi^2 T$
6 (hipotético)	105	<b>-3.908</b>	-6.190	-10.098
6 (hipotético)	110	-4.188	<b>-5.385</b>	-9.573
13 (real)	110	-4.165	-3.885	-8.020

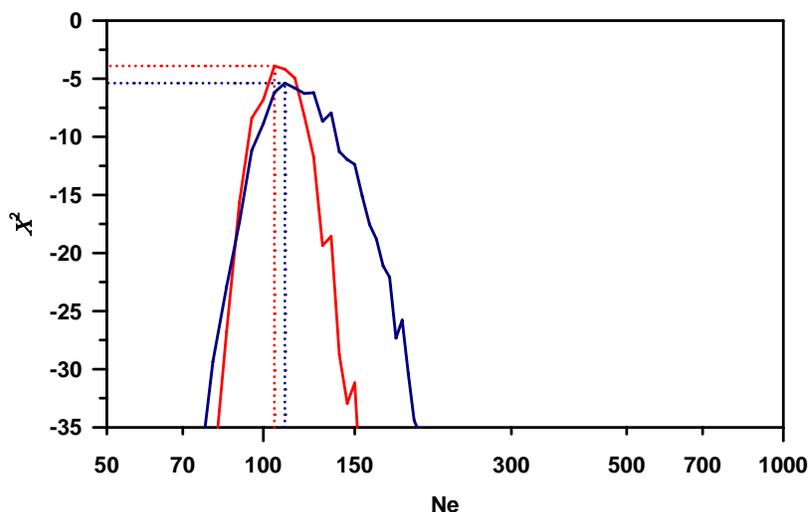


Fig. 22. Mejores valores de  $N_e$  estimados para el arreglo homogéneo hipotético de 6 años. La curva en color rojo corresponde a los valores de  $\chi^2_{D_c}$  y la curva en color azul corresponde a los valores del  $\chi^2_l$ .

Las pequeñas diferencias entre las  $N_e$  obtenidas, a partir del arreglo hipotético homogéneo (6 años) y de la distribución de capturas real (13 años), muestra que no existe influencia de la variabilidad del esfuerzo de muestreo. Aunque sería conveniente estimar  $N_e$  con distintos arreglos de distribución de captura homogéneos, siempre y cuando estos sean en períodos menores al ya mencionado (por ej. 4 y 5 años), con el fin de corroborar si el esfuerzo es determinante en el cálculo de la abundancia local de Guaymas.

Se resumen las estimaciones de  $N_e$  calculadas (Tabla 19), a partir de los datos recopilados en 13 años de muestreo reales, con los diferentes estimadores de abundancia que consideraron la distribución de capturas y número de individuos diferentes; los clásicos, los analíticos y el de simulación (FIDFID1); así como las  $N_e$  calculadas a partir del arreglo hipotético de esfuerzo de muestreo en 6 años.

Tabla 19. Estimaciones de  $N_e$  calculadas para los datos de captura reales con los distintos estimadores de abundancia, y las calculadas para el arreglo hipotético homogéneo con FIDFID1.

	ARREGLO HIPOTÉTICO (6 AÑOS)		DATOS REALES (13 AÑOS DE MUESTREO)		
	SIMULACIÓN		ANALÍTICOS	CLÁSICOS DE MARCAJE Y RECAPTURA	
	FIDFID1		BERNOULLI Y TANI (DARLING Y MOROWITZ, 1986)	PETERSEN (1951)	JOLLY (1965)
DISTRIBUCIÓN DE CAPTURAS	105	110	134 ( $ES_N=3.7$ )	154 ( $ES_N=-7.8$ )	161 ( $ES_N=76$ )
INDIVIDUOS DIFERENTES	110	120	134 ( $ES_N=21.88$ )		

#### VI.4 Dispersión y Filopatría

El parámetro de dispersión, calculado con el modelo “*ad hoc*” de dispersión y filopatría desarrollado por L. Medrano (UNAM), para las capturas de Guaymas fue  $k = -0.89$ ; mientras que para las capturas entre localidades y Guaymas fue de  $k = -0.97$ . Esto indica que las ballenas de Guaymas están en un proceso de dispersión o desplazamiento hacia otras áreas mientras que en una escala mayor, (entre regiones o localidades) la dispersión de las ballenas es limitada, esto es, cercana a los límites de distribución.

Referente a los datos de capturas intranuales obtenidas en distintas localidades de la costa este del golfo publicadas por Urbán (1996), el parámetro de dispersión fue de  $k = -1.02$ , el cual indica un área de dispersión máxima

Por consiguiente en el gráfico de las distancias, entre las capturas, contra el tiempo (Figura 23) se observa que el comportamiento de las capturas registradas en Guaymas es más diversificado y con tendencia al aumento hasta antes de los 40 días de muestreo; a partir de este tiempo, las distancias se limitan. Lo mismo sucede con las capturas hechas en otras localidades y posteriormente recapturadas en Guaymas, sólo que las distancias se limitan a los 100 días. De modo semejante, las distancias de capturas registradas por Urbán (1996), se restringen a las 120 millas náuticas en el intervalo de los 30 a 100 días. Lo anterior se ve reflejado en las velocidades medias entre capturas.

El gráfico de las velocidades medias de captura contra el tiempo (Figura 24), confirma la función alométrica descendente de éstas con respecto al tiempo para las tres fuentes de capturas anteriormente mencionadas. En Guaymas (puntos rojos) se observa un parámetro de vagilidad ( $V_T=0.64$ ) menor con respecto al parámetro de entre localidades y Guaymas (puntos azul claro) ( $V_T=2.11$ ) y las capturas de la costa este (puntos azul fuerte) ( $V_T=3.15$ ).

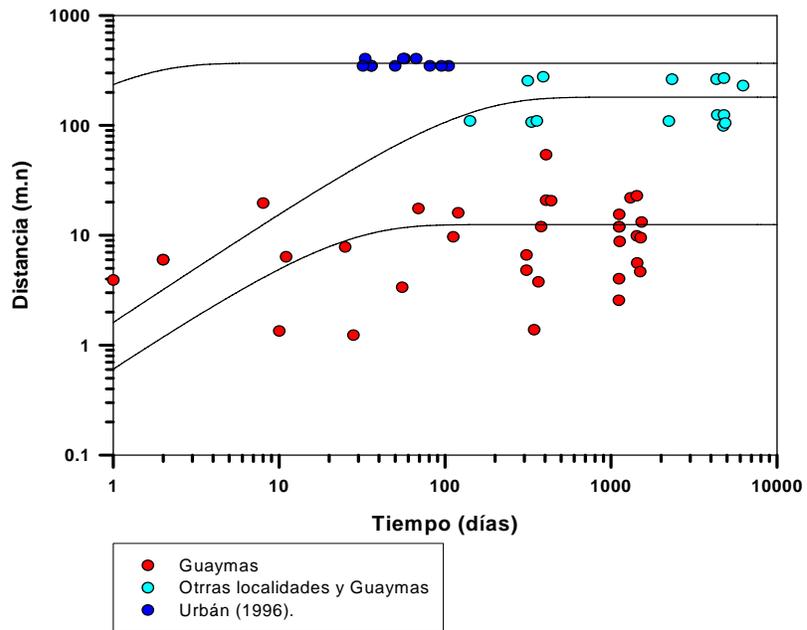


Fig. 23. Distancias entre capturas intranuales e interanuales para el área de Guaymas, otras localidades y Guaymas y en la costa este del golfo.

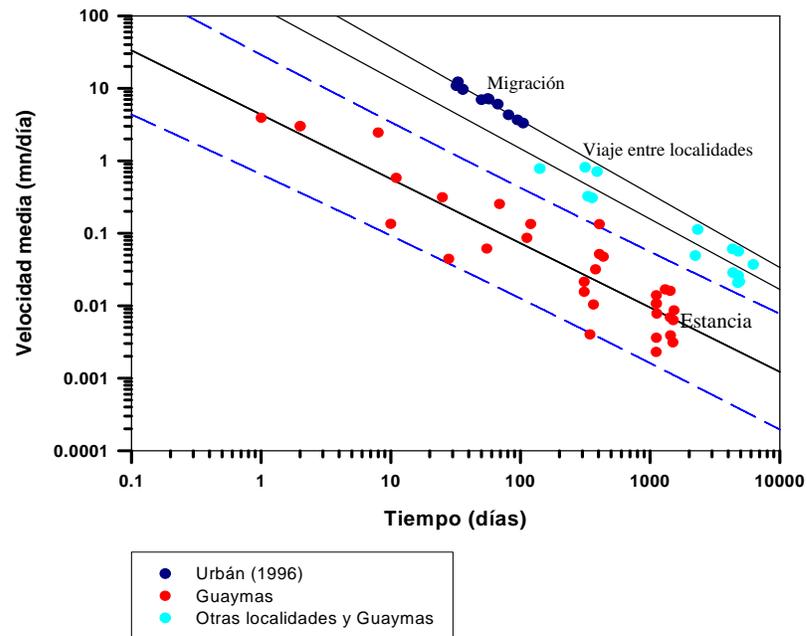


Fig. 24. Grafico que define la dispersión y filopatría de *B. physalus* en el área de Guaymas, entre otras localidades y Guaymas, y en la costa este del Golfo de California.

Esto es un indicio de los tipos de desplazamiento de las ballenas; mientras que los movimientos de las ballenas en el área de Guaymas están definidos en trayectorias menos rectas, lo que indica que son menos veloces; las ballenas que se mueven entre otras localidades y Guaymas lo hacen con trayectorias un poco más definidas, y/o a velocidades más grandes. Finalmente, los movimientos de las ballenas de la costa este del golfo siguen trayectorias más rectas y/o se mueven a mayor velocidad con respecto a los casos anteriores.

