

**Informe final\* del Proyecto L229**  
**Ecología y genética poblacional de la ballena gris *Eschrichtius robustus* en la Península de Baja California**

**Responsable:** Dr. Jorge Urbán Ramírez  
**Institución:** Universidad Autónoma de Baja California Sur  
Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar  
Departamento de Biología Marina  
**Dirección:** Carretera al Sur Km 5.5, La Paz, BCS, 23081 , México  
**Correo electrónico:** [jurban@uabcs.mx](mailto:jurban@uabcs.mx)  
**Teléfono/Fax:** 01(612)12 3 88 00 ext 4120 Fax: 01(612) 12 3 8819  
**Fecha de inicio:** Noviembre 28, 1997  
**Fecha de término:** Diciembre 5, 2000  
**Principales resultados:** Informe final, Hoja de cálculo  
**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Urbán Ramírez, J., 2000. Ecología y genética poblacional de la ballena gris *Eschrichtius robustus* en la Península de Baja California. Universidad Autónoma de Baja California Sur. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L229.** México D. F.  
**Forma de citar hoja de cálculo** Urbán Ramírez, J., 2000. Ecología y genética poblacional de la ballena gris *Eschrichtius robustus* en la Península de Baja California. Universidad Autónoma de Baja California Sur. **Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. L229.** México D. F.

**Resumen:**

Desde la década de los 30, la Ballena Gris se encuentra protegida internacionalmente. La extraordinaria rapidez con que su número se ha incrementado a partir de su protección, le ha valido a la política conservacionista de México reconocimientos internacionales, particularmente por la protección de estas ballenas en sus lagunas de reproducción en la costa occidental de la Península de Baja California. Sin embargo, la falta de estudios e información sobre esta especie en aguas mexicanas, el extraordinario incremento de su atracción turística y los planes de desarrollo industrial en sus lagunas de reproducción, han provocado preocupación por el futuro de estas ballenas. Atendiendo a estas preocupaciones, la Universidad Autónoma de Baja California Sur, inició un proyecto de investigación sobre esta ballena en la laguna de San Ignacio, en la temporada invernal de 1996. El apoyo a este proyecto, significará la continuación y consolidación de los objetivos planteados. Estos incluyen: Conocer la distribución, abundancia, estructura poblacional, permanencia, mortalidad, y fidelidad al área de las ballenas grises que habitan la laguna de San Ignacio durante las temporadas invernales de 1996, 97 y 98. Determinar la filopatría, número poblacional viable y salud genética de la especie. Evaluar la resistencia de la población a agentes patógenos y evaluar la concentración de compuestos organoclorados y bifenilos policlorados en tejido de ballena gris . Con la información generada, integrar una base de datos y un marco de referencia a considerarse en la toma de decisiones para la conservación del recurso y su desarrollo sustentable.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

## PROYECTO L229

# Ecología y genética poblacional de la ballena gris *Eschrichtius robustus*, en la Península de Baja California

## Informe Final a la CONABIO *Septiembre 2000*

### RESPONSABLE

M. en C. Jorge Urbán Ramírez <sup>1</sup>

### COLABORADORES

Biol. Mar. E. Alejandro Gómez Gallardo U. <sup>1</sup>	Pas. Biol. Mar. Miguel Palmeros Rodríguez <sup>1</sup>
M. en C. Sergio Flores Ramírez <sup>4</sup>	Dra. Catherine Schaeff <sup>5</sup>
Dr. Steven Swartz <sup>6</sup>	Biol. Stefan Ludwig. <sup>3</sup>
Biol. Mar. Víctor Flores de Sahagún <sup>1</sup>	Biol. Mar. Mercedes Guerrero Ruiz <sup>1</sup>
Biol. Mar. Juan Carlos Salinas <sup>1</sup>	Biól. Clara Elena Pérez Sánchez <sup>1</sup>
Pas. Biol. Mar. Jorge Israel Solís Leana <sup>1</sup>	Pas. Biol. Mar. Mauricio Nájera Caballero <sup>1</sup>
Pas. Biol. Mar. Jorge Ortíz M. <sup>1</sup>	Pas. Biol. Ursula A. González Peral <sup>2</sup>
Pas. Biol. Mar. Liliana C. Rojo Arreola	Pas. Biol. Nadia Rubio Cisneros <sup>1</sup>
Pas. Biol. Mar. Luz Ma. Romero Meza <sup>1</sup>	Pas. Biol. Itzel Zamora Vilchis <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Baja California Sur

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>3</sup> Universidad de Kiel, Alemania

<sup>4</sup> University of New México

<sup>5</sup> The American University. Washington D.C.

<sup>6</sup> National Marine Fisheries Service

Agradecemos el importante apoyo brindado por:

Compañía Exportadora de Sal S.A.  
Ecoturismo Kuyima, S.A.  
Reserva de la Biosfera “El Vizcaíno”  
Delegación Federal de la SEMARNAP en B.C.S.  
Instituto Nacional de Ecología

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>ANTECEDENTES SOBRE LA BIOLOGÍA DE LA BALLENA GRIS Y SUS ESTUDIOS</b>	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>13</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>15</b>
DEMOGRAFÍA	15
<i>Abundancia y Distribución</i>	15
<i>Mortalidad</i>	16
FOTOIDENTIFICACIÓN	16
<i>Permanencia</i>	17
<i>Intervalo de partos</i>	18
<i>Filopatría de las madres con cría</i>	18
<i>Número de ballenas grises que visitaron Laguna San Ignacio</i>	18
GENÉTICA	20
<i>Colecta de Biopsias</i>	20
<i>Determinación del sexo, filopatría y genética poblacional</i>	20
<i>Evaluación preliminar de la capacidad inmune de la ballena gris, de acuerdo al polimorfismo funcional del complejo principal de histocompatibilidad clase I (CPHI).</i>	21
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>22</b>
DEMOGRAFÍA	22
<i>Abundancia</i>	22
<i>Distribución</i>	29
<i>Análisis histórico</i>	36
<i>Mortalidad</i>	38
FOTOIDENTIFICACIÓN	42
<i>Permanencia</i>	42
<i>Intervalo de partos</i>	47
<i>Filopatría de las madres con cría</i>	49
<i>Número de ballenas grises que visitaron Laguna San Ignacio</i>	49
GENÉTICA	52
<i>Determinación del sexo, filopatría y genética poblacional.</i>	52
<i>Evaluación preliminar de la capacidad inmune de la ballena gris, de acuerdo al polimorfismo funcional del complejo principal de histocompatibilidad clase I (CPHI).</i>	52
<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>58</b>

<b>ANEXO I:</b> PONENCIAS, PUBLICACIONES Y TESIS GENERADOS EN ESTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN POR EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE MAMÍFEROS MARINOS DE LA UABCS _____	<b>66</b>
<b>ANEXO II:</b> CENSOS DE BALLENAS GRISES EFECTUADOS EN LAGUNA SAN IGNACIO, B.C.S., DURANTE LAS TEMPORADAS INVERNALES DE 1996-2000 _____	<b>71</b>
<b>ANEXO III:</b> RESULTADOS PARCIALES DEL ANÁLISIS GENÉTICO DE LAS MUESTRAS DE PIEL DE BALLENAS GRISES, TOMADAS EN LAGUNA SAN IGNACIO, BAHÍA DE BALLENAS Y SAN JOSÉ DEL CABO, B.C.S., DURANTE 1996 Y 1997 _____	<b>74</b>



## RESUMEN

La ballena gris *Eschrichtius robustus*, es la única especie de su familia y una de las once especies de ballenas barbadas conocidas en el mundo. La población americana realiza migraciones desde los mares de Bering, Chukchi y Beaufort, donde se alimentan durante el verano, hasta la costa occidental de la Península de Baja California y Golfo de California, para realizar sus actividades reproductivas de diciembre a abril. Las principales concentraciones en aguas mexicanas, se encuentran a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California, en las Lagunas Ojo de Liebre, San Ignacio y el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas.

El objetivo de este proyecto es el de generar los conocimientos necesarios acerca de la ecología y estructura poblacional de la ballena gris en sus áreas de reproducción, con la finalidad de lograr un manejo adecuado de este recurso.

Los parámetros utilizados consistieron en la determinación de la distribución, abundancia, estructura poblacional, permanencia, mortalidad y fidelidad al área, así como una evaluación de la historia poblacional de las ballenas grises en la Laguna San Ignacio. Además se realizaron estudios genéticos para determinar la salud genética de la población así como su filopatría.

Para determinar si las diferencias observadas en la ocupación de la Laguna San Ignacio por las ballenas grises, se consideraron los censos semanales correspondientes a cada temporada. El resultado nos indica que no existieron diferencias significativas cuando consideramos a los adultos en general, sin distinguir entre solitarios y madres con cría. Tampoco encontramos diferencias significativas cuando realizamos el análisis considerando únicamente a los solitarios. Las madres con cría, por el contrario, tienen diferencias evidentes entre años. Es posible que la razón de este comportamiento en la abundancia de madres con cría en la laguna, sean los efectos del evento El Niño y la Niña, así como las consecuencias reproductivas que tuvieron estos y incluso hasta el año de 2000, razón por la cual el número de madres con cría disminuyó dentro de la laguna.

Cuando comparamos los conteos máximos (número máximo de adultos en la laguna), para el periodo de 1979 a 1982 y 1985, con los realizados para el periodo 1996 a 2000, observamos que hubo un decremento importante en el número de ballenas adultas, principalmente de los solitarios, que pasaron de máximos de 295 ballenas contadas en 1985 a 182 contadas en 2000.

La mortalidad durante los primeros tres años de estudio fue similar a la reportada en los estudios de 1978 a 1985, la cual estuvo compuesta principalmente por crías y siempre menos de 8 individuos. Durante 1999 y 2000 la composición de la mortalidad cambió, dando como resultado que en 1999 el 60% de los 5 cadáveres de ballenas muertas dentro de la laguna fueron de animales adultos y en 2000 el 100%. Además, para 2000 fue evidente el gran incremento en la mortalidad (34 animales), siendo cuatro veces superior a la mayor mortalidad registrada en cualquiera de los años anteriores.

Utilizando la técnica de captura-recaptura por medio de la identificación fotográfica de los individuos estimamos la permanencia media de las madres con cría para la totalidad del periodo, la cual fue de  $\bar{x} = 21.68 \pm 2.18$  días ( $n = 170$ ; I.C. 95%), la cual resultó ser casi 4 veces mayor a la de las ballenas solitarias  $\bar{x} = 5.53 \pm 1.57$  días ( $n = 43$ ; I.C. 95%). El tiempo de permanencia no varío entre los diferentes años del estudio.

Para determinar el tiempo del ciclo reproductivo de las ballenas grises en la laguna, utilizamos las recapturas de las madres con cría fotografiadas entre 1996 y 2000. Se identificaron 34 hembras que han visitado la laguna más de una vez. Nueve de estas ballenas han parido con dos años de diferencia y siete con tres años; ninguna lo ha hecho en años consecutivos. Tomando en cuenta únicamente las ballenas que han sido observadas en más de un año con cría ( $n = 18$ ), se tiene que el intervalo promedio entre nacimientos de ballena gris es de  $2.50 \pm 0.29$  años (I.C. 95%) durante el periodo 1996-2000, intervalo que es significativamente diferente al reportado entre 1977 y 1982 de  $2.25 \pm 0.6$  (I.C. 95%).



La estimación del número total de ballenas que visitaron la laguna cada temporada varió de 2,941 en 2000 y 2,789 en 1997 a 707 en 1996 y 1,495 en 1998. Se considera que estos cambios obedecen más a cambios en la distribución como una respuesta a las variaciones oceanográficas que a un aumento o disminución real de la población.

Se analizó el sexo y haplotipo de 83 ballenas grises adultas, 14 de la Laguna Ojo de Liebre, 66 de la laguna San Ignacio, 2 de la Bahía de Ballenas y una muestreada en las aguas adyacentes a San José del Cabo. De éstas ballenas, 65 fueron hembras (10 en Ojo de Liebre, 55 en San Ignacio y una en San José del Cabo) y 18 machos (3 en Ojo de Liebre, 12 en San Ignacio y 2 en bahía de Ballenas). Se identificaron 33 haplotipos, lo que sugiere que la población conserva una alta variabilidad y salud genética. De los 10 haplotipos identificados en ballenas muestreadas en laguna Ojo de Liebre, 9 se encontraron también en San Ignacio (32 haplotipos en 66 animales). Una de las ballenas muestreadas en Bahía de Ballenas y la muestreada en San José del Cabo, también comparten haplotipo con ballenas de san Ignacio. Estos resultados indican que no hay evidencia de filopatría de las ballenas grises por alguna laguna o zona de la península en particular.



# INTRODUCCIÓN

El presente informe comprende los resultados obtenidos durante nuestros estudios sobre la ballena gris en la Laguna San Ignacio durante los años de 1996 a 2000. Originalmente el compromiso contraído con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) fue de presentar los resultados de los estudios realizados durante 1996, 1997 y 1998. Sin embargo debido al atraso que tuvimos en el análisis de las muestras, principalmente en lo que se refiere a los análisis genéticos, y por otra parte a que estas investigaciones pudieron continuar por dos años, decidimos, con la autorización de la CONABIO, añadir dos años más de estudios al informe como una manera de compensar nuestra tardanza por un lado, y la falta de resultados en el caso de los análisis de contaminantes por causas ajenas a nuestra voluntad.

Debido al acentuado interés por el conocimiento del estado actual de las ballenas grises en sus lagunas de reproducción en los últimos años, sobre todo por el impacto real y potencial las diversas formas en que se está explotando este recurso y su hábitat, diferentes organizaciones científicas nacionales e internacionales, han manifestado su interés y preocupación por que se realicen estudios encaminados al manejo adecuado de este recurso. De la misma manera, sectores gubernamentales, tanto de los Estados Unidos (Servicio Nacional de Pesquerías Marinas-NMFS), como de México (Instituto Nacional de la Pesca-INP e Instituto Nacional de Ecología-INE), han manifestado su interés en apoyar y trabajar conjuntamente en el estudio y conservación de esta especie.

La oportunidad que se abrió al Programa de Investigación de Mamíferos Marinos de la Universidad Autónoma de B.C.S., para realizar estos estudios, primero, desde 1996, con el apoyo de la Compañía Exportadora de Sal (ESSA), y durante 1998 con el apoyo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), motivo del presente informe, ha permitido tener resultados concisos y objetivos sobre los diversos aspectos de la biología de la ballena gris en esta área y con ello la posibilidad de dar a conocer estos resultados en los foros nacionales e internacionales más importantes sobre mamíferos marinos, como las reuniones anuales de la Sociedad Mexicana de Mastozoología Marina-SOMEMMA, las reuniones del Programa Universitario del Medio Ambiente-PUMA, en el Simposio sobre los efectos de El Niño organizado por CONACyT, todos los anteriores en México, y en las Biennial Conference on the Biology of the Marine Mammals celebradas en Mónaco 1997 y Hawaii 1999, las últimas cuatro reuniones de la International Whaling Commission-IWC dentro de la reunión de su comité científico, la reunión de The European Cetacean Society y la Reunión de especialistas de mamíferos Marinos de América del Sur (Anexo I).

Además, como resultado de estas investigaciones, se ha participado en la elaboración de la Norma Oficial Mexicana para la observación de Ballenas coordinado por el INE y la SEMARNAP, y en programas de la CONABIO y el Programa de monitoreo sobre los efectos de El Niño financiado y coordinado por CONACyT, asesorando al INP en la visita de la misión de la UNESCO a la Laguna de San Ignacio para la evaluación de su estatus, en el I Taller de varamientos de Mamíferos Marinos organizado por la SOMEMMA todo lo anterior en México. También se participó en el taller Status Review of



the Eastern North Pacific Stock of Gray Whales, organizado por el U.S. Department of Commerce en 1999 y en el taller de Whalewatching organizado por la IWC en 2000.

Entre los productos generados hasta la fecha podemos enumerar dos publicaciones dentro de los informes anuales de 1996 y 1997 de la IWC, una publicación dentro del libro destrucción del hábitat del Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA) y una más en las memorias de la Conferencia Europea sobre Cetáceos, dos publicaciones que actualmente están en revisión y dos más en preparación. Además están las ponencias generadas y presentadas en los congresos mencionados arriba (nueve en reuniones de la SOMEMMA, cuatro en las bianuales de Mónaco y Hawai, una en la conferencia europea, cuatro en reuniones de la IWC, una en la conferencia sudamericana, una en el taller de revisión del estatus de ballena gris en Seattle WA., una en el I Taller de Varamientos, una en la reunión PUMA y una más en el Simposio sobre los efectos de El Niño organizado por CONACyT). Lo anterior ha generado además la formación de recursos humanos representados por cuatro tesis de licenciatura terminadas y dos en proceso, dos tesis terminadas de maestría y dos en proceso, y dos tesis doctorales aún en proceso (Anexo I).

Como podemos ver el trabajo ha sido intenso, hemos obtenido resultados y aun tenemos algunos en desarrollo. Todo lo anterior no hace más que confirmar la importancia que ha significado el tener la oportunidad de realizar nuestro trabajo de investigación en la laguna, el que este haya tenido continuidad y que la mantenga, pues hemos pasado ya por un proceso oceanográfico importante (El Niño) que si bien nos ha arrojado resultados muy interesantes, nos ha impedido comparar como hubiésemos querido nuestros resultados con los estudios de Swartz y Jones en esta laguna hace 20 años, para así evaluar las condiciones de la dinámica poblacional y la biología de la ballena gris en esta laguna.



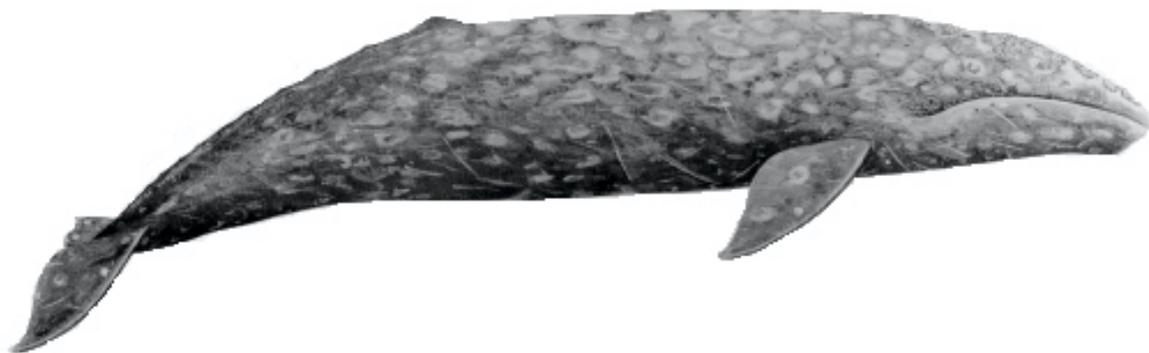
## ANTECEDENTES SOBRE LA BIOLOGÍA DE LA BALLENA GRIS Y SUS ESTUDIOS

La ballena gris *Eschrichtius robustus*, es la única especie de su familia y una de las once especies de ballenas barbadas conocidas en el mundo (Fig. 1). Registros fósiles indican que alguna vez habitó en el Atlántico Norte, pero en la actualidad, sólo se presenta en la porción norte del Pacífico dividida en dos poblaciones, la asiática (casi extinta) y la americana (Barnes y McLeod, 1984; Mead y Mitchell, 1984).

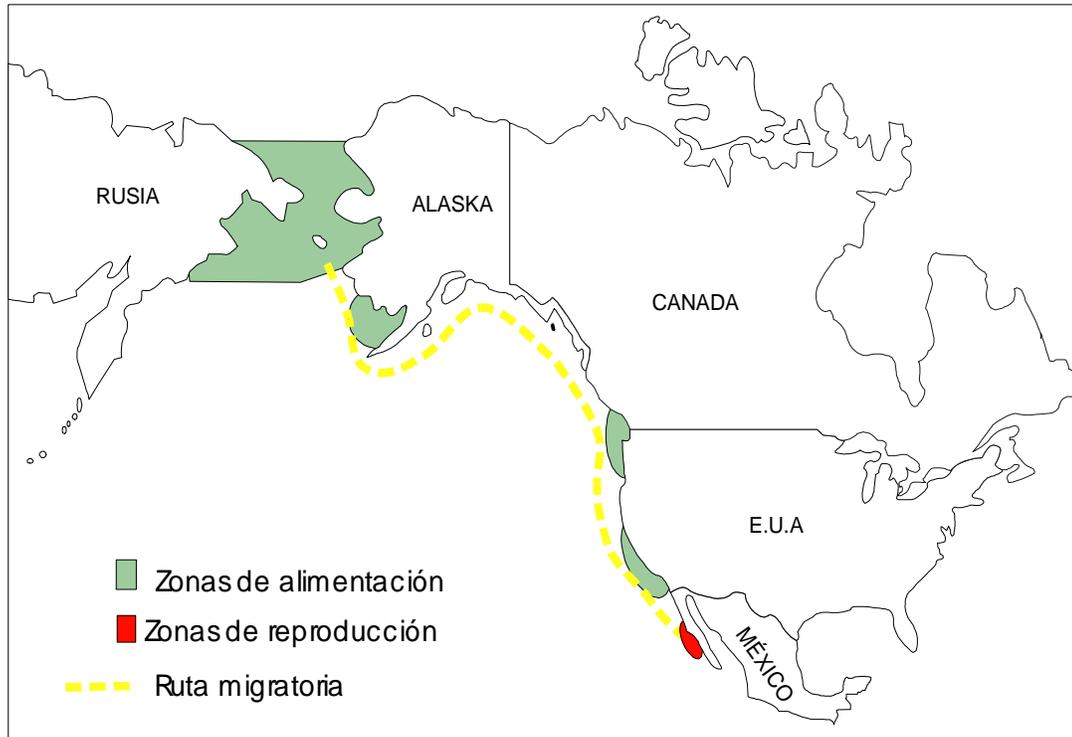
La población americana realiza migraciones de más de 9,000 km. en grupos segregados por sexo y edad (Fig. 2). Las ballenas siguen la línea de costa desde los mares de Bering, Chukchi y Beaufort, donde se alimentan durante el verano, hasta la costa occidental de la Península de Baja California y Golfo de California, para realizar sus actividades reproductivas de diciembre a abril, con un pico de abundancia a mediados de febrero (Rice y Wolman, 1971).

La ballena gris es el único mysticeto que se alimenta dragando el fondo marino, y en general, sus áreas de alimentación son aguas someras menores a los 50 m de profundidad (Mitchell y Ware, 1989). Existen tres zonas de alimentación, la primaria que se encuentra del sur del Mar de Chukchi al norte del Mar de Bering, donde se alimenta de anfípodos (*Ampelisca macrocephali*); la secundaria, que se localiza al sur del Mar de Bering y al este de la Península de Alaska, donde sus principales presas son camarones y mysidáceos; y la terciaria, que va de las periferias de las primera y segunda, hasta la Península de Baja California, donde se puede alimentar de anfípodos, misidáceos y algunas formas de poliquetos (Fig. 2) (Kim y Oliver, 1989).

