



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**DIETA DE LA BALLENA AZUL *Balaenoptera musculus* (CETACEA:  
BALAENOPTERIDAE) EN AGUAS ADYACENTES A LA PENÍNSULA DE  
BAJA CALIFORNIA, CON BASE EN EL ANÁLISIS DEL CONTENIDO FECAL**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**O C E A N Ó L O G O**  
**PRESENTA**  
**SANTIAGO JAVIER MEJÍA ACOSTA**

**ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, JUNIO DEL 2003**

**DIETA DE LA BALLENA AZUL *Balaenoptera musculus* (CETACEA:  
BALAENOPTERIDAE) EN AGUAS ADYACENTES A LA PENÍNSULA DE  
BAJA CALIFORNIA, CON BASE EN EL ANÁLISIS DEL CONTENIDO FECAL**


**T E S I S**


**QUE PRESENTA:**

**SANTIAGO JAVIER MEJÍA ACOSTA**

**Aprobada por:**

  
\_\_\_\_\_  
**Presidente del Jurado  
Dra. Diane Gendron Lanier**

  
\_\_\_\_\_  
**Sinodal Propietario  
Dra. Yolanda Schramm Urrutia**

  
\_\_\_\_\_  
**Sinodal Propietario  
M.C. Luis Enríquez Paredes**

  
\_\_\_\_\_  
**Sinodal Propietario  
Dra. Bertha Lavaniegos Espejo**

## RESUMEN

La ballena azul es una especie estenófaga que se alimenta activamente en el suroeste del Golfo de California, durante el periodo invierno-primavera. Para determinar el tamaño de las presas que constituyen su dieta, se analizaron 23 muestras de heces recolectadas entre 1998 y 2001. A partir de la identificación de las mandíbulas de eufáusidos encontradas en heces, se determinó que la dieta de la ballena azul está constituida en un 100% de larvas, juveniles y adultos del eufáusido *Nyctiphanes simplex*, con una longitud corporal promedio de 8.21mm. El tamaño de presa ingerida por las hembras con cría fue significativamente mayor al de hembras sin cría y machos ( $F = 3.17$ ,  $p < 0.05$ ,  $\alpha = 0.05$ ; Tukey,  $p < 0.05$ ). Posteriormente, se determinó que existe una diferencia significativa en las tallas de su presa con relación a los meses de recolecta de heces ( $F = 77.76$ ,  $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ), registrando las tallas mayores para feb-mar y las menores para mar-abr (Tukey  $p < 0.05$ ). Los resultados obtenidos sugieren que la presencia de las crías influye en el consumo de presas de mayor tamaño por parte de las hembras con cría, probablemente debido a los altos requerimientos energéticos de las hembras durante la lactancia. Este es el primer trabajo que reporta diferencias intra-específicas en la composición de la dieta de misticetos. Adicionalmente, se analizaron tres muestras de heces correspondientes a las regiones adyacentes a la Península de Baja California. A partir de las mandíbulas de eufáusidos de referencia en comparación con las encontradas en heces, se determinó que la dieta de la ballena azul está compuesta en un 100% de *N. simplex* en la Boca del Golfo y frente a San Quintín, BC., mientras que en la región fuera de la costa de Bahía Magdalena, la especie predominante fue *Euphausia eximia*.

**Palabras clave:** Ballena azul, *Balaenoptera musculus*, *Nyctiphanes simplex*, hábitos alimentarios, requerimientos energéticos, análisis de heces, *Euphausia eximia*.

**Diet of blue whale *Balaenoptera musculus* (CETACEA: BALAENOPTERIDAE)  
in the adjacent waters of the Baja California Peninsula,  
based on the fecal content analysis.**

**ABSTRACT**

The blue whale is a stenophagous species that feeds actively in the southwestern Gulf of California, during the winter-spring period. To determine the prey size that constitutes its diet, 23 fecal samples collected between 1998 and 2001, were analyzed. The identification of the euphausiid mandibles found in feces, revealed that blue whale diet was 100% constituted by larvae, juveniles and adults of the euphausiid *Nyctiphanes simplex*, with an average corporal length of 8.21 mm. The prey size consumed by lactating females was significantly larger than non-lactating females and solitary individuals ( $F = 3.17$ ,  $p < 0.05$ ,  $\alpha = 0.05$ ; Tukey,  $p < 0.05$ ). Subsequently, a significant difference was determined in its prey size among sampling months ( $F = 77.76$ ,  $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ; Tukey  $p < 0.05$ ), with largest sizes for feb/mar and smallest for mar/apr. These results suggest that the calves' presence influences in the larger prey sizes consumed by lactating females, probably due to the high energetic requirements of females during lactation. This is the first investigation that reports intra-specific differences in diet composition among mysticetes. Additionally, three fecal samples corresponding to the adjacent regions of the Baja California Peninsula, were analyzed. Based on the mandibles of the reference euphausiids in comparison with those found in feces, it was determined that blue whale diet is constituted in 100% of *N. simplex* at the Entrance of the Gulf and in front of San Quintín, BC., while in the offshore region of Bahía Magdalena, the dominant species was *Euphausia eximia*.

**Key words:** Blue whale, *Nyctiphanes simplex*, feeding habits, energetic requirements, fecal analysis, *Euphausia eximia*.

*No hay viento favorable,  
para aquel que no tiene a donde ir...  
(PAPÁ)*

## DEDICATORIA

*A mi hijo Andrés, por iluminar mi alma con su infinita paz, por brindarme su dulce inocencia y por hacerme llorar y sonreír mientras le escribo estas palabras... por ser la personita que más amo en el mundo!!*

*A mis padres, Jorge y Cumandá, por caminar siempre junto a mí, ilustrándome con todo el amor del mundo para ser un hombre con una mente despierta y un corazón íntegro, y por deleitarme con su inmensa sabiduría para volar feliz. Los amo...!!*

*A mis hermanos, Andrés y Christian, por compartir conmigo una exquisita fusión de logros, aventuras, tristezas, enseñanzas y travesuras... y por ese amor que hace de nuestra hermandad, única.*

*A toda mi familia en Ecuador, mi país, y muy en especial a mi abuelita Inés por el amor y fe en sus oraciones, y a mi abuelito Víctor en recompensa por no haber disfrutado lo suficiente de su bella compañía.*

*A las chiquillas azules... por existir!!*

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a la Dra. Diane Gendron por haberme impulsado hacia la realización de este trabajo, compartiendo de manera generosa su conocimiento, experiencia y amistad, además de contagiarme esa pasión dedicada al trabajo de campo.

A mis asesores, Dra. Yolanda Schramm, M.C. Luis Enríquez y Dra. Bertha Lavaniegos, por la motivación continua para mejorar y complementar acertadamente este proyecto.

Al M.C. Jorge del Ángel, por asesorarme pacientemente en técnicas de laboratorio y por compartir resultados preliminares de su tesis doctoral.

Al Dr. Unai Markaida, M.C. Guillermo Ortuño y M.C. Dora Waumann, por su disposición y ayuda en la identificación de peces y zooplancton.

A Claudia Siqueiros, Carolina Cavazos y Rodrigo Gómez, por su ayuda con las fotografías de campo y laboratorio, y al Dr. Eugenio Carpizo por permitir amablemente el uso del microscopio para las imágenes digitales de las mandíbulas de eufáusidos.

Al Dr. Luis Pastene y al Dr. Jaime Gómez, por su gentileza y disposición para enviarme útiles publicaciones, y a la Dra. Lavaniegos y Dra. Roxana de Silva por haberme proporcionado organismos de referencia, además de interesantes aportaciones.

A mis compañeros del Laboratorio de Mamíferos Marinos del CICIMAR por su disposición y por aguantar amigablemente esos “singulares aromas” durante mi trabajo de filtración de muestras; y los del Laboratorio de Zooplancton del CICESE por todo su apoyo y por seguirme el paso con mi pasión por la música.

A Adrián Munguía, Sergio Flores, Maité, Rosalva e Israel, por su excelente hospitalidad durante mis estancias en La Paz, aparte de una muy buena amistad y litros de helado...

A mis amigos y compañeros de las navegaciones en búsqueda de las señoritas azules: Diana, Iliana, Evelin, Jorge, Martín, “el Tío” y otros, por haber compartido tantos aprendizajes e instantes extraordinarios, y en especial a Ciro y Zamarrón, por hacer de cada situación una anécdota difícil de olvidar.

A la Facultad de Ciencias Marinas, por mi formación con el estilo único que sólo “en marinas” existe.

A todos los socios y voluntarios de *Investigación y Conservación de Mamíferos Marinos de Ensenada* por su apoyo, los buenos comentarios y su divertida amistad.

A Myrnah, por demostrarme su fuerza y convicción para ser una excelente mamita, dándole todo el amor incondicional a nuestro Andrés.

A mis sobrinas Fionna, Ximena y Antonia, por ser tan bellas y porque a la distancia, cada recuerdo suyo es una ilusión para mí. Y también a sus mamitas, Raquel y Jane por esos muy buenos momentos y porque con el apoyo, “no hay falla”!

Para agradecer a TODOS mis amigos y amigas... Uy!!, tendría que mencionar desde mis “brothers” que no hace falta dar nombres, a los más prendidos para los días de sol y fiesta, a los no tan allegados pero que siempre es bueno llegar y saludar sonriendo, a los que no viven cerca, pero lo están... y sinceramente me tomaría mucho tiempo; pero les agradezco por mantenerme siempre vivo y motivado, y por convertir esos simples momentos en memorias irremplazables.

Y finalmente, al “Pipo”, por su *fiel* compañía hasta en los días de máximo estrés para lograr este proyecto...

## ÍNDICE

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
<b>4. ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>11</b>
4.1. Suroeste del Golfo de California.....	11
4.2. Regiones adyacentes a la Península de Baja California.....	13
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
5.1. Trabajo de campo.....	17
5.2. Muestras de heces de la región suroeste del Golfo de California.....	18
5.2.1. Proceso de filtración.....	18
5.2.2. Análisis en microscopio.....	18
5.2.3. Agrupación de las muestras.....	22
5.3. Muestras de heces de las regiones adyacentes a la Península de Baja California.....	23
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
6.1. Muestras de heces de la región suroeste del Golfo de California.....	25
6.1.1. Selección de presa por las hembras con cría e individuos solitarios.....	28
6.1.2. Selección de presa por las hembras con cría, hembras sin cría y machos.....	30
6.1.3. Variación mensual en las tallas de presa.....	32
6.2. Muestras de heces de las regiones adyacentes a la Península de Baja California.....	34
<b>7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
7.1. Análisis fecal.....	37
7.2. Región suroeste del Golfo de California.....	38
7.2.1. Especie dominante: <i>Nyctiphanes simplex</i> .....	39
7.2.2. Selección de presa por las hembras con cría e individuos solitarios.....	41
7.2.3. Selección de presa por las hembras con cría, hembras sin cría y machos.....	44
7.2.4. Variación mensual en las tallas de presa.....	45
7.3. Presa en las regiones adyacentes a la Península de Baja California.....	46
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Ubicación del suroeste del Golfo de California, región donde se concentró el mayor esfuerzo de recolecta de heces de ballena azul.....	12
<b>Figura 2.</b> Ubicación de las tres regiones (Boca del Golfo, Bahía Magdalena y San Quintín) que corresponden a las aguas adyacentes a la Península de Baja California. Los círculos indican las zonas de recolecta de heces de ballena azul.....	14
<b>Figura 3.</b> Mandíbula izquierda de <i>Nyctiphanes simplex</i> extraída de muestras de heces de ballena azul, colectadas en el suroeste del Golfo de California. Se indica <i>a)</i> inserción mandibular; <i>b)</i> dientes incisivos, y; <i>c)</i> par molaris.....	21
<b>Figura 4.</b> Ubicación de los sitios de recolecta de heces de ballena azul en el suroeste del Golfo de California.....	26
<b>Figura 5.</b> Número de individuos encontrados en la muestra (total), porcentaje de abundancia relativa (AR) y porcentaje de ocurrencia (Oc) de cada elemento mayor con relación al resto, en muestras de heces de ballena azul correspondientes al suroeste del Golfo de California.....	27
<b>Figura 6.</b> Distribución total de las tallas del eufáusido <i>Nyctiphanes simplex</i> , encontradas en heces de ballena azul a lo largo del período de estudio en el suroeste del Golfo de California.....	28
<b>Figura 7.</b> Sitios de recolecta de heces de hembras con cría (círculos) e individuos solitarios (cruces) de ballena azul.....	29
<b>Figura 8.</b> Promedio total de las tallas de <i>N. simplex</i> consumidas por hembras con cría (n = 799) e individuos solitarios (n = 3770) de ballena azul..... Las barras denotan un intervalo de confianza del 95%	30
<b>Figura 9.</b> Sitios de recolecta de heces de hembras con cría (círculos), hembras sin cría (♀) y machos (♂) de ballena azul. Dentro del círculo se superponen dos ♀ y dos ♂.....	31
<b>Figura 10.</b> Promedio total de las tallas de <i>N. simplex</i> consumidas por hembras con cría (n = 799), hembras sin cría (n = 792) y machos (n = 1148) de ballena azul. Las barras denotan un intervalo de confianza del 95%.....	32

<b>Figura 11.</b> Sitios de recolecta de heces de ballena azul durante ene-feb (cruces), feb-mar (estrellas) y mar-abr (círculos).....	33
<b>Figura 12.</b> Promedio total de las tallas de <i>N. simplex</i> consumidas por la ballena azul durante ene-feb (n = 1400), feb-mar (n = 1648) y mar-abr (n = 1399). Las barras denotan un intervalo de confianza del 95%.....	34
<b>Figura 13.</b> Sitios de recolecta de heces de ballena azul (cruces) en las regiones adyacentes a la Península de Baja California.....	35

## ANEXOS

**Anexo 1.** Bitácora de campo para avistamientos de cetáceos en general.

**Anexo 2.** Bitácora de campo con formato específico para ballena azul.

**Anexo 3.** Imágenes digitales de mandíbulas de los eufáusidos que se presentan con mayor abundancia en las aguas adyacentes de la Península de Baja California. La línea de referencia representa 0.5 mm.

**Anexo 4.** Muestras de heces de ballena azul recolectadas en el suroeste del Golfo de California durante 1998-2001. Para cada una se indica la fecha de recolecta, la localización geográfica, el grupo de ballena al que pertenece, el periodo de recolecta y la talla promedio del eufáusido ingerido.

**Anexo 5.** Fecha, localización geográfica y las especies probables en las muestras de heces de ballena azul recolectadas en tres zonas adyacentes a la Península de Baja California. Las abreviaturas indican: *Nyctiphanes simplex* (Ns), *Nematoscelis difficilis* (Nd), *Nematoscelis gracilis* (Ng), *Euphausia eximia* (Ee), *E. gibboides* (Eg), *E. hemigibba* (Eh), *E. distinguenda* (Ed), *Thysanoessa gregaria* (Tg), *Nematobrachion flexipes* (Nf) y *Stylocheiron affine* (Sa).

**Anexo 6.** Distribución de tallas (mm) de *Nyctiphanes simplex* de cada muestra de heces de ballena azul correspondiente al suroeste del Golfo de California.

## 1. INTRODUCCIÓN

La distribución, el éxito reproductivo y las adaptaciones anatómicas y fisiológicas tanto de la fauna terrestre como marina, están directa o indirectamente relacionados con la alimentación por ser la base fundamental para la supervivencia.

En el ecosistema oceánico, los mamíferos marinos se encuentran en los eslabones superiores de la red trófica, por lo cual muchos de ellos son considerados depredadores tope de tal manera que pueden reflejar el estado de salud de los eslabones inferiores y del ecosistema en general, además de ser indicadores indirectos de la productividad del mismo. Las condiciones oceanográficas como eventos de surgencia, frentes oceánicos y termoclinas en determinada región, influyen para que ocurran cambios en la abundancia y distribución de las presas de los mamíferos marinos. Esto es de gran importancia para determinar la distribución, abundancia, comportamiento, reproducción y éxito de forrajeo de estos organismos (Croll *et al.*, 1998).

Las ballenas se agregan principalmente en regiones oceánicas altamente productivas como son las surgencias y los remolinos donde se alimentan de grandes concentraciones de sus presas (Gaskin, 1982). No obstante, el consumo diario depende de factores como la disponibilidad de alimento, la tasa de digestión y los requerimientos energéticos (Lockyer, 1981).

Los eufáusidos son el principal alimento de las ballenas y representan uno de los principales componentes del zooplancton. Su distribución se debe tanto al comportamiento con relación a su migración vertical, como al acarreo de las corrientes, por lo que están asociados a cambios en la circulación oceánica (U.S. GLOBEC, 1994). La importancia de estos crustáceos radica en la transferencia de energía de menores a mayores niveles tróficos, tanto en regiones costeras como oceánicas. Representan un importante aporte energético para las ballenas debido a su alto contenido de proteínas,

carbohidratos y lípidos ricos en ácidos grasos insaturados (Van-Der-Veen *et al.*, 1971, en Del-Ángel-Rodríguez, 1997).

En términos generales, los movimientos migratorios estacionales que realizan los misticetos (Orden Mysticeti), tienen un patrón más definido que aquellos realizados por los odontocetos (Orden Odontoceti). Dichos patrones migratorios permiten que estos filtro-alimentadores puedan explotar la intensa productividad de las aguas en latitudes altas, así como reproducirse en aguas relativamente más cálidas y, por lo general, con menor productividad (Gaskin, 1982).

Sin embargo, Gendron (2002) sugiere que el movimiento migratorio de la ballena azul está asociado a los cambios estacionales de la intensa productividad marina entre el Golfo de California, la costa oeste de la Península de Baja California y California, y que sigue alimentándose en las distintas áreas, en contraste con el concepto migratorio entre las zonas de alimentación durante el verano y no-alimentación durante el invierno.

El Golfo de California presenta niveles muy altos de productividad primaria (Zeitzschel, 1969) y está considerado como una importante zona de invernación para la ballena azul, ya que durante el invierno y principios de primavera utiliza esta zona para la crianza (Yochem y Leatherwood, 1985; Sears, 1987; Gendron, 1990). A pesar de que no se ha reportado un comportamiento reproductivo, esta área es la única zona de crianza conocida (Gendron, 2002). Además, el golfo representa una importante zona de alimentación para la ballena azul (Gendron, 1990; Del-Ángel-Rodríguez, 1997), y en particular para las hembras con cría durante el invierno y primavera (Gendron, 2002) debido a la alta disponibilidad de eufáusidos (Brinton y Townsend, 1980; Lavaniegos-Espejo *et al.* 1989; Gendron 1990) que ocurre en esta temporada.

Debido a la creciente actividad turística en el Golfo de California y al tráfico de embarcaciones, tanto de observación de mamíferos marinos como de pesca, es probable

que a mediano o largo plazo la ballena azul sufra un desplazamiento de sus zonas de alimentación y reproducción. Dicho desplazamiento causaría perturbación y estrés en las crías principalmente, por lo que se sugiere tomar en consideración la importancia de esta región para la ballena azul y realizar un mayor esfuerzo en su conservación.

En cuanto a los estudios de las diferencias dietéticas por edades y sexos, tienen su origen en el concepto de diferenciación ecológica como un factor que puede reducir la competencia intra-específica (Darwin, 1871, en Beier, 1987). Se han investigado los hábitos alimentarios de diferentes especies de misticetos (Nemoto, 1959; Kawamura, 1980; Lockyer, 1981; Ichii y Kato, 1991; Fiedler *et al.*, 1998; Croll *et al.*, 1998). A pesar de ello, no se han reportado estudios que establezcan diferencias alimentarias entre sexos. Por esta razón, el presente trabajo se propone determinar la dieta de la ballena azul a partir del análisis del contenido en heces, para establecer si existen diferencias intra-específicas y entre meses de muestreo en la región suroeste del Golfo de California. Adicionalmente, se analizarán las muestras de heces recolectadas en las regiones adyacentes a la Península de Baja California, para tener un primer acercamiento de la composición de su dieta.