El análisis general de la Figura 24 permite distinguir tres comportamientos de movimiento de *B. physalus*: 1) estancia en el área de Guaymas hasta antes de los 100 días (de enero a abril), 2) regional, es decir, paso por otras localidades y Guaymas, 3) migratorio, es decir, un desplazamiento estacional, probablemente de alimentación, en la costa este del golfo. Al mismo tiempo se observa el fenómeno de filopatria con el registro de mismas distancias entre capturas en tiempos muy prolongados, al tener recapturas de los mismos individuos en ciclos de 365 días (1 año), 1100 días (3 años) y 1500 días (4.5 años) para el área de Guaymas, y en ciclos de 365 días (1 año), 2000 días (6 años) y 5000 días (14 años) para capturas entre localidades.

## **VI.5 Modelado de la distribución geográfica potencial de la ballena de aleta en el Golfo de California**

Durante la construcción del modelo del nicho ecológico de *B. physalus*, que permitió identificar el área de distribución potencial y actual de esta especie en el Golfo de California a partir de datos de presencia y coberturas digitales de variables ambientales, se utilizaron un total de 126 registros de presencia de *B. physalus* en el Golfo de California; 62 de ellos se recabaron en el área de Guaymas durante las temporadas invierno-primavera 2004 y 2005, los 64 restantes, correspondientes a distintas localidades del golfo se tomaron de Gendron (1993), Tershy (1993), Silber *et al.* (1994), Urbán (1996) y Díaz (2006).

Los últimos 10 modelos preliminares seleccionados se sobrepusieron de modo que se retuvieron sólo aquellos, que en forma de pixeles, coincidieron en la predicción de la presencia de *B. physalus*. De aquí que los modelos más significativos utilizados fueron del 8 al 10. Una vez proyectados geográficamente en el Golfo de California con el Software ESRI ArcView 3.2 se obtuvo el mapa de la distribución geográfica potencial de *B. physalus* en el Golfo de California (Figura 25).

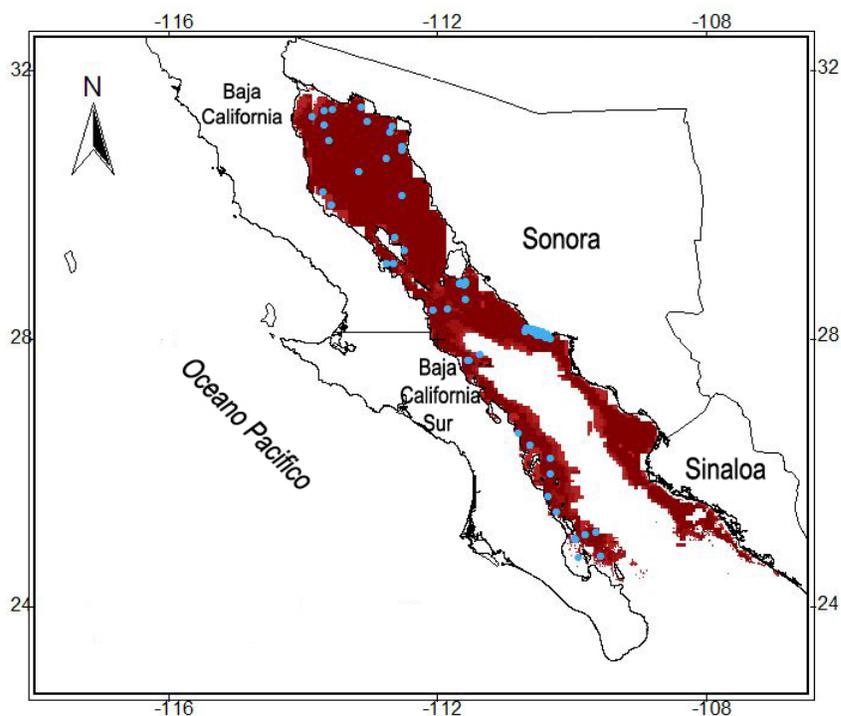


Fig. 25. Modelo generado en GARP, de la distribución geográfica potencial de *B. physalus* en el Golfo de California durante la temporada invierno-primavera

El área de distribución predicha se estimó en 85,576 km<sup>2</sup> (en contraste con el área total del golfo que es de 260,000 km<sup>2</sup>) y se comprobó estadísticamente significativa ( $\chi^2=103.17$   $p<0.001$ ) con un 99% de probabilidad de ocurrencia de esta especie. Toda vez que el 83% de los 126 puntos de ocurrencia utilizados de distintas localidades del golfo fueron correctamente predichos.

En efecto, el modelo (mapa) indica las áreas o regiones de mayor similitud con respecto a las localidades de ocurrencia (puntos azules) de *B. physalus*, en cuanto a condiciones oceanográficas y ambientales se refiere. Es decir, las áreas en las que la posibilidad de encontrar a esta especie es mayor (superficie en color marrón).

Resalta que el área de distribución de ésta especie se extiende en su mayoría en la parte norte y central del golfo, así como en ambas costas de la parte sur.

## VII DISCUSIÓN

De acuerdo con observaciones previas de la ballena de aleta en el área de Guaymas, se han determinado sus zonas preferenciales de alimentación, una vez que se ha definido su preferencia costera y propuesto a los lugares someros, de entre los 45 a los 188 m de profundidad, como zona de abastecimiento alimentario (Gallo-Reynoso *et al.*, 2003). Asimismo, basado en el registro bien documentado de la zona de surgencia y la presencia de su principal presa alimentaria, *Nycthiophanes simplex*, durante la temporada invierno primavera (Álvarez-Borrego, 1983; Brinton y Townsend, 1980; Brinton *et al.*, 1986). Aunque la mayoría del esfuerzo de navegación en el presente trabajo se basó en sitios previamente conocidos como preferenciales para *B. physalus*, se comprueba que en esta área se distribuye cerca de la costa, puesto que durante ambas temporadas de muestreo (2004 y 2005) las ballenas prefirieron las zonas someras (en promedio hasta 140 m de profundidad). Incluso cuando se exploraron también, con un esfuerzo menor, áreas distintas a las preferenciales (mayores a los 183 m de profundidad), en las que los avistamientos de esta especie fueron casi nulos, coincidiendo con Gallo-Reynoso (2003). Por otro lado el modelo de la distribución potencial, que muestra áreas de mayor similitud de condiciones ambientales con respecto a Guaymas, recupera estas preferencias costeras en la parte norte del golfo (zonas someras) y ambas costas de la parte sur, algunas de ellas propuestas previamente como zonas de alimentación o avistamiento de esta especie (Rojas, 1984; Tershy, 1992; Gendron, 1993; Tershy, 1993; Vidal *et al.*, 1993; Urbán, 1996; Gallo-Reynoso *et al.*, 2005; Urbán *et al.*, 2005 y Gallo-Reynoso, no publicado).

Aún cuando el esfuerzo no se hizo tanto en la zona norte como la sur durante todos los meses, fue útil para este caso la información de búsqueda y observación de la presencia de esta especie desde tierra ya que permitió descartar zonas de muestreo y facilitó definir la ruta de búsqueda así como el encuentro de las ballenas una vez que se salía a muestrear. De ahí que se propone que las ballenas de aleta ocuparon la zona sur del área de estudio en los meses de enero y febrero, a profundidades de 50 a 140 m, contrario al mes de marzo en el que ocuparon la zona norte, a profundidades menores a los 50 m en el 2004 y de los 50 a 183 m en el 2005. Destacan en esta última temporada el registro de los avistamientos más al norte y alejados de la costa con relación a 2004 así como el registro de algunos avistamientos en la parte más norteña (casi a la altura de la isla San Pedro Nolasco) en el mes de febrero, lo cual se dio como un evento extraordinario causado por la presencia de un movimiento telúrico (Gallo-Reynoso *et al.*, 2006). Las temperaturas

promedio mensuales registradas en ambas temporadas, 20 °C en enero, 15 °C en febrero y 19 °C en marzo para 2004 y de 18 °C en enero, 17 °C en febrero y 15 °C en marzo para 2005, indican, al menos de manera local, un año más frío en el 2005 con respecto al 2004.

Los mapas que describen de manera general la distribución espacio-temporal de *B. physalus* muestran que su arribo al área de Guaymas comienza por el sur y va ocupando el área de estudio acorde al transcurso de la temporada, con dirección hacia el norte en un área-corredor, delimitada de los 46 a los 183 metros de profundidad, corredor por el que las ballenas transitan durante la temporada invierno-primavera

No se descarta que la topografía, caracterizada en Guaymas por pendientes pronunciadas (Rusnak y Fisher, 1964; Van Andel, 1964), es hasta cierto punto un factor determinante en su distribución costera y juega un papel importante en la circulación y afloramiento de las aguas del fondo, lo que esta asociado con la disponibilidad de su alimento.

Se observa con base en las abundancias relativas, a ballenas en alimentación y tránsito por hora de navegación, calculadas que hay más ballenas y más actividad de alimentación en aguas con temperaturas frías y profundidades promedio de 120 m; puesto que la abundancia de ballenas fue mayor en 2005: 0.79 ballenas/h (77% en alimentación, 23% en tránsito) que en 2004: 0.59 ballenas/h (61% en alimentación y el 39% en tránsito). Esto podría sugerir una mayor presencia o abundancia de alimento (debido a la surgencia) en 2005 y explicaría un mayor desplazamiento de las ballenas hacia el norte del área de estudio durante el mes de marzo, quizás en respuesta a una mayor productividad, dado que se tiene el menor registro de temperatura en este mes. Comparado con la temporada 2004, también explica el avistamiento de una gran diversidad de especies de mamíferos marinos los cuales en su mayoría se encontraban en alimentación, a pesar de que estos datos no se incluyeron ningún análisis de los objetivos aquí planteados.