Al dragar el fondo, ponen en suspensión grandes cantidades de sedimento provocando un cambio en la estructura física del ambiente. Dicha perturbación resuspende cerca de 172 millones de toneladas métricas de sedimento al año, factor importante para el mantenimiento de las comunidades bentónicas de los mares del Ártico (Katona y Whitehead, 1988).



**Figura 1.** Ballena gris, *Eschrichtius robustus* (© Pieter Folkens).



**Figura 2.** Ruta migratoria de la ballena gris.

Las principales concentraciones en aguas mexicanas, se encuentran a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California, en las Lagunas Ojo de Liebre, San Ignacio y el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas (Fig. 3). Las características ecológicas de estas áreas, presumiblemente, ofrecen ventajas ecológicas para que estas ballenas lleven a cabo sus actividades de reproducción y crianza (Rice y Wolman, 1971). Sin embargo también se han observado en el Golfo de California tan al norte como Puerto Peñasco (Gilmore, 1960; Gilmore y Ewing, 1954; Gilmore y Mills, 1962; Gilmore *et al.* 1967; Vidal, 1989; Urbán *et al.* 1990; Fleischer y Maravilla, 1990).

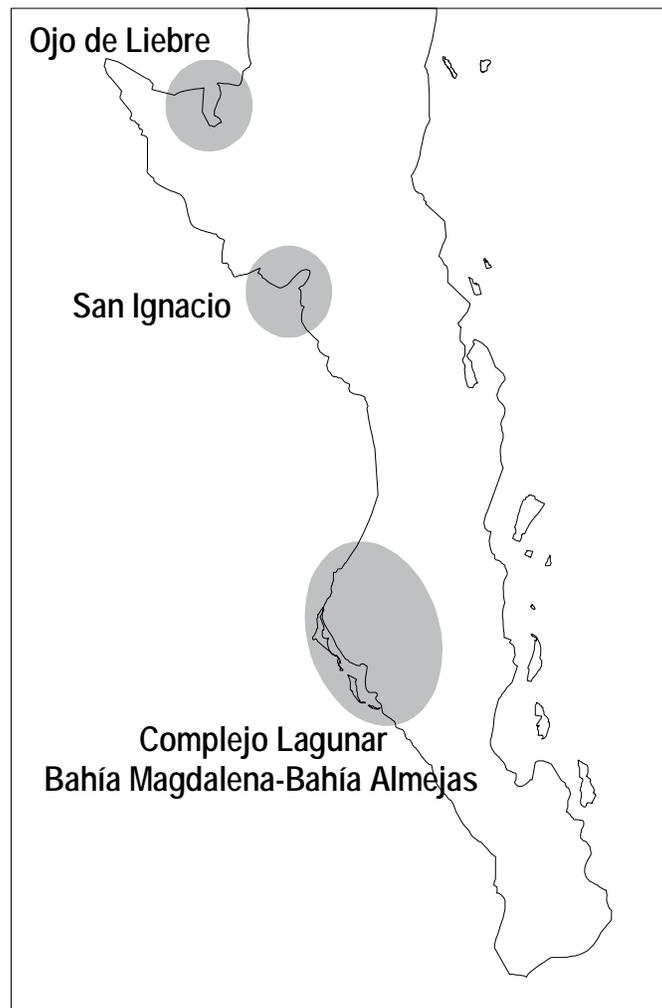
La ballena gris fue intensamente cazada desde mediados del siglo XIX hasta principios de XX, por balleneros estadounidenses, noruegos, ingleses y rusos, quienes realizaron expediciones a las lagunas de reproducción en la costa occidental de la Península de Baja California. De 1846 a 1874, se cazaron aproximadamente 7,200 ballenas grises en Baja California. La mayoría de estas ballenas fueron capturadas en las bahías y estuarios del complejo lagunar de Bahía Magdalena, y conforme disminuyó el número de ballenas en esta zona, los cazadores utilizaron las Lagunas de San Ignacio y Ojo de Liebre. Para la década de 1870, la captura se detuvo principalmente por la disminución de ballenas y el decremento en la demanda de aceite de estos animales (Henderson, 1984).

Con la aparición de los barcos factoría de la era moderna, la cacería se reactivó en Baja California, en esta ocasión, dominada por los noruegos quienes tuvieron la autorización del gobierno mexicano para operar en la Bahía Magdalena, de 1913 hasta



1937. Los años de caza más intensa fueron de 1925 a 1929, cuando se capturaron 179 animales, la mayoría de ellos madres con cría (Reeves, 1984).

Desde la década de los treinta, la ballena gris se encuentra protegida internacionalmente a través de la Comisión Ballenera Internacional (International Whaling Commission), de la que México forma parte (Reeves, 1984). La extraordinaria rapidez con que su número se ha incrementado a partir de su protección, le ha valido a la política conservacionista de México reconocimientos internacionales, particularmente por la protección de esta especie en sus lagunas de reproducción en la costa occidental de la Península de Baja California.



**Figura 3.** Zonas de agregación invernal de ballena gris en la Península de Baja California.



La Laguna de Guerrero Negro, Ojo de Liebre y más recientemente la de San Ignacio, han sido objeto de diferentes decretos y categorías de áreas protegidas, desde santuarios hasta reservas de la biosfera a partir de 1972 (Anónimo, 1972a; 1972b; 1979; 1980; 1988) (ver Anexo 2). Esto, sin duda ha contribuido a la recuperación numérica de la especie, por lo que actualmente, su población se estima en más de 20,000 ballenas. Este es un número similar al que presentaba antes de su explotación comercial (Buckland *et al.* 1993).

En la actualidad, de las cuatro lagunas de crianza y apareamiento de la ballena gris en el Pacífico oriental, Laguna San Ignacio es la única que se mantiene prácticamente inalterada. Esta laguna, al igual que la de Ojo de Liebre, se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera “El Vizcaíno” (Dedina y Young, 1995).

Desde la década de 1970, la Laguna San Ignacio ha tenido un incremento constante de visitantes con interés en la observación de la ballena gris, provocando un incremento en el número de los prestadores de este servicio. Durante la temporada 1993-94 trabajaron en dicha laguna cinco campamentos turísticos, seis barcos con base en San Diego, CA, y dos de tipo “crucero” de una compañía con base en Seattle, Washington (Dedina y Young, 1995). Actualmente, existen planes para que la Compañía Exportadora de Sal (ESSA), industria paraestatal que produce sal en el área circundante a la Laguna Ojo de Liebre, desarrolle este tipo de actividad alrededor del litoral norte de la Laguna San Ignacio. Hasta el momento, no existe el conocimiento acerca de los posibles efectos que este tipo de desarrollo pudiera tener sobre las ballenas grises y, en general, sobre el ecosistema lagunar.

En 1989, la Sociedad Mexicana para el Estudio de los Mamíferos Marinos A.C., propuso un Programa Nacional de Investigación de los Mamíferos Marinos, donde se incluye el estudio integral de la ballena gris y su entorno, como una de las prioridades nacionales (Aurioles *et al.* 1993). Durante la XX Reunión de dicha sociedad, realizada en la ciudad de La Paz, B.C.S. en mayo de 1995, se llevó a cabo una mesa redonda sobre la ballena gris, en la cual se discutió y subrayó la importancia que tienen los estudios poblacionales para la conservación de dicha especie (Anónimo, 1995). De igual manera, durante la 46ª Reunión Anual de la Comisión Ballenera Internacional celebrada en Dublín, Irlanda en junio de 1995, la delegación mexicana manifestó la preocupación por el futuro de la ballena gris en sus lagunas de reproducción, debido al incremento turístico y probable industrial (Anónimo, 1996).

La ballena gris ha sido ampliamente estudiada en los diversos aspectos tanto de su biología, como de los factores relacionados con su distribución y abundancia actuales. Estas ballenas se han convertido en un símbolo conservacionista, debido a la historia de su explotación y sorprendente recuperación. Quizá por esta razón, en México, diversos investigadores, tanto nacionales como extranjeros, han realizado estudios de estos cetáceos. Además, estos animales presentan un comportamiento netamente costero, ya sea en sus zonas de alimentación como en las de reproducción, situación que facilita en gran medida su estudio.

El primero en reconocer la importancia de las lagunas de reproducción en México, fue Charles M. Scammon en 1846 y, desde su escrito (Scammon, 1874), no se efectuaron estudios



de esta especie durante la temporada invernal hasta 1952 (Rice *et al.* 1981). Fue a partir de este año, que se comenzaron a realizar los primeros censos de ballena gris en 1952 (Gilmore, 1960a; b). Dicho investigador, marcó la pauta para el inicio de las investigaciones sobre este misticeto, entre las cuales están las realizadas por Rice (1961; 1965), Rugh y Braham (1979) y Rice *et al.* (1981), quienes efectuaron censos a lo largo de su trayecto migratorio. Además, Berdegué (1956) y Adams (1968), realizaron censos en sus áreas de reproducción. Hubbs y Hubbs (1967), Gard (1974) y Leatherwood (1974), efectuaron censos aéreos a lo largo de las lagunas de agregación invernal. Tanto Gilmore y Ewing (1954), como Eberhardt y Norris (1964), realizaron estudios de natalidad y mortalidad; Rice y Wolman (1971) sobre la biología de la especie y Samaras (1974), sobre el comportamiento reproductivo de la especie. Fleischer y Beddington (1985) reportan la abundancia estacional, mortalidad y tasa reproductiva de las ballenas grises en aguas mexicanas de 1980 a 1985.

Sobre aspectos relacionados con el turismo de observación de ballenas se cuenta con los trabajos de Loreto *et al.* (1996), Sánchez (1997 a; b); y Mosig (en prep.). Sobre aspectos de mortalidad de ballena gris debido a interacciones con actividades humanas se conocen los trabajos de Patten *et al.* (1980), Heyning y Dahlheim (1990), Baird *et al.* (1990) y Heyning y Lewis (1990).

En Laguna Ojo de Liebre, los primeros censos fueron los efectuados por Gilmore (1960). Posteriormente, Henderson (1972) y Spencer (1973) realizan estudios de abundancia y distribución, también a través de censos en embarcaciones. Más recientemente, Rice *et al.* (1981), como parte de un esfuerzo de cooperación entre México y los E.U.A., establecen una metodología para la estimación del número de ballenas dentro de la laguna y, realizan censos dentro de la misma; dicho programa quedó a cargo del Instituto Nacional de la Pesca. Bryant *et al.* (1984), reportan la reocupación de la Laguna de Guerrero Negro por las ballenas grises. Alvarado *et al.* (1986), también realizan censos desde embarcaciones y efectúan un análisis de las características ambientales, tratando de relacionarlas con la abundancia y distribución de las ballenas en esta laguna. Sobre mortalidad de crías informan Sumich y Harvey (1986), White y Griese (1991) y Sánchez (1998). Entre los últimos trabajos publicados de la zona, se encuentran los efectuados por Sánchez (1991; 1996), quien estudió la abundancia y distribución de las ballenas grises en Ojo de Liebre; así como Sánchez y Valdés (1997) sobre el tránsito de ballenas en Bahía de Ballenas.

En la Laguna San Ignacio, las primeras referencias que se tienen acerca de distribución y abundancia de ballenas grises, son las publicadas por Rice y Wolman (1971), y por Reeves (1977). Como parte de estudios formales, tenemos los realizados por Rice *et al.* (1981). El primer y más significativo estudio sistemático de la demografía, distribución, abundancia y posible impacto por parte de las actividades turísticas de la ballena gris en la laguna, fue el realizado y descrito por Swartz y Cummings (1978), y continuado por Swartz y Jones (1979; 1980; 1981 y 1983); Jones y Swartz (1984; 1986) y Jones *et al.* (1994). En estos trabajos, se presenta información detallada acerca de la distribución y abundancia, además que se definen zonas de apareamiento y zonas que las madres prefieren para el nacimiento y cuidado de sus crías. Sus resultados muestran un pico de abundancia a mediados de febrero y una clara segregación de solitarios y madres con cría, ocupando diferentes partes de la laguna.



A partir de la prohibición de la cacería comercial de los cetáceos, los estudios poblacionales mediante métodos indirectos (no letales) como la fotoidentificación, la grabación de sonidos y las radio-marcas, han ido aumentando considerablemente en los últimos años (Hoelzel, 1991). Una de estas técnicas, donde no se requiere del sacrificio del animal, es la utilización de dardos para obtener muestras de tejido (biopsias), lo que ha permitido determinar el sexo, identificar poblaciones y haplotipos y medir la incidencia de compuestos contaminantes (Aguilar y Nadal, 1984; Brown *et al.* 1991).

Entre los principales estudios en los que se ha utilizado la fotoidentificación como una herramienta para la individualización de las ballenas grises, y a partir de ello determinar algunos parámetros biológicos de las mismas, tenemos el realizado por Jones y Swartz (1984). En este estudio se establece la residencia en Laguna San Ignacio y el intercambio de ballenas entre las lagunas reproductoras, así como en el que se establece el ciclo reproductivo de la ballena gris, a través de las recapturas en Laguna San Ignacio (Jones, 1990), ambos durante 1978-1982. Además, tenemos el realizado por Calambokidis *et al.* (1994), en Puget Sound, Seattle, Whashington, E.U.A. Con la finalidad de conocer los movimientos de las ballenas grises así como su comportamiento respiratorio y de buceo, Mate y Harvey (1981; 1984), han realizado experimentos de radio marcado, que han mostrado que las ballenas tienen movimientos diurnos en dirección norte y nocturnos en dirección sur dentro de la laguna, así como patrones de buceo con afloramientos superficiales relativamente cortos. Actualmente, se están llevando a cabo estudios por medio de marcas por satélite (Bruce Mate, 1996 com. pers.). También se han llevado a cabo, otro tipo de estudios con estas ballenas en la laguna, encaminados a conocer su reacción a diferentes tipos de sonidos (Dahlheim, 1983; 1985; Dahlheim *et al.* 1984).

En los vertebrados gnatostomados, las proteínas del complejo principal de histocompatibilidad de (*CPH*) juegan un papel crítico en el inicio de la respuesta inmune al presentar péptidos propios y patogénicos a las células T, para eliminar células T auto inmunes en el timo durante el desarrollo temprano, o iniciar reacciones inmunes en contra de patógenos (Klein y Takahata 1990). En general, la diversidad de las proteínas del *CPH* obedece a fuerzas selectivas (P. ej. la diversidad de parásitos y la selección sexual), que determinan altas tasas de substitución no sinónimas entre los alelos del *CPH* (Nei y Hughes 1991), y a la dinámica poblacional (Yhuki y O'Brien 1992). Existen dos clases de proteínas *CPH*, cada una incluye numerosos alelos con regiones fijadoras de péptidos (RFP) muy variables, adaptadas para fijar y mostrar antígenos diversos a las células T (Klein y Takahata 1990). Las proteínas clase I (*CPH-I*) fijan y exponen péptidos sintetizados en el citoplasma, mientras que las proteínas clase II (*CPH-II*) fijan y presentan péptidos producidos en regiones vesiculares después de la fagocitosis. Específicamente, las moléculas *CPH-I* son heterodímeros compuestos por una cadena pesada (cadena  $\alpha$ ), y una cadena ligera (microglobulina  $\beta$ -2) localizada en un locus distinto al del *CPH*. Cada gen *CPH-I* contiene ocho exones que codifican cadenas  $\alpha$ . El exon 1 codifica un péptido señal; los exones 2, 3, y 4 codifican las regiones proteicas extracelulares  $\alpha$ -1,  $\alpha$ -2, y  $\alpha$ -3; y los exones 5 a 7 codifican las regiones transmembranas y citoplásmicas de la proteína. Las regiones  $\alpha$ -1 y  $\alpha$ -2 integran la RFP, misma que concentra la variación funcional de las moléculas *CPH-I*, implicando que los exones 2 y 3 son los más polimórficos del gen *CPH-I* (Hughes y Nei 1988).



La notable ecología y filogenia de los cetáceos (Gaskin 1992, Milincovitch y Thewissen 1998) los convierte en un Orden sobresaliente para estudiar como la adquisición de una existencia totalmente acuática, ha moldeado la evolución del *CPH* en los mamíferos. En general, los distintos métodos utilizados para cuantificar la variabilidad del *CPH* en mamíferos marinos describen resultados contrastantes. Los primeros estudios, utilizaron clonas del *CPH* humano y describen un bajo polimorfismo de fragmentos de restricción (RFLP) *CPH*-I y II en rorcuales comunes *Balaenoptera physalus* y de Sei Sei, *B. borealis* (Trowsdale et al. 1989), y en el elefante marino del Sur, *Mirounga leonina* (Slade 1992), que se atribuyó a una presión patogénica casi nula en los ambientes acuáticos. En contraste, análisis recientes sobre secuencias de genes *CPH*-II encontraron niveles de polimorfismo modestos pero cuantificable en belugas *Delphinapterus leucas* (Murray et al. 1995, Murray y White 1998), y una alta variabilidad en el elefante marino del sur, equiparable a la de los humanos (Hoelzel et al. 1999). Así mismo, en ambas especies se hallaron tasas elevadas de sustituciones no sinónimas, consistentes con la influencia de fuerzas selectivas que determinan el polimorfismo alto del *CPH* en poblaciones de vertebrados. Los resultados contrastantes obtenidos a partir del análisis de RFLP y de secuenciación de ADN, indica la mayor eficiencia de l ultimo método para la detección de la variabilidad del *CPH*.

Debido a que se señala que la contaminación determina la deficiencia inmune en poblaciones de mamíferos marinos (Ross et al. 1996), el estimar la variabilidad del *CPH* en poblaciones de delfines y ballenas constituye una poderosa herramienta para evaluar su resiliencia a la contaminación y a otros disturbios antropogénicos. Por ello, se decidió evaluar la capacidad inmune de la ballena gris del Pacifico Oriental, como parte del análisis del impacto ambiental que tendría el desarrollo de una nueva planta productora de sal en la vecindad de uno de los hábitats de procreación más importantes de la especie en el Pacifico Mexicano la Laguna de San Ignacio, Baja California Sur. En el presente reporte se describen trece secuencias únicas correspondientes al exon 2 *CPH*-I de la especie, mismas que fueron segregadas entre loci putativos, para evaluar su polimorfismo funcional y así reconocer la capacidad inmune de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), de acuerdo a un análisis comparativo con otras especies de mamíferos.

Recientemente, Dedina y Young (1995), realizaron estudios para evaluar el impacto que las actividades turísticas y probablemente las industriales, pueden tener sobre la modificación del hábitat de la ballena gris en Laguna San Ignacio. Encontraron que actualmente esta laguna, es la única que se encuentra prácticamente inalterada por las actividades humanas, al formar parte de una reserva natural, y también por su poca accesibilidad.

Finalmente, desde 1996 la UABCS ha estado realizando estudios sobre la distribución, abundancia, permanencia, y se recolectaron muestras de piel para estudios de genética poblacional de las ballenas grises en esta laguna (Urbán *et al.* 1997a; 1997b; 1997c; 1998a; 1998b; 1999).



# OBJETIVOS

## *General*

Generar información fundamental sobre la ecología y la genética poblacional de la ballena gris durante su estancia invernal en los ecosistemas lagunares de la Laguna San Ignacio y la Laguna Ojo de Liebre, durante las temporadas invernales de 1996, 1997 y 1998, que brinden elementos para la conservación del recurso y su desarrollo sustentable.

## *Particulares*

- i.* Conocer la distribución, abundancia, estructura poblacional, permanencia, mortalidad y fidelidad al área de las ballenas grises que habitan la Laguna San Ignacio durante la temporada invernal.
- ii.* Evaluar la historia poblacional de la especie, al comparar los resultados obtenidos en este estudio con aquellos de estudios previos.
- iii.* Determinar la filopatría, número poblacional viable, salud genética y sexo de los individuos.
- iv.* Evaluar la resistencia de la población a agentes patógenos.
- v.* Evaluar la concentración de compuestos organoclorados y bifenilos policlorados en tejidos de ballena gris.
- vi.* Con la información generada, integrar una base de datos y un marco de referencia para actividades de manejo y conservación.

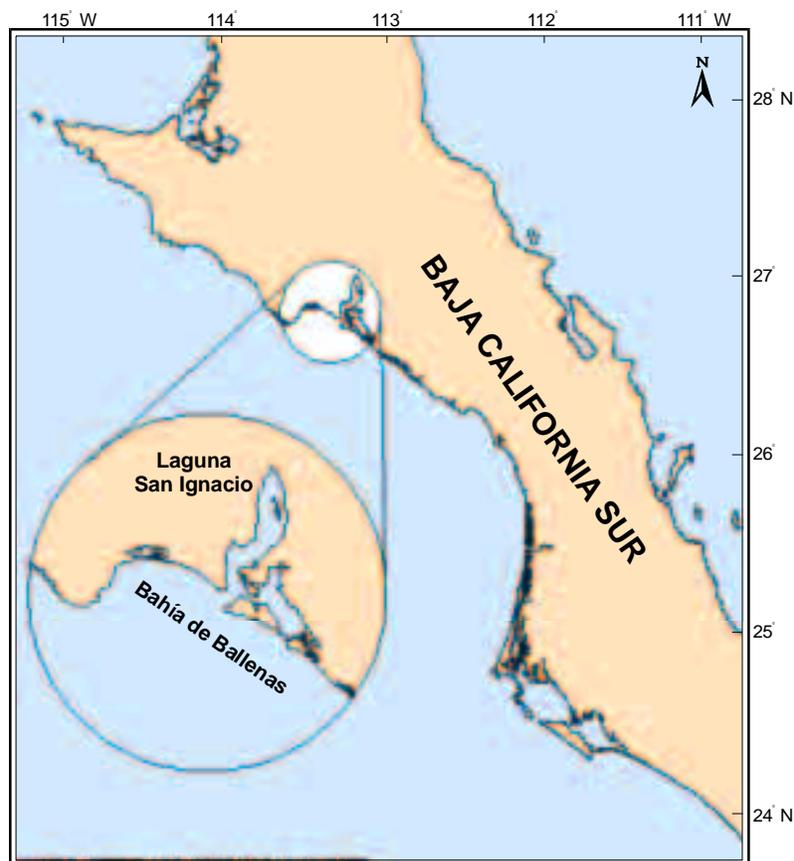


## ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna San Ignacio, en la costa occidental de la Península de Baja California, es una laguna costera del Desierto del Vizcaino (Fig. 4). Está localizada dentro de la planicie costera, rodeada por tres cadenas montañosas. Su boca se abre a la Bahía de Ballenas en los 26°45' N, y esta protegida del océano abierto por la Isla Ana. Su costa está compuesta por playas arenosas, conglomerados de roca, conchas, manglares, pantanos y planicies de lodo y sal (Dedina y Young, 1995).