## 2. ANTECEDENTES

La ballena azul (*Balaenoptera musculus* Linnaeus, 1758) es el animal más grande que existe. Puede alcanzar una longitud de 30.5 m (Leatherwood *et al.*, 1983) y un peso aproximado de 172 toneladas (Yochem y Leatherwood, 1985). Pertenece a la Familia Balaenopteridae, la cual esta representada por seis especies. A este grupo de ballenas se las conoce como rorcuales, caracterizados por presentar una serie de pliegues ventrales, capaces de expandirse considerablemente para ingerir un gran volumen de agua y así poder filtrar su alimento.

La ballena azul se encuentra en todos los océanos del mundo (Yochem y Leatherwood, 1985). En el Pacífico nororiental, Calambokidis *et al.* (1990) reportaron avistamientos fuera de la costa del Golfo de Farallones, California, entre septiembre y octubre. Frente a la costa occidental de la Península de Baja California, la ballena azul se distribuye sobre la plataforma continental durante la mayor parte del año; su mayor abundancia ocurre entre los 50 y 120 km fuera de la costa de Bahía Magdalena y Cabo San Lucas (Gendron, 2002). Se encuentra también durante todo el año en una importante área de surgencias conocida como el Domo de Costa Rica (9°N, 89°W), la cual podría considerarse como una de las zonas de invernación para esta especie (Reilly y Thayer 1990; Mate *et al.*, 1999; Stafford *et al.*, 1999). Así mismo se han reportado avistamientos en la región de las Islas Galápagos, Ecuador (Reilly y Thayer, 1990; Palacios, 1999). Diversos estudios han reportado la presencia de la ballena azul en el Golfo de California, con mayor abundancia en la región suroccidental durante parte del invierno y primavera (Sears, 1987; Gendron, 1993; Del-Ángel-Rodríguez, 1997; Gendron, 2002).

La ballena azul es el más selectivo de los mysticetos en cuanto a alimentación y está considerada como una especie estenófaga (Nemoto, 1957; Gaskin, 1982). Su tipo de alimentación se conoce como engolfamiento, es decir nada hacia su presa y girando

rápidamente sobre su dorso, ingiere grandes concentraciones de alimento y agua para almacenarlas por un momento en su boca y región ventral extendida. Posteriormente, por medio de un movimiento de la lengua y contracción muscular, expulsa el agua y su presa queda retenida en las barbas para ser tragada (Nemoto, 1973; Pivorunas, 1979; Kawamura, 1980). Generalmente esta ballena se encuentra sola o formando pares (Leatherwood *et al.*, 1982; Sears, 1984), pero cuando se alimenta, forma agregaciones mayores aunque dispersas (Gendron, 2002). Se sugiere que puede comer entre dos y cuatro toneladas diarias (Yochem y Leatherwood, 1985). Los análisis de contenido estomacal revelan que la actividad alimentaria es alta durante las primeras horas de la mañana, baja durante el día y se incrementa nuevamente al final del día (Nemoto, 1959), lo cual coincide con la migración vertical de su presa (Nemoto, 1957).

En el Pacífico Norte, la ballena azul se alimenta casi exclusivamente de eufáusidos: *Thysanoessa inermis*, *T. longipes* y *Nematoscelis difficilis*, y eventualmente de algunos copépodos (Nemoto, 1957, 1959; Kawamura, 1980). En las aguas adyacentes a la Península de Baja California, Gendron (2002) distinguió cuatro zonas de alimentación: el norte del Golfo de California (primavera), entre La Paz y Loreto (invierno y primavera), la región adyacente a Bahía Magdalena (primavera) y la porción norte de la costa occidental de la Península de Baja California (verano).

En el Golfo de California, la ballena azul se alimenta principalmente de *Nyctiphanes simplex*, el cual se describe como el eufáusido más abundante durante todo el año en las aguas costeras del Pacífico tropical oriental (Brinton y Townsend, 1980). De las 13 especies de eufáusidos que habitan el Golfo de California, la abundancia máxima y el pico de reproducción de las dos especies dominantes, *N. simplex* y *N. difficilis*, ocurre entre febrero y abril (Brinton y Townsend, 1980). A partir de arrastres oblicuos, Gendron (1990) encontró que dichos crustáceos proporcionan entre el 5 y 7% de la biomasa total de zooplancton en esta región.

La migración vertical diurna de *N. simplex* es relativamente corta (150 m) y los límites de su movimiento varían en función de factores como la profundidad de la termoclina, la capa mínima de oxígeno y la incidencia de luz (Brinton, 1967a). Lavaniegos-Espejo (1996) encontró que en el golfo central, las larvas tardías de furcilia y juveniles se distribuían principalmente en los primeros 50 m durante la noche, descendiendo hasta cerca de los 200 m durante el día, mientras que la máxima abundancia de los adultos ocurrió entre los 30 y 60 m durante la noche y entre 135 y 270 m durante el día.

Además de la migración vertical, los eufáusidos realizan agregaciones superficiales diurnas, el cual es un comportamiento que ocurre de forma impredecible y principalmente en aguas costeras, y va frecuentemente acompañado por diferentes depredadores como peces, aves marinas y ballenas (Komaki, 1967). Este autor propone cuatro hipótesis para explicarlo, siendo la más aceptada la que se relaciona con la reproducción de la especie. De las 18 especies que realizan este comportamiento (Mauchline, 1980), *N. simplex* es la única que se ha observado formando agregaciones superficiales en el Golfo de California (Steinbeck y Ricketts, 1941; Brinton *et al.* 2000), lo cual ha dado lugar a distintos estudios como el análisis de su estructura poblacional (Gendron, 1992), así como su relación con la distribución y actividad alimentaria de la ballena azul, principalmente en la región entre Loreto y la Bahía de La Paz, BCS (Sears, 1987; Gendron, 1990). Algunas especies de misticetos se benefician de las agregaciones superficiales, ya que están compuestas de altas concentraciones de alimento disponible en un mismo punto en superficie. Gendron (1990) estimó que éstas se pueden extender unos 30 m de diámetro y 40 m de espesor, y alcanzar una biomasa de  $44.7 \text{ L/m}^3$ .

La ballena azul es capaz de detectar densas capas de eufáusidos a diferentes profundidades. Con el uso de técnicas acústicas (ecosonda) y arrastres, Schoenherr (1991) relacionó la presencia de la ballena azul con densas capas (1-2 km horizontales y 130-150 m verticales) de *T. spinifera* y *Euphausia pacifica* en el Cañón Submarino de

Monterey, California. Esto coincide con el mayor esfuerzo de forrajeo sobre las capas más densas de estas mismas especies observado en las Channel Islands, California (Croll *et al.*, 1998). En California y en el suroeste del Golfo de California, Croll *et al.* (2001) determinaron por medio de sensores de tiempo y profundidad que la ballena azul bucea hasta 140 m en promedio cuando se alimenta de las capas profundas de eufáusidos, y al igual que el rorcual común *Balaenoptera physalus*, se alimenta principalmente en la profundidad más que en superficie.

Durante la época de la caza de ballenas, se obtuvieron valiosa información sobre su alimentación a partir del análisis estomacal de estos animales de vida pelágica (Nemoto, 1973). En la actualidad existen diferentes técnicas no-invasivas para conocer su dieta, siendo la más convencional, práctica y disponible, la del análisis del contenido en heces. Con relación a la ballena azul, la literatura relacionada con dicho análisis es limitada. Fiedler *et al.* (1998), con base en el método descrito por Kieckhefer (1992), encontraron que en las Channel Islands, California, la ballena azul se alimenta de *E. pacifica* y *T. spinifera*. Estos resultados concuerdan con lo determinado por Croll *et al.* (1998), quienes a partir de arrastres oblicuos y análisis de heces, relacionaron la distribución de esta ballena con altas concentraciones de eufáusidos en la misma región. En el suroeste del Golfo de California, Del-Ángel-Rodríguez (1997) comparó por medio del análisis de heces las preferencias alimentarias de la ballena azul y el rorcual común, y concluyó que la dieta de ambas especies está constituida por organismos juveniles y adultos de *N. simplex*; además, analizó si existen cambios en la composición de las tallas de presa a lo largo de la temporada.

Generalmente las estructuras residuales más fuertes de la mayoría de los animales, son las que conforman el aparato bucal como dientes, picos, etc. En el caso de los eufáusidos, las estructuras más duras y completas después de atravesar el tracto digestivo y los ácidos gástricos de la ballena, así como su preservación en etanol, fueron las mandíbulas. Mauchline (1967) determinó que a partir de ciertas diferencias

morfológicas observadas en los apéndices alimentarios de los eufáusidos, es posible identificarlos a nivel de especie; sin embargo, son escasos los trabajos que ilustran la morfología general de las mandíbulas (Lagardère, 1972; Dalley y McClatchie, 1989; Kieckhefer, 1992; Del-Ángel-Rodríguez, 1997), por lo que no existe una clave dicotómica establecida de identificación.

Las diferencias morfológicas mencionadas anteriormente, son un ejemplo de adaptación a los distintos hábitos alimentarios que exhiben los animales de acuerdo con el uso diferencial del área y su relación con las presas, lo que ha dado lugar a diversos estudios. Con relación a los ungulados\*, Shank (1982) encontró diferencias en la dieta de la oveja *Ovis canadensis* con relación a edad-sexo. McCullough (1979) sugirió que la segregación entre sexos del venado cola blanca *Odocoileus virginianus*, se basa en la habilidad de los machos para subsistir bajo dietas de menor calidad. Adicionalmente, Beier (1987) determinó la calidad nutricional de éstas, utilizando el nitrógeno fecal como índice y encontró que las hembras de venado cola blanca no sólo tienen la capacidad de seleccionar una dieta de mejor calidad que los machos, sino que además tienen la habilidad para forrajear en áreas con mejores oportunidades de alimento (Staines *et al.*, 1982; Beier, 1987).

Con relación a mamíferos marinos, existen pocos estudios sobre diferenciación de hábitos alimentarios entre sexos. Kvittek *et al.* (1993) sugieren que los machos de la nutria marina *Enhydra lutris* realizan buceos más prolongados que las hembras para conseguir sus presas. Boyd *et al.* (1998) encontraron que el forrajeo más intensivo por parte de las hembras de lobo fino *Arctocephalus gazella*, está asociado a una región limitada en la plataforma continental, debido a la necesidad de regresar con sus crías en tierra. Fisher y Stewart (1997) analizaron el contenido estomacal de la morsa *Odobenus rosmarus* y concluyeron que el aprovechamiento de la energía total en su dieta, es

---

\* Existen evidencias de que los ungulados están cercanamente emparentados con los cetáceos, mismos que sufrieron una transformación evolutiva hasta su adaptación al medio acuático (Berta y Sumich, 1999).

significativamente mayor en hembras que en machos. Best (1999) encontró que los machos adultos de cachalote *Physeter macrocephalus* consumen una mayor proporción de peces bentónicos y cefalópodos de mayor tamaño que las hembras debido a sus buceos más profundos.

Debido al alto costo energético que requieren las hembras de ballena azul para la lactancia de sus crías, así como la habilidad del resto de los individuos para forrajear en diferentes profundidades, en el presente trabajo se propone la posibilidad de que exista una diferencia en el tamaño de presa consumida por ambos grupos, además de cambios en la composición de tamaños de presa a lo largo de la temporada durante parte del invierno y primavera en la región suroeste del Golfo de California.

### **3. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar la dieta de la ballena azul en aguas adyacentes a la Península de Baja California, a partir del análisis del contenido en heces.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Determinar si existen diferencias en la talla y/o tipo de presa consumida por hembras con cría e individuos solitarios en el suroeste del Golfo de California.
- Determinar si existen diferencias en la talla y/o tipo de presa consumida por hembras con cría, hembras sin cría y machos.
- Analizar la variabilidad estacional en la talla de las presas consumidas
- Explorar la composición de la dieta de ballena azul en tres regiones adyacentes a la Península de Baja California.

#### 4. ÁREA DE ESTUDIO

Debido a que en el presente trabajo se desarrollaron dos diferentes tipos de análisis de las muestras de heces de ballena azul en función de las zonas de recolecta, fue necesario subdividir al área de estudio de la siguiente manera:

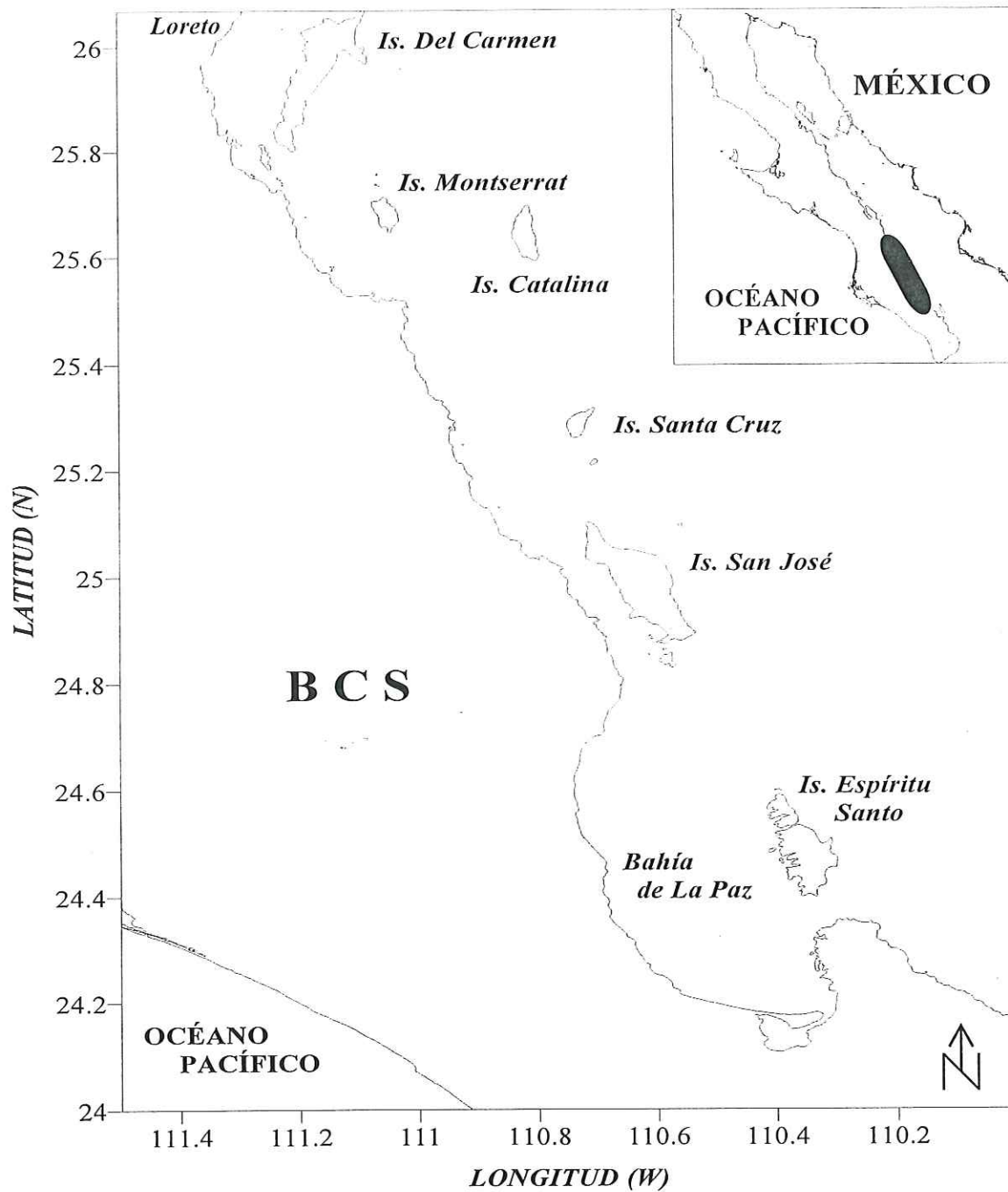
##### 4.1. Suroeste del Golfo de California.-

La región seleccionada en el suroeste del Golfo de California está localizada entre los 24°10'N, 110°20'W y los 26°00'N, 111°30'W, y comprende la zona costera desde la Isla del Carmen hasta la Bahía de La Paz, BCS (*Fig.1*). Es una franja paralela a la línea de costa de aproximadamente 170 km de longitud, con orientación noroeste-sureste.

Es una región subtropical con clima de carácter más continental que el de la vecina Corriente de California (Bernal *et al.*, 2001); exhibe un ambiente seco y cálido. La temperatura superficial del mar (TSM), alcanza sus valores mínimos anuales entre 20° y 23°C durante los meses de invierno, mientras que para verano, se registra una TSM entre los 26° y 29°C (Gendron, 1990; Bernal *et al.*, 2001).

Los vientos predominantes son del noroeste durante el invierno y principios de la primavera, mientras que en verano los vientos provienen del sur con menor intensidad. Dependiendo de la intensidad y duración del viento, se provocan corrientes estacionales paralelas a la costa con dirección sureste, a una velocidad aproximada de 15cm/s. (López-Espinosa, 1996). Las mareas son de tipo semidiurno.

Un centro de alta presión ubicado al NW del golfo, genera intensos vientos que lo atraviesan longitudinalmente, produciendo las surgencias más importantes del Golfo de California durante el invierno (Bernal *et al.*, 2001) principalmente en las costas de



**Figura 1.** Ubicación del suroeste del Golfo de California, región donde se concentró el mayor esfuerzo de recolecta de heces de ballena azul.

Sinaloa y Sonora, mientras que los vientos del sureste producen surgencias de baja intensidad durante el verano a lo largo de la costa peninsular del Golfo de California (Álvarez-Borrego, 1983; Badan-Dagón *et al.* 1985). La concentración de pigmentos fotosintéticos durante el invierno es alta en todo el golfo ( $10 \text{ mg m}^{-3}$ ). En la región central y sur del golfo, esta concentración es mayor hacia la costa oriental que la costa occidental (Santamaría-Del-Ángel *et al.*, 1994). Sin embargo, se puede observar un importante transporte de las aguas de surgencia hacia la costa occidental durante el invierno y primavera (Badan-Dagón *et al.*, 1985; Santamaría-Del-Ángel *et al.*, 1994).

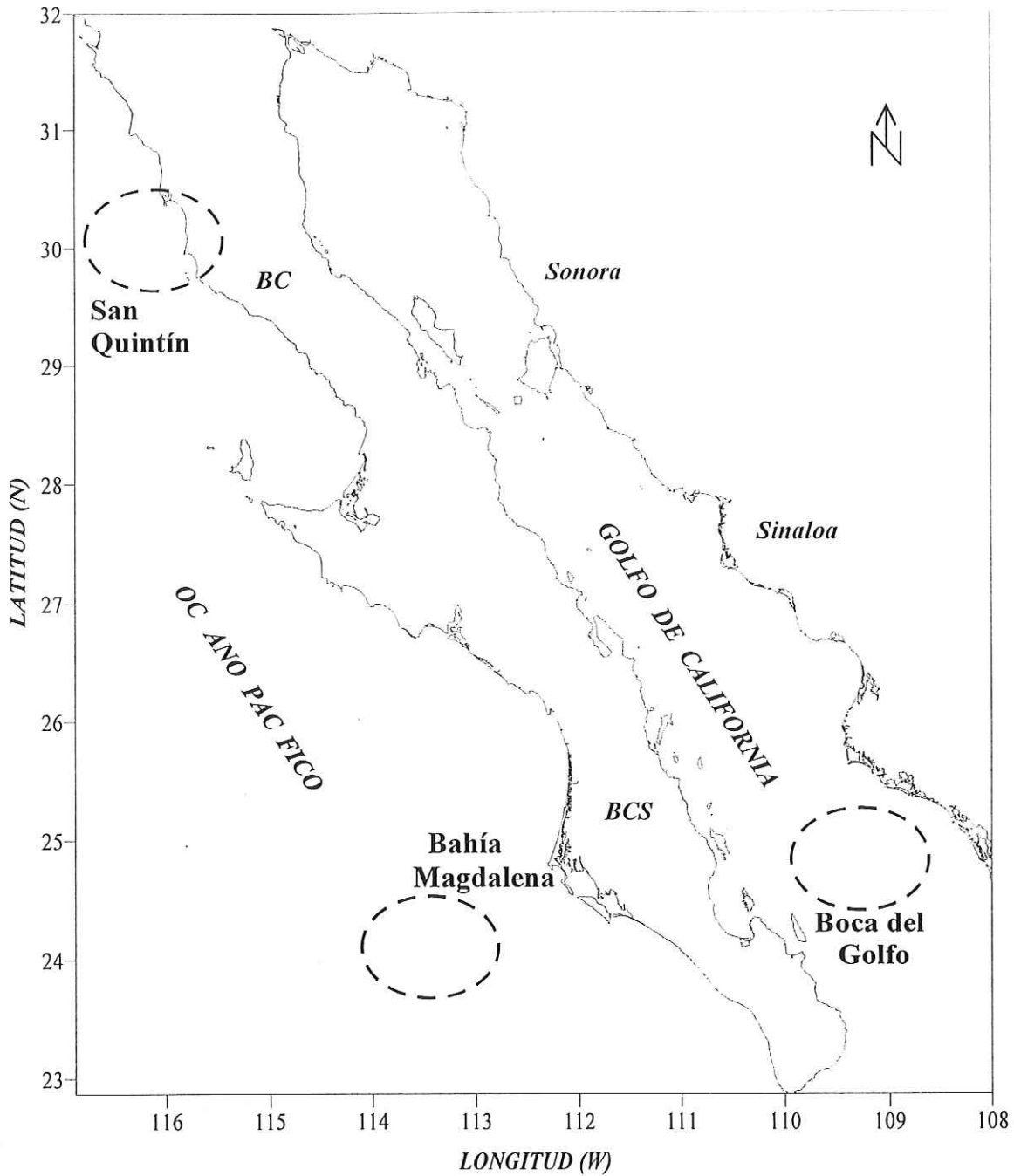
#### **4.2. Regiones adyacentes a la Península de Baja California.-**

##### ***Boca del Golfo de California***

La Boca del Golfo de California se localiza alrededor de los  $24^{\circ}\text{N}$  y  $108^{\circ}30'\text{W}$  (*Fig. 2*) y está en comunicación abierta con el Océano Pacífico tropical. La entrada del golfo tiene una anchura de 200 km y cuencas cuya profundidad excede los 3000 m (Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979). Santamaría-Del-Ángel *et al.* (1994) consideran a esta zona como la más oceánica y oligotrófica del golfo.