Referente a las actividades de *B. physalus* registradas durante los avistamientos en el área de Guaymas, se observan altas abundancias de ballenas en tránsito con un aumento de la temperatura (18 °C) y transparencia (11 m), así como una disminución de la profundidad (69 m). Esto sugiere un tránsito asociado a poca productividad, dado que por un lado, el incremento de la temperatura se asocia con una disminución de la surgencia-productividad, y en consecuencia se esperaría también del alimento para *B. physalus*, y por otro lado, a que la profundidad registrada donde transitaban fue muy similar a la cual esta especie bucea cuando no se está alimentando:

59.3 ± DS 29.67 m (Croll *et al.*, 2001a). Por otra parte la actividad de ballenas en tránsito predice que éstas se desplazan con movimientos lentos dentro del área de estudio, tal como se determinó con el modelo "*ad hoc*" de dispersión y filopatría.

En contraste, se observan altas abundancias de ballenas en alimentación con una disminución de la temperatura (17 °C), un aumento en la profundidad (121.5 m) y una disminución de la transparencia (8.3 m). Resalta que estos son valores similares a los reportados por Brinton y Townsend (1980) para la distribución y máximos de abundancia de *N. simplex* uno de los principales componentes de su dieta alimentaria para esta época (Terhsy, 1992; Gendron, 1993; Del Ángel, 1997 y Croll *et al.*, 2001b) (T= 14-17 °C; Profundidad por arriba de los 100 m y hasta los 200 m sobre la plataforma continental) y que se ha propuesto como uno de los principales componentes de su dieta alimentaria (Del Ángel, 1997, Jaume-Schinkel, 2004). Valores también similares a los cuales se ha registrado que agregaciones costeras de la ballena de aleta bucean cuando se están alimentando (Profundidades: 100 y 150 m, Temperaturas: 14-20 °C; en Croll *et al.*, 1995 citado por Urbán, 1996; Croll *et al.*, 2001a y Croll *et al.*, 2001b). Si bien es claro que la distribución de este eufaúsido no está solo en función de la profundidad y la temperatura, al menos área de Guaymas; y que no es la única especie dominante en el GC (le sigue *Nematoscelis difficilis*), valores registrados de ambas variables en el presente trabajo permiten sugerir la posible presencia debida quizás a un aumento de la productividad que promueva la disponibilidad de su alimento. Así también es importante considerar el valor bajo de la transparencia, la cual se registró con el disco Secchi y que es también una medida indirecta de la productividad. Similar al tránsito, la actividad de alimentación de estas ballenas predice un movimiento de estancia en el área de estudio, determinado con el mismo modelo de dispersión y filopatría.

El análisis de componentes principales definió que en el área de Guaymas la ocurrencia de *B. physalus* está relacionada con la productividad por surgencia, al ser el color del mar, la transparencia y en menor grado la fuerza del mar en escala Beaufort, los que identifican al CP1 denominado productividad; y la TSM, que identifica al CP2 denominado con el mismo nombre; las variables que distinguen las altas y bajas abundancias de ballenas en tránsito y alimentación (Aa, Ab, Ta y Tb). Esto permite sugerir que *B. physalus* ocurre en Guaymas fundamentalmente para alimentarse y que, de manera general, lo primero que detecta son los parches de alimento; más que los cambios en la temperatura (Figura 12).

Análogamente, otro análisis gráfico realizado en Sigma Plot sobre la ocurrencia de *B. physalus* diferenciada en categorías de ballenas en: alimentación en altas abundancias (Aa); alimentación en bajas abundancias (Ab); tránsito en altas abundancias (Ta) y tránsito en bajas abundancias (Tb), junto con las variables oceanográficas que las caracterizan (TSM, Prof. y Transp.), sugiere una secuencia de ocupación de las ballenas en esta área, relacionada con la abundancia de alimento, diferenciada en arribo, estancia, inicio de partida y migración hacia el norte.

Se propone a las ballenas en Tb como el inicio de la temporada. Es decir, su arribo al área de estudio a principios y mediados del mes de enero, presumiblemente cuando hay poca comida (aguas poco productivas). Las ballenas en Aa indican un incremento del recurso alimentario, a finales del mes de enero y principios de febrero, lo que coincide bibliográficamente con la temporada de máxima producción de *N. simplex* en la parte central y sur del Golfo de California (Brinton y Townsend, 1980; Brinton *et al.*, 1986) por lo que se sugiere que probablemente se trate de este eufausido. Cabe añadir que fue en estas fechas en las que, durante los muestreos, se observó más actividad de alimentación en superficie. Asimismo, durante las observaciones desde tierra, la estancia de los grupos (de 3 a 4 y de hasta 8 individuos) en esta actividad durante 1 a 2 semanas. También, en estas fechas se registraron las tasas de recapturas intranuales (de finales de enero, a febrero y principios de marzo), definidas como el tiempo de estancia en la área de estudio, con periodos de captura de 28 hasta 59 días en 2004 y de 2 hasta 69 días en 2005. Las ballenas en Ab reflejan, por consiguiente, una disminución de la productividad (declive del recurso alimenticio) hacia finales de febrero y durante el mes de marzo. Lo que puede interpretarse como la partida de las primeras ballenas hacia el norte. Por tal motivo, se tiene en el mes marzo el registro de avistamientos en la parte más norteña del área estudio en ambas temporadas. Por último, las ballenas en Ta a finales del mes de marzo y principios de abril, indican la partida de la mayoría de éstas hacia el norte del Golfo de California, dado la probable escases de alimento, interpretándose como el fin del ciclo de retorno anual y permanencia temporal de esta especie en el área de Guaymas. Aunque fue posible definir esta secuencia de arribo, estancia, partida inicial y partida total de las ballenas que visitan anualmente Guaymas, es necesario invertir, a la par, un esfuerzo homogéneo en toda la zona de estudio que incluya además la determinación de la productividad para poder corroborar esta propuesta.

Se plantea que la ballena de aleta deja el área de estudio y continúa su tránsito hacia el norte a mediados-finales del mes de abril, debido a que no fue avistada después del 16 de abril. A pesar de que se invirtió un esfuerzo de navegación considerable posterior a estas fechas en ambas

temporadas, principalmente en la parte norte del área de estudio en 2004 y en la parte central y norte en 2005. Algunos de los muestreos posteriores a esta fecha se hicieron por invitación en embarcaciones de usuarios, por este motivo no se hizo una búsqueda con dirección o rumbo definido, ni se incluyó este esfuerzo en el análisis de los datos. Sin embargo esta información sirvió para corroborar la ausencia de ballena en estas fechas. Lo anterior se corroboró también con el registro de los avistamientos más norteños registrados al final de la temporada.

Aunque durante las temporadas de muestreo (2004 y 2005) del presente estudio no se hicieron medidas directas de la productividad, ni arrastres e identificación de zooplancton en el área que evidenciaran altas concentraciones de nutrientes o la presencia de eufáusidos, se propone que es probable que se trate de *N. simplex* dado que, por un lado, se ha registrado su presencia en años anteriores en esta área por medio de ecosonda (para el año 2001 *Com. Pers.* J.P. Gallo, 2007) y por otro, a que el modelo de la distribución potencial de *B. physalus* en el Golfo de California obtenido con GARP se asemeja a la distribución de este eufáusido, propuesta por Brinton y Townsend (1980) y Brinton *et al.* (1986), quienes mencionan que se da de manera espaciada a lo largo de la plataforma continental de ambas costas del golfo, en concentraciones máximas a mediados de invierno y durante la mayor parte de la primavera. Lo anterior apuntaría también a la idea, ya propuesta por otros autores (Tershy y Strong, 1984; Tershy, 1992; Gendron 1993, Urbán, 1996) de la existencia de una relación entre la distribución de la ballena de aleta con la de su alimento, al menos durante la temporada invierno primavera, ya que es conocido que la presa alimenticia de esta especie puede variar dado su dieta de tipo generalista (Rojas, 1984, Tomilin 1957; Nishiwaki y Hayashi, 1950; Nishiwaki y Ohe, 1951; Mizue, 1951; y Kawamura citados en Rojas 1984; Del Angel, 1997; Tomilin, 1957 *Gendron et al. 2007*), e incluso se ha registrado un cambio de dieta estacional en el verano hacia presas de mayor nivel trófico, dentro del que posiblemente se encuentren las sardinias (Jaume-Schinkel, 2004), ya que se ha documentado registros de observación directa de alimentación con este tipo de presa (Gallo-Reynoso, 1991).

Ahora bien, si la ballena aleta ocurre principalmente en Guaymas para alimentarse y lo primero que detecta son los parches de krill, tal como se propuso con el ACP (análisis de componentes principales) dado las características ambientales-oceanográficas prevaecientes, entonces esto justifica, en parte, la idea de la inclusión de zonas de alimentación en el área de distribución predicha para todo el GC con GARP, al menos durante el invierno y parte de la primavera, una vez que su elaboración se fundamenta en la similitud de condiciones ambientales (oceanográficas) entre localidades donde se ha referido se alimenta, incluida Guaymas, y aquellas en las que

además, se ha avistado en la misma temporada por Rojas, 1984; Gendron, 1993; Tershy, 1993; Urbán, 1996; Urbán *et al.*, 2005a y Tershy *et al.*, 1990.

Por otra parte considerando las preferencias costeras de *B. physalus* es muy probable que éstas estén relacionadas con la productividad y la cantidad de nutrientes a nivel local, por lo que se infiere probablemente suceda lo mismo en otras localidades.