El interior de la laguna tiene una cuenca y un sistema de canales separados por bajos, varios de los cuales afloran durante las mareas bajas. La mayor parte de la laguna es somera, las planicies de lodo en la costa restringen a las ballenas a las zonas más centrales. A pesar de que la superficie de la laguna es de 152 km<sup>2</sup>, sólo cerca de 87 km<sup>2</sup> (57%) es suficientemente profundo (>2 m) para las ballenas. Las mareas semidiurnas varían de 0.9 a 2.4 m causando fuertes corrientes turbulentas en la cuenca y los canales (Swartz y Jones, 1981).

Los vientos dominantes en la temporada invernal son los del Norte y Sudoeste. El clima es árido con una precipitación anual de 56 mm que se da principalmente en los meses de invierno, no hay escurrimientos o arroyos de agua dulce (Jones y Swartz, 1984).





**Figura 4.** Laguna San Ignacio y Bahía de Ballenas, B.C.S.



# METODOLOGÍA

## Demografía

### Abundancia y Distribución

Al igual que en los años anteriores, los estudios de distribución y abundancia relativa, se realizaron utilizando la metodología de conteos directos de ballenas grises en la laguna a lo largo del período de estudio que abarcó desde el 21 de enero hasta el 1 de abril de 2000. Con el propósito de poder comparar nuestros resultados con estudios previos, se siguió la metodología establecida por Swartz durante sus estudios en esta laguna en los años 1978 a 1982 (Jones y Swartz, 1984), y retomada por Urbán *et al.* (1997a; 1998a), durante los estudio de 1996 a 1998.

Las navegaciones se realizaron a bordo de embarcaciones de 6 a 7 m de eslora con motor fuera de borda de 55 a 75 Hp, viajando a una velocidad media aproximada de 11 km/h. Esta velocidad previene un doble conteo de la misma ballena (las cuales viajan regularmente a velocidades de 4 a 8 km/h), pero no es tan rápido como para perder alguna ballena que se encontrara en buceando.

Los conteos se realizaron a lo largo de una línea imaginaria (transecto) trazada en el centro de la laguna, desde la rompiente de la boca, hasta la Isla Garzas en el extremo norte de la laguna (Fig. 5). Al ser ambas costas visibles desde esta línea media, se aseguró se contarán todas las ballenas que se encontraban en el área.

Al inicio o final del censo, dependiendo de la dirección de éste, nos trasladamos al centro del extremo norte de la laguna (zona F) y se efectuó una búsqueda por medio de un barrido en 360° del área, contando las ballenas que se

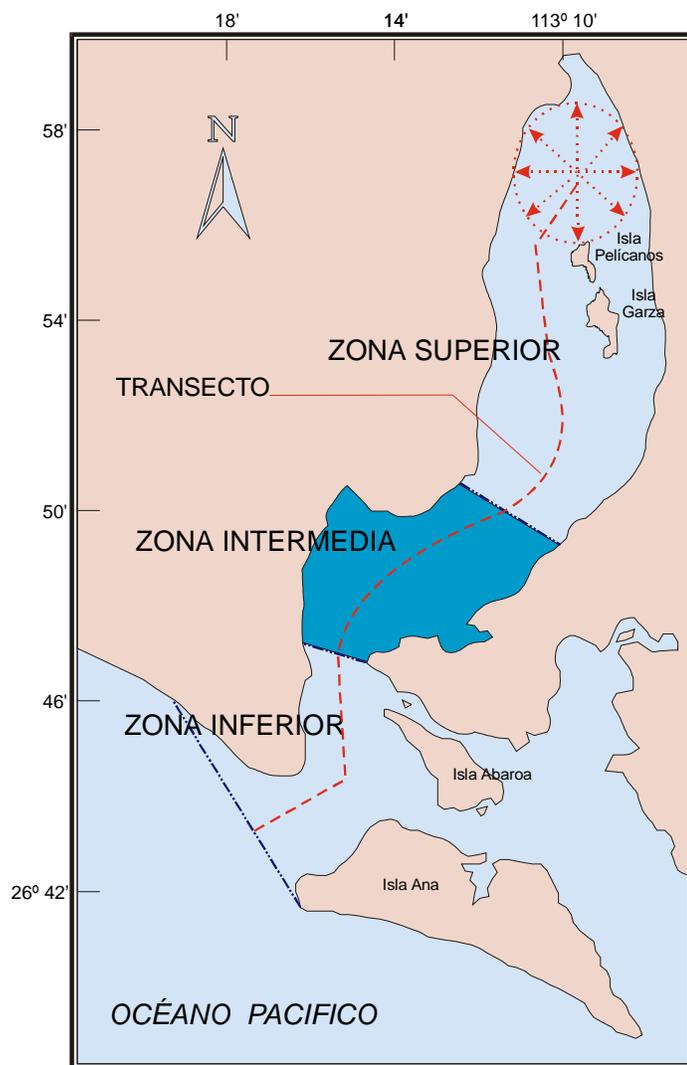


Figura 5. Localización de zonas y disposición del transecto para la realización de los censos de ballenas grises en Laguna San Ignacio, B.C.S.



encontraron en dicha zona durante 20 minutos (Fig. 5). Los recorridos se suspendieron cuando las condiciones del mar excedieron de Beaufort 3 (vientos mayores de 18 km/h y crestas con espuma ocasionales).

La tripulación durante cada censo consistió en un motorista, un observador a cada lado de la embarcación y un anotador. Para evitar doble conteo, todas las ballenas avistadas fueron registradas cuando se encontraban en línea perpendicular a la embarcación. Se discriminó entre madre-cría y ballenas solitarias (ballenas adultas sin cría), y la zona de la laguna en que fue avistada cada ballena. Cuando hubo duda sobre la presencia de una cría, ésta se registró como solitaria. Para cada zona se anotó la hora inicial del transecto, la hora final, número de madres con cría y número de solitarios, hora exacta del avistamiento y condiciones ambientales.

El análisis de la distribución y abundancia de las ballenas se realizó considerando, tanto el total de las ballenas adultas, como diferenciando entre ballenas con cría y ballenas solas. Además, para el análisis de la distribución de las tres categorías de ballenas señaladas, se dividió la laguna en seis zonas (Fig. 5).

## **Mortalidad**

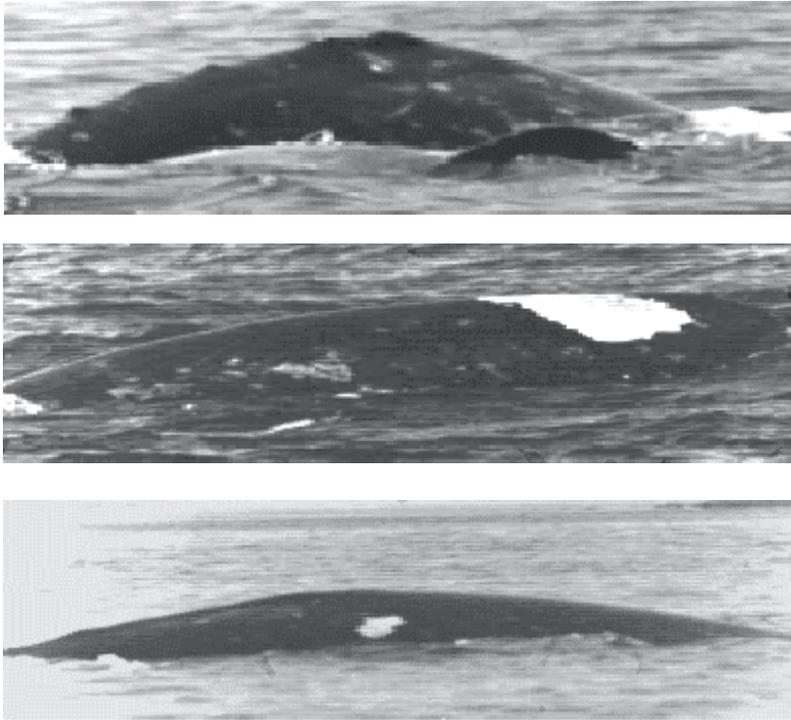
Con el fin de llevar un registro de la mortalidad de ballenas en la laguna, durante las navegaciones en la laguna se buscó la presencia de cadáveres de ballenas y cuando se encontraron estos, se registraron las características del sexo, longitud y condiciones del cadáver, además de la fecha y la posición del varamiento.

## **Fotoidentificación**

Las ballenas grises poseen marcas individuales únicas, las cuales se usaron para documentar la presencia de individuos específicos. Estas marcas pueden ser de tres tipos: a) las de origen genético (falta de pigmentación); b) las producidas por la caída de ectoparásitos y c) las marcas provocadas por la interacción de esta especie con otros organismos (Fig. 6).

Con base en los criterios descritos por Bigg *et al.* (1986), para fotografiar esta especie, inicialmente se definió la dirección, velocidad de navegación y frecuencia de respiración de los organismos observados, con la finalidad de determinar la forma en que se dio la aproximación. Se procuró mantener una distancia razonable entre el animal y la embarcación, para no alterar el comportamiento observado inicialmente.

La toma de fotografías se efectuó en el momento en que la ballena mostró la mayor parte del costado, abarcando el área deseada (parte media del cuerpo, incluyendo la joroba y los nódulos del pedúnculo caudal), y del lado derecho del animal.



**Figura 6.** Ejemplos de marcas utilizadas para la fotoidentificación.

De acuerdo con lo recomendado por Bigg *et al.* (1986), se procuró tomar más de una fotografía por animal para asegurar al menos una con buena calidad (centrada, con buen foco y buena iluminación). Para ello, se utilizó película blanco y negro Ilford HP5-400 y cámaras reflex de 35 mm equipadas con lentes zoom de 75-300 mm.

Anexo a la toma de las fotografías, en una bitácora de campo se registró la fecha, hora, zona, condiciones ambientales, número de animales, categoría (ballena solitaria o madre con cría), así como

el comportamiento para cada navegación. Además se incluyó la información relativa al número de rollo, número de exposiciones, así como el lado que se fotografió de cada animal.

Una vez revelado e impreso el total de fotografías en el laboratorio, éstas fueron seleccionadas con el fin de determinar cuáles integrarían el catálogo definitivo. Se realizó una comparación inicial de cada una de las fotografías con el resto, para determinar las fotografías de cada individuo (identificación). Cuando encontramos animales fotografiados más de una vez en distintos avistamientos y días, éstos los consideramos como recapturas.

## **Permanencia**

La permanencia de las ballenas grises dentro de la laguna, se determinó utilizando la información obtenida de las recapturas fotográficas. Esto permitió calcular el tiempo transcurrido entre el primer avistamiento de un animal en particular, hasta la fecha en que se vio por última vez. De esta manera la permanencia calculada para cada animal es la mínima, pues lo más probable es que el animal haya llegado a la laguna días antes de la primera fotografía y de igual manera se haya ido días después del último registro.



## Intervalo de partos

Para conocer el intervalo de partos, se compararon las madres con cría identificadas en 2000, con las de 1996 a 1999 que conforman el catálogo fotográfico. Al encontrar recapturas entre años, y tomando en cuenta si presentaban o no cría, se obtuvo el intervalo entre nacimientos de crías de ballena gris.

## Filopatría de las madres con cría

Por filopatría entendemos la preferencia de las ballenas a regresar a la misma laguna en diferentes temporadas. En el caso de las madres con cría, nuestra intención es la de estimar si las ballenas grávidas tienen alguna preferencia por la Laguna San Ignacio para parir y cuidar a sus ballenatos. Para estimar la filopatría nos valemos de los registros fotográficos de madres con cría durante las diferentes temporadas de estudio. Una vez conocidas las madres que se han fotografiado en más de una temporada invernal en la laguna, empleamos un índice que hemos denominado “Índice de filopatría”:

Este índice se calculó para cuantificar el grado de retorno de madres con cría a la Laguna San Ignacio en temporadas diferentes considerando el número de madres fotografiadas (tamaño de la muestra) en ambas temporadas.

$$\text{Índice de filopatría} = \frac{m_{12}}{n_1 \times n_2} \times 1000$$

Donde:

$n_1$  = Madres identificadas (marcadas) en la muestra 1

$n_2$  = Madres identificadas (marcadas) en la muestra 2

$m_{12}$  = madres identificadas en la muestra 1 y en la muestra 2

Un valor alto refleja ya sea una pequeña población con una alta probabilidad de que la misma madre sea vista en ambos años, que no es el caso, o una alta fidelidad de las madres a regresar a la misma laguna a parir y cuidar a sus crías.

## Número de ballenas grises que visitaron Laguna San Ignacio

El número de ballenas que visitaron la laguna, fue estimado a través de la técnica captura-recaptura. Para realizar lo anterior, se utilizó la técnica establecida por **Darling y Morowitz (1986)**, con base en la tasa de descubrimiento de recapturas. Dicha técnica se basa en una premisa muy simple: si tuviésemos una población infinita, en cada sesión de fotomarcaje, encontraríamos siempre nuevos individuos de manera permanente; pero al tratar con poblaciones finitas, encontramos que el número de individuos tendrá un descenso conforme nos acercamos al número total de estos, llegando a la situación de no tener más individuos nuevos, una vez que hayamos fotografiado a la totalidad de los mismos (Fig. 7).



Sin embargo, es imposible lograr tener fotoidentificadas al número total de ballenas grises que visitan la laguna, o incluso acercarse a esa situación implicaría una gran esfuerzo, por lo cual Darling y Morowitz desarrollaron la siguiente relación para modelar la tasa de descubrimiento de nuevos individuos:

$$y = N [ 1 - ( 1 - 1/N )^x ]$$

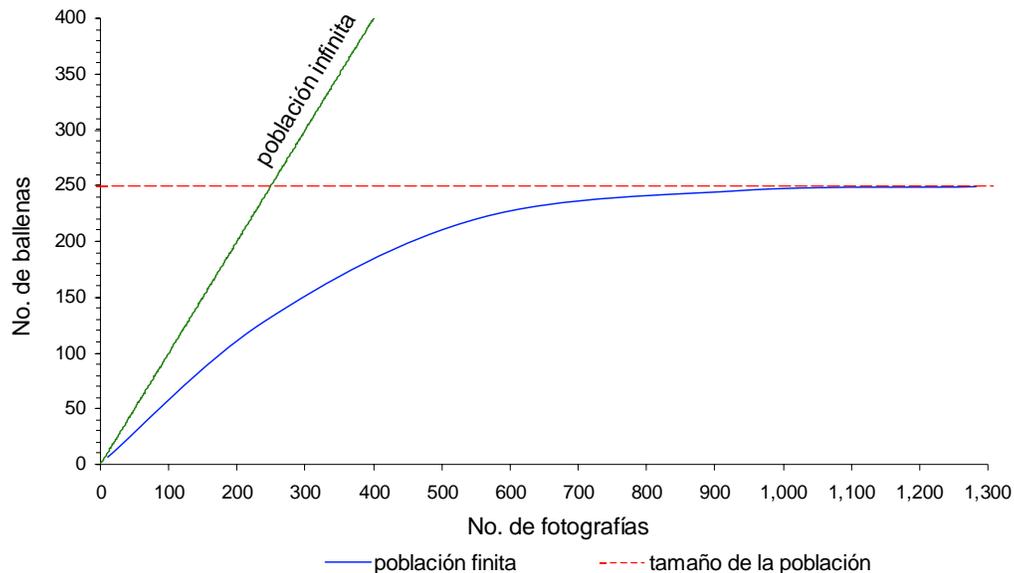
donde:

$y$  = es igual al número de nuevas ballenas

$x$  = número de fotografías

$N$  = el tamaño de la población (que en nuestro caso sería el número de ballenas grises que visitaron la laguna).

La estimación de  $N$  se realizó mediante un método iterativo utilizando valores empíricos de  $N$  hasta cumplir con la relación.



**Figura 7.** Premisa de la técnica de Darling y Morowitz (1986). En esta figura se representa gráficamente a una población finita de 250 individuos en total (línea roja), número que conoceríamos hasta contar con alrededor de 1200 fotografías de no aplicar el método (línea azul). De ser infinita a cada fotografía encontraríamos un individuo diferente (línea verde).

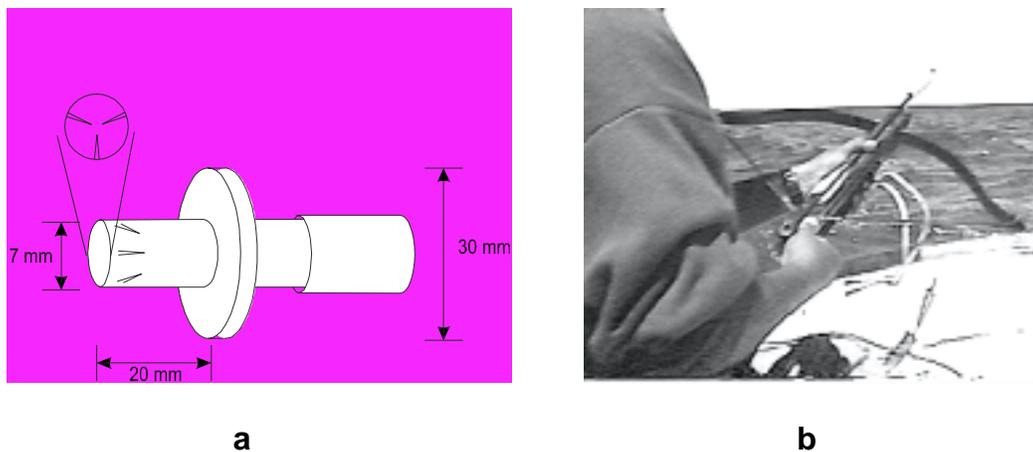


## Genética

### Colecta de Biopsias

Consiste en la colecta de piel de la ballena. Para esto se utilizaron una ballesta y flechas que tienen en su punta un cilindro de 7 mm. de diámetro y 20 mm. de largo (Fig. 8). Las biopsias se obtuvieron desde un bote siguiendo procedimientos estándar (Lambersteen 1987), y se fijaron en una solución de dimetil sulfóxido al 10% saturada con NaCl.

Esta técnica se ha utilizado con éxito en estudios similares con otras ballenas (Clapham y Matilla, 1993; Medrano, 1993; Schaeff *et al.* 1991, 1993).



**Figura 8.** Dispositivo para la toma de biopsias (a) y ballesta lanzadora (b)

### Determinación del sexo, filopatría y genética poblacional

El análisis de las muestras lo realizará la Dra. Cathy Schaeff de la American University en Washington, D.C. El sexo de los animales se determinará por medio de la digestión del ADN con una enzima apropiada de restricción, a continuación se separarán por tamaños por medio de electroforesis en gel, se transferirán a membranas de nylon y se probarán con la proteína DP1007 del cromosoma Y humano. El sexo se determinará de acuerdo a la ausencia o presencia de bandas específicas para machos.

El análisis de filopatría se determinará por medio de los diferentes haplotipos individuales del ADN mitocondrial y distribución de estos haplotipos en la población (Schaeff *et al.* 1993). Para esto el ADN de cada animal se analizará con diez enzimas de restricción y la prueba de pAM1, la cual contiene el ADN mitocondrial completo de ratón.



## **Evaluación preliminar de la capacidad inmune de la ballena gris, de acuerdo al polimorfismo funcional del complejo principal de histocompatibilidad clase I (CPH-I).**

### *Colección de tejidos y Extracción de ADN.*

Los resultados que se describen corresponden al ADN extraído de biopsias de piel de nueve ballenas. Las biopsias se colectaron en la laguna de Guerrero Negro B.C.S., México (Latitud 27° 55' y 27° 35' N, Longitud 114° 20' y 113° 50' W), bajo permisos apropiados de colecta (México permiso CITES #04396).

### *Amplificación de secuencias del CPH-I.*

Las secuencias primer 5'-TACGTGGMCGACACGSAGTTC-3' y 5'-CTCGCTCTGGTTGTAGTAGCS-3' (donde: **M**= A o C; **S**= C o G) se utilizaron para amplificar 147 pb del exon 2 del CPH-I de la ballena gris (que codifica la cadena  $\alpha$ -1 de la RFP) vía PCR, bajo las siguientes condiciones: 20 pmols de cada primer, 100  $\mu$ m dNTPs, 3.5 mM MgCl<sub>2</sub>, 1.0 unidad de polimerasa Taq, y 100 ng de ADN genómico DNA en un volumen total de 25  $\mu$ l. y una temperatura de fusión de 50°C.

### *Clonación y secuenciación.*

Los productos de PCR se clonaron utilizando el vector pCR2.1 (Invitrogen, Carlsbad, CA). Doce y veinte clones exon 2 CPH-I de cada una de siete y cada una de 2 ballenas grises se secuenciaron (Tot. = 124 secuencias) con Thermosequenase (Amersham, Cleveland, OH), en un secuenciador automático de ADN ABI Prism 377 (Perkin Elmer, Foster City, CA).

### *Caracterización y segregación de secuencias exon 2 CPH-I de ballena gris en loci putativos.*

La naturaleza de las secuencias exon 2 CPH-I de la ballena gris se confirmó con base a su estrecho parecido a secuencias CPH-I descritas en otros mamíferos. Subsecuentemente, para identificar secuencias únicas exon 2 CPH-I obtenidas se alinearon con el programa Clustal X (Thompson *et al.* 1994). Finalmente, dado que comúnmente los alelos de distintos loci clase I muestran mucho mayor intra que inter divergencia específica (Lawlor *et al.* 1988, Trowsdale 1995), estas secuencias únicas se segregaron en loci putativos de acuerdo a sus afinidades filogenéticas. Árboles evolutivos se construyeron utilizando los algoritmos de unión de vecinos **NJ** (Saitou y Nei 1987) y parsimonia máxima **MP** utilizando los programas MEGA (Kumar *et al.* 1993) y PAUP (Swofford 1993) respectivamente, para identificar grupos consistentes de secuencias exon 2 CPH-I de acuerdo a su distancia evolutiva y divergencia de caracteres.

### *Evaluación de la funcionalidad de las secuencias exon 2 CPH-I de la ballena gris.*

La proporción de sustituciones de nucleótidos y la razón promedio de sustituciones sinónimas y no sinónimas por sitio entre pares de secuencias exon 2 CPH-I de ballenas grises fue estimada entre pares de secuencias, dentro y entre distintos loci, utilizando el modelo de Jukes y Cantor (1969), para reconocer la influencia de fuerzas selectivas sobre las secuencias exon 2 CPH-I de la ballena gris. También, se reconoció la naturaleza del cambio fisicoquímico en los residuos resultantes de sustituciones no sinónimas.