La estructura hidrográfica en la boca del Golfo es complicada debido a la confluencia de diferentes masas de agua. Se distinguen tres masas de agua superficiales: Agua de la Corriente de California (ACC), Agua Superficial del Pacífico Tropical Oriental (AST) y el Agua del Golfo de California (AGC) y tres masas de agua subsuperficiales (Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979; Torres-Orozco, 1993; Castro *et al.*, 2000).

Los vientos en esta región provienen del noroeste durante los meses de invierno, mientras que en verano predominan los vientos del sureste con menor intensidad (Douglas *et al.*, 1993). El flujo de agua superficial es hacia el interior del golfo a lo largo de la costa de Sinaloa, mientras que el flujo hacia el exterior ocurre a lo largo de la costa oriental de la península (Álvarez-Sánchez *et al.*, 1978; Castro *et al.*, 2000).



**Figura 2.** Ubicación de las tres regiones (Boca del Golfo, Bahía Magdalena y San Quintín) que corresponden a las aguas adyacentes a la Península de Baja California. Los círculos indican las zonas de recolecta de heces de ballena azul.

La TSM es de 21°C en invierno y 29°C en verano, mientras que la salinidad superficial fluctúa entre los 34.8 y 35.0 ppm (Castro *et al.*, 2000). La concentración de pigmentos fotosintéticos en la entrada del golfo es muy baja ( $< 1 \text{ mg m}^{-3}$ ), especialmente en el centro y en la costa oeste de la boca (Santamaría-Del-Ángel *et al.*, 1994).

### ***Bahía Magdalena***

La Bahía Magdalena se localiza en la costa occidental de Baja California Sur, alrededor de los 24°45'N y 112°00'W (**Fig.2**). El sitio donde se recolectó la muestra de heces correspondiente a esta zona se encuentra a unos 180 km fuera de la costa. Según Douglas (1980, en Gómez-Gutiérrez, 1996), el área oceánica frente a Bahía Magdalena corresponde a la región con los más fuertes gradientes latitudinales en variables físicas y químicas de toda la costa occidental de América del Norte.

A lo largo de esta zona atraviesa la Corriente de California, la cual es una corriente superficial de naturaleza geostrofica que transporta agua con flujo lento hacia la región ecuatorial durante todo el año; tiene unos 1000 km de ancho y 400 m de profundidad (Schwartzlose y Reid, 1972; Lynn y Simpson, 1987). Se caracteriza por una baja temperatura, baja salinidad y alta concentración de oxígeno disuelto (Lynn y Simpson, 1987). Según Pavlova (1966, en De-La-Lanza, 1991), esta corriente alcanza su máximo desarrollo entre los 25° y 30°N durante la primavera y principios del verano, y empieza a desviarse significativamente hacia el oeste, al sur de Punta Eugenia (28°N).

Debido a que existen distintos procesos físicos y biológicos a lo largo de la trayectoria de la Corriente de California, U.S. GLOBEC (1994) la divide en cuatro regiones, siendo la región IV la correspondiente a Baja California centro-sur (23° - 30°N). La composición zooplanctónica en esta región, está formada por una mezcla de especies correspondientes a la Zona de Transición con especies de la fauna ecuatorial y del Pacífico Tropical Oriental (U.S. GLOBEC, 1994). Ya que en esta región existe una

extensión de la zona de convergencia a la costa (Bakun y Nelson, 1975), existe un aporte continuo de nutrientes y productividad biológica (Lavaniegos *et al.*, 1998).

La TSM varía estacional e interanualmente. En el sitio de recolecta de heces del presente estudio fluctuó entre los 19° y 22°C durante el verano (Gendron, no publicado). En esta región predominan los vientos del norte durante todo el año, pero son particularmente intensos en el verano, causando importantes surgencias. Aparentemente, éstas presentan su máximo desarrollo al sur de los 30°N entre marzo y junio (Bakun y Nelson, 1975; Parrish *et al.*, 1981, en U.S. GLOBEC, 1994), lo cual coincide con los valores máximos de la biomasa zooplanctónica durante primavera y verano ( $>100 \text{ ml } 1000 \text{ m}^{-3}$ ) (Gómez-Gutiérrez, 1996; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1996; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 1998). También se ha reportado la posibilidad del efecto de un giro oceánico de mesoescala (eddies) para esta zona (Cromwell y Reid, 1956; Reid *et al.*, 1958).

### ***San Quintín***

La región de San Quintín se localizó frente a la costa occidental de Baja California, alrededor de los 30°20'N y 116°10'W (**Fig. 2**). Esta dentro de la zona subtropical pero corresponde a una región diferente (Región III de la clasificación GLOBEC), la cual está comprendida entre Punta Concepción (35°N) y Punta Baja (30°N). Es la zona de mínimo forzamiento de viento del sistema de la Corriente de California y menor actividad de surgencias. La topografía de costa y múltiples islas de la Cuenca del Sur de California, hacen que exista una fuerte recirculación local. Durante la mayor parte del año, la corriente forma un meandro de retorno hacia la costa de Baja California norte (U.S. GLOBEC, 1994).

La TSM en la región fluctúa entre 12° y 15°C en invierno y 16° y 18°C durante el verano (De-La-Lanza, 1991), aunque pueden descender más que en el invierno cuando se presentan surgencias costeras más intensas (Gómez-Gutiérrez y Vélez, 1982). La salinidad en la zona externa adyacente a la boca de la bahía es de 33.45 ppm.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Trabajo de campo.-

Las salidas al campo se realizaron entre enero y abril del periodo 1998 - 2001 en la región suroeste del Golfo de California, como parte del Proyecto de Investigación sobre Ballena Azul que se lleva a cabo desde 1993 en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) en La Paz, BCS. Se utilizaron embarcaciones de fibra de vidrio "tipo panga" de 7 a 9 m de eslora y motor fuera de borda de 50 hp, y además se contó con el apoyo del barco "Amigo" de 14 m de eslora. Se navegó a una velocidad promedio de 10 nudos, sin trayectoria definida, y con al menos dos personas observando sistemáticamente (a simple vista y/o con binoculares 7 x 50 Fujinon), en estado del mar entre 0 y 3 según la escala 0/12 de Beaufort. Cada día de trabajo duró aproximadamente 10 h dependiendo de las condiciones climáticas.

Cada cetáceo (o grupo de cetáceos) observado, se registró en una bitácora (*Anexo 1*), detallando la hora, fecha, número de animales y especie, asociación con otras especies (pinnípedos, peces, manta rayas, etc.) y la posición geográfica utilizando un GPS Magellan NAV DLX-10. Siempre que fue posible, al avistar ballenas azules se procedió a la toma de fotografías y biopsias, así como a la recolecta de heces y piel descamada. Adicionalmente se registró información detallada y gráfica sobre cada avistamiento (presencia de cría, tiempo de buceo y en superficie, número de soplos, dibujos de muescas o manchas distintivas) en bitácoras con formato específico (*Anexo 2*). Para fines de este trabajo, se analizaron únicamente las muestras de heces; sin embargo, la información que proporcionan los registros fotográficos así como las biopsias y muestras de piel, ayuda indirectamente para correlacionar el historial y antecedentes de cada ballena de las que se tiene muestras de heces.

### ***Recolecta de heces***

La recolecta de heces de ballena azul es un proceso oportunista, ya que se debe hacer coincidir el momento en que la ballena excreta en superficie (antes del buceo profundo) y la maniobra de la embarcación para llegar al punto lo antes posible y de esta forma evitar que las heces se disuelvan o empiecen a hundirse. Posteriormente, utilizando una cubeta o envase plástico, se recolectó una fracción del material en superficie y se transfirió a frascos de plástico de 0.5 ó 1L (dependiendo de la cantidad) los cuales se preservaron en etanol al 50% y se almacenaron hasta su análisis en el laboratorio.

### ***Trabajo de laboratorio***

De acuerdo con los objetivos que se plantearon para el presente trabajo, fue necesario dividir el trabajo de laboratorio en dos partes:

## **5.2. Muestras de heces de la región suroeste del Golfo de California.-**

### **5.2.1. Proceso de filtración**

El proceso de filtración de las muestras recolectadas se llevó a cabo en el Laboratorio de Mamíferos Marinos del CICIMAR-IPN. Utilizando un tamiz de 106  $\mu\text{m}$  de luz de malla, se eliminó el líquido excedente de la muestra; posteriormente, ésta se vertió en la columna de tamices (2 mm, 1 mm y 106  $\mu\text{m}$  de luz de malla), se agitó vigorosamente y se separaron los elementos remanentes en cada uno de los tamices para su análisis al microscopio. Se utilizó una luz de malla menos fina que la empleada por Del-Ángel-Rodríguez (1997), ya que además de agilizar el proceso de filtración, fue suficiente para filtrar las posibles tallas más chicas de los eufáusidos presa.

### **5.2.2. Análisis en microscopio**

El análisis en microscópico se llevó a cabo en el Laboratorio de Zooplancton del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Con el fin de conocer la composición de las muestras de heces como resultado del

proceso de filtración, se separaron dos grupos de estructuras duras: elementos mayores y mandíbulas de eufáusidos.

### *Elementos mayores*

Son aquellos elementos que quedan retenidos en los tamices de 1 y 2 mm de luz de malla como estructuras duras y/o restos de organismos zooplanctónicos y peces, los cuales se analizaron con un microscopio estereoscópico Wild Heerbrugg 10 x 50 adaptado con micrómetro. Posteriormente, se contó y agrupó cada elemento de acuerdo a su tipo, con base en los criterios descritos por Yamaji (1977).

Con el fin de determinar el porcentaje de abundancia relativa y el porcentaje de ocurrencia que estos elementos tuvieron en las muestras, se calcularon los siguientes índices propuestos por García-Rodríguez (1995) para el total de las muestras:

- *Cálculo del porcentaje de abundancia relativa (% Ab.rel.)*  
(proporción numérica de cada elemento con respecto al resto)

$$\% \text{ Ab.rel.} = e_i/E * 100$$

donde:

$e_i$  = número de elementos del grupo  $i$

$E$  = número total de elementos en las muestras

- *Cálculo del porcentaje de ocurrencia (% Oc.)*  
(proporción de muestras donde estuvo presente cada elemento)

$$\% \text{ Oc.} = m_i/N * 100$$

donde:

$m_i$  = número de muestras en que aparece el grupo  $i$

$N$  = número total de muestras analizadas

### *Mandíbulas de eufáusidos*

La fracción de la muestra retenida en el tamiz de 106  $\mu\text{m}$  de luz de malla, se homogenizó y se tomó una alícuota de 10 ml para analizar su contenido. Las estructuras duras más completas y abundantes fueron las mandíbulas de los eufáusidos digeridos. Con el fin de establecer el tamaño mínimo de muestra, es decir, el número de mandíbulas a extraer de cada alícuota, se utilizó la fórmula siguiente (Sokal y Rohlf, 1969), con un criterio de significancia de  $\alpha = 0.05$ :

$$n \geq 2(\sigma/\delta)^2 \{t_{\alpha[v]} + t_{2(1-p)[v]}\}^2$$

donde:

$n$  = tamaño mínimo de muestra

$\sigma^2$  = varianza poblacional

$\delta$  = la mínima diferencia que se necesita detectar

$t$  = valor crítico para  $v$  grados de libertad

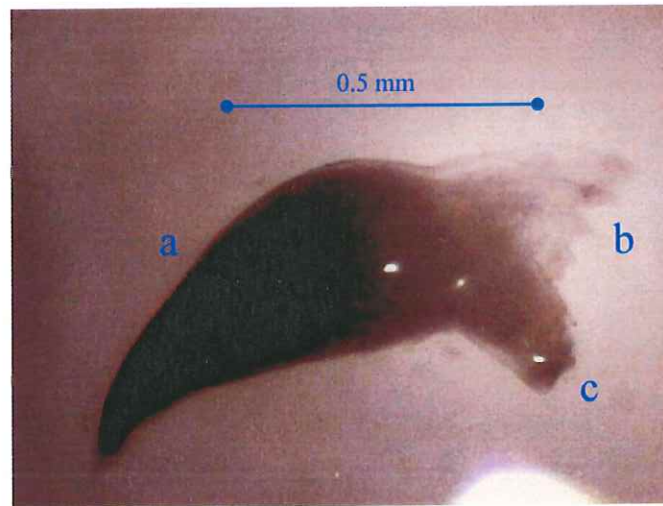
$\alpha$  = nivel de significancia

$v$  = grados de libertad

$p$  = probabilidad deseada para determinar una diferencia significativa.

Con el fin de evitar el doble conteo de eufáusidos, se escogió indistintamente una de las dos mandíbulas para hacer referencia a un solo individuo. Se extrajeron y midieron aleatoriamente 200 mandíbulas izquierdas por alícuota, según la metodología descrita por Kieckhefer (1992). La **Figura 3** muestra una imagen digital de la mandíbula izquierda de *N. simplex* con la nomenclatura sugerida por Dalley y McClatchie (1989). Para inferir el tamaño total del eufáusido presa a partir de las mandíbulas analizadas, se

utilizó la regresión  $r^2 = 0.84$  ( $m = 0.0773$ ;  $b = 0.2099$ ) estimada por Del-Ángel-Rodríguez (1997), que establece una relación alométrica entre la longitud mandibular (desde la punta del incisivo más externo hasta la punta de la inserción mandibular), y la longitud total del eufáusido (desde la base del ojo hasta la base del telson).



**Figura 3.** Mandíbula izquierda de *Nyctiphanes simplex* extraída de muestras de heces de ballena azul, colectadas en el suroeste del Golfo de California. Se indica *a*) inserción mandibular; *b*) dientes incisivos, y; *c*) par molaris.

Por medio de la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1996), se verificó la normalidad de los datos obtenidos. Finalmente, para inferir el tamaño de presa consumido por la ballena azul, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía así como la prueba de Tukey (Zar, 1996) con el fin de establecer si existen diferencias significativas entre las tallas de presa consumida (*i*) por hembras con cría e individuos solitarios; (*ii*) por hembras con cría, hembras sin cría y machos, y; (*iii*) entre los diferentes meses de recolecta (de enero a abril), para lo cual se agruparon las muestras con base en los siguientes criterios:

### 5.2.3. Agrupación de las muestras de heces

#### *Hembras con cría e individuos solitarios*

La ballena azul es un animal que carece de dimorfismo sexual. Debido a esto, cuando en el campo se observa un adulto acompañado por su cría se infiere que se trata de una madre (hembras con cría), y por consiguiente, el resto de las ballenas son consideradas como individuos solitarios.

#### *Hembras con cría, hembras sin cría y machos*

Debido a que no es posible sexar la ballena azul a simple vista, se realizó la identificación molecular del sexo a partir de las muestras de piel descamada y biopsias que se recolectan como parte del trabajo de campo con esta especie. Para esto, se realizaron extracciones de DNA y se identificaron molecularmente a partir de la amplificación por PCR (reacción en cadena de la polimerasa) de marcadores moleculares específicos, diseñados por Bérubé y Palsbøll (1996), mismos que se encuentran localizados en los cromosomas sexuales. Para corroborar los resultados, se utilizó un método alternativo en el que se analiza el patrón de digestión del fragmento previamente amplificado con la endonucleasa *Taq I* (Palsbøll *et al.*, 1992). Se reportan exclusivamente los resultados que no generaron ambigüedades entre ambos métodos. Dichos análisis moleculares fueron realizados por Luis Enríquez-Paredes como parte del trabajo de tesis doctoral que se desarrolla en el Laboratorio de Ecología Molecular de la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California.

#### *Meses de recolecta de muestras*

Las muestras de heces corresponden al periodo entre enero y abril desde 1998 hasta 2001. A pesar de que se agruparon las muestras de los cuatro años en función del mes, se obtuvo un total de solamente dos muestras correspondientes a enero y dos a abril. Debido a ello, con el fin de que el número de muestras entre meses sea más balanceado, se optó por agrupar aquellas que corresponden a las dos últimas semanas de

enero con las dos primeras semanas de febrero (ene-feb, n = 7), y así sucesivamente (feb-mar, n = 9; mar-abr, n = 7).

### 5.3. Muestras de heces de las regiones adyacentes a la Península de Baja

#### California.-

Las 3 muestras de heces correspondientes a este análisis fueron recolectadas con el apoyo de cruceros turísticos y de la Armada de México. Debido a que el volumen total de dos de las muestras de heces fue muy reducido, el proceso de filtración se realizó únicamente utilizando el tamiz de 106  $\mu\text{m}$  de luz de malla para evitar la pérdida de material. Posteriormente, de cada muestra filtrada se tomó una alícuota de 10 ml, la cual se revisó en su totalidad con el fin de extraer todas las mandíbulas de eufáusidos, tanto derechas como izquierdas.

Para determinar la composición de la dieta de ballena azul en las muestras procedentes de la Boca del Golfo de California, Bahía Magdalena y San Quintín, se realizó la identificación a nivel de especie de las presas encontradas en heces, a partir de la comparación con organismos de referencia previamente identificados. Para ello, además de *Nyctiphanes simplex*, se seleccionaron las 9 especies de eufáusidos que se distribuyen con mayor abundancia en estas zonas (Brinton, 1967b): *Nematoscelis difficilis*, *N. gracilis*, *Euphausia eximia*, *E. gibboides*, *E. hemigibba*, *E. distinguenda*, *Thysanoessa gregaria*, *Nematobranchion flexipes* y *Stylocheiron affine*. Los organismos de referencia fueron proporcionados por De-Silva Dávila<sup>1</sup> y Lavaniegos-Espejo<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> De-Silva-Dávila, Roxana. 2002. Departamento de Plancton y Ecología Marina. CICIMAR – IPN. Apdo. Post. 592. La Paz, BCS., México.

<sup>2</sup> Lavaniegos-Espejo, Bertha. 2002. Departamento de Ecología. CICESE. Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada. Ensenada, BC., México.

De cada especie se escogieron de forma aleatoria 5 organismos y se extrajeron las mandíbulas. Éste es un proceso muy minucioso que requiere de especial cuidado, ya que a diferencia de las mandíbulas encontradas en las heces, el material quitinoso es bastante más blando, además de estar rodeado de tejido muscular y algunos apéndices alimentarios. Ya que los organismos proporcionados de *Euphausia hemigibba* eran demasiado pequeños, no fue posible la extracción de las mandíbulas. Tampoco se realizó la extracción de las mandíbulas de *N. simplex* debido a la experiencia adquirida en el análisis anterior en la identificación de esta especie.