De esta manera la distribución predicha también coincide con los avistamientos de *B. physalus* en alimentación registrados por diversos autores en distintas localidades del golfo (Rojas, 1984; Gallo-Reynoso, 1984; Gendron, 1993; Tershy, 1993, Urbán, 1996; Gallo-Reynoso, 2003; Urbán *et al.*, 2005a; Tershy *et al.*, 1990) así como con las propuestas de su distribución en trabajos previos: NW del GC, las costas este y oeste de la parte central del golfo y sur del golfo (Rojas, 1984, Urbán *et al.*, 2005, Gendron, 1993 y Tershy 1993a). El modelo es significativo desde el momento en el que corrobora e indica áreas donde la probabilidad de encontrar a esta ballena es alta: la costa de Baja California Sur; la costa de Sonora hasta la porción media de la costa norte de Sinaloa y toda la región de las Grandes Islas y Alto Golfo de California; áreas a las cuales se infiere, se movería el resto de la población de ballenas que no visita Guaymas durante esta época. Igualmente, al destacar un área de distribución nueva al sur de la costa este (norte de Sinaloa).

El retorno de *B. physalus* cada invierno-primavera al área de Guaymas desde hace más de 25 años con motivo de su alimentación (Gallo-Reynoso *et al.*, 2003; Gallo-Reynoso *et al.*, 2005) y la recaptura de estas ballenas en intervalos máximos de hasta 24 años, con más frecuencia en los intervalos de 1 a 3 años, prueban que existe filopatría a esta área.

Aunque no se incluyó en el análisis de datos, se calculó que el porcentaje de fotoidentificaciones que fueron capturadas por primera vez en localidades distintas y posteriormente capturadas en Guaymas una o más veces fue de 18.7% ( $n= 64$ ). Este dato y el alto porcentaje de capturas (50%) concentradas en los intervalos 1 y 3 años es un indicativo de que al menos una porción de la población retorna con cierta frecuencia y corta periodicidad al área de estudio, como parte de su ciclo anual de desplazamiento dentro del Golfo de California, lo que sugiere que existe cierto grado de fidelidad al área. (Figura 17).

También se deduce su filopatría por la similitud entre las estimaciones de abundancia local absoluta ( $N_e$ ) obtenidas con los distintos modelos estimadores, las cuales fluctuaron entre los 110 y 161

individuos, al ser una fracción de la población total la que retorna a Guaymas. Por otro lado dichas estimaciones indican que se trata de una población local, robusta y poco heterogénea; aún cuando cada estimador describe el comportamiento de una serie de datos caracterizados bajo ciertas condiciones y que cada uno está diseñado para poblaciones con características particulares.

Se corroboró que el esfuerzo de muestreo, ya sea intensivo o no, no es un factor que influye en la probabilidad de captura, específicamente en la frecuencia de recapturas interanuales. Toda vez que la  $N_e$  estimada con FIDFID1 ( $N_e = 105$  y  $110$ ), a partir de un arreglo de muestreo hipotético de seis años, es similar a la estimada con los datos de distribución de captura real en 13 años de muestreo ( $N_e = 110$  y  $120$ ) y a las  $N_e$  calculadas con los distintos estimadores ya mencionados.

Se puede prever entonces, que el grupo de ballenas que regresa anual y regularmente al área de Guaymas para alimentarse, en su ciclo periódico de desplazamientos, es una porción de la población total del golfo, de tamaño bien definido, poco fluctuante y estadísticamente estable; cuyo tamaño es aproximadamente el 20% de la población total estimada:  $N_e = 600$  individuos (Urbán, 2000; Díaz, 2006). Lo que apunta a que es probable que se trate de una subestructura de la población total. Si ese fuese el caso, se sugiere entonces que *B. physalus* en el GC se subdivide en manadas de migración-alimentación identificables, las cuales se desplazan hacia otras localidades en ambas costas y hacia la parte norte del golfo durante el invierno primavera (Rojas, 1984; Gallo-Reynoso, 1984; Tershy *et al.*, 1990; Gendron, 1993; Tershy, 1993; Urbán 1996; Gallo-Reynoso, 2003; Urbán *et al.*, 2005a) para posiblemente completar sus ciclos de alimentación, crianza y reproducción. Lo cual queda como una interrogante a incluirse en futuros trabajos, dado que tampoco se ha establecido con certeza si las poblaciones locales conforman subpoblaciones de la población total (Pettis *et al.*, 2000a).

Por otro lado, la similitud obtenida en las estimaciones de abundancia para esta porción de la población, indica que la influencia de nacimientos, muertes o migraciones es despreciable, pues probablemente estos eventos ocurran en una misma tasa para individuos marcados y no marcados.

Hasta la fecha son pocos los trabajos sobre la estimación de la tasa de mortalidad y natalidad para esta especie en el golfo. Sin embargo para el Hemisferio Sur, Gambell (1985) reporta con base en datos de captura, tasas de mortalidad natural de 3.5% y 4.5% para machos y hembras respectivamente. Por lo tanto, no se descarta en el presente estudio la existencia de mortalidad, aun cuando se sabe que este balenoptérico puede vivir 90 y hasta 100 años (Gambell, 1985).

Bajo este antecedente y el incremento de recapturas logradas en los últimos años de muestreo intensivo (2001, 2004 y 2005), algunas de ellas con intervalos máximos de hasta 24 años, indica que un alto índice de mortalidad es poco probable.

Con base en los parámetros de vagilidad ( $V_1$ ) y dispersión ( $K$ ), calculados con el modelo "*ad hoc*" de dispersión y filopatría, se distingue que *B. physalus* en el Golfo de California se mueve con tres tipos de desplazamiento: movimiento de estancia, movimiento regional y movimiento migratorio, definidos por las capturas en Guaymas, entre otras localidades y Guaymas, y las capturas de la costa este del Golfo de California respectivamente

El valor de vagilidad obtenido, revela que la población de ballenas que retorna anualmente a Guaymas en invierno-primavera, se caracteriza por desplazarse a velocidades menores ( $V_1 = 0.64$  mn/día), lo que indica el recorrido de distancias cortas (ca. 11 mn) hasta antes de los 100 días. Esto quiere decir que ocupan un área restringida y define un movimiento de estancia (enero a abril) que se sugiere esta inducido principalmente por la búsqueda de alimento. Se observa que posterior a los 100 días, el registro de las mismas distancias de capturas sucede en periodos muy prolongados, como resultado de recapturas de los mismos individuos, en ciclos de 365 días (1 año); 1100 días (ca. 3 años) y 1500 días (ca. 4.5 años); lo que evidencia que se trata de una población filopátrica en proceso de dispersión a otras áreas, o con un radio de dispersión mayor ( $K = 0.89$ ). Esto explicaría el movimiento de al menos una parte de esta población de ballenas hacia otras localidades, tal como lo reporta Pettis *et al.* (2000b), con altos índices de intercambio entre las localidades de la costa este (Guaymas-Bahía Kino, y Bahía Kino-Puerto Libertad), y Díaz (2006) con movimientos de ballenas de la costa este en invierno (Bahía Kino) hacia la costa oeste en Verano (Bahía de los Ángeles) y viceversa. Se deduce también a partir de este parámetro de dispersión  $K$ , un comportamiento similar en las distintas localidades, de la parte norte y central de ambas costas del golfo, en las que se ha registrado a *B. physalus* en actividad de alimentación durante el invierno y la primavera (Rojas, 1984; Tershy *et al.*, 1990; Gendron, 1993; Pettis *et al.*, 2000b; Díaz, 2006), y que se consideran en el presente trabajo como zonas de alimentación.

Las capturas entre Guaymas y otras regiones, indican que las ballenas se desplazan a velocidades medias ( $V_1 = 2.11$  mn/día) y recorren distancias medias (ca. 115 mn), es decir, presentan un desplazamiento mayor con respecto al movimiento anterior. Esto sugiere un movimiento regional o viaje entre localidades y al mismo tiempo filopatría al área de Guaymas, dada la recaptura de los

mismos individuos en ciclos de 365 días (1 año), 2000 días (ca. 6 años) y 5000 días (ca. 14 años). El parámetro de dispersión ( $K= 0.97$ ) indica una dispersión limitada, esto es, el espacio disponible para el desplazamiento de las ballenas hacia otras localidades es menor, por lo que se disminuye la probabilidad de recapturarlas en localidades distintas a la que fueron capturadas por primera vez. Esto también lo demuestra, como ya se mencionó, el bajo porcentaje de recapturas en Guaymas que tuvieron su primera captura en una localidad distinta (18.75%,  $n= 64$ ), una vez que se supone que el porcentaje restante (81.25%) ha sido capturado y recapturado en Guaymas. Lo que al mismo tiempo refleja el retorno de las ballenas de manera periódica al área de estudio sugiriendo también fidelidad. A pesar de la limitación de su radio de dispersión, no se puede descartar la posibilidad de movimiento hacia otras zonas que no hayan sido muestreadas, entre el tiempo y entre recapturas.

Se consideran relevantes los movimientos definidos como estancia y regional a pesar de que están caracterizados por la posibilidad de dispersión hacia otras áreas, ya que explican al mismo tiempo el fenómeno de filopatría. De entre los escasos trabajos que sugieren filopatría destacan el de Enríquez 1996, citado en Díaz (2006) y el de Urbán 1996, quienes se enfocaron hacia ciertas localidades de la costa occidental del GC, y cuyos resultados, en contraste con el presente estudio, se basan solamente en las altas tasas de recaptura registradas en las localidades estudiadas.