# RESULTADOS Y DISCUSIONES

## Demografía

### Abundancia

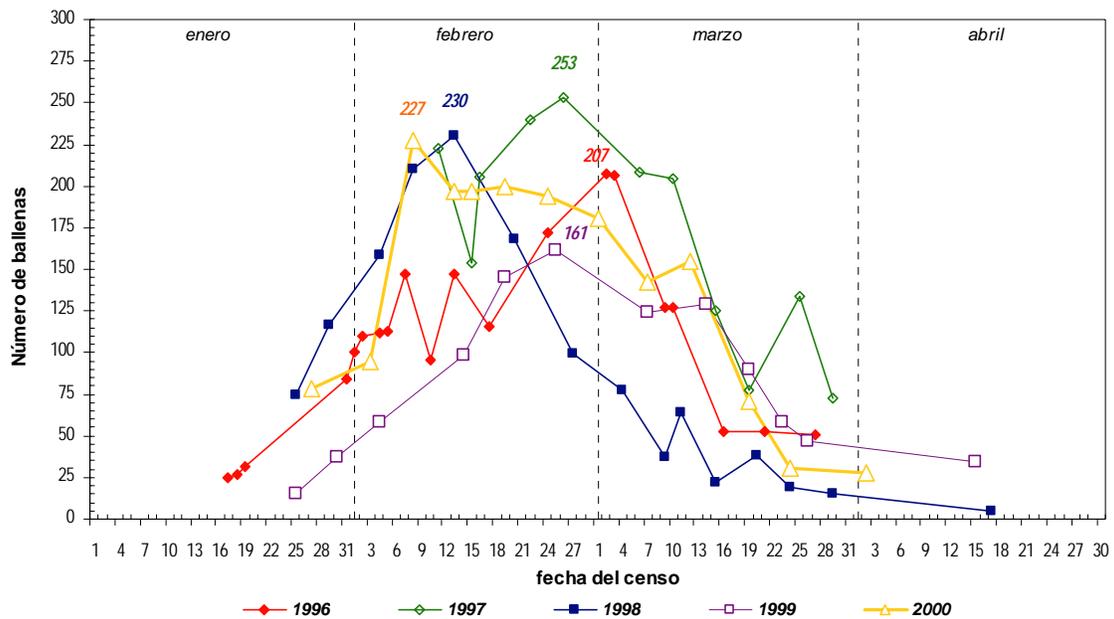
Durante el periodo de estudio, el trabajo de campo abarcó de las últimas semanas de enero hasta las primeras de abril, efectuándose en total 71 censos durante los cinco años, para lo cual se recorrió la laguna en su longitud total de acuerdo con la metodología ya descrita. Estos tuvieron una duración promedio de 2 horas con 48 minutos, sin haber diferencias significativas entre cada año (K-W:  $H_{(4,N=72)}=2.770411$   $p=0.5970$ ). Los resultados de dichos censos se resumen en la Tabla I y el Anexo II.

**Tabla I.** Número de ballenas grises durante los conteos combinados máximos (máximo de adultos en la laguna) por zona y categoría para los cinco años de estudio (1996-2000) en la Laguna San Ignacio, B.C.S. (la fecha se refiere al día del censo con el conteo combinado máximo en cada año).

Area de la Laguna	Año	Fecha	Conteos combinados máximos		
			Solitarios	Madres con cría	Adultos
<b>Zona Inferior</b>	1996	2-mar	84	33	117
	1997	26-feb	62	8	70
	1998	13-feb	84	11	95
	1999	25-feb	82	9	91
	2000	8-feb	103	2	105
<b>Zona Media</b>	1996	2-mar	25	31	56
	1997	26-feb	59	37	96
	1998	13-feb	69	7	76
	1999	25-feb	54	1	55
	2000	8-feb	61	31	92
<b>Zona Superior</b>	1996	2-mar	6	28	34
	1997	26-feb	6	81	87
	1998	13-feb	25	34	59
	1999	25-feb	8	7	15
	2000	8-feb	18	12	30
<b>TOTAL</b>	1996	2-mar	115	92	207
	1997	26-feb	127	126	253
	1998	13-feb	178	52	230
	1999	25-feb	144	17	161
	2000	8-feb	182	45	227



Cuando analizamos los resultados de abundancia obtenidos a través de los censos en las 5 temporadas, podemos ver que 2000 se asemeja a 1998, de hecho el valor máximo de abundancia (conteo combinado máximo) es muy similar entre sí, alrededor de las 230 ballenas, así como el comportamiento de esta abundancia, caracterizado por un rápido incremento en el número de ballenas adultas, hasta alcanzar su valor máximo durante la primer quincena de febrero en ambos años y un decremento un poco menos acentuado pero constante (sobre todo para 1998), para presentarse ya pocos animales en el mes de abril. (Fig. 9). Únicamente durante 1997, observamos el comportamiento bimodal (2 máximos) de la abundancia, que describieron Jones y Swartz (1984) para el periodo 1978-1982.



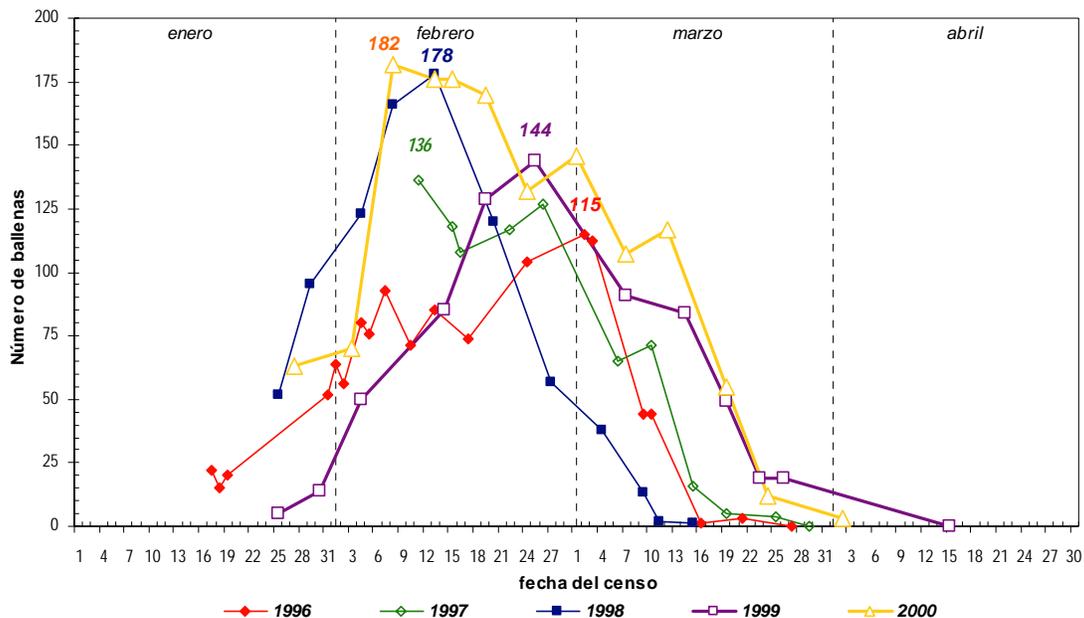
**Figura 9.** Número de ballenas grises adultas durante las temporadas invernales de 1996-2000 en Laguna San Ignacio, B.C.S.

Para las ballenas solitarias, 2000 fue el valor más alto de los cinco años, con 182 animales el 8 de febrero, fecha en la que también tuvimos el máximo registro de abundancia durante el conteo combinado máximo, situación muy similar a 1998. Sin embargo en 1998 fue la temporada en la que los solitarios permanecieron durante menos tiempo en la laguna, mientras que en las demás se presentaron con mayores valores aún a finales de marzo y principios de abril. Otro hecho a destacar es que 2000 fue la temporada en que los solitarios alcanzaron su máxima abundancia en la laguna más temprano en la temporada (Fig. 10).

El número de madres con cría durante los cinco años de estudio presentó grandes variaciones entre las temporadas, teniendo como valor máximo a 143 madres para inicios del mes de marzo de 1997, mientras que durante 1999 el número máximo de ballenas contadas en la laguna fue de solamente 45 animales (Fig. 11). Quizá el hecho que más nos



llamó la atención fue la escasa presencia de madres con cría durante las tres últimas temporadas(1998-2000), así como una presencia más o menos prolongada dentro de la laguna, muy probablemente motivado por el fenómeno de oscilación austral (ENSO, El Niño Southern Oscillation), que presentó anomalías térmicas por encima de los valores promedio en 1998 y por debajo durante 1999, así como las probables repercusiones reproductivas en 2000 resultado de estos fenómenos (Urbán *et al.* 1999).



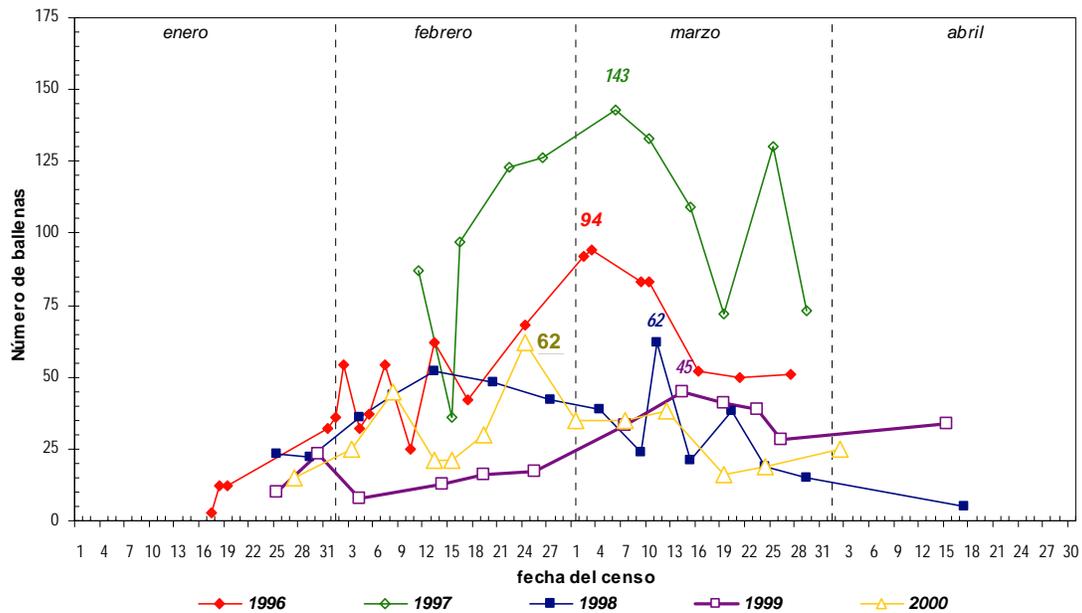
**Figura 10.** Número de ballenas solitarias (sin cría) durante las temporadas invernales de 1996-2000 en Laguna San Ignacio, B.C.S.

Para determinar si las diferencias observadas en la abundancia de las ballenas grises durante los cinco años de estudio fueron significativas, tomamos los censos semanales correspondientes a cada temporada, considerando únicamente aquellas semanas en las que se realizaron censos en los cinco años, a partir de los cuales se derivan la Tabla II y las Figuras 12 a 14. Con los datos agrupados de esta forma, realizamos análisis de variancia no paramétricos de Kruskal-Wallis.

El resultado de los análisis de variancia no paramétricos, nos indica que no existieron diferencias significativas cuando consideramos a los adultos en general, sin distinguir entre solitarios y madres con cría ( $H_{(4, N=35)}= 8.699321$   $p=0.0691$ ; Fig. 15). Debido a que los solitarios formaron una proporción importante de la abundancia de ballenas adultas, tampoco encontramos diferencias significativas cuando realizamos el análisis considerando únicamente a esta categoría ( $H_{(4, N=35)}=5.810189$   $p=0.2138$ ; Fig. 16). Las madres con cría, por el contrario, tienen diferencias evidentes entre años (Fig. 17),



tanto gráficamente como al realizar el análisis de variancia, el cual mostró diferencias significativas entre los años ( $H_{(4, n=35)}=24.45943$   $p=0.0001$ ), sin embargo cuando observamos las figuras 14 y 17, podemos ver claramente que 1996 y 1997 son diferentes entre sí y respecto a los demás años, lo que fue corroborado al realizar comparaciones pareadas de cada uno de estos años contra los demás, usando la misma prueba de Kruskal-Wallis, al contrario de lo que sucede con 1998, 1999 y 2000, años muy similares entre sí y los cuales no mostraron tales diferencias entre ellos ( $H_{(2, N=21)}= 3.533247$   $p=0.1709$ ). Nuevamente es posible que la razón de este comportamiento en la abundancia de madres con cría en la laguna, sean los efectos del evento El Niño y la Niña, así como las consecuencias reproductivas que tuvieron estos y que tuvieron efectos incluso hasta 2000, razón por la cual el número de madres con cría disminuyó dentro de la laguna.



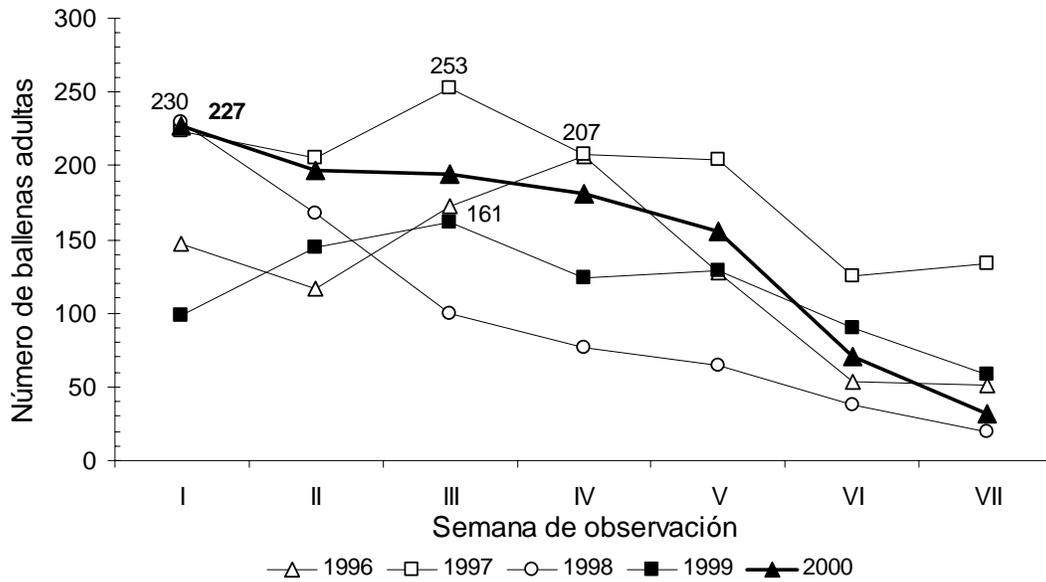
**Figura 11.** Número de madres con cría durante las temporadas invernales de 1996-2000 en Laguna San Ignacio, B.C.S.

**Tabla II.** Número de madres con cría (mc), ballenas solitarias (sol) y ballenas adultas (adl) contadas en 35 censos semanales del 8 de febrero al 28 marzo de las temporadas invernales de 1996 a 2000 en Laguna San Ignacio, B.C.S., México.

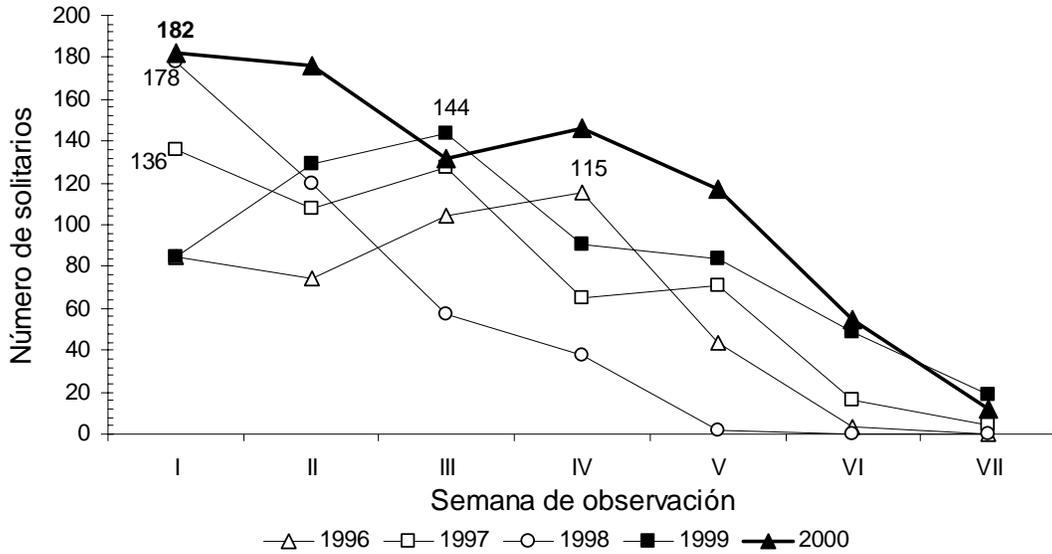
Semana	1996			1997			1998			1999			2000		
	mc	sol	adl												
I	62	85	147	87	136	223	52	178	230	13	85	98	45	182	227
II	42	74	116	97	108	205	48	120	168	16	129	145	21	176	197
III	68	104	172	126	127	253	42	57	99	17	144	161	62	132	194
IV	92	115	207	143	65	208	39	38	77	33	91	124	35	146	181



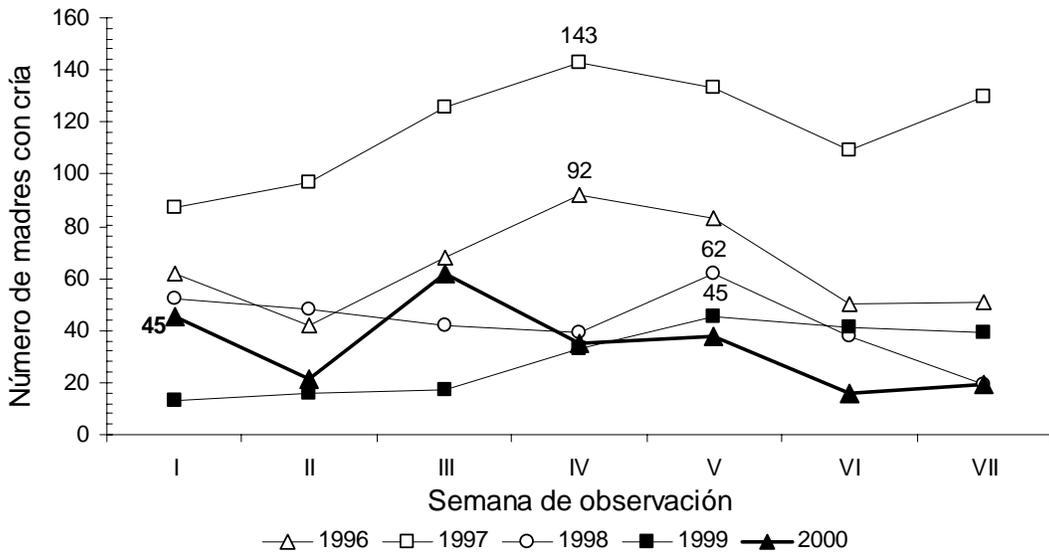
V	83	44	127	133	71	204	62	2	64	45	84	129	38	117	155
VI	50	3	53	109	16	125	38	0	38	41	49	90	16	55	71
VII	51	0	51	130	4	134	19	0	19	39	19	58	19	12	31



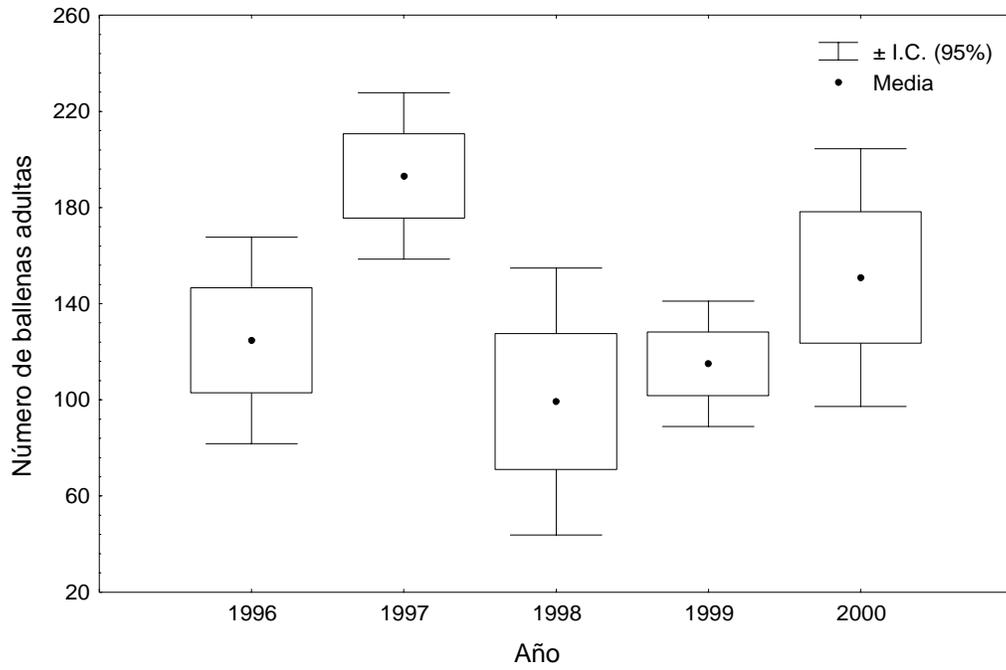
**Figura 12.** Distribución semanal de la abundancia de ballenas grises adultas en Laguna San Ignacio durante 1996-2000. Para más detalles ver tabla II.