Para conocer detalladamente las características morfológicas de estas mandíbulas, se obtuvieron imágenes digitales (*Anexo 3*) con un microscopio Carl Zeiss Axioskop 2 MOT 10x adaptado con una cámara digital Sony DSC-s75 Cyber-Shot, lo cual permitió contrastar y asignar a las mandíbulas encontradas en las muestras de heces.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Muestras de heces de la región suroeste del Golfo de California.-

Durante las temporadas entre enero y abril de 1998 al 2001, se realizó un esfuerzo de búsqueda de 884.65 h y se registraron un total de 320 ballenas azules en el suroeste del Golfo de California, región donde además se concentró el mayor esfuerzo de recolecta de heces, obteniendo un total de 23 muestras (*Fig. 4*). En el *Anexo 4* se presenta la localización geográfica, el grupo de ballena al que pertenecen, el periodo de recolecta, así como las tallas promedio de *N. simplex* para cada una de las muestras.

#### *Elementos mayores*

Las muestras de heces de ballena azul estuvieron compuestas en su gran mayoría por materia orgánica no identificable. Entre los elementos que fue posible identificar, se encontraron sifonóforos, acantocéfalos, moluscos (pterópodos y larvas de gasterópodos), copépodos, larvas de decápodos, picos de calamares y vértebras de peces, los cuales quedaron retenidos en los tamices de 1 y 2 mm de luz de malla. En tres de las muestras no fue posible identificar ningún elemento mayor.

Los acantocéfalos fueron los organismos que se encontraron con mayor abundancia en las muestras de heces (*Fig. 5*). Los 16 individuos encontrados representan el 30.19 % del total de elementos mayores y se presentaron en 9 de las muestras analizadas (porcentaje de ocurrencia = 39.13 %). El segundo grupo más abundante fue el de los copépodos con un 22.64 % y estuvieron presentes en 7 de las muestras. Fue posible encontrar únicamente un pico de calamar, mismo que representó menos del 2 % del total de los elementos mayores.

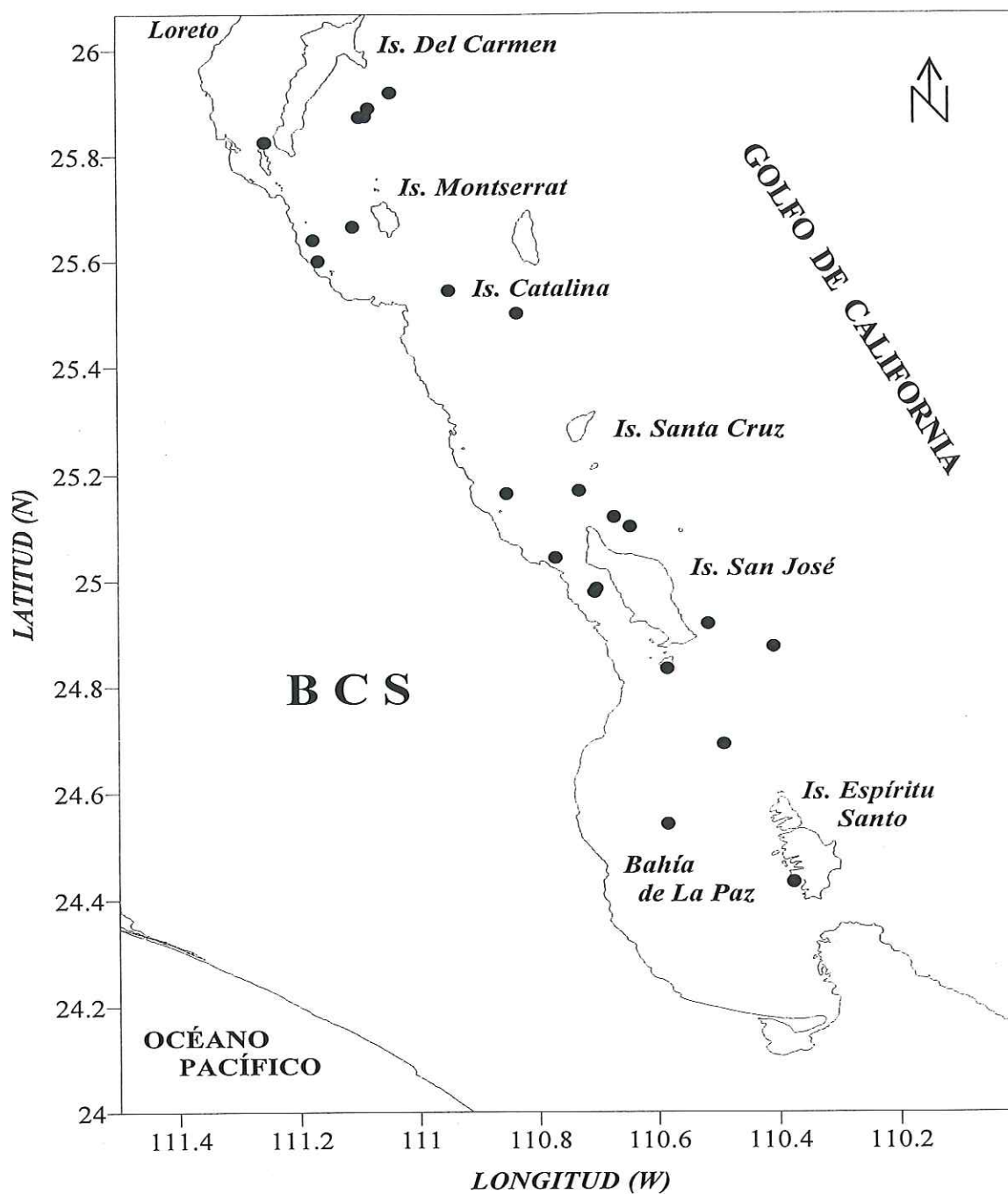
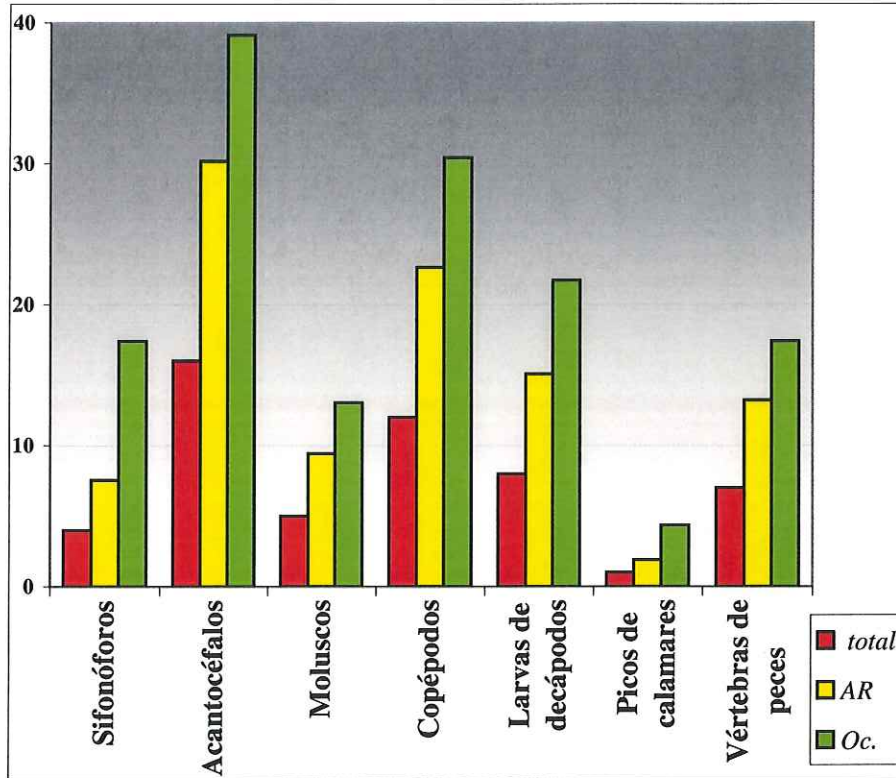


Figura 4. Ubicación de los sitios de recolecta de heces de ballena azul en el suroeste del Golfo de California.



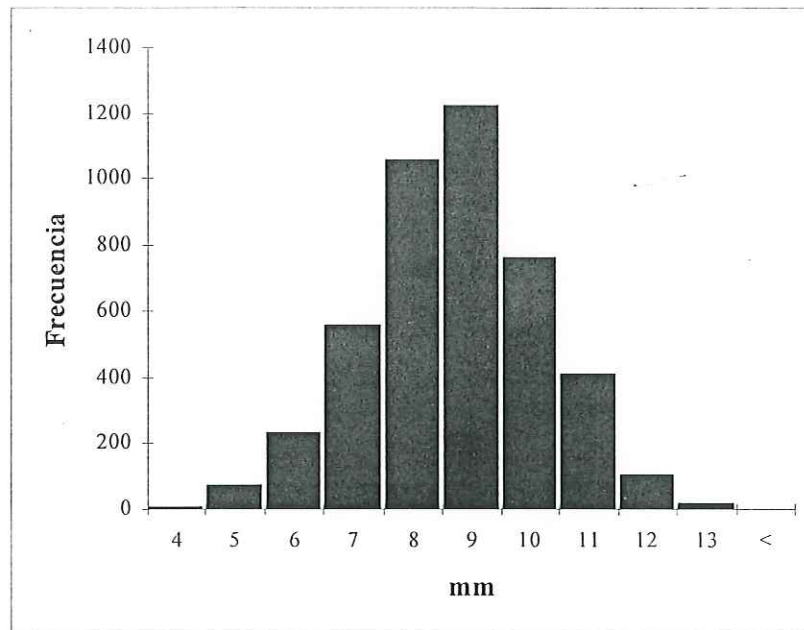
**Figura 5.** Número de individuos encontrados en la muestra (total), porcentaje de abundancia relativa (AR) y porcentaje de ocurrencia (Oc) de cada elemento mayor con relación al resto, en muestras de heces de ballena azul correspondientes al suroeste del Golfo de California.

### *Mandíbulas de eufáusidos*

Las mandíbulas de los eufáusidos digeridos fueron las estructuras duras más abundantes en las muestras de heces de ballena azul. A pesar de que para el presente análisis fue necesario extraer solamente 200 mandíbulas por alícuota, en algunas de ellas se calculó que podría haber hasta más de 1,500.

En total se contaron y midieron 4,569 mandíbulas izquierdas extraídas de las 23 muestras de heces recolectadas en esta región. Con base en las características morfológicas mandibulares descritas por Del-Ángel-Rodríguez (1997) así como en la observación directa, se determinó que el 100% de las mandíbulas encontradas en las heces corresponden al eufáusido *N. simplex*. A partir de la relación mandíbula-talla

corporal (Del-Ángel-Rodríguez, 1997), se encontró que el promedio de la longitud total de los eufáusidos ingeridos fue de 8.21 mm. El intervalo de tallas varió desde organismos de 3.5 mm de longitud hasta 13.8 mm (*Fig. 6*). En el *Anexo 6* se muestra la distribución de tallas de los eufáusidos en cada una de las muestras de heces.

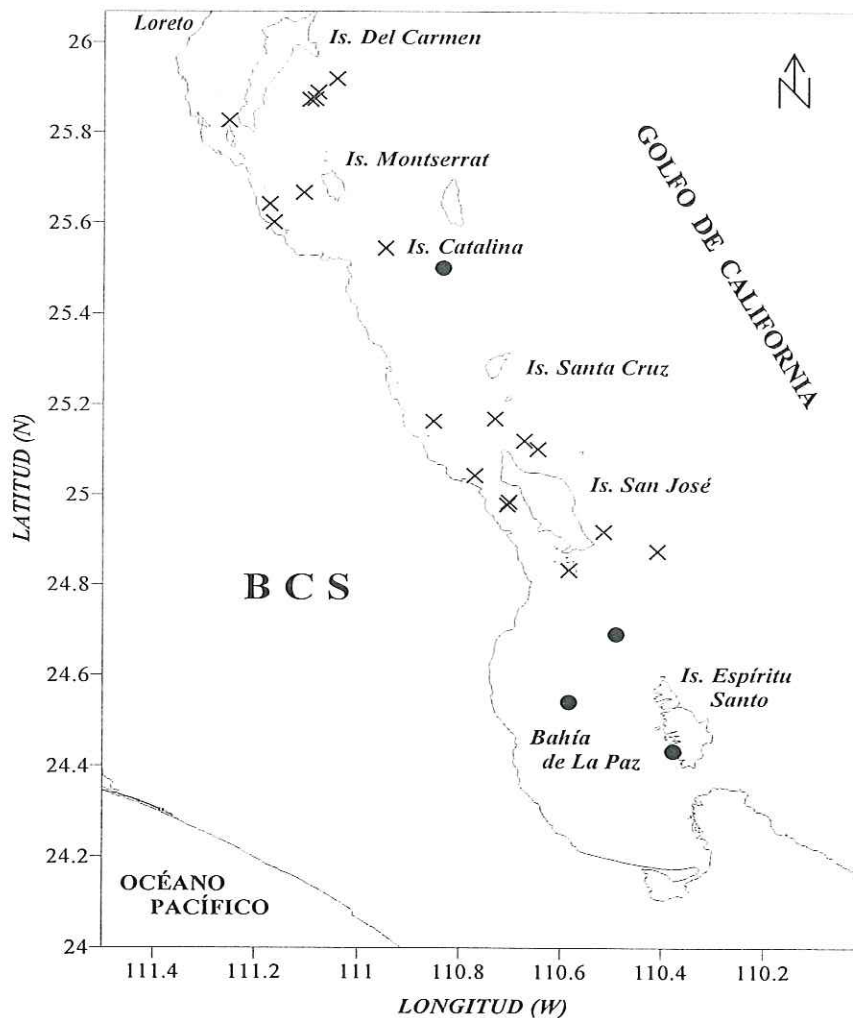


**Figura 6.** Distribución total de las tallas del eufáusido *Nyctiphanes simplex*, encontradas en heces de ballena azul a lo largo del período de estudio en el suroeste del Golfo de California.

### 6.1.1. Selección de presa por las hembras con cría e individuos solitarios

De las 23 muestras de heces recolectadas, solamente cuatro (17.4%) corresponden a hembras con cría, de las cuales tres se concentraron hacia la región de la Bahía de La Paz y la otra al sur de la Isla Catalina. En contraste, los sitios de recolecta de heces de los individuos solitarios excluyeron a la Bahía de la Paz, encontrándose distribuidos en el resto del área, principalmente alrededor de las islas Del Carmen y San José (*Fig. 7*).

Se encontró que sí existe una diferencia significativa entre la talla promedio de *N. simplex* ingerida por ambos grupos ( $F = 20.9$ ,  $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ), siendo las hembras con cría las que consumen presas más grandes (8.43 mm) que los individuos solitarios (8.16 mm) (**Fig. 8**). El valor de  $n$  en el pie de figura representa el número de mediciones para cada uno de los grupos.



**Figura 7.** Sitios de recolecta de heces de hembras con cría (círculos) e individuos solitarios (cruces) de ballena azul.

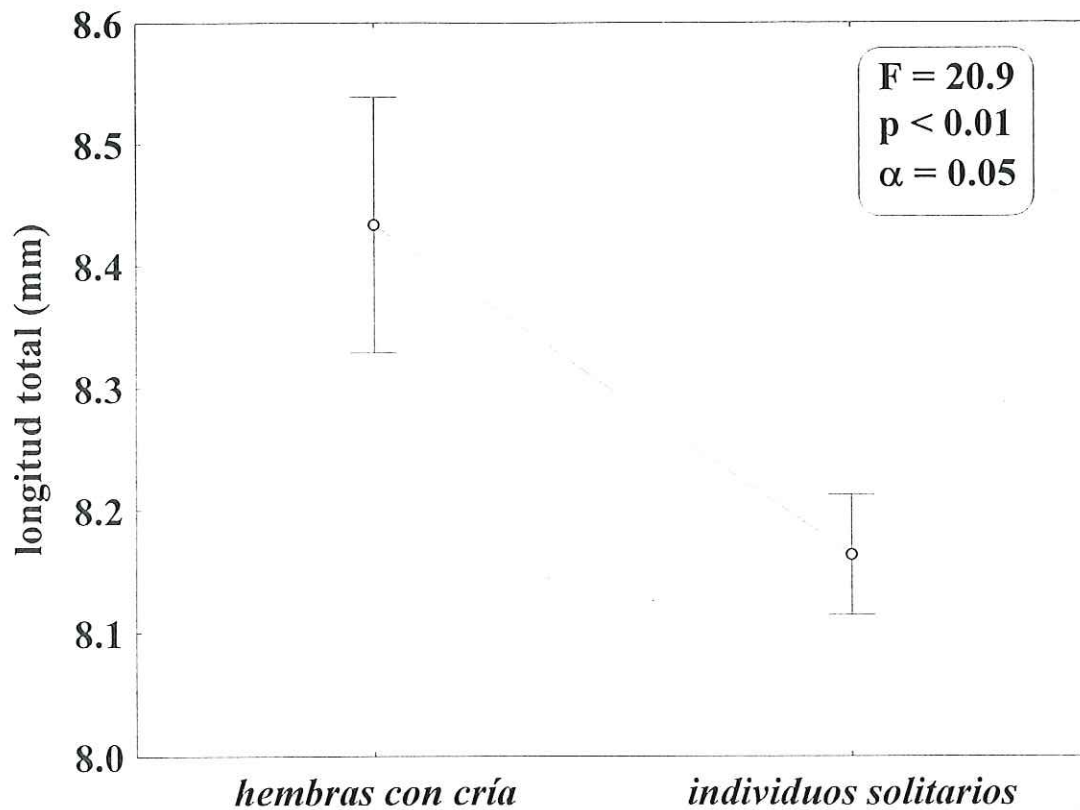
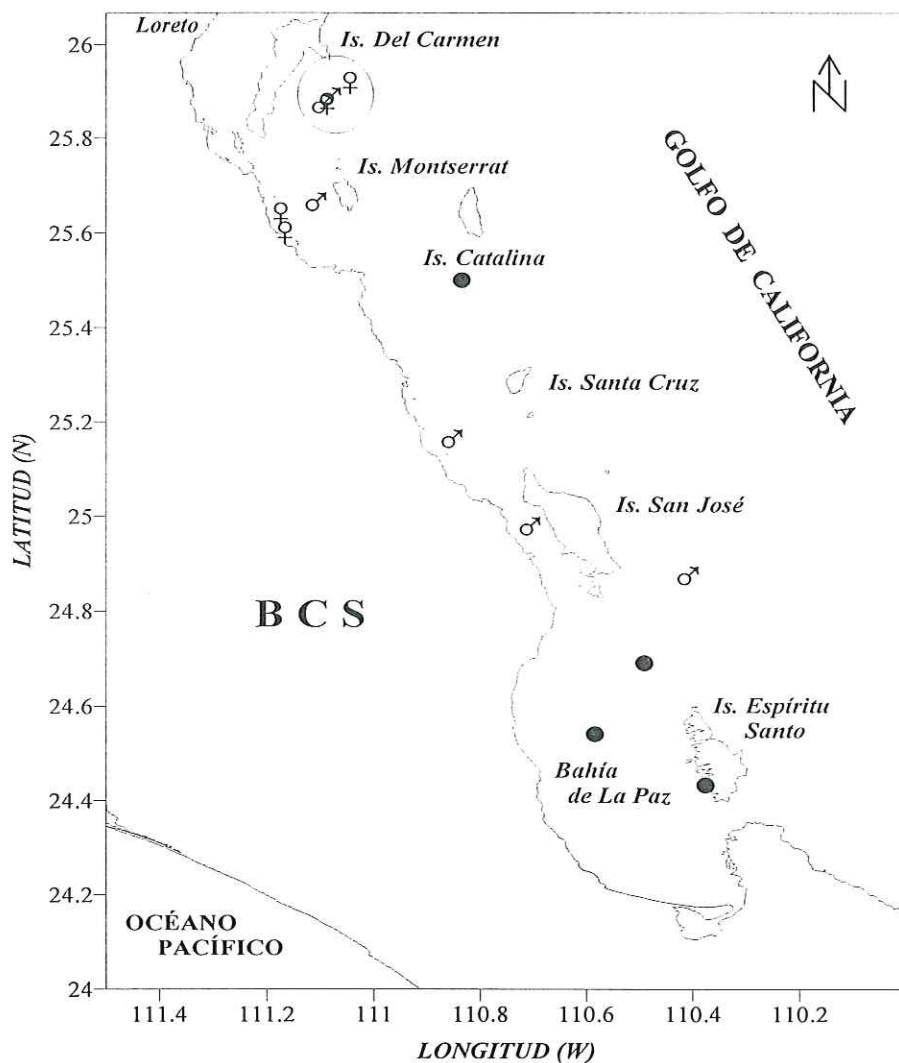