Las capturas y recapturas de la costa este del golfo, registradas por Urbán (1996), definen un movimiento migratorio, es decir desplazamientos estacionales de alimentación, dado que la velocidad registrada fue la más grande ( $V_T= 3.15$  mn/día). Lo que indica el recorrido de distancias largas a velocidades mayores. Esto implicaría que las ballenas no pudieran desplazarse o dispersarse más allá del Golfo de California, lo que es confirmado por tener un radio de dispersión muy limitado ( $K = 1.04$ ).

Este suceso es muy significativo desde el punto de vista de su carácter residente y aislado recientemente confirmado (Bérubé *et al.*, 1998), ya que implicaría que la ballena de aleta presenta pocas posibilidades de dispersarse más allá o fuera del Golfo de California. Aunque esto no ha sido demostrado aún, en el presente estudio se infiere apoyado adicionalmente, en los escasos avistamientos de esta ballena en la boca del golfo y en la costa occidental de la Península de Baja California (Tershy *et al.*, 1993), al menos de la punta sur hasta Bahía Magdalena (*Com. Pers.* J.P. Gallo, 2007). Aun así, se considera a posibilidad de que la ballena pueda salir del golfo transitando

alejada de la costa occidental de la península, por consiguiente disminuye la probabilidad de su avistamiento y más aun cuando el esfuerzo realiza pegado al costa.

El modelo "*ad hoc*" de dispersión y filopatría desarrollado por L. Medrano González, no deja abierta la posibilidad de un movimiento aleatorio de la población total de *B. physalus* hacia las zonas de alimentación dentro del golfo, si no al contrario, sustenta la idea de un movimiento con carácter preferencial, ya propuesto por otros autores (Enríquez, 1996 citado en Díaz, 2006; Urbán, 1996) dado que como se ha encontrado las ballenas de aleta presentan fidelidad a ciertas zonas.

Al considerar la residencia y abundancia de la población de *B. physalus* estimada en 600 - 656 individuos en el Golfo de California; los movimientos de estancia y regional determinados para las recapturas en Guaymas y entre localidades y Guaymas, junto con sus respectivos parámetros de dispersión y su característica de fidelidad al área, permiten plantear un comportamiento similar para el resto de las zonas de alimentación del Golfo de California. Podría pensarse entonces en un patrón similar al de la ballena de aleta para algunas zonas de alimentación del Atlántico Norte en el que los animales muestran una alta fidelidad hacia sus zonas de alimentación (Seipt *et al.*, 1989; Clapman y Seipt. 1991 citados en Urbán, 1996; Urbán, 2000).

Hasta la fecha no se conoce algún estudio de dispersión y filopatría basado en la captura y recaptura de organismos, similar al modelo "*ad hoc*" utilizado en el presente estudio, sin embargo este se ha aplicado a otras especies de mamíferos marinos evidenciado un comportamiento similar entre los resultados de *B. physalus* aquí presentados y los delfines de dientes rugosos (*Steno bredanensis*) (Pompa, 2007).

## VIII. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Se confirman las preferencias costeras de *B. physalus* durante la temporada invierno-primavera en dos años consecutivos, relacionadas con la presencia de la surgencia que aflora durante el invierno-primavera en el área de Guaymas. De ahí que, se propone que la distribución costera en el área está estrechamente relacionada con la distribución de su alimento.

Se observa que hay más ballenas y más actividad de alimentación en aguas frías (TSM 15-18°C), con profundidades promedio de 120 m (temporada 2005), lo que sugiere una mayor abundancia de alimento. Mientras que condiciones contrarias se presentan cuando hay altas abundancias en tránsito, indicando que las ballenas pasan por áreas de poca productividad.

Se comprobó una relación significativa entre la ocurrencia de *B. physalus* y las características oceanográficas prevalecientes en el área (transparencia, color del mar y temperatura superficial del mar), la cual permitió determinar a la "productividad" (por surgencia) como la principal razón del retorno de esta especie al área de estudio.

Se diferenció una secuencia de ocupación de las ballenas al área de estudio en: arribo (por el sur), estancia, inicio de partida y migración hacia el norte, definida por las abundancias de ballenas y sus actividades realizadas (alimentación y tránsito). Características oceanográficas muy específicas de cada actividad permitieron asociar la presencia reportada del eufaúsido *N. simplex*, como la probable presa alimenticia de *B. physalus* en el área.

*B. physalus* ocurre en Guaymas fundamentalmente para alimentarse; probablemente lo primero que detecta es el cambio en la coloración del mar, que indica presencia de los parches de alimento (eufaúsidos), más que los cambios en la temperatura.

Con el grupo de distintos estimadores poblacionales basados en el marcaje y recaptura, y una simulación de éstos; se estimó que el grupo de ballenas que visita el área de Guaymas cada temporada invierno-primavera es de tamaño definido ( $N_e = 110$  y  $N_e = 161$  individuos), estadísticamente estable y poco heterogéneo, de aproximadamente el 20% de la población total del GC ( $N = 600$ ), lo que indica que probablemente se trate de una subestructura. Si es así, *B. physalus* se subdivide en el golfo en manadas de migración=alimentación que se desplazan hacia distintas localidades en las costas de Baja California Sur, Sonora, la porción media norte de

Sinaloa y en la parte norte del golfo en esta misma temporada; obedeciendo a un patrón de movimiento estacional bien documentado, lo cual se corrobora con el modelo de la distribución geográfica de *B. physalus* obtenido con GARP.

Se corrobora que el modelo de predicción de la distribución geográfica potencial coincide con la distribución estacional propuesta en la parte norte y las costas del Golfo de California durante la temporada invierno-primavera, así como con la mayoría de los registros de avistamiento de esta especie en actividad de alimentación. Por lo que se propone dentro del área de distribución predicha la inclusión de sus zonas de alimentación, dada su alta correlación con la distribución reportada de su presa *N. simplex*.

El retorno a Guaymas de casi una cuarta parte de la población total de *B. physalus* que reside en el Golfo de California, calculada a partir de la frecuencia de capturas y recapturas, obtenidas en un intervalo significativo de tiempo de 25 años, y el registro de las mismas velocidades medias en periodos de 1, 3, 4.5, 6 y 14 años con el modelo "*ad hoc*" de dispersión y filopatría, asienta que se trata de una porción de la población con fidelidad al área.

El modelo "*ad hoc*" de dispersión y filopatría permitió definir que *B. physalus* se mueve en el Golfo de California con tres tipos de desplazamientos: 1) estancia, 2) regional y 3) migratorio; con radios de dispersión: mayor, limitado y muy limitado, respectivamente.

El modelo "*ad hoc*" de dispersión y filopatría, permitió establecer al grupo de ballenas de aleta que visita anualmente el área de Guaymas, como una población filopátrica. Una vez que se determinó un comportamiento de retorno a la zona en periodos prolongados, diferenciados en ciclos de 1, 3 y 4.5 años; y que se mueve a velocidades menores en distancias cortas hasta antes de los 100 días.

El modelo "*ad hoc*" de dispersión y filopatría determinó también, a través del parámetro de vagilidad ( $V_j$ ), que la ballenas de Guaymas se caracterizan por un movimiento temporal, definido por trayectorias menos rectas y/o menos veloces inducido quizás por la búsqueda o disponibilidad de alimento. En tanto que su parámetro de dispersión ( $k$ ), indicó que se trata de una porción de la población en proceso de dispersión hacia otras áreas del GC. Asimismo explica el movimiento regional, determinado por las capturas entre otras localidades del golfo y Guaymas, caracterizado por trayectorias poco más rectas y/o mayores velocidades, que se trata de ballenas con una dispersión más limitada.

## IX. AGRADECIMIENTOS

Manifiesto mi profundo agradecimiento a quienes directa o indirectamente, contribuyeron a la realización de este proyecto, me sería imposible mencionarlos a todos, así es que sin ningún orden en particular y sin omisión alguna (espero!!!!), GRACIAS A TODOS!!!

Al Dr. Juan Pablo Gallo Titular del Laboratorio de Ecofisiología del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. A. C. Guaymas, por invitarme a trabajar y dirigirme en el proyecto fotoidentificación de *B. physalus*. Por confiar en mí y compartir sus datos. Por inyectarme cuando el desanimo me invadió e influir fuertemente e mi independencia académica.

Al Dr. Luis Medrano por todo el tiempo y el esfuerzo dedicado en análisis de datos de esta investigación, por sus valiosos comentarios, revisiones y asesorías continuas.

A mi Jungla (mi Familia), por su preocupación, por su apoyo, porras y estar pendientes de mi vida errante. Gracias, mil gracias por quererme y aceptarme como soy.

A Chabela por compartir ahora esta etapa de mi vida, por su influencia y apoyo en la toma de decisiones certeras, por influir en el gusto y cuidado de mi cuerpo y mente, por invitarme a conocerme quererme, por enseñarme (a su manera) a viajar ligera, fresca y disfrutar de la vida.

A Diego, por sus asesorías en las matemáticas, y en la geología, por salvarme de la ignorancia, por el gusto de simplemente compartir, gracias por la grata compañía.

A mi Dr. Gemullen, por su amistad, apoyo, cariño, porras, lealtad, con quien espero algún día navegar nuevamente en el mismo barco.

Al profesor Margarito por aventarme el salvavidas cuando la ignorancia me quería ahogar en el mar del conocimiento.

A la M. en C. Ana Luisa Figueroa, directora de la reserva Islas del Golfo de California, por las facilidades otorgadas en algunas de las salidas al campo, y al resto del personal, Brenda, Rosy, Paco y Magui por el apoyo brindado. Principalmente, a Florentino Cota ("Geno"), capitán de la embarcación por su tiempo y disponibilidad para la realización de las salidas de campo.