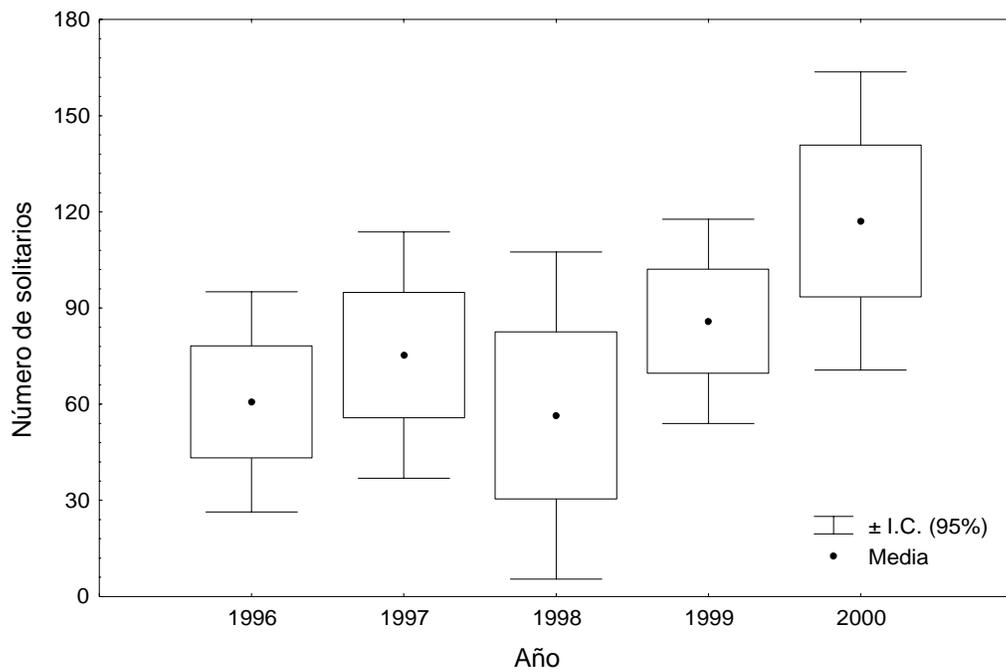
**Figura 13.** Distribución semanal de la abundancia de las ballenas solitarias (sin cría) en Laguna San Ignacio durante 1996-2000. Para más detalles ver tabla II.



**Figura 14.** Distribución semanal de la abundancia de madres con cría en Laguna San Ignacio durante 1996-2000. Para más detalles ver tabla II.

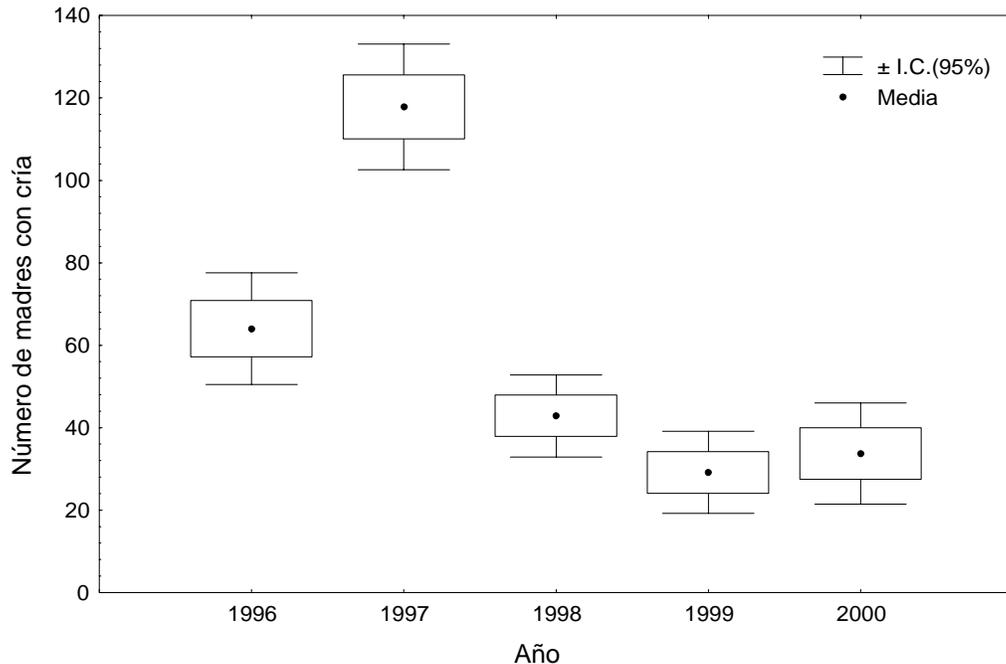


**Figura 15.** Número medio de ballenas adultas y su intervalo de confianza (95%), en Laguna San Ignacio durante el período de estudio.





**Figura 16.** Número medio de solitarios y su intervalo de confianza (95%), en Laguna San Ignacio durante el período de estudio.



**Figura 17.** Número medio de madres con cría y su intervalo de confianza (95%), en Laguna San Ignacio durante el período de estudio.

### Distribución

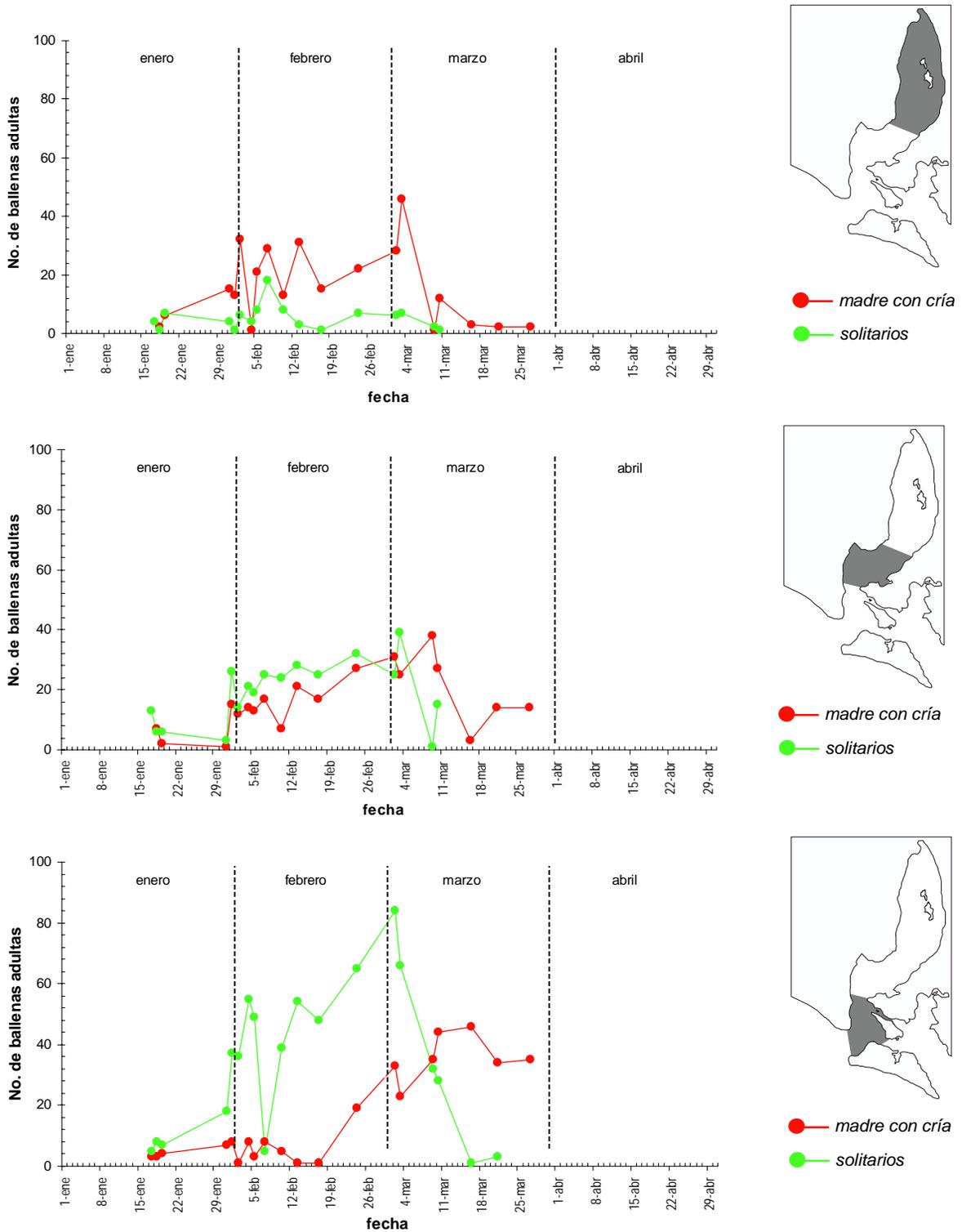
Cuando analizamos la abundancia de las ballenas en cada zona (superior, media e inferior o cercana a la boca), podemos apreciar, sobre todo para 1996 y 1997 (Figuras 18 y 19 respectivamente, Anexo II), el patrón de distribución establecido por Jones y Swartz (1984), en donde establecen que en general hay una mayor utilización de la zona inferior por parte de los solitarios, sobre todo al inicio de la temporada, mientras que las madres con cría están segregadas a las zonas superiores de la misma (media y superior). Hacia el fin de la temporada (mediados de marzo), podemos ver como las madres con cría se presentaron con mayor frecuencia cada vez en las zonas inferiores, conforme los solitarios disminuían hasta no presentarse más dentro de la laguna.

Los años de 1998 y 1999 (Figuras 20 y 21, Anexo II), estuvieron bajo la influencia del evento oceanográfico del El Niño y La Niña y fueron periodos en los que la presencia de las madres con cría dentro de la laguna fue muy escasa, mientras que los solitarios no tuvieron una disminución tan marcada, sin embargo podemos ver que el patrón de distribución planteado por Jones y Swartz (1984) se mantuvo, aunque los solitarios fueron

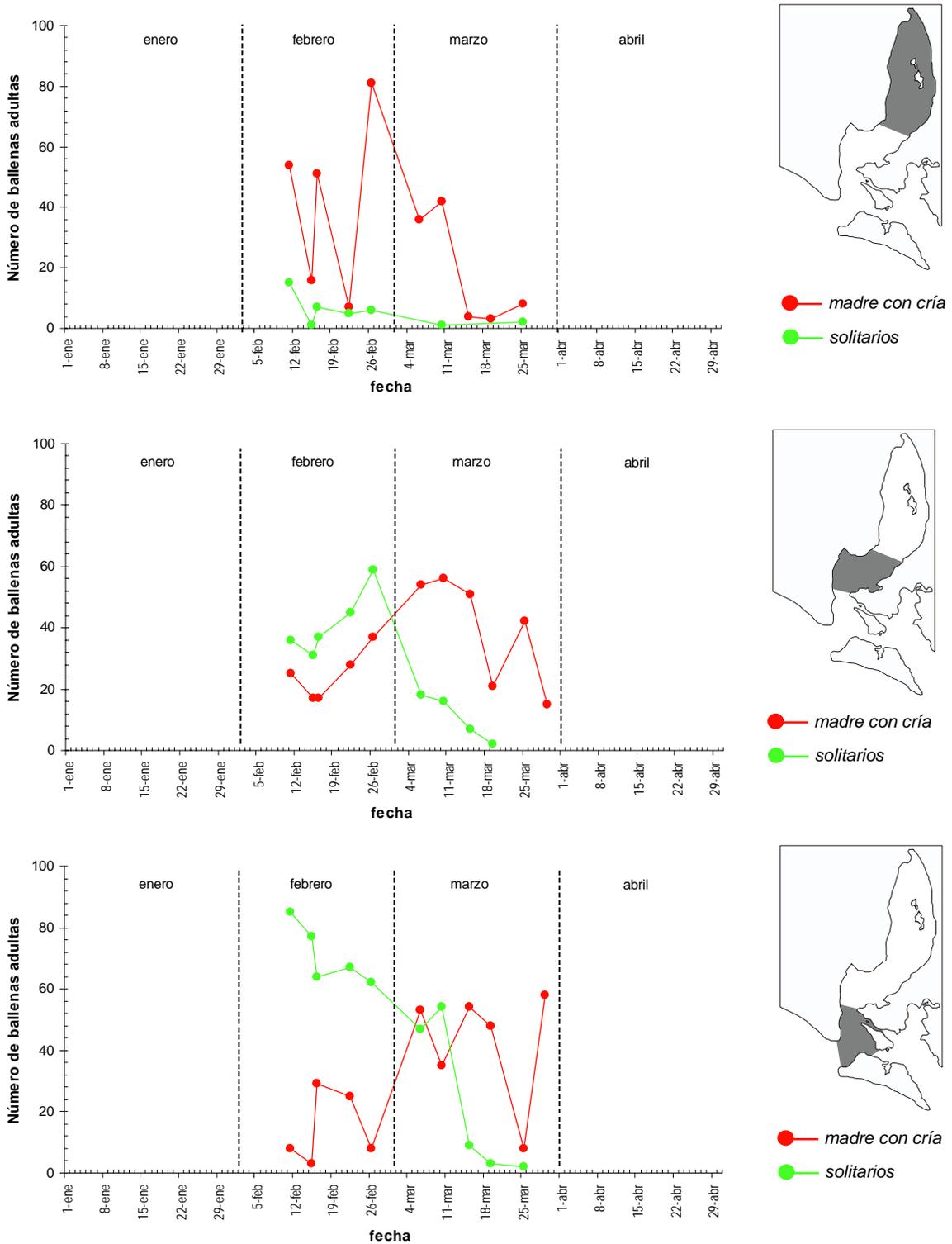


la categoría dominante en cada zona, con excepción del mes de marzo. La distribución en 2000 (Fig. 22, Anexo II) fue muy similar a 1999, pudiendo deberse a los efectos remanentes de las variaciones ambientales, tal y como se comentó en el análisis de la abundancia.

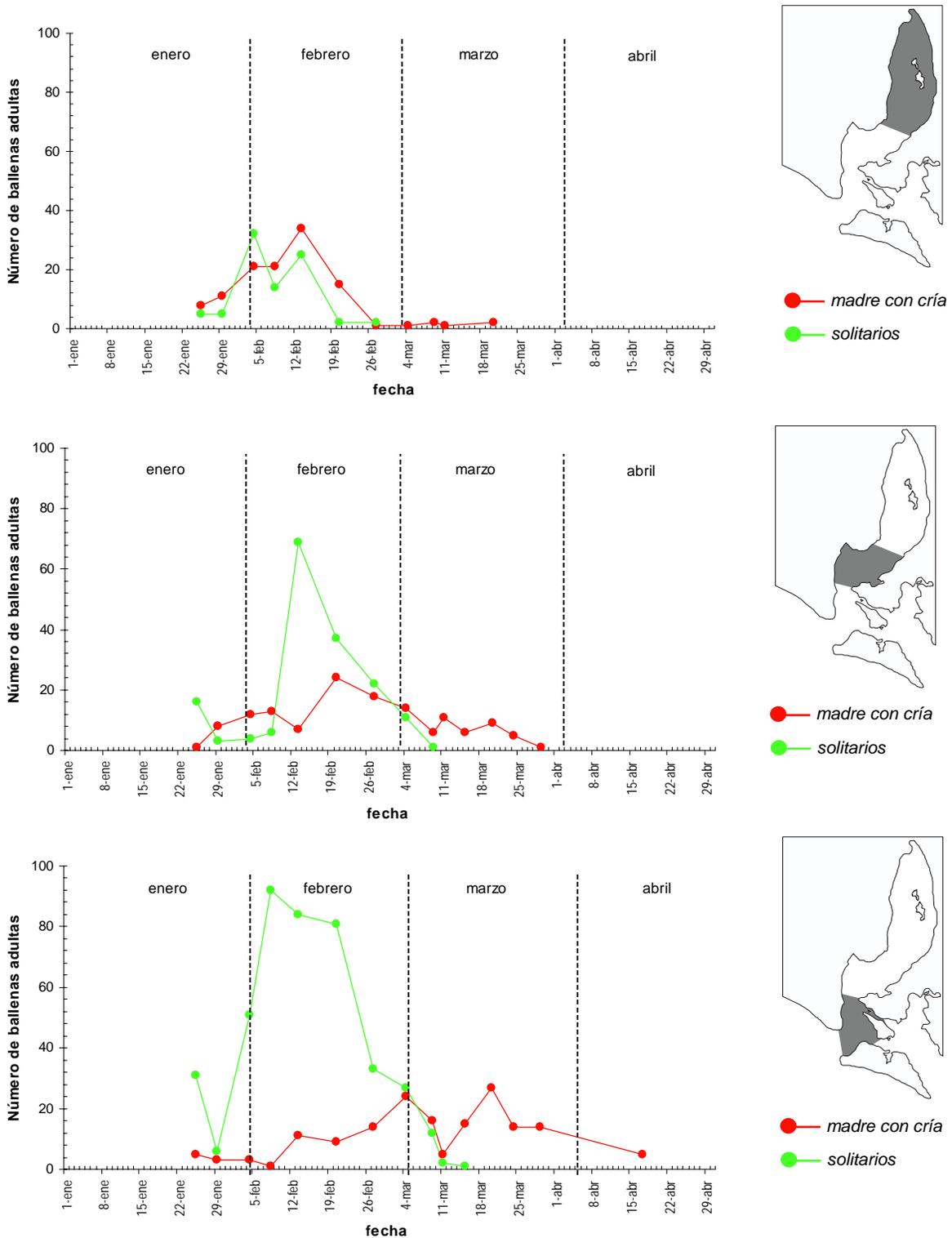
Una diferencia notable respecto a los estudios de Jones y Swartz durante 1978-82, fue que durante 1998-2000 no observamos el incremento de madres con cría que ocurre en la parte final de la temporada, provocado por la entrada de madres con cría a la laguna provenientes del sur, lo que se vió reflejado en bajos valores de abundancia en todas las zonas (Figuras 20, 21 y 22). Todo lo anterior parece indicar que durante los años de estudio, la presencia de ballenas en la laguna depende en gran medida de las condiciones térmicas del agua, lo que motivó diferencias importantes tanto en su distribución como en su abundancia, así como en las fechas de arribo y partida de éstas.



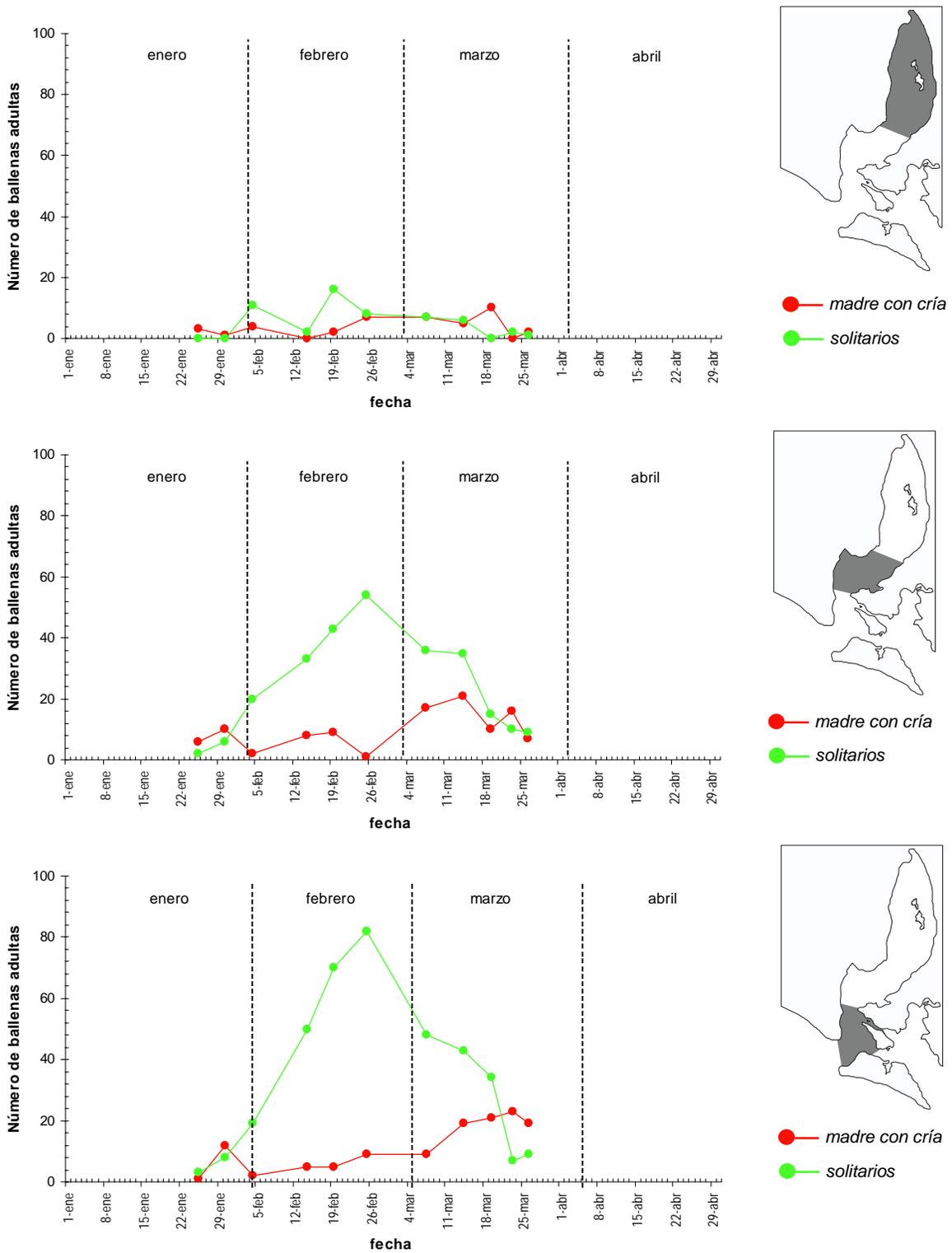
**Figura 18.** Número de ballenas grises por zona y categoría en la Laguna San Ignacio, B.C.S., durante la temporada invernal de 1996 (de arriba hacia abajo: zona superior, zona media y zona inferior).