Figura 8. Promedio total de las tallas de *N. simplex* consumidas por hembras con cría (n = 799) e individuos solitarios (n = 3770) de ballena azul. Las barras denotan un intervalo de confianza del 95%

### 6.1.2. Selección de presa por las hembras con cría, hembras sin cría y machos

A partir de muestras de piel descamada y biopsias de ballena azul, fue posible identificar molecularmente el sexo de 14 individuos de los que se tiene muestras de heces, cuatro de las cuales corresponden a hembras con cría, cuatro a hembras sin cría y seis a machos. Las muestras correspondientes a las hembras sin cría se recolectaron principalmente cerca de la costa en la región norte del área de estudio y de la Isla del Carmen, mientras que las correspondientes a los machos, se recolectaron indistintamente

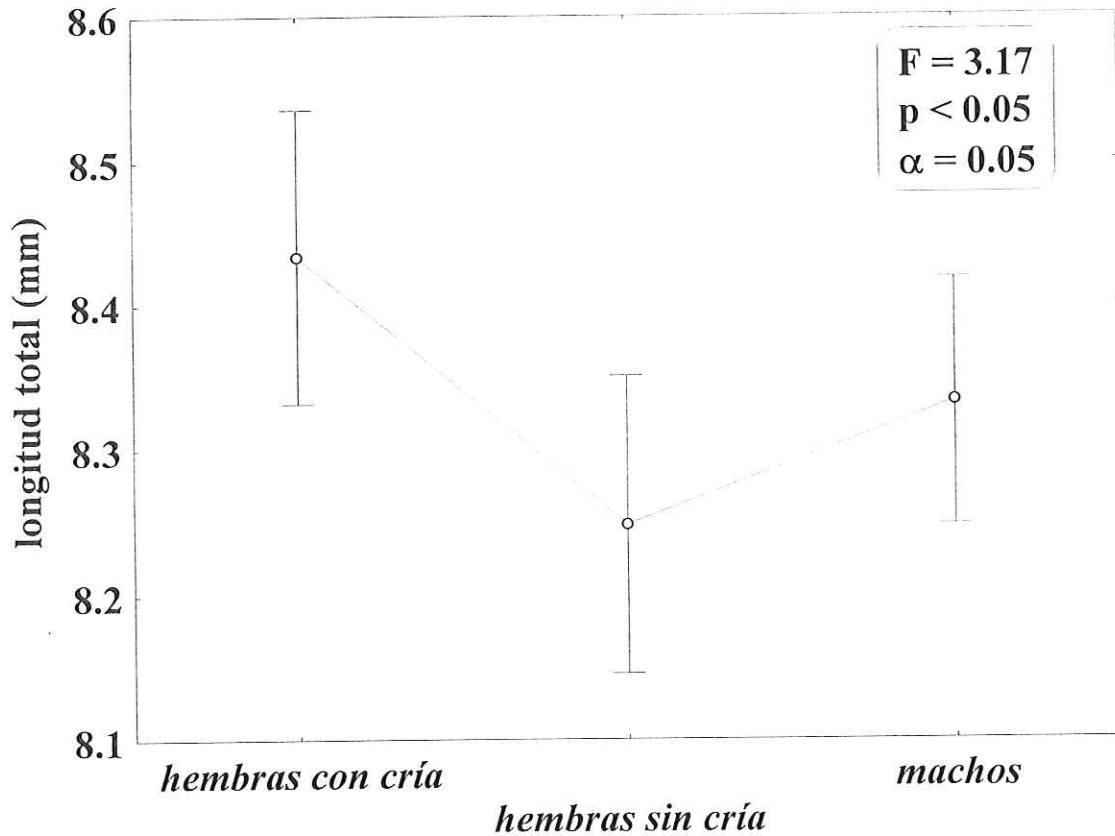
cerca de la costa y fuera de ésta (*Fig. 9*). Los sitios de recolecta de heces de hembras con cría se describió en la sección anterior (*Fig. 7*).



**Figura 9.** Sitios de recolecta de heces de hembras con cría (círculos), hembras sin cría (♀) y machos (♂) de ballena azul. Dentro del círculo se superponen dos ♀ y dos ♂.

Se determinó que existe una diferencia significativa entre las tallas promedio de *N. simplex* consumidas por los tres grupos de ballena ( $F = 3.17$ ,  $p < 0.05$ ,  $\alpha = 0.05$ ); sin embargo, con base en los resultados del análisis *a posteriori* Tukey ( $p < 0.05$ ), se

observó que dicha diferencia se presenta únicamente entre las hembras con cría que consumen tallas significativamente mayores en comparación con las hembras sin cría (8.25 mm) y los machos (8.33 mm) (*Fig. 10*).



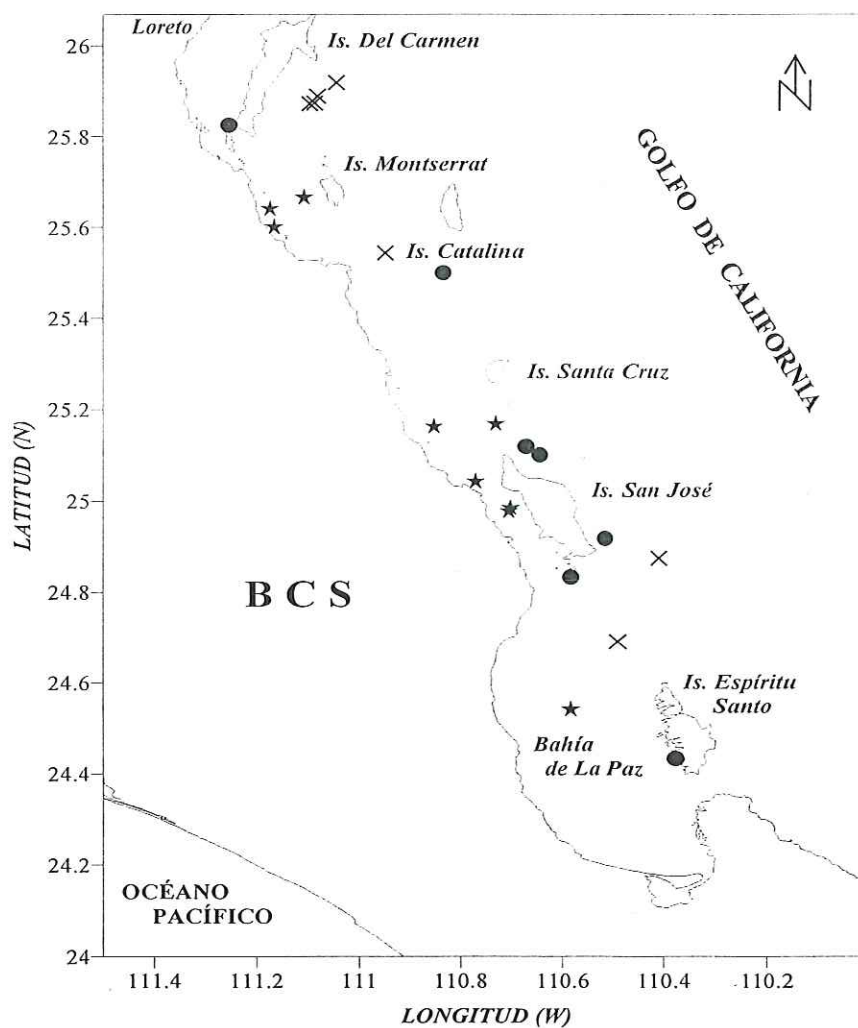
**Figura 10.** Promedio total de las tallas de *N. simplex* consumidas por hembras con cría ( $n = 799$ ), hembras sin cría ( $n = 792$ ) y machos ( $n = 1148$ ) de ballena azul. Las barras denotan un intervalo de confianza del 95%

### 6.1.3. Variación mensual en las tallas de presa

Alrededor del 60% de las muestras correspondientes a ene-feb se encontraron en el extremo norte del área de estudio, al sureste de la Isla Del Carmen (*Fig.11*). Durante feb-mar, cuando se recolectó el mayor número de muestras, estuvieron distribuidas a lo

largo del área de estudio, mientras que más del 70% de las de mar-abr, se encontraron principalmente hacia el sur alrededor de las Islas San José y Espíritu Santo.

Los resultados muestran que sí existe una diferencia significativa en el tamaño promedio de *N. simplex* ingerido por la ballena azul con relación a los meses de recolecta de heces ( $F = 77.76$ ,  $p < 0.01$ ,  $\alpha = 0.05$ ) registrando las tallas mayores para feb-mar (8.57mm) y las menores para mar-abr (7.93mm) (Tukey  $p < 0.05$ ) (Fig. 12).



**Figura 11.** Sitios de recolección de heces de ballena azul durante ene-feb (cruces), feb-mar (estrellas) y mar-abr (círculos).

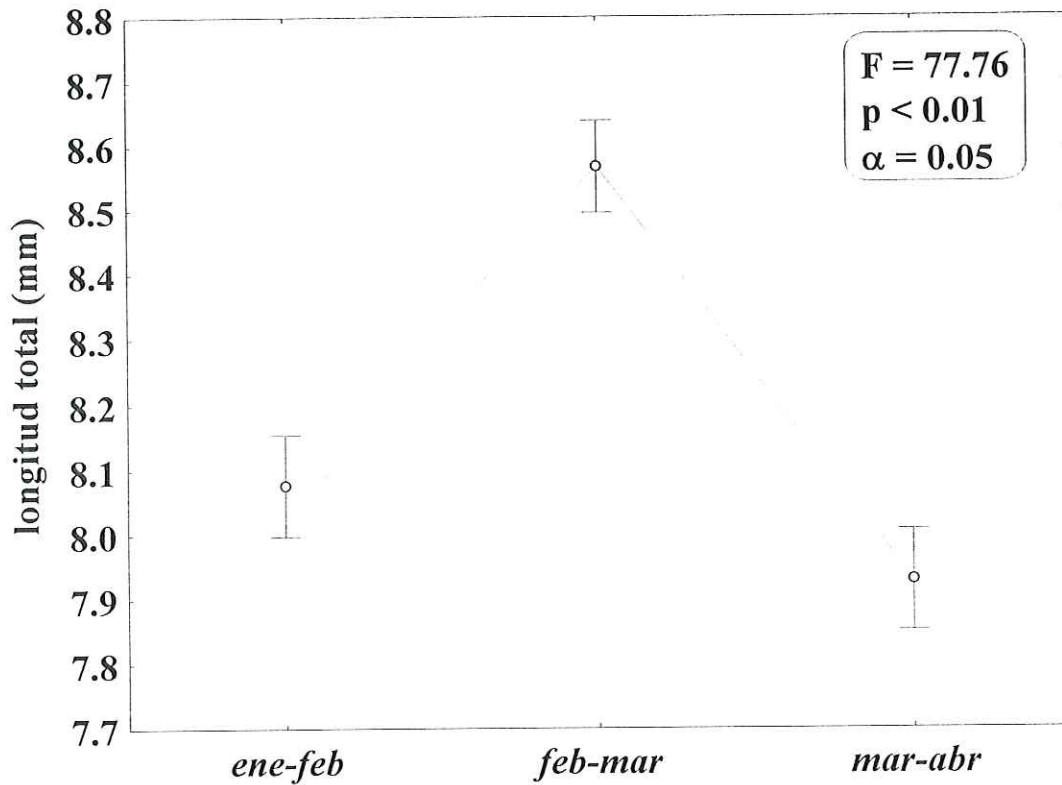
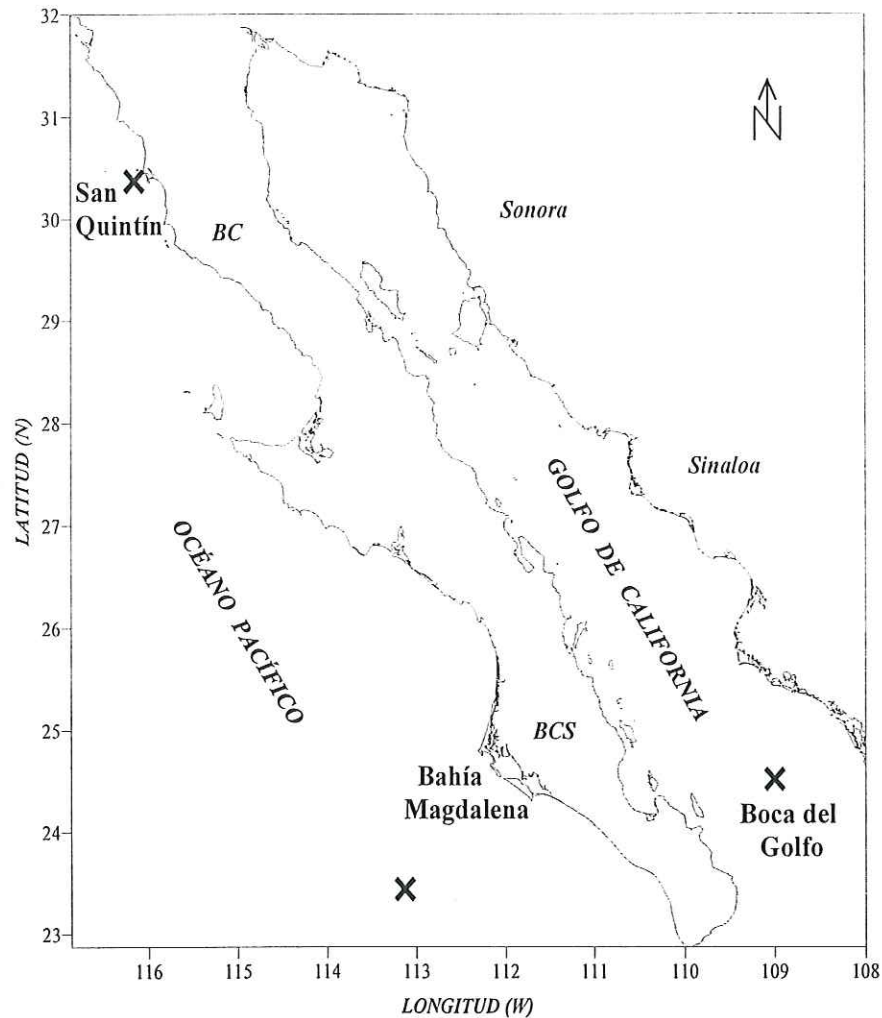


Figura 12. Promedio total de las tallas de *N. simplex* consumidas por la ballena azul durante ene-feb (n = 1400), feb-mar (n = 1648) y mar-abr (n = 1399). Las barras denotan un intervalo de confianza del 95%

## 6.2. Muestras de heces de las regiones adyacentes a la Península de Baja California.-

Para analizar las 3 muestras de heces de ballena azul recolectadas en *i*) la Boca del Golfo de California; *ii*) Bahía Magdalena, y; *iii*) San Quintín (**Fig. 13**), se utilizaron las mandíbulas extraídas de los eufáusidos de referencia. La fecha de recolecta, localización y las especies con mayor probabilidad de encontrarse en cada muestra, se indican en el *Anexo 5*.

Aunque no fue posible desprender algunos apéndices alimentarios y tejido muscular, se puede observar que la inserción mandibular no presentó grandes diferencias morfológicas entre especies (*Anexo 3*). Por tanto, la identificación y asignación de cada mandíbula a aquellas encontradas en heces, se basó principalmente en la forma y número de dientes incisivos, así como en la forma del par molaris.



**Figura 13.** Sitios de recolecta de heces de ballena azul (cruces) en las aguas adyacentes a la Península de Baja California.

Se observaron algunas diferencias morfológicas entre las mandíbulas, mismas que son características de cada especie. Con relación a los dientes, se observaron desde formas muy pronunciadas y afiladas, como las correspondientes a la mandíbula de *Nematoscelis difficilis*, hasta aquellas formas bastante aplanadas y sin dientes como en *Stylocheiron affine*. En el par molaris se pueden distinguir formas redondeadas en la mandíbula de *Nematoscelis gracilis* y *Euphausia eximia* y formas rectas en *Nyctiphanes simplex* y *Euphausia gibboides*.

Con base en lo anterior, se determinó que el 100% de las mandíbulas encontradas en las muestras correspondientes a la Boca del Golfo de California y a San Quintín, correspondieron a *Nyctiphanes simplex*. Estas se caracterizaron por tener entre tres y cinco dientes cortos, decreciendo en tamaño desde el más externo hacia el más interno, y un par molaris recto y largo. En la muestra de heces correspondiente a San Quintín, se encontró un alto porcentaje de restos o fracciones de mandíbulas, las cuales no fueron cuantificadas ya que se dificultó su identificación. Por otra parte, la muestra recolectada en la región fuera de Bahía Magdalena estuvo compuesta en un 100% por mandíbulas de *Euphausia eximia*, las cuales se caracterizaron por presentar dos o tres dientes incisivos triangulares y prominentes, seguidos de una región ligeramente cóncava y un par molaris curvo, largo y con una pequeña hendidura.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Análisis fecal.-

Además del uso del microscopio para el análisis fecal, existen técnicas alternativas para obtener información sobre la dieta de mamíferos de vida silvestre (Kohn y Wayne, 1997). La escatología molecular o análisis genético de las heces, es una técnica desarrollada recientemente que se utiliza para conocer cuáles son las presas que conforman la dieta, a partir de la amplificación de secuencias específicas de DNA utilizando primers para la PCR (Kohn y Wayne, 1997). También se puede identificar molecularmente el sexo, los patógenos presentes e información taxonómica de la especie. Sin embargo, además del alto costo que representaría obtener los primers de las posibles especies involucradas en la dieta, esta técnica no permite conocer información más detallada sobre la presa. En contraste, a pesar de que implica más tiempo de análisis, el uso del microscopio permite conocer con mayor precisión el tamaño de la presa, y de esta forma, hacer inferencias sobre la composición general de tallas en su alimentación, la proporción que representa cada presa en la dieta y diferencias alimentarias entre sexos y/o estacionales.

Como se mencionó anteriormente, la recolecta de heces de ballena azul es un proceso oportunista que requiere de un gran esfuerzo. A pesar de que en el presente trabajo se recolectaron 23 muestras de heces, este valor representa tan sólo el 7.19 % del total de ballenas registradas a lo largo del periodo de estudio. Sin embargo, este tamaño de muestra fue mayor comparado con estudios anteriores (7 muestras por Del-Ángel-Rodríguez, 1997 y 13 muestras por Fiedler *et al.*, 1998), lo cual permite realizar un análisis más extenso y estadísticamente más preciso.

## 7.2. Región suroeste del Golfo de California.-

### *Elementos mayores*

Los elementos mayores de las muestras de heces de ballena azul que correspondieron al suroeste del Golfo de California, estuvieron compuestos por diferentes organismos zooplanctónicos. Sin embargo, debido a su baja abundancia relativa en las muestras, se sugiere que no son una presa preferida por la ballena azul, sino que son ingeridos de forma incidental. Esto resultó más evidente en el caso de los copépodos, ya que a pesar de ser considerados el componente más abundante del zooplancton en esta región (Brinton y Townsend, 1980), su presencia en la dieta de la ballena azul fue insignificante.