A mi queridísimo amigo y compañero de laboratorio M. en C. Janitzio, gran investigador y ejemplo del disfrute que provoca el dejarse seducir por las ciencias. Por compartir generosamente su conocimiento. Por su ayuda desde el inicio y hasta la conclusión de este trabajo, en la recolección de datos y fotos durante las salidas al campo, durante el análisis y revisión fotográfica en el laboratorio y las asesorías y revisiones a distancia. Por su paciencia en la introducción e instrucción en el uso del software ArcView y su disponibilidad para mis constantes consultas. Por hacer mi estancia en Guaymas, ultraligera y ayudarme a descubrir que la vida es tan simple como nosotros queramos, por levantar mi autoestima en los momentos difíciles, por los debates tan intensos, por las charlas tan amenas. Por los temas del arte culinario que tanta veces tocamos, planeamos, degustamos y por los que quedaron pendientes De tí aprendí que el trabajo no es trabajo si lo disfrutamos al máximo. Por tu bella sonrisa.

A Elsa, por las porras e insistirme en terminar este proyecto. Por sacrificar algunas de sus visitas y estar siempre dispuesta durante las salidas de campo. Por la grata compañía y los vínculos de amistad creados.

Gary´s Trip por las invitaciones y facilidades otorgadas para abordar sus embarcaciones y desviar sus rutas en la búsqueda de los mamíferos marinos, especialmente al Sr. Gary, Sra. Dana, y todos los capitanes que laboran en la empresa.

Al Dr. Rubén Aguirre por permitirme disponer de la información del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, Instituto de Geografía, UNAM. Y la técnico del mismo, Olivia Salmerón por su valioso tiempo, ayuda asesoría e infinita paciencia para la obtención de las imágenes satelitales.

Al Dr. Enrique Martínez y a la M. en C. Claudia Ballesteros del Laboratorio de Análisis Espaciales y Sistemas de Información Geográfica del Instituto de Biología, por su tiempo, paciencia, y asesoría en la modelación de la distribución geográfica potencial de las especies. A Claus por las revisiones y acertados comentarios al escrito.

A Iram y Elia del Laboratorio de Mamíferos Marinos de la Facultad de Ciencias UNAM por proporcionarme la fuente y auxiliarme en la obtención de las bases de datos para la preparación de coberturas geográficas digitales.

A los compañeros de laboratorio de Ecofisiología del CIAD-Guaymas, que durante su estancia colaboraron en la realización del presente proyecto, salidas al campo, revisiones fotográficas y comentarios, Elsa Janitzio, Moni, Eunice, Gabi y Horacio. Asimismo a todas las personas que de alguna forma han contribuido con sus fotografías en la elaboración del catálogo fotográfico utilizado.

Al mar por atraerme magnéticamente hacia sus misterios, por sus lecciones, atardeceres, experiencias vividas y sobre todo por permitirme el estudio, en capturas fotográficas de sus bichos gigantes, aquellos que las personas llama *ballenas*.

A todos los que de alguna forma han estado presentes en mi historia y que también contribuyeron enormemente en la decisión de subirme a este barco y me apoyaron durante el mismo, Sandra Alcántara, Los Pechochos (Rocío y Manuel) Maribel, Fernando S, Gerardo G, Lupita Ávila, Eduardo y Maru, Carlos Barrera, Andrés González, Brenda Montaña, Lizza Lozano, Paco Rivera, Sandra Sánchez, Lore Villoria, Paco Navarro, Monica, Armandoy Javier, Rodrigo. A todos ustedes gracias.

## X. REFERENCIAS

**Álvarez-Borrego, S.**

1983. Gulf of California: En: Ketchum H.B. (ed) Ecosystems of the world: Estuarines and Enclosed Seas. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Pp. 427-449.

**Anderson, R.P., Gómez-Laverde, M. y Peterson A.T.**

2002a. Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography*, 11:131-141.

**Anderson, R., Peterson, T. A. y Gómez-Laverde M.**

2002b. Using niche-based GIS niche modeling to test geographic prediction of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mouse. *Oikos* 98:3-16.

**Anderson, R.P., Lew D. y Peterson, A.T.**

2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162:211-232.

**Bailey, N. T. J**

1951. On estimating the size of mobile populations from capture-recapture data. *Biometrika*. 38:293-306.

**Bérubé, M., Aguilar, A., Dedanto, Larsen, D. F., Notobartolo-di-Sciara G., Sears, R., Sigurjonsson, J., Urbán, J. y Palsbøll, P. J.**

1998. Population genetic structure of North Atlantic, Mediterranean and Sea of Cortez fin whales, *Balaenoptera. Physalus* (Linnaeus, 1758) analysis of mitochondrial and nuclear loci. *Molecular Ecology*, 7:585-600.

**Bérubé, M., Urbán, R. J., Dizon, E.A., Brownell, L.R. y Palsbøll, P.J.**

2002. Genetic identification of a small and isolated population of in Whales (*Balaenoptera. Physalus*) in the Sea of Cortéz, México. *Conservation Genetics* 3:183-190.

**Brinton, E. y Townsend A.W.**

1980. Euphausiids in the Gulf of California- The 1957 cruises. *CalCOFI Rep.* Vol. XXI. Pp. 211-236

**Brinton, E., Fleminger, A. y Siegel-Cuasey, D.**

1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* Vol. XXVII Pp. 228-266.

**Case, J.T. y Cody L.M**

1983. *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. Berkeley, California. University of California. 508 pp.

**Croll, A. D., Acevedo, G. A., Tershy, B.R. y Urbán, J.**

2001a. The diving behavior of blue and fin whales is dive duration shorter than expected based on oxygen stores?. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 129:797-809.

**Croll, D. A., Clark, C W., Calambokidis, J., Ellison W. T., y Tershy B. R.**

2001b. Effect of anthropogenic low-frequency noise on the foraging ecology of *Balaenoptera* whales. *Animal Conservation*, 4:13-27

**Croll D. A., W.C. Clark, A. Acevedo, B. Tershy, S. Flores, J. Gedamke, y J. Urbán**  
2002. Only male fin whales sing loud songs. *Nature* 417. Pág. 89.

**Darling, J. D. y H. Morovitz**

1986. Census of "Hawaiian" humpback whales (*Megaptera novaengliae*) by individual identification. *Can. J. Zool.*, 64:105-111.

**De la Lanza, G.**

2001. Características físico-químicas de los mares de México. Instituto de Geografía, UNAM y Plaza y Valdés Eds. México, D.F, 149 pp.

**Del Ángel, R. J.A.**

1997. Hábitos alimentarios y distribución espacio-temporal de los rorcuales común (*Balaenoptera physalus*) y azul (*Balaenoptera musculus*) en la Bahía de la Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR IPN, La Paz B.C.S. 68 pp.

**DesktopGarp**

(2003) User Manual. Desktop Garp-User Manual.  
<http://nhm.ku.edu/desktopgarp/UsersManual.html> [accessed 28 Oct 2006].

**Díaz, G. C.**

2006. Abundancia y movimientos del rorcual común, *Balaenoptera physalus*, en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Mexico D.F. 49 pp.

**Gallo-Reynoso J.P.**

1984. Interacción de calderones (*Globicephala macrorhynchus*) con la ballena de aleta (*Balaenoptera physalus*) y con tursiones (*Tursiops truncatus gilli*), (Mammalia: Cetácea). *Anales del Instituto de Biología. UNAM. Serie Zoológica* 55 (1)331-333.

**Gallo-Reynoso, J.P.**

1991. Group behavior of common dolphins (*Delphinus delphis*) during prey capture. *Anales del Instituto de Biología. UNAM. Serie Zoológica* 62(2) 253-262

**Gallo-Reynoso, J.P., M.P Blanco-Parra, y C. Niño**

2003. Cartel: Distribución espacial de la ballena de aleta *Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758) en cercanías de Guaymas, Sonora, México. Décimo Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. 22 a 26 de septiembre del 2003. San José, Costa Rica.

**Gallo-Reynoso, J.P., Bean L.T., Palomino, E.A., Figueroa-Carranza, L. y Ortiz L.**

2005. Mysticetes on the Midriff area of the Gulf of California during the summers of 1995, 1996 and 1997. Cap. 18 205-214 En: Sánchez-Cordero V., Medellín R. A. (Eds). *Contribuciones Mastozoológicas en homenaje a Bernardo Villa*. Instituto de Ecología UNAM; CONABIO. México. 706 pp

**Gallo-Reynoso, J.P., Égido-Villareal. J., y Martínez-Villalba, M. G.**

2006. Reacción de ballenas de aleta (*Balaenoptera physalus*) a un temblor del suelo oceánico. VIII Congreso Nacional de Mastozología. Zacatecas. Zacatecas. México.

**Gambell, R.**

1985. Fin Whale. *Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758) 3:171-192. En: Ridgway, S.H. y Harrison R. (Eds) Handbook of marine Mammals. The Sirenians Baleen Whales. Academic Press. London. 362 pp.

**Gaskin, D.E.**

1982. The ecology of Whales and Dolphins. Heinemann Educational Books, London and Exeter. 459 pp

**Gendron, D.**

1993. Índice de avistamientos y distribución del género *Balaenoptera* en el Golfo de California, México, durante febrero, marzo, abril de 1998. Revista de Investigación Científica. UABCS. No. Especial. SOMEMMA. 1:21-30.

**Gendron, D., Aguiñiga, S. y Carriquiry, J.D.**

2001.  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  in skin biopsy samples: a note on their applicability for examining the relative trophic level in three rorqual species. Journal Cetacean Researcher Manage. 3(1) 41-44.

**Gilmore, R. M.**

1957. Whales around in Corte's Sea. Tragic Strandings in the Gulf of California. Pacific Discovery. 10:22-27.

**Jaume-Schinkel, M. S.**

2004. Hábitos alimentarios del rorqual común *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California mediante el uso de isótopos estables de nitrógeno y carbono. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 64 pp.