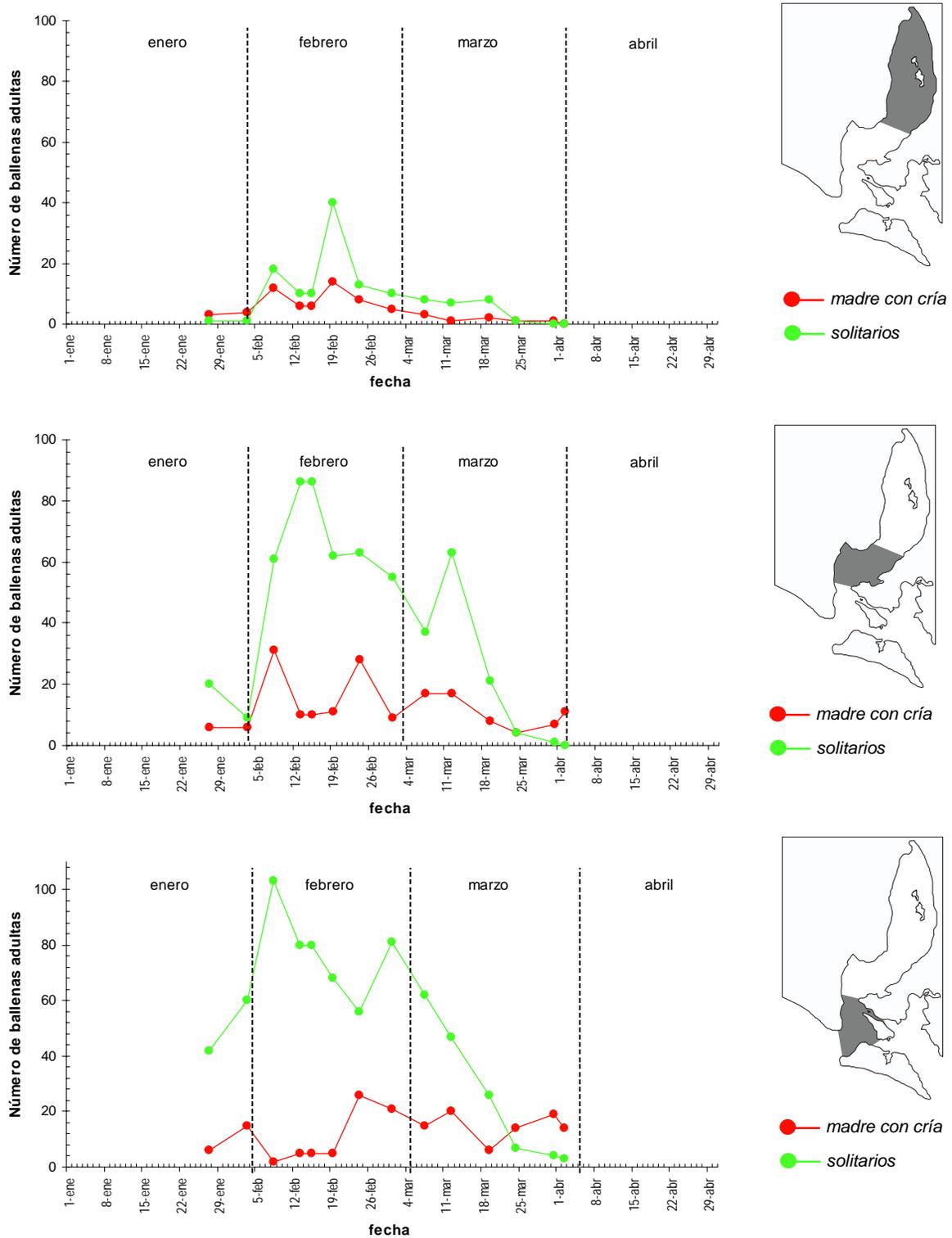
**Figura 19.** Número de ballenas grises por zona y categoría en la Laguna San Ignacio, B.C.S., durante la temporada invernal de 1997 (de arriba hacia abajo: zona superior, zona media y zona inferior).



**Figura 20.** Número de ballenas grises por zona y categoría en la Laguna San Ignacio, B.C.S., durante la temporada invernal de 1998 (de arriba hacia abajo: zona superior, zona media y zona inferior).



**Figura 21.** Número de ballenas grises por zona y categoría en la Laguna San Ignacio, B.C.S., durante la temporada invernal de 1999 (de arriba hacia abajo: zona superior, zona media y zona inferior).

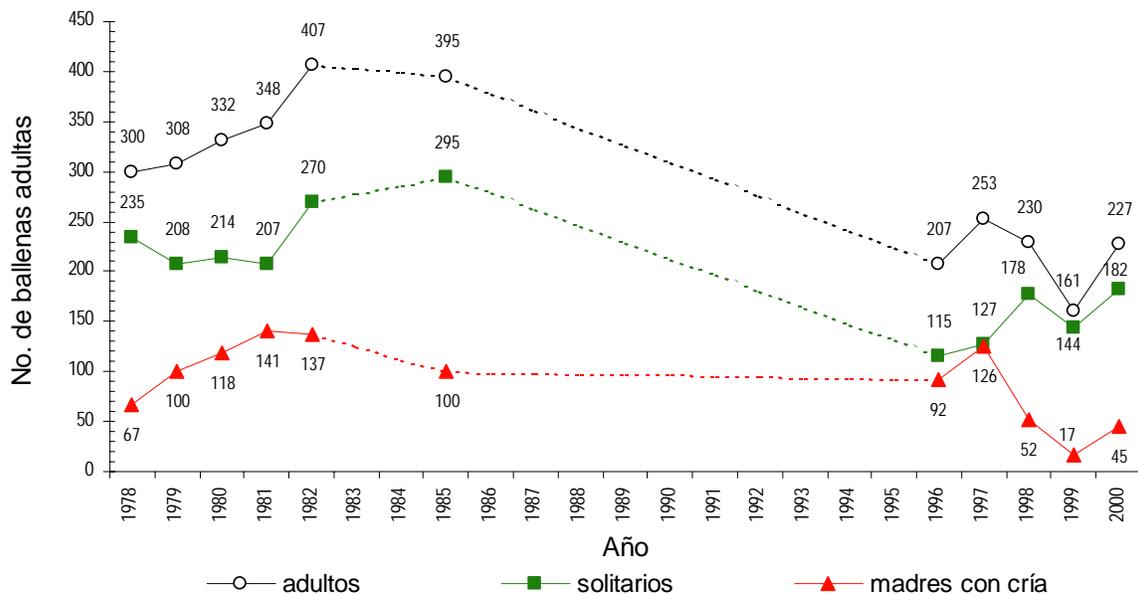


**Figura 22.** Número de ballenas grises por zona y categoría en la Laguna San Ignacio, B.C.S., durante la temporada invernal de 2000 (de arriba hacia abajo: zona superior, zona media y zona inferior).



## Análisis histórico

Cuando comparamos los conteos máximos (número máximo de adultos en la laguna) para el periodo de 1979 a 1982 y 1985 realizados por Jones *et al.* (1994), con los realizados para el periodo 1996 a 2000 (Fig. 23), podemos observar que hubo un decremento importante en el número de ballenas adultas, principalmente de los solitarios, que pasaron de máximos de 295 ballenas contadas en 1985 a 182 contadas en 2000. Sin embargo las madres con cría no mostraron un decremento tan importante durante 1996 y 1997 respecto a los años previos, pero durante 1998 a 2000, el decremento fue mayor como respuesta a las condiciones climáticas influenciadas por la oscilación austral de El Niño durante 1998 y 1999. Nuestros resultados muestran que las ballenas solitarias fueron la categoría con un mayor decremento cuando comparamos la media estimada para el periodo 1979-1984 y 1985 con el periodo 1996-2000, siendo que este último tuvo en promedio la presencia de 89.17 (37.8%) menos en la laguna (Tabla III), en donde la zona inferior de la laguna (zonas A y B), muestra los mayores cambios para esta categoría. La Figura 23 nos muestra que los años bajo la influencia de El Niño provocaron un cambio en estas tendencias par el periodo de 1996-2000, con un incremento en el número de ballenas solitarias y la situación inversa en cuanto a las madres con cría, y quizá sea por esto que los decrementos en el número de solitarios no sean tan importantes en cuanto a la proporción que nos indica la Tabla III. También vemos importantes decrementos en la zona superior, zona que es ocupada normalmente por las madres con cría, pero que al haber un menor número de solitarios en la porción inferior de la laguna, las madres con cría bajan a ocupar estas zonas, presentándose entonces en menores números en la zona superior (decrementos), lo que no ocurriría si el número de solitarios fuera mayor en la zona inferior tal y como ocurría durante 1978-1982.





**Figura 23.** Abundancia máxima de ballenas grises en la Laguna San Ignacio, por categoría y año, (los datos de 1978-1982 y 1985 fueron tomados de Jones *et. al*, 1988).

La zona inferior es el área principal para los solitarios (Jones y Swartz, 1984; Urbán *et. al*, 1997; 1998 e informes anuales de 1996 a 1999 incluyendo éste), además de ser el área en donde se efectúan las actividades de observación turística de ballenas. Lo anterior deberá ser considerado cuando se traten de explicar los decrementos en el número de solitarios en esta área, pues debemos tener en cuenta que las actividades turísticas han mostrado incrementos constantes e importantes desde las fechas en las que el Dr. Swartz y colaboradores realizaron sus estudios en esta laguna.

**Tabla III.** Resumen histórico de la abundancia máxima de ballenas grises en la Laguna San Ignacio, por categoría y año, la zona inferior contiene a las zonas A y B, la media a la zona C y la superior a las zonas D, E y F. (los datos de 1978-1982 y 1985 fueron tomados de Jones *et. al*, 1994)

Año	Inferior			Media			Superior			Total		
	adultos	solitarios	madres con cría	adultos	solitarios	madres con cría	adultos	solitarios	madres con cría	adultos	solitarios	madres con cría
1978	137	129	8	73	69	4	92	37	55	300	235	67
1979	168	144	24	50	33	17	90	31	59	308	208	100
1980	153	144	9	69	60	9	110	10	100	332	214	118
1981	158	134	24	72	56	16	118	17	101	348	207	141
1982	202	187	15	67	52	15	138	31	107	407	270	137
1985	285	239	46	58	42	16	52	14	38	395	295	100
Media	178.21	158.77	17.49	64.27	50.56	11.53	95.76	20.95	71.47	346.02	235.93	107.31
+/- I.C. (95%)	22.08	17.39	5.75	3.68	5.26	2.12	12.02	4.51	12.02	18.12	14.97	11.26
1996	117	84	33	56	25	31	34	6	28	207	115	92
1997	70	62	8	96	59	37	87	6	81	253	127	126
1998	95	84	11	76	69	7	59	25	34	230	178	52
1999	91	82	9	55	54	1	15	8	7	161	144	17
2000	105	103	2	92	61	31	30	18	12	227	182	45
Media	94.24	81.94	8.78	72.96	50.71	12.00	37.93	10.53	23.03	213.17	146.78	54.05
+/- I.C. (95%)	7.82	6.50	5.32	8.64	7.55	7.25	12.66	3.82	13.12	15.48	13.41	19.12
Incremento de: 1978-85 respecto a: 1996-2000 (Proporción %)	-83.97	-76.83	-8.71	8.69	0.15	0.47	-57.83	-10.42	-48.44	-132.84	-89.15	-53.27
	-47.12	-48.39	-49.78	13.52	0.29	4.08	-60.39	-49.73	-67.78	-38.39	-37.79	-49.64



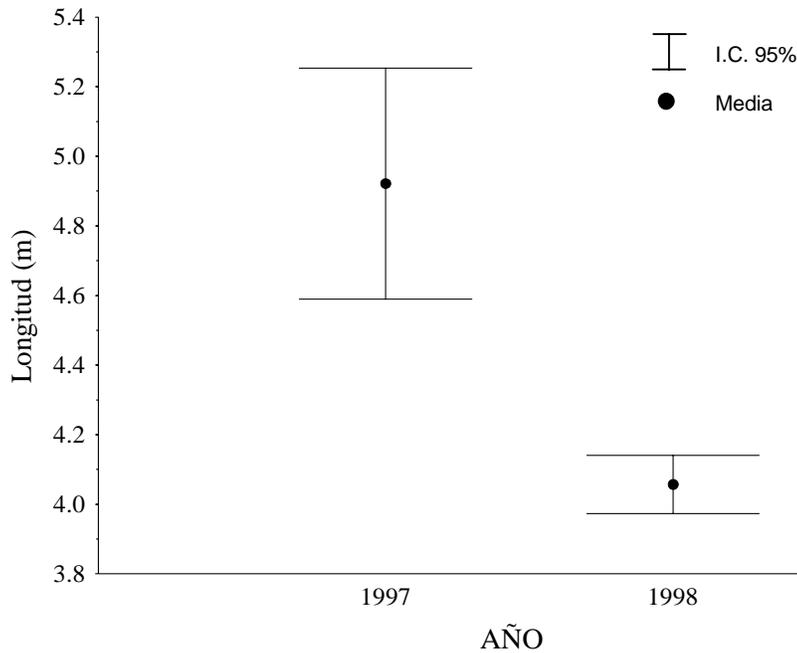
## Mortalidad

Cada año, simultáneamente a las actividades de monitoreo de la abundancia (realización de censos) y de fotoidentificación, realizamos búsquedas de ballenas muertas dentro de la laguna. Para la diferenciación de las categorías se utilizó la clasificación propuesta por Rice y Wolman (1971), donde se establece como adultos a aquellas ballenas que presentan longitudes mayores a los 11 m.

La mortalidad durante los primeros tres años de estudio fue similar a la reportada por Jones *et. al* (1988) hace 20 años, la cual estuvo compuesta principalmente por crías y nunca por encima de los 7 individuos. En estos años, encontramos un promedio de  $4 \pm 1.96$  crías muertas por año (I.C. 95%), número significativamente similar ( $H=1.2053$ ,  $p=0.2723$ ) al registrado por Jones y Swartz (1984), los cuales encontraron un promedio de  $4.85 \pm 1.37$  crías muertas por año (I.C. 95%), durante seis años de investigación en la Laguna San Ignacio (Tabla IV). Este dato nos indica que hasta 1998, no había habido un cambio significativo en la mortalidad de crías dentro de dicha Laguna. Sin embargo, al analizar la longitud promedio de las crías muertas en 1997 y 1998, encontramos que las crías que murieron en la Laguna durante 1998, fueron significativamente más pequeñas que las registradas en 1997 (Tabla IV, Fig. 24).

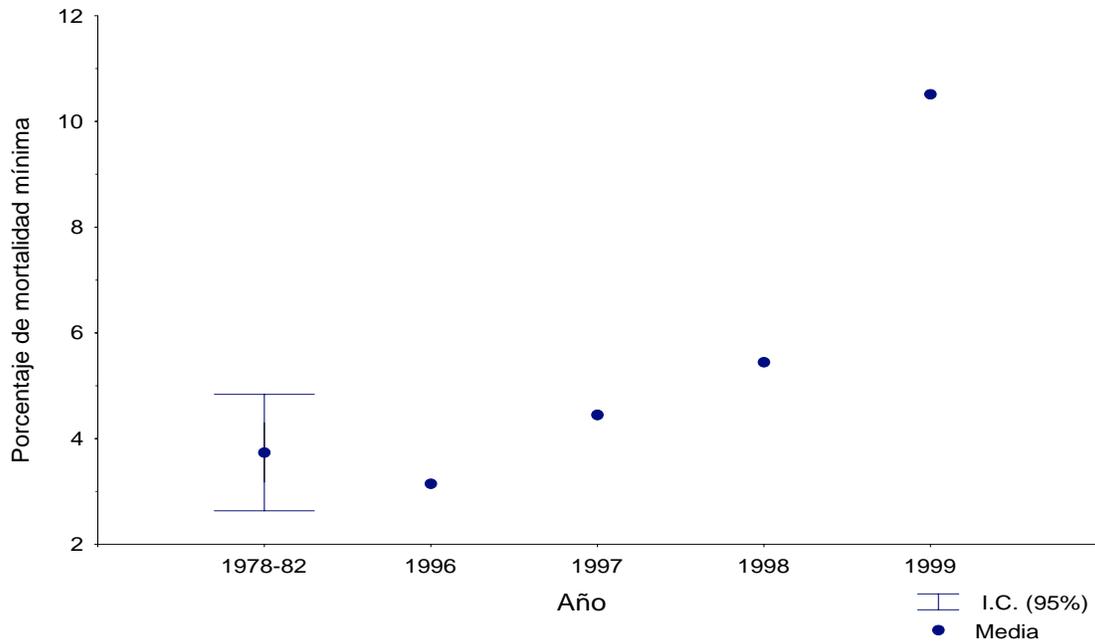
**Tabla IV.** Número, longitud y sexo (M: macho, H: hembra) de crías muertas registradas en las temporadas invernales de 1996 a 1998 en Laguna San Ignacio, B.C.S. (\*tomado de Jones y Swartz, 1984).

Año	No. de crías muertas	Longitud (m)		Sexo		
		promedio (I.C. 95%)	rango	M	H	?
1977*	4	4.56 ± 0.13	4.40 - 5.00	-	-	4
1978*	5	4.45 ± 0.12	4.10 - 4.80	1	3	1
1979*	4	4.63 ± 0.14	4.42 - 4.98	2	1	1
1980*	4	4.87 ± 0.14	4.40 - 5.10	4	0	0
1981*	4	4.43 ± 0.22	4.04 - 5.16	3	1	0
1982*	4	4.20 ± 0.22	3.84 - 4.95	2	2	0
1983*	9	4.42 ± 0.29	3.76 - 5.94	5	2	2
1996	3	-	-	-	-	3
1997	6	4.92 ± 0.33	4.5 - 5.66	4	2	0
1998	3	4.05 ± 0.08	4.00 - 4.14	1	2	0



**Figura 24.** Longitud promedio de las crías encontradas muertas en Laguna San Ignacio, B.C.S., de 1997 a 1998.

Según Swartz y Jones (1983), existen dos períodos críticos para las crías: 1) el momento del nacimiento e inmediatamente después de éste y, 2) el momento en que se inicia la migración hacia el norte donde pueden ser depredadas por tiburones u orcas. También sugieren que las crías encontradas muertas de diciembre a principios de marzo, podrían haber muerto justo después de nacer. Para comparar los registros de mortalidad del presente estudio con los de años anteriores, estimamos el porcentaje de mortalidad mínima de crías, el cual se obtuvo dividiendo el número de crías muertas por temporada entre la producción de crías (número de crías en el conteo combinado máximo + número de crías muertas) (Jones y Swartz, 1984). Durante 1998 y 1999, se presentaron porcentajes de mortalidad mínima de crías significativamente mayores a los encontrados en años anteriores (5.45 % y 10.52%, respectivamente) (Fig. 25).



**Figura 25.** Porcentaje de mortalidad mínima de crías estimado para 1996 a 1999, y su comparación con el período de 1978-82, reportado por Jones y Swarts (1984).

Por otro lado, durante 1999 y 2000 la composición de la mortalidad cambió, dando como resultado que en 1999 el 60% de los cadáveres de ballenas muertas dentro de la laguna fueron de animales adultos y en 2000 el 100%. Además, para 2000 fue evidente el gran incremento en la mortalidad, siendo ésta cuatro veces superior a la mayor mortalidad registrada en cualquiera de los años anteriores (Tabla V, Fig.26).

Los resultados anteriores pueden estar relacionados, al igual que lo planteamos para la abundancia y distribución, con las condiciones nutricionales de las ballenas grises, por los efectos de los años influenciados por el fenómeno El Niño, ya que las condiciones de productividad de sus zonas de alimentación se vieron modificadas, y éstas pueden necesitar aún de algún tiempo para alcanzar sus niveles óptimos. Además debemos tener en cuenta que la población de ballenas grises en el Pacífico nororiental, con más de 26,000 individuos en la estimación realizada para 1997/98 (Rugh *et.al*, 1999), se acerca a su límite de capacidad de carga, lo que tiene como consecuencia que la recuperación de la productividad de las zonas de alimentación afectadas por estos fenómenos, sea más difícil y sobre todo lleve más tiempo debido a la alta tasa de depredación por el gran número de ballenas, con lo que no sería raro encontrar que estas mortalidades y la baja tasa de producción de crías puedan persistir por algunos años más.

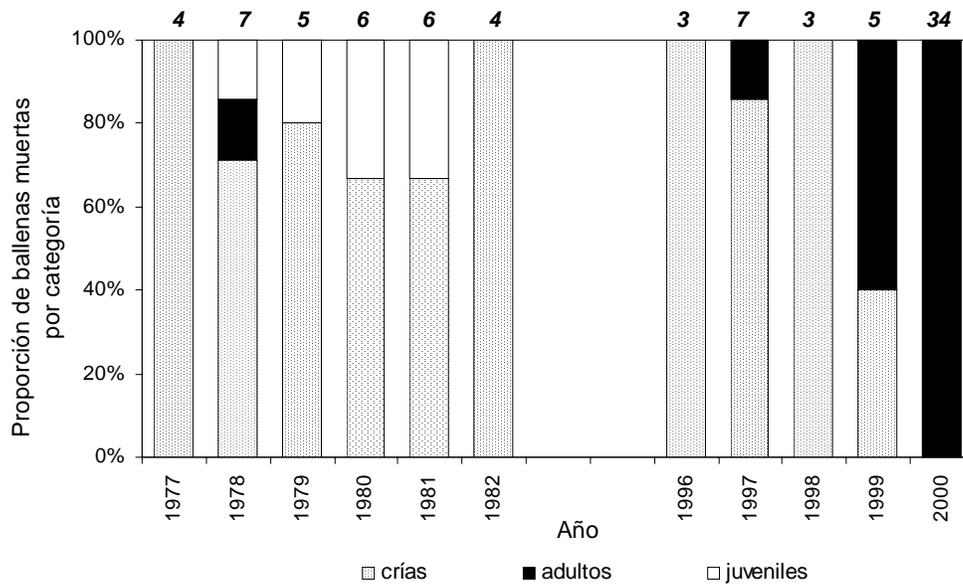
Otro factor que debemos de considerar es la baja tasa de fecundidad y los largos tiempos de generación de las poblaciones de anfípodos en las áreas de alimentación, lo que provoca que bajas en la productividad de la zona, den lugar a decrementos significativos de largo plazo en esta poblaciones (Highsmith y Coyle, 1992). En el reporte de revisión de varamientos de 1995 a 1999, Norman *et. al* (2000) concluyen que, entre los diversos factores que hayan podido contribuir al alto número de varamientos en 1999, la



desnutrición provocada por la inanición puede ser la principal causa de las altas mortalidades en 1999; fundamentándolo en la baja concentración de lípidos reportada en los análisis efectuados a los cadáveres de las ballenas a lo largo de su ruta migratoria, así como en el decremento en la tasa de producción anual de crías para ese año, resultado de la disminución en la fecundidad ocasionada por las altas temperaturas del agua en 1998, que provocó una severa disminución en la productividad de sus presas en las aguas de Alaska en ese año (LeBoeuf, *et al.* en prensa). Por otro lado Perryman *et. al* (2000), encontraron decrementos que van del 6% y 5 % en la producción anual de crías durante 1997 y 1998 hasta los 1.6% y 1.0% durante 1999 y 2000, para lo cual encontraron una relación positiva entre las fluctuaciones de esta tasas de producción de crías y la duración de las áreas de alimentación libres de la capa de hielo en el año previo a cada estimación.

**Tabla V.** Resumen y comparación de la composición de la mortalidad por categoría y sexo de los cadáveres de ballenas grises encontradas dentro de la Laguna San Ignacio, B.C.S. de 1977 a 1983 (Swartz y Jones, 1984; Jones *et al.* 1988) y 1996-2000 (Urbán *et al.* 1998 y este reporte). La “M” es para machos adultos, la “H” para hembras adultas y la “I” para juveniles inmaduros.