Los acantocéfalos fueron los organismos más abundantes entre los elementos mayores. Se trata de endoparásitos que habitan en el aparato digestivo de mamíferos y otros vertebrados (Barnes, 1990), sin embargo, no se había reportado su presencia en la ballena azul. Rice (1978, en Mizroch *et al.*, 1984) sugirió que esta especie carece de endoparásitos debido a que no se alimenta de peces que actúan como portadores. No obstante, los peces no son los únicos transmisores, ya que los huevecillos de acantocéfalos también son ingeridos por diferentes crustáceos como anfípodos e isópodos (Barnes, 1990). Es posible que en esta región el eufáusido *N. simplex* actúe como portador de dichos endoparásitos.

En contraste con lo reportado por Del-Ángel-Rodríguez (1997), en el presente trabajo no se encontró ningún otolito en las muestras de heces. Sin embargo, se observaron algunas vértebras de peces, las cuales podrían pertenecer a la familia Myctophidae (Del-Ángel-Rodríguez, 1997; Markaida<sup>1</sup>, *comun. pers.*). A pesar de que en algunos estudios se ha reportado la presencia de peces gregarios en la dieta de la ballena

---

<sup>1</sup> Markaida, Unai. 2002. Departamento de Ecología. CICESE. Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada. Ensenada, BC., México.

azul, su ocurrencia en contenidos estomacales ha sido baja (Nemoto, 1957), lo que concuerda con este trabajo. Así mismo, con base en el análisis estomacal, este autor encontró una baja abundancia de peces en la dieta de ballena azul.

Se encontró únicamente un pico de calamar en las muestras analizadas. Harvey y Antonelis (1994) sugirieron que éstos suelen acumularse en las paredes del estómago de la foca elefante del norte *Mirounga angustirostris* (al igual que ocurre en algunos odontocetos que se alimentan de cefalópodos), por lo que su presencia en las muestras de heces podría estar subestimada. De forma general, los restos de peces y cefalópodos encontrados en heces de ballena azul, se debe a que probablemente son ingeridos cuando éstos a su vez se están alimentando de eufáusidos.

#### **7.2.1. Especie dominante: *Nyctiphanes simplex***

El análisis del contenido fecal en este trabajo, reveló que la ballena azul se alimenta en un 100% de larvas, juveniles y adultos del eufáusido *N. simplex* en el suroeste del Golfo de California, lo cual concuerda con lo reportado por Del-Ángel-Rodríguez (1997). Sin embargo, el intervalo de tallas de este eufáusido encontrado por dicho autor, fue menor (7.6 – 9.6 mm contra 3.5 – 13.8 mm observado en el presente estudio) a pesar de que utilizó una luz de malla más fina. Mientras Del-Ángel-Rodríguez (1997) encontró solamente juveniles y adultos, aquí se encontraron además de éstos, también larvas furcilia. Esto podría deberse a que en el presente análisis, tanto el número de mandíbulas medidas como el de muestras de heces analizadas, fueron mayores que en el estudio previo.

A pesar de que el esfuerzo de búsqueda de ballenas azules fue relativamente uniforme en el área de estudio, se observó que los sitios de recolecta de heces tuvieron una tendencia a concentrarse en torno a las Islas Del Carmen y San José, lo cual coincide con los sitios donde ocurren con mayor frecuencia las agregaciones superficiales de *N. simplex* asociadas con zonas de alimentación de este rorcual (Gendron, 1992).

Se ha sugerido que la ballena azul tiene preferencias marcadas y es capaz de seleccionar a su presa en distintas regiones. En el Golfo de California, la biomasa húmeda de los eufáusidos representó menos del 10%, según el estudio de Brinton y Townsend (1980) para el periodo de febrero a agosto de 1957. En un estudio posterior, Gendron (1990) encontró que *N. simplex* constituyó sólo el 5% de la biomasa zooplanctónica total. Además, Reilly y Thayer (1990) sugieren que la ballena azul selecciona hábitats particulares como zonas de surgencia donde encuentra mayor disponibilidad de alimento para forrajear activamente durante su estancia en latitudes bajas. Otros estudios han reportado que inclusive dentro de una misma zona de alimentación, esta especie tiene preferencia por ciertas especies de eufáusidos en función del tamaño. Fiedler *et al.* (1998) encontraron que a pesar de que *Euphausia pacifica* y *Thysanoessa spinifera* fueron igualmente abundantes en la región de las Channel Islands, California, la ballena azul tuvo preferencia por la segunda, una especie más grande y más costera. Una tendencia similar se observó con relación a la ballena minke *Balaenoptera acutorostrata* en el margen polar Antártico donde tuvo preferencia por *Euphausia superba*, una especie de mayor tamaño, a pesar de que *Thysanoessa macrura* fue la especie predominante en la zona (Ichii y Kato, 1991).

Se sugiere que la presencia de *N. simplex* en el suroeste del Golfo de California es un componente importante en la presencia y distribución de la ballena azul en esta región. Esto apoya lo reportado por Gendron (1990) y Del-Ángel-Rodríguez (1997) quienes consideran al suroeste del Golfo de California como una importante zona de alimentación para esta especie durante invierno y principios de primavera. Según Brinton (1962), *N. simplex* domina donde las surgencias costeras son un rasgo característico. En este sentido, las diversas costas de las islas en las inmediaciones de la Bahía de la Paz permiten la evolución de eventos de surgencia, proporcionando nichos apropiados para la proliferación de esta especie. Además, su distribución en general no parece estar afectada por las fluctuaciones de ciertos parámetros hidrográficos. Por

ejemplo, su tolerancia térmica varía entre 15°C y 30°C (De-Silva-Dávila<sup>1</sup>, *comun. pers.*), lo cual le ha permitido concentrarse en altas densidades en la región de las grandes islas a 28°C durante agosto así como en aguas frías de surgencia a lo largo del golfo (Brinton y Townsend, 1980). Estos autores además sugieren que la salinidad no parece afectar la distribución y abundancia del plancton en el Golfo de California. Lavaniegos-Espejo (1996) propone que la baja concentración de oxígeno disuelto en ambas costas de la región central del golfo, tampoco parece influir en su distribución vertical. El conjunto de estos factores permite una gran disponibilidad de alimento que la ballena azul aprovecha durante su estancia en esta región.

### 7.2.2. Selección de presa por las hembras con cría e individuos solitarios

Gendron (2002) observó que en el suroeste del Golfo de California, las hembras con cría de ballena azul se segregan del resto de los individuos en tiempo y espacio, por lo que probablemente existirían diferencias en sus dietas. El presente estudio parece confirmarlo, ya que se encontró que las hembras con cría consumen *N. simplex* de tallas significativamente más grandes que las ballenas solitarias. No obstante, es interesante notar que en la misma región de estudio, Del-Ángel-Rodríguez (1997) no encontró diferencias significativas en el tamaño de presa consumida por la ballena azul y el rorcual común.

Esta región está relativamente protegida de los vientos del norte en invierno a causa de la presencia de varias islas (Gendron, 2002) y debido a que éstas proporcionan una mayor extensión de la línea de costa, se incrementan los procesos de mezcla y surgencias, volviéndola más productiva (Brinton y Townsend, 1980). Estos factores son aprovechados por las hembras con cría, ya que posiblemente les permiten encontrar mayor disponibilidad de alimento a un bajo costo energético. En el Mar de Ross, Ichii *et al.* (1998) determinaron que a pesar de que hay muy poco alimento disponible entre

---

<sup>1</sup> De-Silva-Dávila, Roxana. 2002. Departamento de Plancton y Ecología Marina. CICIMAR – IPN. Apdo. Post. 592. La Paz, BCS., México.

diciembre y marzo, existe una alta cantidad de ballenas minke (especialmente hembras preñadas) que permanecen en esta zona protegida, con el fin de reducir los efectos de las condiciones ambientales desfavorables.

Por otra parte, la lactancia representa un costo energético sustancial para la hembra, lo cual es notorio por el proceso vertebral prominente en las hembras con cría de ballena azul (Gendron, 2002), así como del rorcual común y del rorcual tropical *Balaenoptera edeni* (Lockyer, 1981; Tershy *et al.*, 1990). Por ello, las crías deben aprovechar eficazmente ese traspaso de energía a través de la leche. Lockyer (1981) señala que en la ballena azul, el rorcual común y el rorcual de sei *Balaenoptera borealis*, el incremento neto de peso de la cría aumenta más de diez veces durante su primer año de vida.

Según los resultados obtenidos, el promedio de las tallas de presa consumida por las hembras con cría es 0.27 mm mayor que el promedio obtenido para los individuos solitarios. Aunque esta diferencia parece pequeña, si se multiplica por las 3 toneladas de alimento que ingieren en promedio diariamente, esa mínima diferencia podría repercutir más en el aprovechamiento energético que necesitan las hembras para la lactancia de sus crías.

A pesar de que se ha reportado la capacidad que tiene la ballena azul para seleccionar ciertas especies de eufáusidos de mayor tamaño en una misma zona de alimentación (Fiedler *et al.*, 1998), es difícil tratar de explicar con certeza cuáles son los factores que permiten que las hembras con cría ingieran tallas más grandes de *N. simplex* que los individuos solitarios. Esto se debe, en parte, a que no es posible saber qué porcentaje de su dieta está compuesta de los eufáusidos distribuidos a diferentes profundidades en la columna de agua o bien de las agregaciones superficiales en el área de estudio.

En un estudio realizado por Croll *et al.* (2001), se determinó que la ballena azul se alimenta principalmente en las capas profundas de eufáusidos y rara vez en las capas superficiales. No obstante, es importante señalar que los resultados del comportamiento de una ballena se basaron únicamente en registros diurnos, periodo en el que los eufáusidos se encuentran distribuidos en las capas profundas. Además, se debe tomar en cuenta que la máxima actividad alimentaria de esta especie ocurre durante las horas de la noche (Nemoto, 1959), periodo en el que su presa asciende a las capas superficiales

Con base en los resultados del presente trabajo, se propone que las hembras con cría aprovechan la máxima abundancia de adultos de *N. simplex* distribuidos en las capas superficiales durante la noche, lo cual además de constituir un menor gasto energético con relación al forrajeo, de esta forma evitan los buceos profundos durante el día con el fin de no separarse demasiado tiempo de sus crías. En contraste, puede ser que los individuos solitarios no sólo aprovechen las tallas adultas de eufáusidos durante la noche, sino que también se alimenten a profundidades mayores durante el día como lo sugerido por Croll *et al.* (2001), donde además de adultos, consumen también tallas más pequeñas correspondientes a larvas furcilia y juveniles.

Por otra parte, a pesar de que se tienen solamente 4 muestras de heces que corresponden a hembras con cría, en el **Anexo 4** se observa que los promedios de las tallas ingeridas en 3 de éstas (8.72 mm, 8.89 mm y 8.92 mm) son significativamente superiores al promedio de la longitud total de los eufáusidos ingeridos (8.21mm). Con base en esto, se sugiere que durante el día, las hembras con cría se alimenten preferentemente en las agregaciones superficiales de *N. simplex*, las cuales están constituidas en su mayoría por organismos adultos en estado de reproducción (machos con espermatóforo bien desarrollado y hembras ovígeras) según lo reportado por Gendron (1992). Es probable que la gran cantidad de huevos y metanauplios que acarrearán las hembras ovígeras, representen un importante aporte de lípidos que las hembras aprovechan para el traspaso de energía a sus crías. En agregaciones

superficiales de *Thysanoessa spinifera* se ha observado que además de que existe una mayor biomasa en comparación con la población distribuida en capas profundas, también están compuestas de organismos de mayor tamaño (Schoenherr, 1991). Asimismo, es probable que las hembras aprovechen las agregaciones superficiales de eupáusidos con el fin de transmitir a sus crías la experiencia y habilidad para capturar su alimento eficazmente.

### 7.2.3. Selección de presa por las hembras con cría, hembras sin cría y machos

Una vez que se determinó que las hembras con cría de ballena azul consumen tallas mayores de *N. simplex* que los individuos solitarios, se realizó un análisis para determinar si dicha selección de tallas de presa está regida por la presencia de la cría o bien por el sexo de los individuos.

Censos aéreos y navegaciones frente a ambas costas de la península, han mostrado que existe una diferencia en la distribución de hembras con cría respecto a individuos solitarios, estando las primeras en las zonas costeras principalmente (con profundidades menores a los 200 m), mientras que los individuos sin cría se encontraron tanto en zonas costeras como fuera de ellas (Gendron, 2002). Además, en un análisis preliminar de distribución por sexo, este autor sugiere que de acuerdo con dicha segregación geográfica, las hembras se distribuyen principalmente en las zonas costeras a una razón de 1.8 hembras por 1 machos.

De acuerdo con los resultados de este estudio (*Fig. 10*), no existen elementos suficientes para determinar una diferencia significativa entre el tamaño de presa consumida por hembras sin cría y machos, por lo que se sugiere que la habilidad de forrajeo (tanto en horas a la que se alimentan como la profundidad donde encuentran su presa) es similar entre ambos sexos. Esto podría deberse en parte a que el presente análisis está basado en individuos que se encuentran solamente en la región costera, por lo que sería interesante determinar si existe alguna diferencia en el tamaño de presa (o

inclusive de especie) entre individuos que se encuentran en zonas costeras y aquellos distribuidos en las zonas oceánicas.

Adjuntamente, se observó que las hembras con cría consumen tallas significativamente mayores de *N. simplex* en comparación con las hembras sin cría y los machos. De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo se sugiere que la presencia de la cría debe influir en el forrajeo de la hembra que está amamantando dado que ingieren presas de mayor tamaño, lo cual probablemente se relaciona con los altos requerimientos energéticos durante la lactancia. Por su parte, Ichii y Kato (1991) encontraron diferencias en la selección de presa de la ballena minke, de acuerdo con la hora de alimentación, la edad de los individuos, así como entre distintas regiones.

Como se mencionó anteriormente, la ballena azul utiliza el Golfo de California para llevar a cabo sus actividades de reproducción y crianza, así como para alimentarse activamente durante parte del invierno y primavera. La presencia de las crías ha sido objeto de pocos estudios, y al parecer, puede tener un papel muy importante en los hábitos alimentarios de las hembras, por lo que los resultados obtenidos podrían dar lugar a futuras investigaciones al ser el primer trabajo en misticetos que reporta diferencias intra-específicas relacionadas con la composición de su dieta.

#### **7.2.4. Variación mensual en las tallas de presa**

Se determinó que existen diferencias significativas en la distribución de tallas de *N. simplex* consumidas por la ballena azul a lo largo del periodo de estudio en el suroeste del Golfo de California. Estos resultados coinciden con lo reportado por Del-Ángel-Rodríguez (1997) quien encontró que la ballena azul y el rorcual común consumen diferentes tallas de *N. simplex* durante parte del periodo invierno-primavera. Esta variabilidad de tallas concuerda con lo reportado por Mackintosh (1974), quien sugiere que diferentes especies de Balaenoptéridos consumen principalmente juveniles y adultos de *Euphausia superba* en el Antártico y las tallas varían a lo largo de la temporada.

A pesar de que en la presente investigación se encuentran diferencias mensuales en la distribución de tallas de la presa de la ballena azul, se observa una tendencia opuesta a lo encontrado por Del-Ángel-Rodríguez (1997) en la misma región. Este autor reporta las tallas más grandes (9.28 mm) al principio de la temporada, mismas que rebasan en más de 1 mm a las tallas encontradas en este trabajo. De igual manera, su resultado para las tallas más pequeñas (8.08 mm) corresponde a la mitad de la temporada, periodo en el cual se reportan las tallas máximas en este trabajo.

Se sugiere que esta inconsistencia en la distribución de tallas de los eufáusidos presa en ambos trabajos, puede deberse a la disponibilidad de alimento para los eufáusidos en cada periodo analizado, reflejándolo en su crecimiento. Es por eso que es difícil observar con claridad alguna tendencia a lo largo de la temporada. Sin embargo, si se logra una continuidad en el análisis de heces de ballena azul, podría servir como un método indirecto para estudiar el cambio en la composición de tallas de los enjambres de *N. simplex* durante el invierno y la primavera en el suroeste del Golfo de California.

### **7.3. Presa en las regiones adyacentes a la Península de Baja California.-**

La composición de la dieta de la ballena azul en el Pacífico oriental ha sido ampliamente descrita en las regiones de Monterey y las Channel Islands, California (Schoenherr, 1991; Croll *et al.*, 1998; Fiedler *et al.*, 1998; Croll *et al.*, 2001), y en el suroeste del Golfo de California (Gendron, 1990; Gendron, 1992; Del-Ángel-Rodríguez, 1997; Croll *et al.*, 2001). En otras regiones se ha inferido la composición de su dieta con base en la observación de la posible presa asociada con la presencia de ballenas azules. En las Islas Galápagos, Palacios (1999) sugirió que las agregaciones superficiales de *N. simplex* son aprovechadas por las ballenas azules observadas en la misma región y temporada. Rice (1974; 1992) sugiere que se alimenta de la langostilla *Pleuroncodes planipes* debido a la asociación de densas agregaciones de este crustáceo con la

presencia de ballenas azules en la región fuera de la costa occidental de Baja California. Los resultados del análisis de heces del presente trabajo, permiten especificar por primera vez la composición de la dieta de la ballena azul en tres zonas de las zonas adyacentes a la Península de Baja California.

### ***Boca del Golfo de California***

La confluencia de las tres masas de agua superficial en la Boca del Golfo (Torres-Orozco, 1993; Castro *et al.*, 2000) permite encontrar especies de eufáusidos de diversas zonas oceanográficas (Brinton y Townsend, 1980): 1) especies residuales del flujo principal de la Corriente de California hacia el norte (*Nematoscelis difficilis* y *Thysanoessa gregaria*); 2) especies que proliferan en los márgenes productivos del Pacífico tropical oriental (*Nyctiphanes simplex* y *Euphausia eximia*); 3) especies ecuatoriales endémicas adaptadas a las regiones de bajos niveles de oxígeno (*Nematoscelis gracilis* y *Euphausia distinguenda*), y; 4) especies cosmopolitas de aguas tropicales que no migran o migran muy poco y que evaden la deficiencia de oxígeno (*Stylocheiron affine*).

El flujo de agua superficial en la entrada del golfo ocasiona que la circulación tenga un comportamiento ciclónico durante el invierno, primavera y otoño (Castro *et al.*, 2000). Esta convergencia provoca el ascenso de agua subsuperficial rica en nutrientes lo cual coincide con la presencia de ballenas azules concentradas principalmente en la región central de la Boca del Golfo entre marzo y mayo (Gendron, 2002).

A pesar de que *N. simplex* es la especie más abundante y ampliamente distribuida del Golfo de California a lo largo de todo el año, su abundancia decrece considerablemente de abril a junio en la región central de la Boca del Golfo (Brinton y Townsend, 1980), debido quizá a la baja concentración de pigmentos fotosintéticos durante invierno específicamente en esta región (Santamaría-Del-Ángel *et al.*, 1994). Sin embargo, estos bajos niveles de abundancia, son ligeramente inferiores a los de *E.*

*eximia* y similares a los de *E. distinguenda* (Brinton y Townsend, 1980), y parecen ser aprovechados por la ballena, ya que sus heces contuvieron un 100% de *N. simplex*. Es posible que la ballena azul ingiera preferentemente esta especie, puesto que su distribución vertical es más somera (arriba de los 200 m) que la de *E. distinguenda* y *E. eximia* (300 y 400 m) (Brinton, 1967a; Lavaniegos, 1996). Esto permitiría a la ballena encontrar su presa con menor esfuerzo de forrajeo, y por lo tanto, con un menor gasto energético. Además, *N. simplex* es la única de las tres especies que se agrega en superficie, lo cual es aprovechado de forma oportuna por la ballena azul.

### ***Bahía Magdalena***

La muestra de heces de ballena azul que corresponde a la zona fuera de la costa de Bahía Magdalena estuvo compuesta en un 100% de *Euphausia eximia*, lo cual confirma que, al igual que *N. simplex*, las agregaciones de eufáusidos son monoespecíficas (Kawamura, 1990). Ésta se considera como una especie endémica del margen del Pacífico tropical oriental (Brinton y Townsend, 1980; Brinton *et al.*, 2000) y se encuentra bien adaptada a la región fuera de la costa de Bahía Magdalena caracterizada por una baja producción secundaria, bajas concentraciones de biomasa zooplanctónica y sin grandes cambios estacionales (Gómez-Gutiérrez, 1995; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995).