**Jolly, G.M.**

1965. Explicit estimates from capture-recapture data with both death an immigration-stochastic model. Biometrika. 52:225-247.

**Laws, R.M.**

1958. The foetal growth rates of whales with special reference to the fin whales, *Balaenoptera physalus*. Linn. Disc. Rep. 29:281-308.

**Leatherwood, S., Reeves, R.R., Perrin, W.F y W.E. Evans.**

1982. Whales, dolphins and porpoises of the eastern North Pacific and adjacent artic waters: A guide to their identification. NOAA Technical Report, NMFS. Circular 444. 245 pp.

**Leatherwood, S., Reeves, R.R. Perrin, W.F. Evans W.E. y Hobbs, L.**

1988. Ballenas delfines y marsopas del pacifico nororiental y de las aguas árticas adyacentes. Dover Publications, Inc. New York. 245 pp.

**Mahaffy, S.**

(**reporte interno no publicado**) Absence of the Fin Whale, *Balenoptera physalus*, in the central Gulf of California During the 2002-2003 El Niño: A preliminary Report Discussing the Possible Hypothesis and Evidence Surrounding Them. Reporte Interno 2002-2003 CIAD-MIRT, Guaymas Sonora, México.

**Maluf, L.Y.**

1983 Physical Oceanography. Information. En: Case T.J. & Cody M.L (Eds). Islands Biography in the Sea of Cortés. University of California. Press. Berkeley. Pp. 26-45.

**Mangels, K.F. y Gerrodette, T.**

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-TM-NMFS-SWFSC-211. 88 pp.

**Pettis, J., T. Pfister., Jaume, S., y Urbán, J.**

2000a. Las ballenas de aleta (*B. physalus*) de Bahía de Kino conforman una subpoblación. En resúmenes de la XXVII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos marinos. La Paz, B.C S. México.

**Pettis, J., S. Jaume, T. Pfister, X. Basurto, J. Urbán, J.P. Gallo-Reynoso, y L. Findley**

2000b. Patrones de movimientos de las ballenas de aleta (*Balaenoptera physalus*), fotografiadas en Bahía Kino y Guaymas, Sonora. V Nacional de Mastozoología. Mérida Yucatán, México.

**Peterson, A.T.**

2001. Predicting specie's geographic distributions based on ecological niche modelling. Condor. 103:599-605.

**Pompa, M. S.**

2007. Distribución y abundancia de los géneros *Steno* y *Kogia* en Bahía de Banderas y aguas adyacentes. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias UNAM. México. 74 pp.

**Rice, D.W.**

1998. Marine Mammals of the World. Systematic and Distribution. Special Publication No. 4. The Society of Marine Mammalogy. 231 pp.

**Robinson, M.K.**

1973. Atlas of month mean sea surface and subsurface temperatures in the Gulf of California, Mexico. San Diego Society of Natural History. Memoir 5. 97 pp.

**Roden, G.I.**

1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. Pacific Science. 12 (1):21-45.

**Roden, G. I. y Groves, G.W.**

1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. J. Mar. Res. 18(1): 10-35.

**Roden, G. I. y Emilson, I.**

1980. Oceanografía física del Golfo de California. Centro de Ciencias del mar y Limnología. UNAM. Contribución No. 290.67.

**Rojas, B.L.**

1984. Presencia y Distribución del rorcual común, *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. México D.F. 157 p.

**Rusnak, G.A. y Fisher, R.L.**

1964. Structural history and evolution of Gulf of California En: Van Andel, T.H. and Shor, G.G. (Eds.) Marine Geology of Gulf of California. American Association Petroleum Geologist Memoir 3. Pp. 144-156.

**Sánchez-Cordero, V., Peterson, T. A., y Escalante, P. P.**

2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la biodiversidad biológica. Hernández. A.N., García A., Álvarez, F. y Ulloa, M. (Comps.). Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología, UNAM, México. Pp. 359-379.

**Scammon, C.M.**

1874. The marine mammals of the Northwestern coast of North America. Together with account of American Whale-Fishery. John H. Carmany and Company G.P. Putnam's Sons. San Francisco-New York. USA.

**Silber, K.G., Newcomer, W.M., Silber, C.P Pérez-Cortés, M.H. y Ellis, M.G.**

1994. Cetaceans of the northern Gulf of California: distribution occurrence, and relative abundance. Marine Mammals Science 10(3):283-298.

**Stockwell, D. y Noble, R.**

1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. Mathematics and Computers in Simulation 33:85-390.

**Stockwell, D. y Peters, D.**

1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. International Journal of Geography and Informatic Science. 13:143-158.

**Tershy, B.R. y Strong, C.S.**

1984. Occurrence and Associations of Fin Whales (*Balaenoptera physalus*) in the Gulf of California, Mexico. Memoria de la IX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos marinos. 29 pp.

**Tershy, B.R., Breese, D. y Strong C.S.**

1990. Abundance, Seasonal Distribution and Population Composition of Balaenopterid Whales in the Canal de Ballenas, Gulf of California, Mexico. En Hammond. P.S. (Ed). Individual recognition and the estimation of cetacean population parameters. Report of the Int. Whaling Commission, Special Issue. 12:369-375.

**Tershy, B.R.**

1992. Body size, diet, habitat use and social behavior of *Balaenoptera* whales in the Gulf of California. Journal of Mammalogy. 7(3):477-486.

**Tershy, B. R., Acevedo, A. G., Breese, D. y Strong, C.S**

1993. Diet and feeding behavior of Fin and Bryde's Whales in the Central Gulf of California, México. Revista de Investigación Científica. UABCS. No. Especial. SOMEMMA. 1:31-38.

**Tershy, B. R., Breese, D., Rojas. L. y Findley L. T.**

1993a. Are the fin whales resident to the Gulf of California?. Revista de Investigación Científica. UABCS. No. Especial. SOMEMMA. 1:69-72.

- Thompson, P. O., Findley, L. T. y Vidal, O.**  
 1992. 20-Hz pulses and other vocalizations of fin whales, *Balaenoptera physalus*, in the Gulf of California, México. *Journal of the Acoustical Society of America*. 92(6):3051-3057.
- Tomilin, A. G.**  
 1957. Mammals of the USSR and adjacent countries. Cetacea. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. Vol. 9. 717 pp.
- Tovilla, H.C.**  
 1991. Golfo de California. Oceanografía geológica. En: De la Lanza E. G. (Comp.) Oceanografía de mares mexicanos. AGT Editor, S.A. México. 569 pp.
- Urbán, R. J.**  
 1996. La población del rorcual común *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California, México. Informe final a la CONABIO, proyecto de investigación B040.
- Urbán, R. J.**  
 2000. Familia *Balaenopteridae*. En: Mamíferos del Noroeste de México II. Álvarez-Castañeda, S.T. y Patton, J.L (Eds). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Pp. 661-683.
- Urbán, R.J., Jaume, S., Tershy, B., Pettis, J., Findley, L., Gallo-Reynoso, J.P., Acevedo, A. y Croll D.**  
 2001. Residency Times and Movement Patterns of Fin Whales in the Gulf of California, México. In Abstracts of 14<sup>th</sup> Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals 2001. Vancouver B.C. Canadá.
- Urbán, R.J., Mate, B., Bérubé, M., Acevedo, A., Jaume, S., Tershy, B., y Croll. D.**  
 2002. Los rorcuales comunes del Golfo de California: una población residente y aislada. En resúmenes de la XXVII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos marinos.
- Urbán, R. J., Rojas-Bracho, L., Guerrero-Ruíz, M., Jaramillo-Legorreta, A. y Findley, L.**  
 2005a. Cetacean diversity and conservation in the Gulf of California. En: Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico. Cartron, J. E., Ceballos, G. y Felger, R.S. (Eds.). Oxford University Press, New York.
- Urbán R. J., Mate, B. Jaume, S., Díaz, C., Tershy, B., Acevedo-Gutierrez, A. y Croll, D.**  
 2005b. Determination and characterization of fin whale habitat in the Gulf of California. Resúmenes 16th. Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. San Diego, EE.UU.
- Van Andel, T.H.**  
 1964. Recent marine sediments of Gulf of California In: A Symposium marine Geology of Gulf of California. Van Andel, T.H., and Shor, G.G. (Eds.). Scripps Inst. Oceanography. University of California Memoir. (3):1-9.
- Vidal, O., Findley, L. y Leatherwood, S.**  
 1993. Annotated Checklist of Marine Mammals of California. Proceedings of the San Diego of Natural History. (28)1:16

**Watson, L.**

**1981.** Sea Guide to Whales of the World. Elsevier Dutton Publishing Co. Inc. New York. 302pp.

**Wells, R. S., Würsig, B.G. y Norris, K. S.**

**1981.** Un reconocimiento de los mamíferos marinos en el Golfo de California, México. In Mem. VI Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos marinos de la Península de Baja California, La Paz, B.C.S. México. Pág. 1-41.

**Würsig, B. y Jefferson, T.A.**

**1990.** Methods of photoidentification for small cetaceans. Moss Landing Marine Laboratory, California. En: Hamond, P.S., Mizroch, S.A. (Eds). Rep. Int. Whaling Comm. No. 12

**Würsig, B., Jefferson, T.A. y Schmidly, J.D.**

**2000.** The marine Mammals of the Gulf of Mexico. Texas A&M University. Press College Station. 232pp

**Zavala, H.V.**

**1996.** Distribución de *Balaenoptera musculus* y *Balaenoptera physalus* en función de algunos factores físicos, en la zona comprendida entre Bahía Magdalena y Punta Concepción, Baja California Sur, México. UNAM. Tesis de Licenciatura. México D.F. 57p.