Fecha	Adultos			Juveniles			Crías			Total
	M	H	I	M	H	I	M	H	I	
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
1978	0	0	1	1	0	0	1	3	1	7
1979	0	0	0	0	0	1	2	1	1	5
1980	0	0	0	0	0	2	4	0	0	6
1981	0	0	0	0	0	2	3	1	0	6
1982	0	0	0	0	1	0	2	2	0	5
1983	0	0	0	0	0	0	5	2	2	9
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
1997	0	0	0	0	0	0	5	2	0	7
1998	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3
1999	0	2	1	0	0	0	0	2	0	5
2000	27	6	1	0	0	0	0	0	0	34
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>94</b>



**Figura 26.** Proporción de ballenas muertas encontradas en Laguna San Ignacio, B.C.S. entre 1977-82 (Jones y Swarts, 1984) y de 1996 a 2000 (los números dentro de las columnas indican el número total de ballenas muertas).

## Fotoidentificación

### Permanencia

Del 17 de enero de 1996 al 1 de abril de 2000 se tomaron un total de 1,770 fotografías de ballenas grises en Laguna San Ignacio, B.C.S.; identificándose a 1,440 individuos de los que 986 fueron ballenas solitarias, 498 madres con cría y 12 indeterminados. De éstas, 330 (56 solitarias y 274 madres con cría) se fotografiaron más de una vez en días diferentes, es decir se tomaron como una “recaptura”. En la Tabla VI se observa la cantidad fotografías, la cantidad de ballenas individualizadas y el número de recapturas para cada año.

**Tabla VI.** Número de ballenas identificadas y recapturadas en Laguna San Ignacio, B.C.S., enero a abril de 2000.

CATEGORÍA	1996			1997			1998			1999			2000		
	F	I	R	F	I	R	F	I	R	F	I	R	F	I	R
Adultos	189	159	30	367	304	63	369	292	77	328	247	81	517	463	54
Solitarios	77	72	5	160	155	5	196	188	8	159	147	12	394	374	20
Madres con cría	105	80	25	207	149	58	171	102	69	166	97	69	123	89	34



Indeterminados    7    7    0    0    0    0    2    2    0    3    3    0    0    0    0

Utilizando la información de estas recapturas observamos que para la totalidad del período de cinco años, las madres con cría presentaron intervalos de permanencia de hasta 63 días, mientras que las ballenas adultas solitarias permanecieron hasta 23 días dentro de la laguna (Figuras 27 y 28).

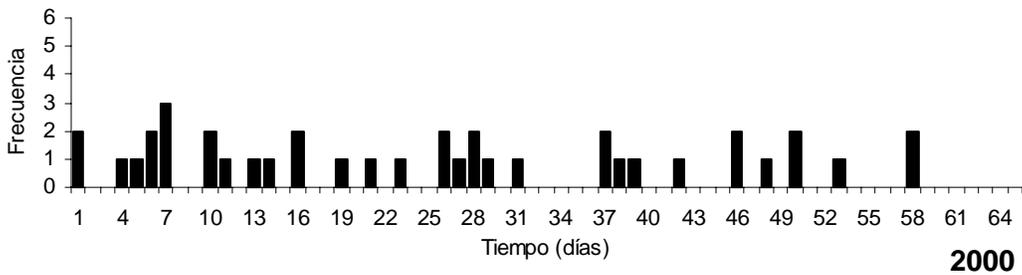
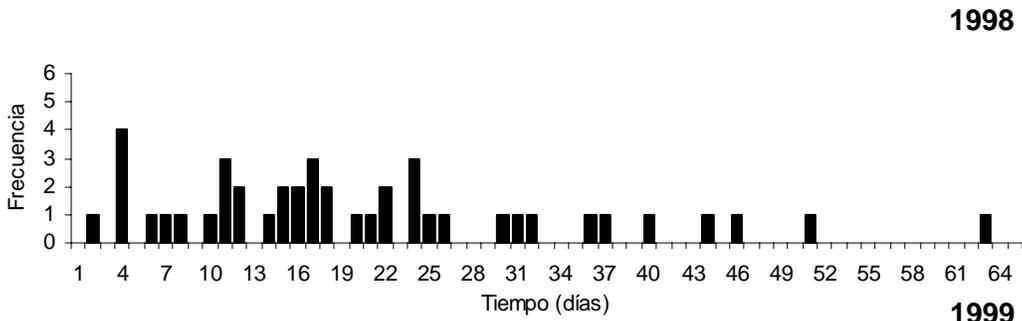
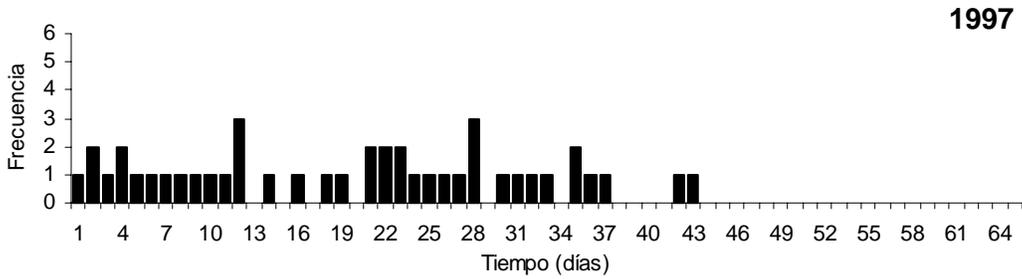
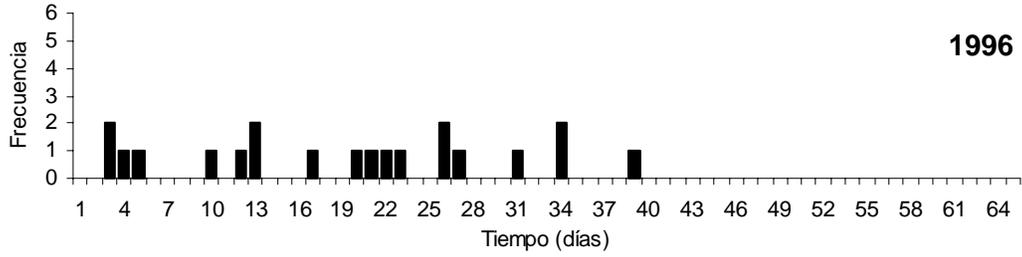
Con esta información estimamos la permanencia media de las madres con cría para la totalidad del periodo, la cual fue de  $\bar{X} = 21.68 \pm 2.18$  días ( $n = 170$ ; I.C. 95%), la cual resultó ser casi 4 veces mayor a la de las ballenas solitarias  $\bar{X} = 5.53 \pm 1.57$  días ( $n = 43$ ; I.C. 95%).

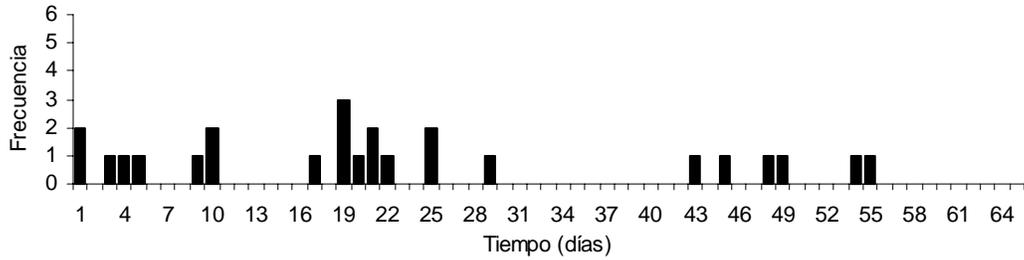
Lo que encontramos durante 1996-2000 refuerza el planteamiento de Jones y Swartz (1984), en donde mencionan que las madres con cría permanecen un mayor tiempo dentro de la laguna, la cual utilizan como zona de parto y crianza, y las ballenas solitarias únicamente como zona de apareamiento. Sin embargo, durante 2000 a diferencia de los años anteriores, tuvimos un mayor número de recapturas de solitarios y con intervalos de tiempo mayores a los encontrados en años anteriores (de más de 20 días), aunque la media fue similar a la del periodo completo (Tabla VII, Figuras 27 y 28).

**Tabla VII.** Permanencia media de las ballenas grises por año y categoría de acuerdo con el número de recapturas obtenidas en Laguna San Ignacio, B.C.S., de enero a abril de 1996-2000.

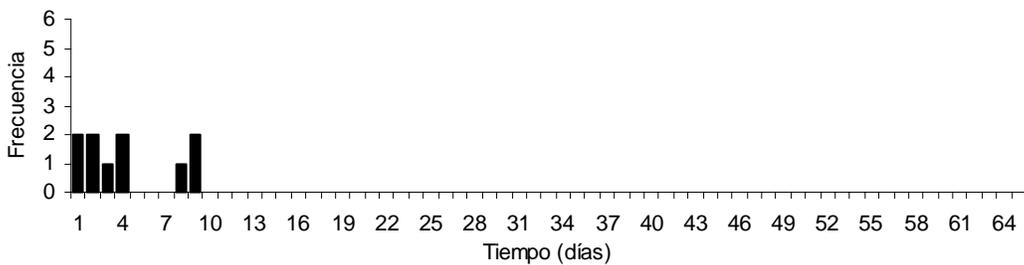
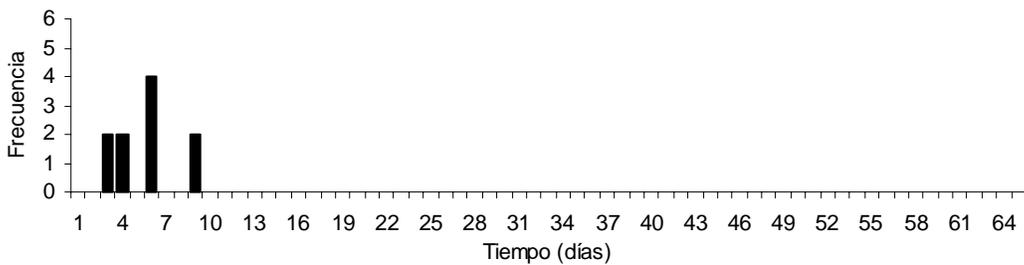
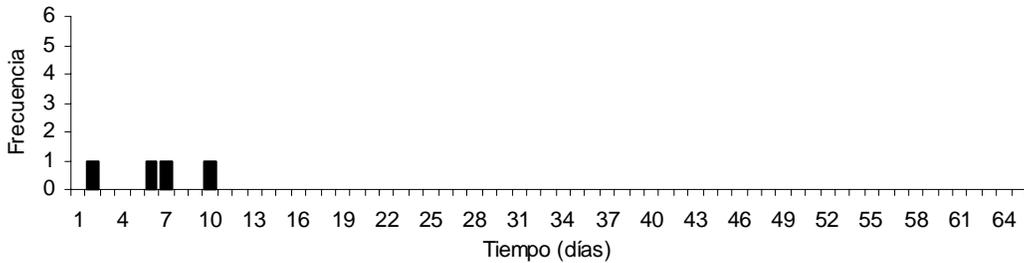
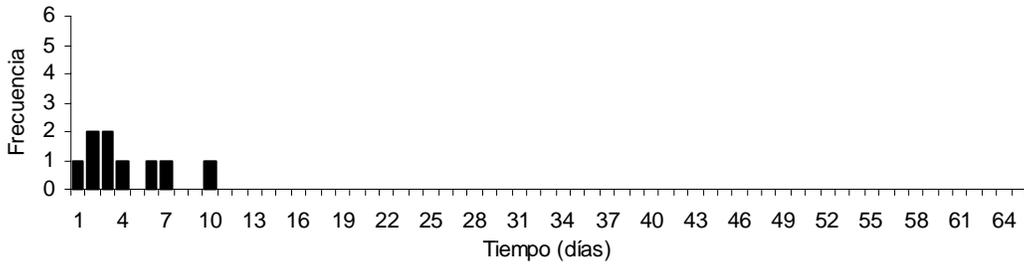
Parámetro	1996		1997		1998		1999		2000	
	mc	sol								
media	19.15	4.22	19.70	6.25	20.63	5.60	25.49	4.30	22.96	6.79
± I.C.(95%)	4.85	1.90	3.57	3.24	4.11	1.35	5.45	1.98	6.65	3.22
N	20	9	43	4	43	10	39	10	25	19

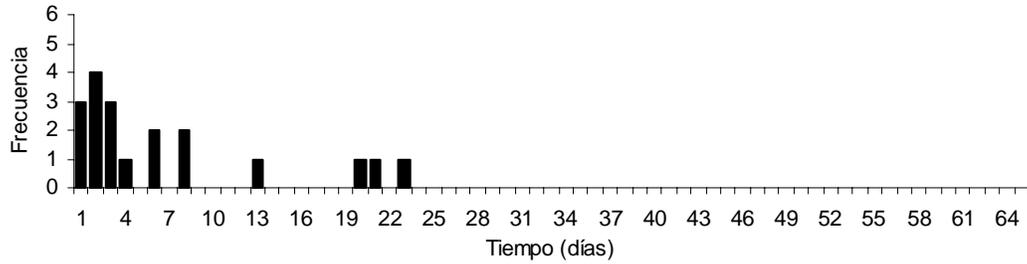
Cuando comparamos la permanencia de las ballenas grises durante los años de estudio utilizando la prueba de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ), encontramos que en ninguno de los casos (madres con cría ni solitarios), el tiempo de permanencia fue significativamente diferente entre ninguno de los años, lo cual es evidente cuando observamos la Fig. 29 (madres con cría 1996-2000:  $H_{(4, N=170)}=2.309794$   $p=0.6790$ ; solitarios 1996-2000  $H_{(4, N=43)}=3.645070$   $p=0.4562$ ).



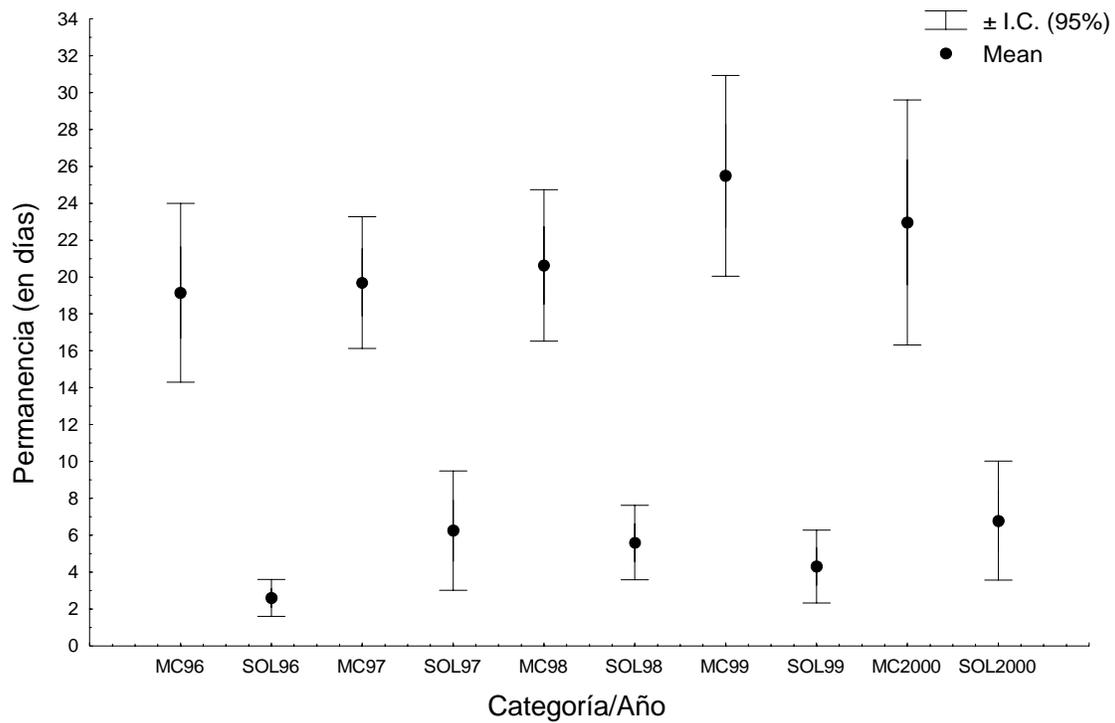


**Figura 27.** Tiempo de permanencia (en número de días) de las madres con cría en Laguna San Ignacio, B.C.S., para cada año de estudio de 1996 a 2000.





**Figura 28.** Tiempo de permanencia (en número de días) de los solitarios con cría en Laguna San Ignacio, B.C.S., para cada año de estudio de 1996 a 2000.



**Figura 29.** Permanencia media e intervalo de confianza (95%) de las ballenas grises por categoría (madres con cría y solitarios), en Laguna San Ignacio, B.C.S. durante 2000.



### Intervalo de partos

Para determinar el tiempo del ciclo reproductivo de las ballenas grises en la laguna, utilizamos las recapturas de las madres con cría fotografiadas entre 1996 y 2000. Se identificaron 34 hembras que han visitado la laguna más de una vez (Tabla VI). Nueve de estas ballenas han parido con dos años de diferencia y siete con tres años; ninguna lo ha hecho en años consecutivos. Cabe aclarar que, el intervalo reportado se considera como el “intervalo máximo” entre nacimientos, ya que en los años en los que las ballenas no fueron observadas en Laguna San Ignacio, se consideró que no presentaron cría.

**Tabla VI.** Historia reproductiva de 33 hembras de ballena gris observadas en Laguna San Ignacio, B.C.S., entre 1996 y 2000. (• con cría, o sin cría).

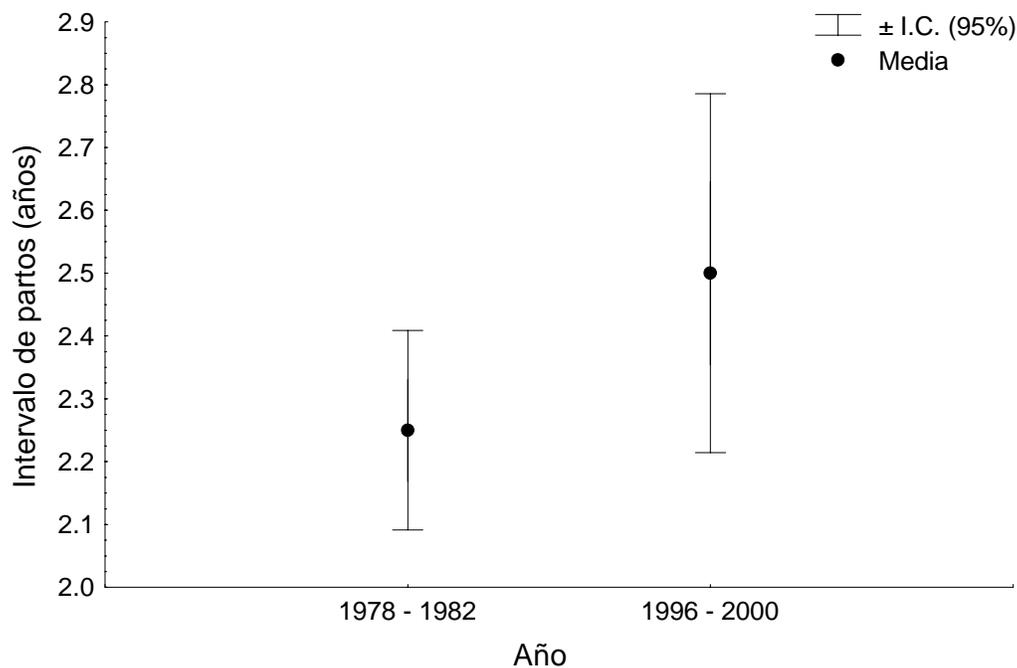
No. Catálogo	Año				
	1996	1997	1998	1999	2000
004	•		•		
013	•				•
018	•			•	
023	•	o			
025	•			•	
034	•			•	
035	•	o	•		
039	•		o		
046	•		o		
051	•			?	
055	•		•		
057	•		•		
058	o	•			
070	•		•		
106	o	•			
124	•			•	
150	•		o		
167		•		•	
171	o	•			
174		•	o		
200		•		•	
202		•			•
242		•			•



251	•	•	
318	•		•
359	•	o	
370	o	•	
400	•		•
403	o		•
436	o	•	
440	o	•	
522		•	•
576		o	•

Tomando en cuenta únicamente las ballenas que han sido observadas en más de un año con cría ( $n = 18$ ), se tiene que el intervalo promedio entre nacimientos de ballena gris es de  $2.50 \pm 0.29$  años (I.C. 95%) durante el periodo 1996-2000, intervalo que es significativamente diferente ( $H_{(1, N=78)} = 4.165557$   $p=0.0413$ ) al reportado por Jones (1990) de  $2.25 \pm 0.6$  (I.C. 95%) entre 1977 y 1982 (Figura 27)

De esta manera podemos indicar que el intervalo entre nacimientos de crías de ballena gris en Laguna San Ignacio, ha variado desde la década pasada hasta el momento. Sin embargo esto también puede estar relacionado con las condiciones provocadas por el ENSO 1998-99, por no haber muchos partos dentro del periodo de 1998 a 2000, debido al bajo número de hembras, tal como se ha discutido anteriormente.





**Figura 27.** Intervalo promedio entre nacimientos de ballena gris en Laguna San Ignacio, B.C.S. La información del periodo 1978-1982 fue tomada de Jones (1990).

### Filopatría de las madres con cría

En la Tabla VII se presentan las recapturas e índices de filopatría entre las cinco temporadas de estudio. Como puede apreciarse, no se encontró ninguna recaptura entre años consecutivos. Este resultado era esperado considerando que el intervalo entre nacimientos fue de 2.50. El mayor índice de filopatría se encontró al comparar las temporadas 1996 y 1998 (0.55). Esperábamos encontrar un índice semejante al comparar 1997 con 1999 y 1998 con 2000, por ser un intervalo similar. Sin embargo, para 1997/99 fue la mitad del anterior (0.27) y para 1998/2000 (0.10) el menor encontrado para cualquier periodo; de hecho 2000 presentó los índices de filopatría más bajos que cualquier otro año, lo que nos indica que durante la temporada de 2000 las madres presentaron una fuerte disminución en su retorno habitual a la laguna, teniendo un comportamiento similar a 1999, y pudiendo, nuevamente, estar relacionado a los cambios oceanográficos provocados por el ENSO 1998-99 y la baja producción de crías durante 2000.

**Tabla VII.** Recapturas (abajo de la diagonal) e índices de filopatría (arriba de la diagonal) de las madres con cría fotografiadas en Laguna San Ignacio entre 1996, 97, 98, 99 y 2000. Entre paréntesis se muestra el tamaño de la muestra para cada temporada.