Las condiciones ambientales altamente variables a lo largo de la costa occidental de Baja California, tienen una importante influencia en la variabilidad estacional de la composición poblacional y distribución de los eufáusidos (Gómez-Gutiérrez, 1992, en Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995). Sin embargo, Gómez-Gutiérrez (1995), determinó que no existen diferencias estacionales significativas en las densidades de *E. eximia* en la región de Bahía Magdalena, por lo que sugiere que su actividad reproductiva perdura a lo largo del año. Sus zonas de reproducción más importantes se encuentran principalmente en aguas ligeramente más cálidas en la región fuera de la costa de Bahía Magdalena, lo cual

probablemente es un factor que acelera su desarrollo alcanzando las tallas máximas (25.6 mm en adultos) durante verano y otoño (Gómez-Gutiérrez, 1995).

*Nyctiphanes simplex* y *Euphausia eximia*, junto con *Nematoscelis difficilis*, dominan la fauna de eufáusidos a lo largo de la costa occidental de Baja California, una región localizada en la zona de transición de la Corriente de California y el Pacífico tropical oriental (Brinton, 1960; Lavaniegos-Espejo, 1992; 1994; Gómez-Gutiérrez, 1995, 1996, Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1995). *Nyctiphanes simplex* tiene los vínculos neríticos más fuertes entre los eufáusidos que habitan en esta región subtropical y está considerada como una especie meramente costera (Brinton y Townsend, 1980). *Euphausia eximia*, a pesar de que también se encuentra en aguas costeras, es bastante más abundante en las zonas más alejadas de la costa, donde además se encuentran organismos de mayor tamaño (Gómez-Gutiérrez, 1995).

Gendron (2002) propone que al menos una parte de la población de ballena azul permanece en la región fuera de la costa suroccidental de Baja California (entre Bahía Magdalena y Cabo San Lucas) durante junio y octubre, y quizás no migra hasta las aguas de California. Además, sugiere que la región adyacente a Bahía Magdalena es una de las zonas importantes donde la ballena azul se alimenta regularmente, lo cual coincide con la máxima abundancia fitoplanctónica y biomasa zooplanctónica en esa región (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 1996). Sin embargo, debido a que no se sabe con certeza si la alimentación de la ballena azul es una actividad importante en la región fuera de la costa de Bahía Magdalena (Gendron, 2002), con base en los resultados del presente trabajo se sugiere que esta actividad sí debe ser significativa ya que puede aprovechar las condiciones estables de densidades altas de *E. eximia* en sus zonas de reproducción, además de beneficiarse del mayor aporte energético de este eufáusido debido a que sus tallas exceden en casi un milímetro a las tallas máximas de *N. simplex*; esto a su vez puede apoyar la hipótesis de que la ballena azul tiene la capacidad de seleccionar presas de mayor tamaño.

### ***Bahía San Quintín***

Los máximos niveles de surgencias a finales de primavera y principios de verano a lo largo de la costa occidental de Baja California (Bakun y Nelson, 1975), permiten que durante junio se presente la máxima biomasa zooplanctónica en la porción norte de la costa occidental de la península (Chelton *et al.*, 1982, en Gendron, 2002), la cual está considerada como una de las zonas más importantes donde la ballena azul se alimenta al final de la primavera y principio del verano en su movimiento hacia el norte (Gendron, 2002). Aparentemente, la distribución de este rorcual en la zona se restringe hacia aguas costeras donde la fauna de eufáusidos es dominada por *N. simplex*, lo cual se refleja en la muestra de heces correspondiente a la región adyacente a Bahía San Quintín, donde la presencia de esta especie es predominante.

Esta muestra fue la única que se preservó congelada. Se piensa que ése fue el factor que causó el encontrar un alto porcentaje de fracciones no identificables de las mandíbulas, por lo que se recomienda preferentemente la preservación de las muestras de heces en etanol al 50%.

## 8. CONCLUSIONES

La ballena azul se alimenta de larvas, juveniles y adultos del eufáusido *Nyctiphanes simplex* en el suroeste del Golfo de California, lo cual corrobora la hipótesis propuesta en otros estudios sobre la capacidad de seleccionar su presa con base en preferencias alimentarias establecidas.

Las hembras con cría de ballena azul consumen tallas de *N. simplex* significativamente más grandes que los individuos solitarios, lo cual concuerda con los altos requerimientos energéticos de las hembras durante la lactancia.

Existen diferencias significativas en la distribución de tallas de *N. simplex* consumidas por la ballena azul durante el invierno-primavera. Sin embargo, no se observa con claridad alguna tendencia a lo largo de la temporada.

La dieta de la ballena azul en aguas alejadas a la costa suroccidental de la Península de Baja California está constituida por *Euphausia eximia*, en concordancia con la distribución y abundancia de esta especie.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Borrego, S. y R.A. Schwartzlose. 1979. Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 6:43-63.
- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. En: *Estuaries and enclosed seas*. B.H. Ketchum (eds.) Elsevier. Amsterdam. 500pp
- Álvarez-Sánchez, L., M.R. Stevenson y B. Wyatt. 1978. Circulación y masas de agua en la región de la boca del Golfo de California en la primavera de 1970. *Ciencias Marinas*. 5(1):57-69.
- Badan-Dagón, A., C.J. Koblinsky y T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: Observations of surface thermal patterns. *Oceanologica*. 8:13-22.
- Bakun, A. y C.S. Nelson. 1975. Climatology of the upwelling related processes off Baja California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. 19:107-127.
- Barnes, R. 1990. *Zoología de los Invertebrados*. 5ta. edición. Interamericana – McGraw Hill. México. 957pp.
- Beier, P. 1987. Sex differences in quality of white-tailed deer diets. *Journal of Mammalogy*. 68(2): 323-329.
- Bernal, G., P. Ripa y Herguera, J.C. 2001. Variabilidad oceanográfica y climática en el Bajo Golfo de California: influencias del Trópico y Pacífico Norte. *Ciencias Marinas*. 27(4):595-617.
- Berta, A. y J. Sumich. 1999. *Marine Mammals: Evolutionary Biology*. Academic Press. 494pp.
- Bérubé, M y P. Palsbøll. 1996. Identification of sex in cetaceans by multiplexin with three ZFX and ZFY specific primers. *Molecular Ecology*. 5:283-287
- Best, P.B. 1999. Food and feeding of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) off the west coast of South Africa. *South African Journal of Marine Sciences*. 21:393-413
- Boyd, I.L., D.J. McCafferty, K. Reid, R. Taylor y T.R. Walker. 1998. Dispersal of male and female Antarctic fur seals (*Arctocephalus gazella*) *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 55:845-852.
- Brinton, E. 1960. Changes in the distribution of euphausiid crustacean in the region of California Current. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. 7:137-146.
- Brinton, E. 1962. Variable factors affecting the apparent range and estimated concentration of euphausiids in the North Pacific. *Pacific Science*. 16(4):374-408.
- Brinton, E. 1967a. Vertical migration and avoidance capability of euphausiids in the California Current. *Limnology and Oceanography*. 12:451-483.
- Brinton, E. 1967b. Distributional Atlas of Euphausiacea (Crustacea) in the California Current Region – Part I. En: California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. Atlas # 5. Marine Research Committee.

- Brinton, E. y A.W. Townsend. 1980. Euphausiids in the Gulf of California, the 1957 cruises. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. 21:211-236.
- Brinton, E., M.D. Ohman, A.W. Townsend, M.D. Night y A.L. Bridgeman. 2000. Euphausiids of the World Ocean. *World Biodiversity Database. CD-ROM Series*. Windows. Version 1.0
- Calambokidis, J., G.H. Steiger, J. Cabbage, K.C. Balcomb, C. Ewald, S. Kruse, R. Wells y R. Sears. 1990. Sightings and movements of blue whales off Central California 1986-88 from photo-identification of individuals. *Reports to the International Whaling Commission* (special issue): 343-348.
- Castro, R., A. Mascareñas, R. Durazo y C.A. Collins. 2000. Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 26(4):561-583.
- Croll, D.A., B. Tershy, R. Hewitt, D. Demer, P. Fiedler, S. Smith, W. Armstrong J. Popp, T. Kiekhefer, V. López, J. Urbán y D. Gendron. 1998. An integrated approach to the foraging ecology of marine birds and mammals. *Deep-Sea Research II*. 45:1353-1371.
- Croll, D.A., A. Acevedo-Gutiérrez, B.R. Tershy y J. Urbán-Ramírez. 2001. 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.
- Cromwell, T. y J.L. Reid Jr. 1956. A study of oceanic fronts. *Tellus*. 8:94-101.
- Dalley, D., S. McClatchie. 1989. Functional feeding morphology of the euphausiid *Nyctiphanes australis*. *Marine Biology*. 101: 195-203.
- De-La-Lanza, G. 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F. 569pp.
- Del-Ángel-Rodríguez, J. 1997. Hábitos alimentarios y distribución espacio-temporal de los rorcuales común (*Balaenoptera physalus*) y azul (*Balaenoptera musculus*) en la Bahía de La Paz, BCS., México. *Tesis de Maestría*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. 68pp.
- Douglas, M.W., R.A. Maddox, K. Howard y S. Reyes. 1993. The Mexican monsoon. *Journal of Climate*. 6:1665-1677.
- Fiedler, P., S. Reilly, R. Hewitt, D. Demer, V. Philbrick, S. Smith, W. Armstrong, D. Croll, B. Tershy y B.R. Mate. 1998. Blue whale habitat and prey in the California Channel Islands. *Deep-Sea Research II*. 45:1781-1801.
- Fisher, K.I. y R.E. Stewart. 1997. Summer foods of Atlantic walrus, *Odobenus rosmarus rosmarus*, in northern Foxe Basin, Northwest Territories. *Canadian Journal of Zoology*. 75(7):1166-1175.
- García-Rodríguez, F. 1995. Ecología alimentaria del lobo marino de California, *Zalophus californianus californianus*, en Los Islotes, BCS., México. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 106pp.
- Gaskin, D.E. 1982. *The ecology of whales and dolphins*. Heinemann Educational Books, London. 459pp.
- Gendron, D. 1990. Relación entre la abundancia de eufáusidos y de ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) en el Golfo de California. *Tesis de Maestría*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. 64pp.

- Gendron, D. 1992. Population structure of daytime surface swarms of *Nyctiphanes simplex* (Crustacea: Euphausiacea) in the Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*. 87:1-6.
- Gendron, D. 1993. Índice de avistamientos y distribución del género *Balaenoptera* en el Golfo de California, México, durante febrero, marzo y abril, 1988. *Revista de Investigación Científica* (no. esp. SOMEMMA). UABCS. 1:21-29.
- Gendron, D. 1997. Informe sobre los cruceros del Proyecto Ecología de la Ballena Azul del CICIMAR durante 1996-1997. No publicado
- Gendron, D. 2002. Population ecology of blue whales of Baja California. *Tesis de Doctorado*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 100pp.
- Gómez-Gutiérrez, J y H. Vélez. 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región Costera de la Corriente de California. *Ciencias Marinas*. 8(2):167-176.
- Gómez-Gutiérrez, J. 1995. Distribution patterns, abundance and population dynamics of the euphausiids *Nyctiphanes simplex* and *Euphausia eximia* off the west coast of Baja California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 119: 63-76.
- Gómez-Gutiérrez, J., R. Palomares-García, D. Gendron. 1995. Community structure of the euphausiid populations along the west coast of Baja California, Mexico, during the weak ENSO 1986-1987. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 120:41-51
- Gómez-Gutiérrez, J. 1996. Ecology of early larval development of *Nyctiphanes simplex*, Hansen (Euphausiacea) off the southwest coast of Baja California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*. 58(1): 131-146.
- Gómez-Gutiérrez, J., R. De-Silva-Dávila, B. Lavaniegos-Espejo 1996. Growth production of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* on the coastal shelf off Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 138:309-314.
- Harvey, J.T. y G.A. Antonelis. 1994. Biases associated with non-lethal methods of determining the diet of northern elephant seals. *Marine Mammal Science*. 10(2):178-187.
- Ichii, T. y H. Kato. 1991. Food and daily food consumption of southern minke whales in the Antarctic., *Polar Biology*. 11:479-487.
- Ichii, T., N. Shinohara, Y. Fujise, S. Nishiwaki y K. Matsuoka. 1998. Interannual changes in body fat condition index of minke whales in the Antarctic. *Marine Ecology Progress Series*. 175:1-12.
- Kawamura, A. 1980. A review of food of balaenopterid whales. *The Scientific Reports of the Whales Research Institute*. Tokyo. 32:155-197.
- Kieckhefer, T.R. 1992. Feeding ecology of humpback whales in continental shelf waters near Cordell Bank, California. *Tesis de Maestría*. Moss Landing Marine Laboratories, San Jose State University. 86pp.
- Komaki, Y. 1967. On the surface swarming of euphausiid crustaceans. *Pacific Science*. 21:433-438.
- Kohn, M. y R. Wayne. 1997. Facts from feces revisited. *Tree*. 12(6):223-227.

- Kohn, M. y R. Wayne. 1997. Facts from feces revisited. *Tree*. 12(6):223-227.
- Kvitek, R.G., C.E. Bowlby y M. Staedler. 1993. Diet and foraging behavior of sea otters in southeast Alaska. *Marine Mammal Science*. 9(2):168-181.
- Lagardère, J.P. 1972. Recherches sur l'alimentation des crevettes de la pente continentale marocaine. *Tethys*. 3(3): 655-675.
- Lavaniegos-Espejo, B. 1992. Growth and larval development of *Nyctiphanes simplex* in laboratory conditions. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. 33: 162-171.
- Lavaniegos-Espejo, B. 1994. Dispersion and development patterns in larvae of *Nyctiphanes simplex* (Euphausiacea) in the upwelling region off Baja California. *Marine Ecology Progress Series*. 106: 207-225.
- Lavaniegos-Espejo, B. 1996. Vertical distribution of euphausiid life stages in waters adjacent to Baja California. *Fisheries Bulletin*. 94:300-312.
- Lavaniegos-Espejo, B., R. Lara-Lara y E. Brinton. 1989. Effects of the 1982-83 El Niño event on the euphausiid population of the Gulf of California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. 30:73-85.
- Lavaniegos-Espejo, B., J Gómez-Gutiérrez, J.R. Lara-Lara y S. Hernández-Vázquez. 1998. Long-term changes in zooplankton volumes in the California Current System - the Baja California region. *Marine Ecology Progress Series*. 169:55-64.
- Leatherwood, S., R.R. Reeves, W.F. Perrin y W.E. Evans. 1982. *Whales, dolphins and porpoises of the eastern North Pacific and adjacent arctic waters: a guide to their identification*. National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Reports. NMFS. 444:245pp.
- Leatherwood, S., R.R. Reeves y L. Foster. 1983. *The Sierra Club handbook of whales and dolphins*. Sierra Club Books. San Francisco. 312pp.
- Lockyer, C. 1981. Mammals in the seas. Growth and energy budgets of large baleen whales from the southern hemisphere. *FAO Fisheries Series*. 5(3):379-439.
- López-Espinosa, R. 1996. Propuesta de ordenamiento de las actividades de la zona marina de Loreto, BCS., México. *Tesina en Administración de Recursos Marinos*. Universidad Autónoma de Baja California. 56pp.
- Lynn, R.J., y J.J. Simpson 1987. The California Current System: the seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*. 92(12):12947-12966.
- Mackintosh, N.A. 1974. Size of krill eaten by whales. *Discovery Report*. 36:161-177.
- Mate, B.R., B.A. Lagerquist y J. Calambokidis, 1999. Movements of North Pacific blue whales during the feeding season off Southern California and their southern fall migration. *Marine Mammal Science*. 15(4): 1246-1257.
- Mauchline, A.C. 1967. Feeding appendages of the Euphausiacea (Crustacea). *Journal of Zoology*. 153: 1- 43.

- Mauchline, A.C. 1980. The biology of mysids and euphausiids. *Advances in Marine Biology*. 18:681pp.
- McCullough, D.R. 1979. *The George Reserve deer herd: population ecology of a K-selected species*. University of Michigan Press. Ann Arbor. 271pp.
- Mizroch, S., D.W. Rice y J. Breiwick. 1984. The blue whale, *Balaenoptera musculus*. En: J. Breiwick and H.W. Braham (Eds), *The status of endangered whales*. *Marine Fisheries Review* 46:15-19.
- Nemoto, T. 1957. Foods of baleen whales in the Northern Pacific. *The Scientific Reports of the Whales Research Institute*. Tokyo. 12:33-89.
- Nemoto, T. 1959. Foods of baleen whales with reference of whale movements. *The Scientific Reports of the Whales Research Institute*. Tokyo. 14:149-290.
- Nemoto, T. 1973. Feeding pattern of baleen whales in the ocean. En: J.H. Steele (Eds) *Marine Food Chain*. Olyvery Boyd, Edinburgh. 241-252.
- Palacios, D. 1999. Blue whale (*Balaenoptera musculus*) occurrence off the Galapagos Islands, 1978-1995. *Journal of Cetacean Research Management*. 1(1):41-51.
- Palsbøll, P., A. Vader, I. Bakke y M.R. El-Gewly. 1992. Gender determination in cetaceans by the polymerase chain reaction. *Canadian Journal of Zoology*. 70:2166-2170
- Pivorunas, A. 1979. The feeding mechanisms of baleen whales. *American Scientist*. 67(4):432-40.
- Reid, J.L. Jr., G.I. Roden. Y J.G. Wyllie. 1958. Studies of the California Current System. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. 5:28-57
- Reilly S.B., y V.G. Thayer. 1990. Blue whale (*Balaenoptera musculus*) distribution in the eastern tropical Pacific. *Marine Mammal Science*. 6(4): 265-277.
- Rice, D.W. 1974. Whales and whale research in the eastern North Pacific. En: Schevill, W.E. (Ed.), *The whale problem: A status report*. Harvard University Press, Cambridge. pp. 170-195.
- Rice, D.W. 1992. The blue whales of the southeastern North Pacific Ocean. *AFSC Quarterly Report*. 1-3.
- Santamaría-Del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego y F.E. Muller-Karger. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99:7411-7421.
- Schwartzlose, R. y J.L. Reid. 1972. Near shore circulation in the California Current. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. 16:57-65.
- Schoenherr, J.R. 1991. Blue whales feeding on high concentrations of euphausiids around Monterey Submarine Canyon. *Canadian Journal of Zoology*. 69:583-594.
- Sears, R. 1984. The photo-identification of individual blue whales *Whalewatcher*. Fall. 10-12.
- Sears, R. 1987. The photographic identification of individual blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Sea of Cortez. *Cetus*. 7(1):14-17.

- Shank, C.C. 1982. Age-sex differences in the diets of wintering Rocky Mountain bighorn sheep. *Ecology*. 63(3):627-633.
- Sokal, R.R y F.J.Rohlf. 1969. *Biometry*. 2nd. edition. W.H. Freeman Company. 859pp.
- Stafford, K.M., S.L. Nieukirk y C.G. Fox. 1999. An acoustic link between blue whales in the eastern tropical Pacific and the northeast Pacific. *Marine Mammal Science*. 15:1258-1268.
- Staines, B.W., J.M.Crisp y T. Parish. 1982. Differences in the quality of food eaten by red deer stags and hinds in winter. *Journal of Applied Ecology*. 19:65-79.
- Steinbeck, J. y E. Ricketts. 1941. *The Sea of Cortez*. Viking Press., New York.
- Tershy, B., D. Breese, C. Strong. 1990. Abundance, seasonal distribution and population composition of balaenopterid whales in the Canal de Ballenas, Gulf of California, Mexico. *Reports of the International Whaling Commission* (special issue) 12: 369-375.
- Torres-Orozco, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. *Tesis de Maestría*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 80pp.
- U.S. GLOBEC, *Global Ocean Ecosystems Dynamics*. 1994. Eastern Boundary Current Program: A science plan for the California Current. Report 11. 134pp.
- Yamaji, I. 1977. *Illustrations of the Marine Plankton of Japan*. Hoikusha Publishing. 369pp.
- Yochem, P y S. Leatherwood. 1985. Blue whale, *Balaenoptera musculus* (Linnaeus, 1758) *En*: S.H. Ridgway y R. Harrison (Eds), *Handbook of Marine Mammals*. vol. 3:193-240. The Sirenians and Baleen Whales. Academic Press. 302pp.
- Zar, H.J. 1996. *Biostatistical analysis*. 3th. edition. Prentice Hall. New Jersey. 662pp.
- Zeitzschel, B. 1969. Primary productivity in the Gulf of California. *Marine Biology*. 3:201-207.