**Zeitzschel, B.**

**1969.** Primary productivity in the Gulf of California. Marine Biology. 3:201-207.

## APÉNDICES

### APÉNDICE A.- FORMATO DE REGISTRO DE DATOS EN CAMPO

#### REGISTRO DE DATOS EN CAMPO

Salida _____	Página _____ de _____ Fecha _____
Hora inicial _____	Comportamiento grupal _____ _____
Hora final _____	_____
Coordenadas iniciales _____	Comportamiento en pareja _____ _____
Coordenadas finales _____	_____
Color del Mar _____	Composición del grupo _____ _____
Beaufort (B) _____	Actividad _____ _____
Temp. Superf. del mar (TSM) _____	_____
Salinidad (S) _____	_____
Profundidad (P) _____	Agregaciones _____ _____
Numero de individuos iniciales _____	Asociación con otras especies _____ _____
Número de individuos finales _____	_____
Reacción ante la presencia de la embarcación _____	_____
Comentarios _____	_____
_____	_____
_____	_____

Hora y número avistamiento	Numero de individuo	Localización		Número de rollo	Número de foto	Aleta	
		Latitud	Longitud			Izquierda	Derecha

## APÉNDICE B. ESTIMADORES CLÁSICOS Y ALTERNATIVOS DE ABUNDANCIA ABSOLUTA

### Estimador de Bailey a la Modificación de Petersen (1951)

Estimador de abundancia de captura y recaptura clásico ( $N$ ) más sencillo, que involucra la captura (fotoidentificación) de una muestra inicial de  $r$  animales y una segunda captura al azar de tamaño  $n$ , la cual contiene  $m$  organismos marcados (fotoidentificados) previamente. Para estimar  $N$  se considera que la proporción de marcados en la población  $m/n$  es la misma que la proporción de los individuos marcados en toda la población  $r/N$ . De esta manera,  $N$  se calcula a partir de:

$$N = r(n + 1)/m + 1$$

El error estándar de este cálculo es:

$$ES_N = \sqrt{\frac{r^2(n+1)(n-m)}{(m+1)^2(m+2)}}$$

Este estimador supone: que la población es cerrada; que todos los individuos tiene la misma probabilidad de ser capturados; que los organismos no pierden sus marcas durante el tiempo entre las dos muestras; que el marcaje no afecta sus posteriores capturas y que las observaciones son independientes.

### Estimador de Jolly-Seber (Jolly, 1965)

El método consiste de tres o más muestreos de captura y recaptura (de tamaños  $M_1, M_2, \dots, M_s$ ). Para cada tiempo de muestreo  $i$  se tiene un número de individuos marcados  $M_i$ ; de los cuales se tiene una proporción de individuos capturados marcados en muestreos anteriores  $m_i$  y marcados no capturados en la muestra  $M_i - m_i$ , pero si en muestreos posteriores  $Z_i$ , Inmediatamente después del tiempo de muestreo  $i$ , estos individuos  $M_i - m_i$  se unen con los  $r_i$  liberados al momento  $i$  que fueron marcados el día  $i$ . Por lo que se define  $y_i$  como el número de individuos  $r_i$  que se capturan de nuevo en un tiempo posterior. Si se supone que  $r_i$  y  $M_i - m_i$  corren en forma paralela después del tiempo  $i$ , entonces:

$$\hat{M} = m_i + \frac{Z_i r_i}{y_i}$$

Así, el tamaño de la población se determina mediante el cálculo:

$$\hat{N} = \frac{\hat{M}(n_i + 1)}{(m_i + 1)}$$

La fórmula del error estándar de este cálculo es:

$$ES_N = \sqrt{\hat{N}_i(\hat{N} - n_i) \left\{ \frac{\hat{M}_i - m_i + r_i}{\hat{M}_i} \left( \frac{1}{y_i} + \frac{1}{r_i} \right) + \frac{1}{m_i} + \frac{1}{n_i} \right\}}$$

Se asume para este estimador, adicionalmente a los supuestos mencionados para el estimador de Bailey, que cada animal marcado tiene la misma probabilidad de sobrevivir de una muestra a la siguiente y que el tiempo que se emplea en el muestreo es amplio en relación con los intervalos entre muestras.

#### Distribución de Bernoulli o Binomial

Estimador alternativo a los clásicos de captura y recaptura propuesto por Darling y Morowitz (1986), considera que el número de animales  $x$  (frecuencias) que aparecieron  $1, 2, 3...i$  veces (clases) es una función del tamaño  $N$  de la población y de la probabilidad ( $p$ ) con la que ocurrirá la frecuencia de cada clase en  $n$  intentos (identificaciones).

La obtención de fotografías de cada ballena describe un experimento de Bernoulli con probabilidad de aparecer en la fotografía de  $1/N$  y de no aparecer  $1-1/N$ . Entonces la probabilidad de que aparezca una ballena  $i$  veces en  $n$  fotoidentificaciones es:

$$p(i) = \frac{n!}{(n-i)!i!} (1/N)^i (1-1/N)^{n-i}$$

Donde  $p(i)$  es la probabilidad de obtener  $i$  éxitos (apariciones en las fotografías) en  $n$  "ensayos" (fotoidentificaciones) independientes de Bernoulli, lo que genera la distribución binomial con parámetros  $n$  y  $1/N$ . Dado que el total de animales es  $N$ , el número esperado de ballenas que se identificarían  $i$  veces, está determinado por la relación:

$$Xi = Np(i)$$

es decir:

$$X_i = \frac{N_n!}{(n-i)!i!} \left(\frac{I}{N}\right)^i \left(1 - \frac{I}{N}\right)^{n-i}$$

Por medio de una iteración con los diferentes valores de  $i$ , se determinó el valor de  $X_i$  para diferentes valores  $N$  ( $N = Ne$ ). Con el método de la prueba de bondad de ajuste  $\chi^2$  se definió el valor de  $Ne$  bajo el siguiente criterio: para diferentes valores de  $Ne$  se obtuvo un valor de alejamiento a la distribución real de capturas mediante el cálculo de los "mínimos cuadrados" para todas las  $X_i$ . Los supuestos del modelo son los mismos de los estimadores clásicos.

#### Tasa de Aparición de Nuevos Individuos. (TANI)

Este estimador, propuesto también por Darling y Morowitz (1986), se basa en la construcción de la gráfica que representa la tasa de aparición de nuevos individuos; en la cual el eje de las abscisas representa el número de identificaciones y el eje de las ordenadas representa la cantidad de individuos diferentes. Si cada ballena identificada fuera "nueva", la grafica se elevaría en un ángulo de  $45^\circ$  y se construirá linealmente con una pendiente de 1. La tasa de aparición de ballenas nuevas es alta conforme se progresa en la identificación de la población; ésta decrece y la gráfica comienza a curvarse para finalmente ser horizontal o asintótica cuando todas las ballenas son identificadas. Al predecir en donde alcanzará la grafica la horizontal se obtiene una estimación del tamaño de la población.

En general, no es posible identificar en campo a todos los individuos, esto es, que se cumpla  $Y = N$ . Por ello, el valor de  $N$  tiene que calcularse con los datos existentes de  $X$  e  $Y$  mediante la siguiente fórmula:

$$Y = N \left[ 1 - \left( 1 - \frac{I}{N} \right)^x \right]$$

Donde  $X$  es el número de fotoidentificaciones,  $Y$  el número de individuos fotoidentificados (diferenciados) y  $N$  el tamaño de la población total equivalente en este caso a la abundancia local Guaymas ( $Ne$ ).

Al igual que en la ecuación de Bernoulli, se determinó el valor de  $N$  que corresponde a la cantidad de identificaciones e individuos diferentes al medir con la prueba de bondad de ajuste de los "mínimos cuadrados" la diferencia entre los resultados obtenidos y los datos reales

**APÉNDICE C.- MEJORES VALORES CALCULADOS DE  $\chi^2$  PARA  $N_e$  LOCAL CALCULADA CON LA DISTRIBUCIÓN DE BERNOULLI Y LA TANI. (Darling y Morowitz, 1986)**

Valores calculados de  $X_i$  de las distintas frecuencias de capturas y sus respectivos valores de  $\chi^2$  que mejor ajustaron a la  $N_e$  local estimada para Guaymas, Sonora con el estimador de Distribución de Bernoulli propuesto por Darling y Morowitz (1986)

Ne	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	$\chi^2(1)$	$\chi^2(2)$	$\chi^2(3)$	$\chi^2(4)$	$-\chi^2 Dc$	$-\chi^2 Dc/gl$
134	39.923	9.455	1.469	0.168	4.310	30.740	30.588	0.028	-65.668	-21.889

Valores calculados de  $\chi^2$  IDif de las distintas frecuencias de capturas y sus respectivos valores de  $\chi^2$  que mejor ajustaron a la  $N_e$  local estimada para Guaymas, Sonora con el estimador de la TANI propuesto por Darling y Morowitz (1986)

N	X Dif													$\chi^2$													$-\chi^2$ ld	$-\chi^2$ ld/gl
	1981	1982	1983	1987	1993	1995	1996	1999	2000	2001	2002	2004	2005	1981	1982	1983	1987	1993	1995	1996	1999	2000	2001	2002	2004	2005		
lds (x)	3	7	11	15	16	17	25	29	31	46	50	66	93															
Dif (y)	3	7	11	15	16	17	24	28	29	44	44	53	64															
134	2.978	6.845	10.599	14.241	15.135	16.022	22.884	26.164	27.768	39.058	41.860	52.267	67.233	0.000	0.024	0.161	0.576	0.748	0.957	1.245	3.370	1.519	24.426	4.578	0.537	10.453	48.595	-3.738