HOJA DE AVISTAMIENTOS CRUCERO CICIMAR

FECHA : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
AÑO / MES / DÍA

HOJA : \_\_\_\_

HORA : \_\_\_\_ ESFUERZO : \_\_\_\_ ROTACIÓN: I= \_\_\_\_ C= \_\_\_\_ D= \_\_\_\_ RUMBO: \_\_\_\_ LAT: \_\_\_\_ ° LONG: \_\_\_\_ °  
 ANGLULO DE AVISTA: \_\_\_\_ RETICULA DE AVISTA: \_\_\_\_ NO. DE AVISTA: \_\_\_\_ OBS: \_\_\_\_ Sp.: \_\_\_\_  
 No. DE ANIMALES: \_\_\_\_ ASOCIA.: \_\_\_\_ VISIBILIDAD: \_\_\_\_ C/C: \_\_\_\_ S/S: \_\_\_\_ VIENTO: \_\_\_\_ DIR.V: \_\_\_\_  
 OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

HORA : \_\_\_\_ ESFUERZO : \_\_\_\_ ROTACIÓN: I= \_\_\_\_ C= \_\_\_\_ D= \_\_\_\_ RUMBO: \_\_\_\_ LAT: \_\_\_\_ ° LONG: \_\_\_\_ °  
 ANGLULO DE AVISTA: \_\_\_\_ RETICULA DE AVISTA: \_\_\_\_ NO. DE AVISTA: \_\_\_\_ OBS: \_\_\_\_ Sp.: \_\_\_\_  
 No. DE ANIMALES: \_\_\_\_ ASOCIA.: \_\_\_\_ VISIBILIDAD: \_\_\_\_ C/C: \_\_\_\_ S/S: \_\_\_\_ VIENTO: \_\_\_\_ DIR.V: \_\_\_\_  
 OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

HORA : \_\_\_\_ ESFUERZO : \_\_\_\_ ROTACIÓN: I= \_\_\_\_ C= \_\_\_\_ D= \_\_\_\_ RUMBO: \_\_\_\_ LAT: \_\_\_\_ ° LONG: \_\_\_\_ °  
 ANGLULO DE AVISTA: \_\_\_\_ RETICULA DE AVISTA: \_\_\_\_ NO. DE AVISTA: \_\_\_\_ OBS: \_\_\_\_ Sp.: \_\_\_\_  
 No. DE ANIMALES: \_\_\_\_ ASOCIA.: \_\_\_\_ VISIBILIDAD: \_\_\_\_ C/C: \_\_\_\_ S/S: \_\_\_\_ VIENTO: \_\_\_\_ DIR.V: \_\_\_\_  
 OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

HORA : \_\_\_\_ ESFUERZO : \_\_\_\_ ROTACIÓN: I= \_\_\_\_ C= \_\_\_\_ D= \_\_\_\_ RUMBO: \_\_\_\_ LAT: \_\_\_\_ ° LONG: \_\_\_\_ °  
 ANGLULO DE AVISTA: \_\_\_\_ RETICULA DE AVISTA: \_\_\_\_ NO. DE AVISTA: \_\_\_\_ OBS: \_\_\_\_ Sp.: \_\_\_\_  
 No. DE ANIMALES: \_\_\_\_ ASOCIA.: \_\_\_\_ VISIBILIDAD: \_\_\_\_ C/C: \_\_\_\_ S/S: \_\_\_\_ VIENTO: \_\_\_\_ DIR.V: \_\_\_\_  
 OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

HORA : \_\_\_\_ ESFUERZO : \_\_\_\_ ROTACIÓN: I= \_\_\_\_ C= \_\_\_\_ D= \_\_\_\_ RUMBO: \_\_\_\_ LAT: \_\_\_\_ ° LONG: \_\_\_\_ °  
 ANGLULO DE AVISTA: \_\_\_\_ RETICULA DE AVISTA: \_\_\_\_ NO. DE AVISTA: \_\_\_\_ OBS: \_\_\_\_ Sp.: \_\_\_\_  
 No. DE ANIMALES: \_\_\_\_ ASOCIA.: \_\_\_\_ VISIBILIDAD: \_\_\_\_ C/C: \_\_\_\_ S/S: \_\_\_\_ VIENTO: \_\_\_\_ DIR.V: \_\_\_\_  
 OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

ANEXO 2

BLUE WHALE SHEET 2002

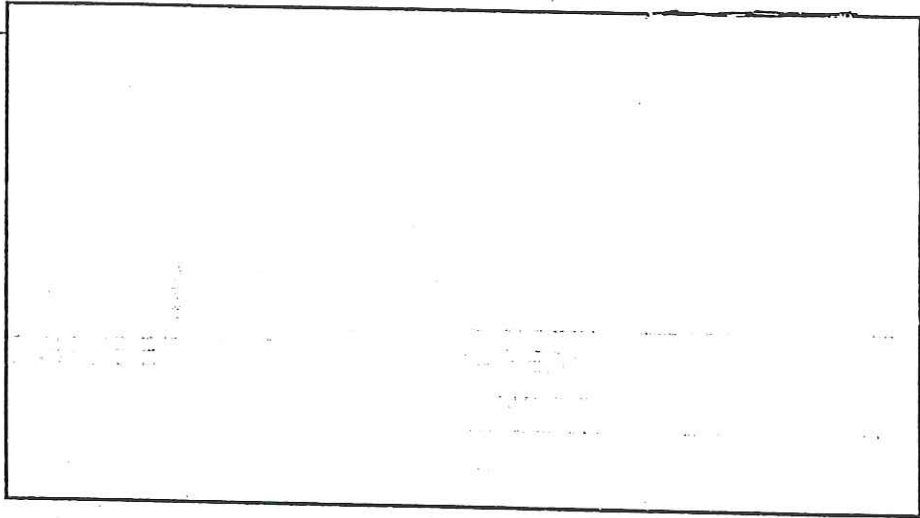
AREA: \_\_\_\_\_  
SHEET # \_\_\_\_\_

DATE: day / month / year  
/ /

TIME INITIAL: ,  
LAT:  
LONG:

TIME FINAL:  
LAT:  
LONG:

SIGHTING # \_\_\_\_\_  
SP: \_\_\_\_\_  
# OF ANIMA \_\_\_\_\_  
INDIVIDUAL A B C



ASSOCIATION  
SST :

PHOTOGRAPHS

BM#	ROLL	FRAME	LEFT SIDE	RIGHT SIDE	FLUKE	Photographer	Observation
A B C							
A B C							
A B C							
A B C							
A B C							
A B C							
A B C							
A B C							
A B C							
A B C							

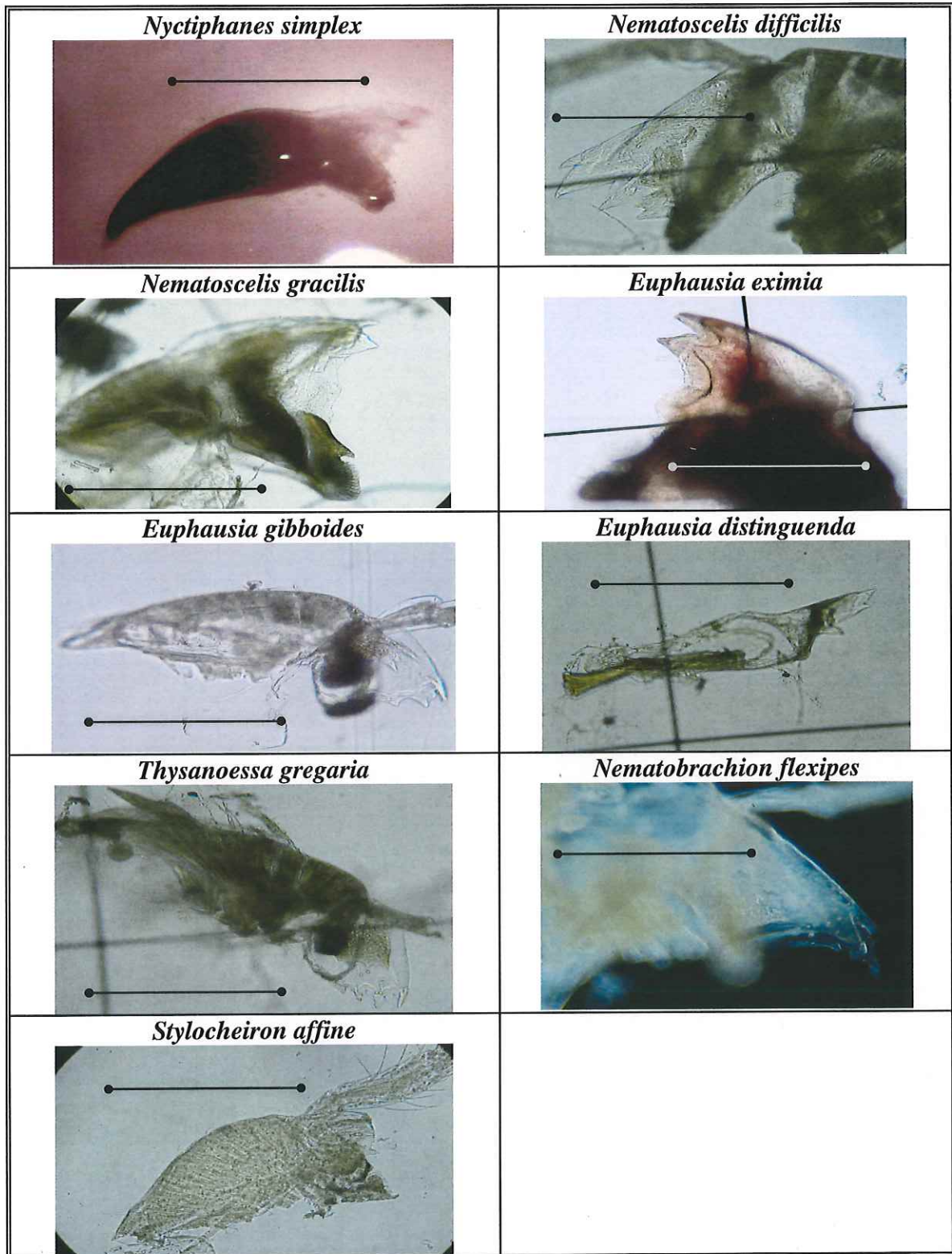
SKIN DATA

A B C	BIOPSY	SKIN	SAMPLE#	DMSO	SALT
A B C	BIOPSY	SKIN	SAMPLE#	DMSO	SALT
A B C	BIOPSY	SKIN	SAMPLE#	DMSO	SALT

DIVE/SURFACE TIME AND SLOUGHED SKIN DATA

ST	DT	# BLOWS	SKIN?	ST	DT	# BLOWS	SKIN?

ANEXO 3



Imágenes digitales de mandíbulas de los eufáusidos que se presentan con mayor abundancia en las aguas adyacentes de la Península de Baja California. La línea de referencia representa 0.5 mm.

#### ANEXO 4

Muestras de heces de ballena azul recolectadas en el suroeste del Golfo de California durante las temporadas enero-abril de 1998-2001. Para cada una se indica la fecha de recolecta, la localización geográfica, el grupo de ballena al que pertenece (hembras con cría, individuos solitarios, hembras sin cría y machos), el periodo de recolecta y la talla promedio del eufáusido ingerido. Los espacios con línea son los individuos no sexados.

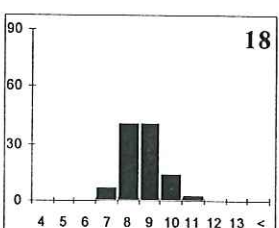
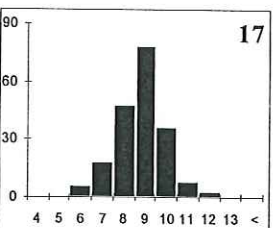
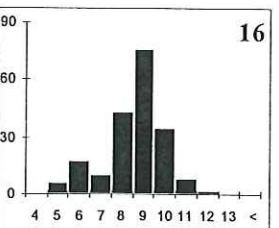
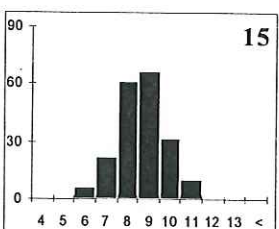
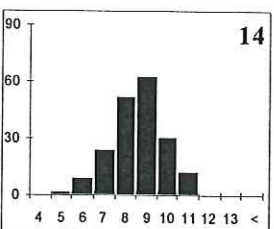
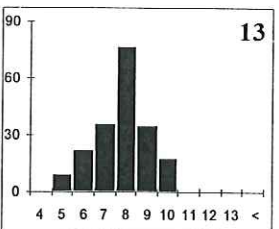
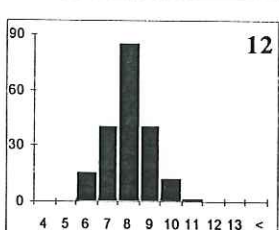
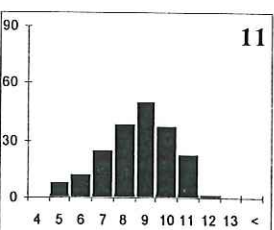
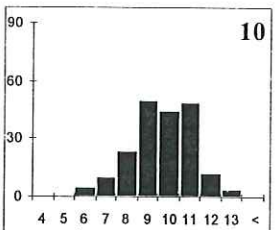
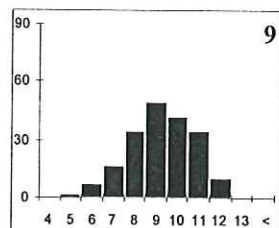
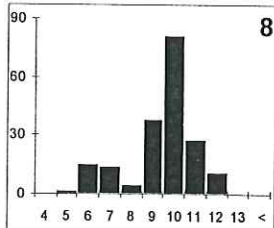
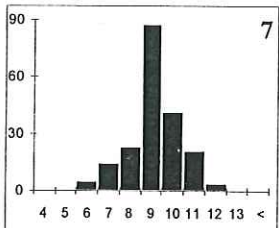
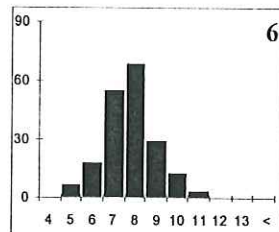
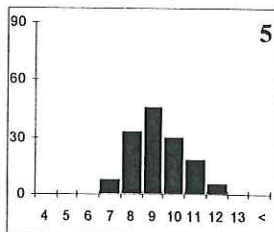
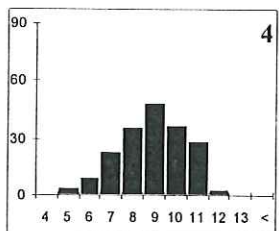
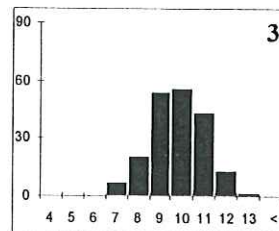
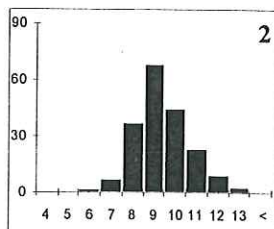
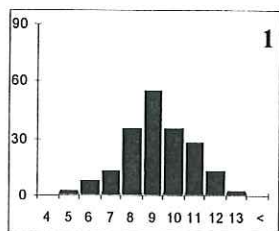
muestra	fecha	latitud	longitud	h. cría / solitario	sexo	Meses	talla prom. (mm)
1	16-III-98	25°83'N	111°25'W	solitario	---	mar-abr	8.70
2	1-IV-98	25°50'N	110°83'W	h. cría	♀	mar-abr	8.89
3	24-II-99	25°60'N	111°17'W	solitario	♀	feb-mar	9.33
4	26-II-99	25°64'N	111°17'W	solitario	♀	feb-mar	8.36
5	27-II-99	25°67'N	111°18'W	solitario	♂	feb-mar	8.78
6	16-IV-99	24°43'N	110°38'W	h. cría	♀	mar-abr	7.21
7	18-I-00	24°88'N	110°41'W	solitario	♂	ene-feb	8.61
8	4-II-00	24°69'N	110°49'W	h. cría	♀	ene-feb	8.92
9	24-II-00	24°54'N	110°58'W	h. cría	♀	feb-mar	8.72
10	15-III-00	24°92'N	110°52'W	solitario	---	mar-abr	9.21
11	16-III-00	25°10'N	110°65'W	solitario	---	mar-abr	8.29
12	24-I-01	25°54'N	110°95'W	solitario	---	ene-feb	7.45
13	6-II-01	25°92'N	111°04'W	solitario	♀	ene-feb	7.27
14	6-II-01	25°89'N	111°08'W	solitario	♂	ene-feb	8.07
15	6-II-01	25°87'N	111°10'W	solitario	♂	ene-feb	8.18
16	6-II-01	25°87'N	111°09'W	solitario	♀	ene-feb	8.03
17	25-II-01	25°16'N	110°85'W	solitario	♂	feb-mar	8.30
18	28-II-01	24°99'N	110°70'W	solitario	---	feb-mar	8.14
19	1-III-01	25°04'N	110°77'W	solitario	---	feb-mar	8.22
20	2-III-01	24°98'N	110°71'W	solitario	♂	feb-mar	8.17
21	3-III-01	25°19'N	110°65'W	solitario	---	feb-mar	8.93
22	28-III-01	24°83'N	110°58'W	solitario	---	mar-abr	6.95
23	29-III-01	25°12'N	110°67'W	solitario	---	mar-abr	6.46

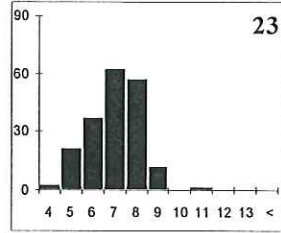
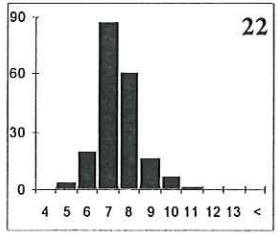
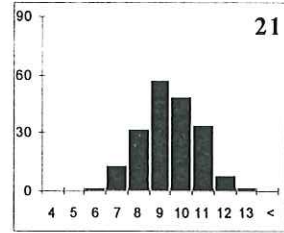
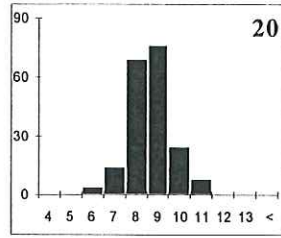
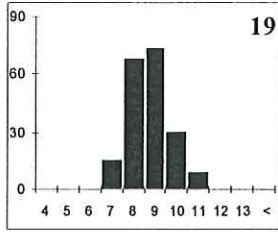
## ANEXO 5

Fecha, localización geográfica y las especies probables en las muestras de heces de ballena azul recolectadas en tres zonas adyacentes a la Península de Baja California. Las abreviaturas indican: *Nyctiphanes simplex* (Ns), *Nematoscelis difficilis* (Nd), *Nematoscelis gracilis* (Ng), *Euphausia eximia* (Ee), *E. gibboides* (Eg), *E. hemigibba* (Eh), *E. distinguenda* (Ed), *Thysanoessa gregaria* (Tg), *Nematobrachion flexipes* (Nf) y *Stylocheiron affine* (Sa).

sitio de recolecta	fecha	Latitud	longitud	especies probables
Boca del Golfo	5-IV-97	24°31'N	109°00'W	Ns, Nd, Ng, Ee, Sa.
Bahía Magdalena	13-VI-97	23°26'N	113°08'W	Ns, Nd, Ee, Ed, Ng, Nf, Sa, Eh, Eg.
San Quintín	21-VI-95	30°22'N	116°10'W	Ns, Nd, Ee, Eg, Tg, Sa.

## ANEXO 6





Distribución de frecuencias (0-90) de las tallas de *Nyctiphanes simplex* en función de la longitud total (mm), calculada a partir de cada muestra de heces de ballena azul correspondiente al suroeste del Golfo de California.