Temporada	1996 (80)	1997 (150)	1998 (112)	1999 (97)	2000 (90)
1996		0.00	0.55	0.51	0.14
1997	0		0.00	0.27	0.22
1998	5	0		0.00	0.10
1999	4	4	0		0.00
2000	1	3	1	0	

### Número de ballenas grises que visitaron Laguna San Ignacio

El número de ballenas que visitaron la laguna, se refiere al número total de ballenas que utilizaron esta laguna, ya sea como lugar de tránsito o bien como lugar para realizar sus actividades reproductivas (apareamiento y/o crianza de los ballenatos). Lo anterior se consideró muy importante, debido al hecho de observar en nuestros resultados de abundancia y permanencia, que había una alta tasa de intercambio de animales dentro y

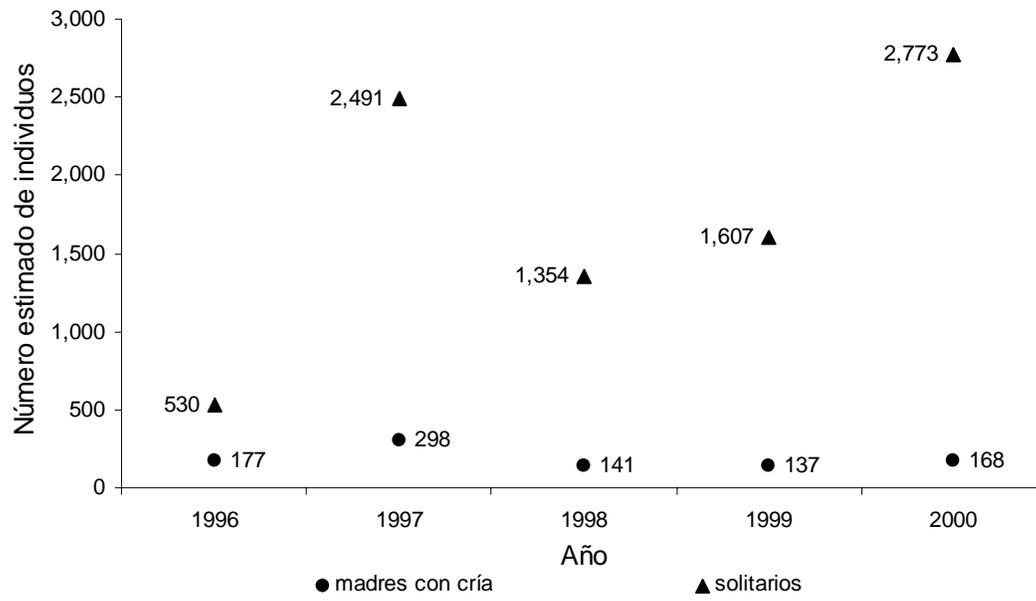


fuera de la laguna, con lo que los resultados de abundancia a partir de los censos, únicamente nos indicaron la abundancia instantánea, y esto nos permitió inferir poco acerca de la importancia de la laguna San Ignacio dentro de sus áreas de reproducción y para la población de la ballena gris en el pacífico nororiental. Por lo anterior se realizó la estimación del número de madres con cría y el número de ballenas solitarias, pero haciéndolo por separado, debido a que los valores de permanencia nos indicaron tasas de intercambio muy distintas entre ambas categorías (5 días en promedio para los solitarios y 20 para las madres con cría), con lo cual una estimación conjunta nos incluiría un sesgo importante en la misma.

La Tabla VIII y la Figura 28 muestran la estimación del número de ballenas grises que visitaron la laguna durante los cinco años de estudio ( $N_{(estimada)}$ ) a partir de la técnica de la tasa de descubrimiento de nuevos individuos propuesta por Darling y Morowitz (1986). Tal y como mencionamos el año anterior, si bien los valores obtenidos difieren entre sí de manera importante, podemos considerar que 1997 es el año que representaría los valores “normales” de abundancia y número de ballenas que visitaron la laguna, debido principalmente a que dicho año es el que presentó las características de abundancia y distribución más parecidos al patrón encontrado por Jones y Swartz (1984), para las cinco temporadas en los que realizaron sus estudios en esta laguna (1978-1982). Cuando observamos el número de ballenas estimado para 2000, podemos ver que para el caso de los solitarios es el máximo valor encontrado hasta ahora (2,773), mientras que el número de madres con cría que visitaron la laguna (168), fue similar a los dos años anteriores, reforzando nuevamente la hipótesis planteada acerca de una baja en la producción de crías, lo que consecuentemente provocará un aumento en el número de ballenas solitarias. La razón de que se presenten en mayor número en 2000 y no así en 1998 y 1999, puede estar relacionado con los cambios en la temperatura del agua durante estos años, situación que provocó cambios en la distribución de las ballenas grises a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California (Urbán *et. al*, 1999b), con lo que durante 2000, al retornar las condiciones normales de temperatura, la distribución vuelve a ser parecida a 1997, por lo que aumenta el número de ballenas que visitan la laguna, aunque las madres con cría en este año siguen siendo pocas por las razones antes discutidas.

**Tabla VIII.** Estimación del número ( $N_{(estimada)}$ ) de ballenas grises que visitaron Laguna San Ignacio, B.C.S. cada año de 1996 a 2000, mediante la técnica de descubrimiento de nuevos individuos (Darling y Morowitz, 1986)

Parámetro	1996		1997		1998		1999		2000	
	mc	sol	mc	sol	mc	sol	mc	sol	mc	sol
No. de individuos	80	70	150	155	102	186	97	189	90	375
No. Fotografías	106	75	208	160	180	200	167	201	134	416
$N_{(estimada)}$	177	530	298	2,491	141	1,354	137	1,607	168	2,773



**Figura 28.** Estimación del número de ballenas por categoría grises que visitaron la Laguna San Ignacio, B.C.S., durante 1996-2000.



## Genética

### **Determinación del sexo, filopatría y genética poblacional.**

Se analizó el sexo y haplotipo de 83 ballenas grises adultas, 14 de la Laguna Ojo de Liebre, 66 de la laguna San Ignacio, 2 de la Bahía de Ballenas y una muestreada en las aguas adyacentes a San José del Cabo. De éstas ballenas, 65 fueron hembras (10 en Ojo de Liebre, 55 en San Ignacio y una en San José del Cabo) y 18 machos (3 en Ojo de Liebre, 12 en San Ignacio y 2 en bahía de Ballenas) (Anexo III).

Se identificaron 33 haplotipos, lo que sugiere que la población conserva una alta variabilidad y salud genética. De los 10 haplotipos identificados en ballenas muestreadas en laguna Ojo de Liebre, 9 se encontraron también en San Ignacio (32 haplotipos en 66 animales). Una de las ballenas muestreadas en Bahía de Ballenas y la muestreada en San José del Cabo, también comparten haplotipo con ballenas de san Ignacio (Anexo III).

Estos resultados indican que no hay evidencia de filopatría de las ballenas grises por alguna laguna o zona de la península en particular, lo que en otras palabras significaría que una ballena gris puede parir indistintamente en cualquiera de las lagunas de agregación invernal. Por otra parte tampoco se identificó alguna preferencia de machos o hembras, por alguna laguna o zona en particular.

### **Evaluación preliminar de la capacidad inmune de la ballena gris, de acuerdo al polimorfismo funcional del complejo principal de histocompatibilidad clase I (CPH-I).**

*Las secuencias de nucleótidos exon 2 CPH-I y sus secuencias proteica constituyen RFPs funcionales.*

Para evaluar el polimorfismo funcional de las moléculas clase I en ballenas grises, doce y veinte clones exon 2 CPH-I fueron aislados de cada una de siete (*Esro4*, *Esro5*, *Esro7*, *Esro8*, *Esro9*, *Esro10*, y *Esro64*) y cada una de dos (*Esro3* y *Esro6*) ballenas grises (Tot. = 124 secuencias). Trece de estas secuencias demostraron ser únicas de acuerdo a su alineamiento con el resto de las secuencias obtenidas. Una comparación completa con la base de datos Genbank, mostró que las secuencias exon 2 CPH-I exon 2 de la ballena gris son muy similares a las de los artiodáctilos, perisodáctilos y primates. Su traducción a secuencias proteicas mostró que todas las secuencias mostraban lectura continua y funcional (Fig. 29b).

*La distancia evolutiva y divergencia de caracteres apoya la existencia de al menos tres loci polimórficos del CPH-I en ballena gris.*

Los métodos **NJ** y **MP** se usaron para reconocer las afinidades filogenéticas entre secuencias exon 2 CH-I de la ballena gris (Fig 30). El enfoque distinto del método **NJ** (distancia evolutiva) y el de **MP** (divergencia de caracteres discretos), permitió validar estadísticamente (bootstrap = 1000 replicas) los patrones de ramificación coincidentes en ambos tipos de árbol filogenéticos. Dado que las secuencias exon 2 CPH-I de ballena gris muestran afinidades filogenéticas con secuencias similares de artiodáctilos (Flores-Ramirez *et al.* obs. personal), se incluyeron secuencias correspondientes a tres CPH-I loci en ganado



porcino y vacuno para facilitar la identificación de grupos de secuencias ortólogas de ballena gris correspondientes la exon 2 *CPH-I*. Ambos tipos de arboles filogenéticos (**NJ** y **MP**) coincidieron en mostrar tres grupos de secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena gris (Fig. 30a, b). Distancias evolutivas (Fig 30a) y numero de pasos de parsimonia significativos (Fig. 30b) separaron los clusters de secuencias **A** y **B** indicando que las secuencias que contienen corresponden a loci distintos. Lo mismo indican la afinidad de las secuencias del cluster **A** con las secuencias *Esro3.1.1* y *Esro3.2.3*, que se aislaron del mismo individuo (*Esro3*), y la afinidad las secuencias del cluster **B** a la secuencia *Esro3.2.2* que también fue aislada de *Esro3* (Fig. 30a, b). Así mismo, los arboles **NJ** y **MP** indican la existencia de un tercer loci *CPH-I* en la ballena gris, integrado por las secuencias del cluster **C** (Fig. 30 a,b). La cercana afinidad de la secuencia 4.2 a las secuencias *Esro3.1.4* y *Esro3.5.2* (Fig. 30a, b), que como la secuencia *Esro3.5.3* fueron aisladas del individuo *Esro3*, contraindica la inclusión de esta ultima secuencia dentro del cluster **C**. La recombinación entre *CPH-I* loci observada en vacunos (Garber *et al.* 1993), puede explicar el gran parecido entre secuencias exon 2 *CPH-I*, que muy probablemente se localizan en loci distintos. En este caso, dado que la gran similitud de las secuencias del cluster **C** sugiere una funcionalidad muy parecida, todas se analizaron como si pertenecieran a un solo locus. Adicionalmente, los arboles **NJ** y **MP** mostraron la marcada divergencia de la secuencia *Esro8.2* (Fig. 30a, b). Arboles **NJ** y **MP** construidos con secuencias exon 2 *CPH-I* de humanos (HLA-B no. de acceso: U2105 y HLA-C no. de acceso: Z47377) y de ballena gris, apoyaron la inclusión del la secuencia *Esro8.2* en el cluster **C**, lo que se considero en otros análisis.

#### *Loa alelos exon 2 CPH-I de la ballena gris codifican regiones $\alpha$ -1 funcionales para la fijación y presentación de antígenos.*

La traducción proteica de todas las secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena gris indico que estas codifican regiones  $\alpha$ -1, características de proteínas encargadas de presentar antígenos (Fig. 1b). En todas las especies estudiadas, la mayor parte de la variación de las moléculas *CPH-I* se localiza en las regiones  $\alpha$ -1 y  $\alpha$ -2 (Bjorkman *et al.* 1987; Hughes y Nei 1988; Parham *et al.* 1988). El sitio de reconocimiento de antígenos de las proteínas *CPH-I* muestra tasas de sustituciones no sinónimas ( $d_N$ ) que exceden con mucho las tasas cuasi neutrales de las sustituciones sinónimas ( $d_S$ ) (Hughes y Nei, 1988). La tabla 1 muestra que en este caso, las comparaciones entre pares de secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena gris confirmó que  $d_N > d_S$  entre las secuencias del cluster **C** y entre secuencias de clusters distintos (**A vs. B**, **A vs. C**, **B vs. C**). En estos análisis, la secuencia *Esro3.5.3* fue analizada como parte del cluster **C** aun cuando su inclusión dentro de **C** es contraindicada por la presencia de dos secuencias que al igual que *Esro3.5.3* fueron aisladas del mismo individuo (*Esro3*). Alternativamente, la inclusión algo arbitraria de la secuencia *Esro3.5.3* dentro del cluster **B**, elevó la diferencia entre  $d_N$  y  $d_S$  a niveles significativos. Las frecuentes sustituciones no sinónimas entre pares de secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena gris pertenecientes a un locus putativo (clusters **A**, **B** o **C**), cambió las propiedades fisicoquímicas del residuo involucrado, sugiriendo la existencia de un repertorio de sitios de reconocimiento antigénico clase I en la ballena gris (Fig 29b). Los resultados descritos son consistentes con la influencia de fuerzas selectivas que mantienen la diversidad de los sitios de reconocimiento antigénico en las proteínas del *CPH-I* de la ballena gris.

Para estimar la variabilidad funcional de los genes del *CPH-I* en la ballena gris, se amplificaron y secuenciaron 124 clones conteniendo secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena



gris. El alineamiento de esas secuencias, indicó la existencia de trece secuencias únicas del exon *CPH-I*. La comparación de estas secuencias con la base de datos completa de Genbank, mostró que estas secuencias son similares a secuencias funcionales del *CPH-I* de otros vertebrados como: artiodáctilos, perissodáctilos y primates, que codifican la región  $\alpha$ -1 de las proteínas clase I del *CPH* (Fig. 29a, b). Análisis previos de RFLP refieren que los misticetos poseen más de un locus *CPH* clase I, y que estos genes presentan poca variabilidad (Trowsdale et al. 1989). Dado que la gran divergencia entre distintos loci *CPH* clase I ha sido considerada a menudo para segregar alelos entre loci putativos (Garber et al. 1993, Vincek et al. 1997; Klein et al. 1997), se aplicaron análisis filogenéticos para segregar las secuencias exon 2 *CPH-I* obtenidas de las 9 ballenas grises en loci putativos, para estimar su número y variabilidad en la especie. Los árboles de **NJ** y **MP** apoyan la existencia de tres clusters de secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena gris, indicando la presencia de un número similar de loci clase I en la especie (Fig 2a,b). Esto es consistente con el aislamiento de seis secuencias únicas exon 2 *CPH-I* a partir de un solo individuo, y con el número de loci clase I encontrados en los artiodáctilos (Garber et al. 1993; Lunney 1994), grupo ancestral del que los cetáceos derivaron (Gatesy, 1997). Es interesante que más de dos secuencias exon 2 *CPH-I* aisladas de un mismo individuo se agruparan en el cluster **C**. Posiblemente la recombinación entre locus clase I observada en los vacunos (Garber et al. 1993), explique la gran similitud entre secuencias exon 2 localizadas en distintos loci clase I de ballena gris, que previno la segregación de las secuencias *Esro3.5.3*, *Esro3.5.2*. y *Esro3.1.4* en clusters distintos (Fig 30a, b). El análisis de secuencias completas *CPH-I* de ballenas grises es necesario para confirmar esta observación. Por otra parte, algunas secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena gris mostraron una mayor similitud evolutiva con secuencias de vacunos o cerdo, y mostraron ortología respecto a otras secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena gris (Fig.30a, b). Esto sugiere que la duplicación de genes dio lugar a los tres loci clase I de la ballena gris que se presentó antes de la divergencia de los linajes vacuno y porcino (Kumar y Hedges, 1998). Asimismo, lo anterior indica que si el intercambio entre locus clase I existe en la especie, éste ha sido tan infrecuente que no ha resultado en la evolución concertada de los genes *CPH-I* de la especie. El intercambio de segmentos clase-I entre distintos loci es raro en los primates.

Este ha ocurrido entre los loci ancestrales *HLA-H* y *HLA-A* en *Gorilla* (Lawlor et al. 1991; Watkins et al. 1992). Sin embargo los homólogos, *HLA-A* y *HLA-B* se han preservado muy bien a lo largo de la evolución de los grandes monos y de los primates del viejo mundo (Lawlor et al. 1988; Mayer et al. 1988), indicando que los homólogos ancestrales de los genes *CPH* clase I de los humanos se han mantenido estables a lo largo de vastos periodos de tiempo.

Los estudios iniciales sobre la variabilidad de del *CPH* en los mamíferos marinos, describen un alelismo bajo en los cetáceos y las focas en comparación con el observado en mamíferos terrestres (Trowsdale et al. 1989, Slade 1992). La escasa variación del *CPH* en cetáceos y pinípedos se atribuye a una presión parasítica débil sobre los mamíferos marinos (Slade 1992), en comparación a aquella que opera sobre los mamíferos terrestres. Sin embargo, estudios recientes de secuenciación han detectado cantidades cuantificables de variabilidad en el *CPH* de varias especies de mamíferos marinos (Murray et al. 1995, Goodman y Slade 1995, Murray y White 1998), tornando en especulativo el argumento referido, especialmente debido a nuestra ignorancia respecto a la relación entre la carga

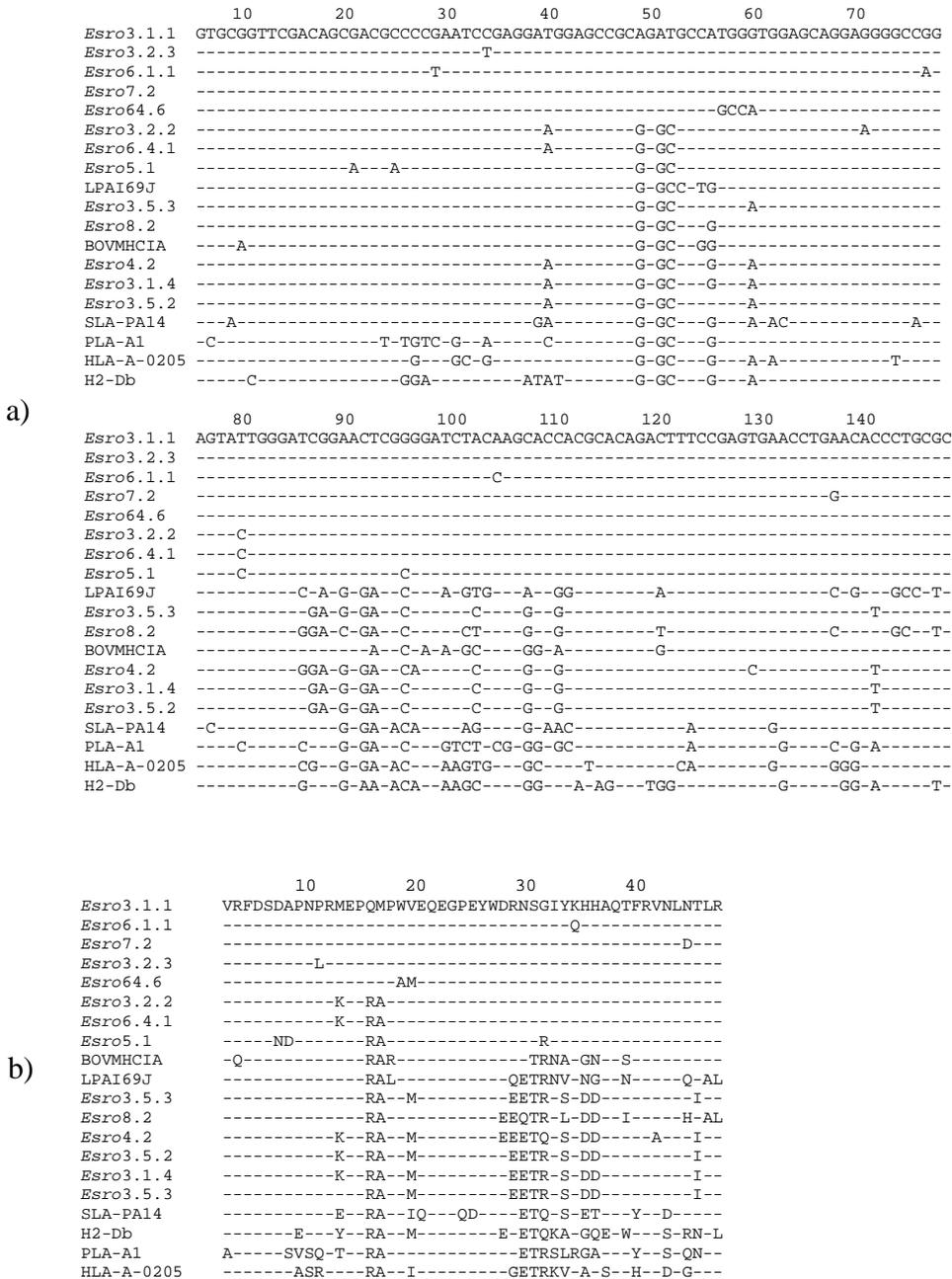


parasitaria y su efecto en los mamíferos marinos. En este estudio la variabilidad mostrada por trece secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena gris, sus mayores tasas de sustitución no sinónimas que sinónimas (Tabla IX), y los cambios fisicoquímicos asociados a los residuos sustituidos en el ámbito de la región  $\alpha$ -1 del *CPH-I* de la especie (Fig 29b), indican el papel funcional de las moléculas clase I en la ballena gris, y no son consistentes con bajos niveles selectivos. Sin embargo es interesante notar que, mientras la mayoría de mamíferos terrestres muestra tasas de sustitución no sinónimas que son más de cuatro veces mayores que las tasas sinónimas de sustitución en las RFPs del *CPH* (Klein *et al.* 1993), la tasa total de sustituciones no sinónimas estimada para la ballena gris con base en todas las secuencias exon 2 clase I, fue solo 2.5 veces mayor que las sustituciones no sinónimas (Tabla 1). En coincidencia, el promedio total de sustituciones de aminoácidos por sitio en este cetáceo estimado a partir de comparaciones pareadas entre todas las trece secuencias exon 2 *CPH-I* de ballena gris (media=  $8.36 \pm 0.55$ , n=13 secuencias), fue significativamente menor que el de bóvidos (media=  $13.54 \pm 0.2$ , n= 47 secuencias), suidos (media=  $17.53 \pm 0.58$ , n=15 secuencias) y felinos en peligro de extinción (Leopardos parladas 2 secuencias y guepardo 2 secuencias, media=  $13.80 \pm 0.51$ ). El ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas (Medianas: Bóvidos= 15; Suidos= 17; Felinos en peligro= 14, Ballena gris =10;  $H_{3,675}=108.72$ ,  $p<0.05$ ). Esto sugiere que la variabilidad intrínseca de cada molécula *CPH-I* de ballena gris utilizada en la detección y presentación de péptidos patogénicos, es muy modesta aun comparándola con aquella que poseen especies terrestres consideradas en peligro de extinción por su baja variabilidad inmune.

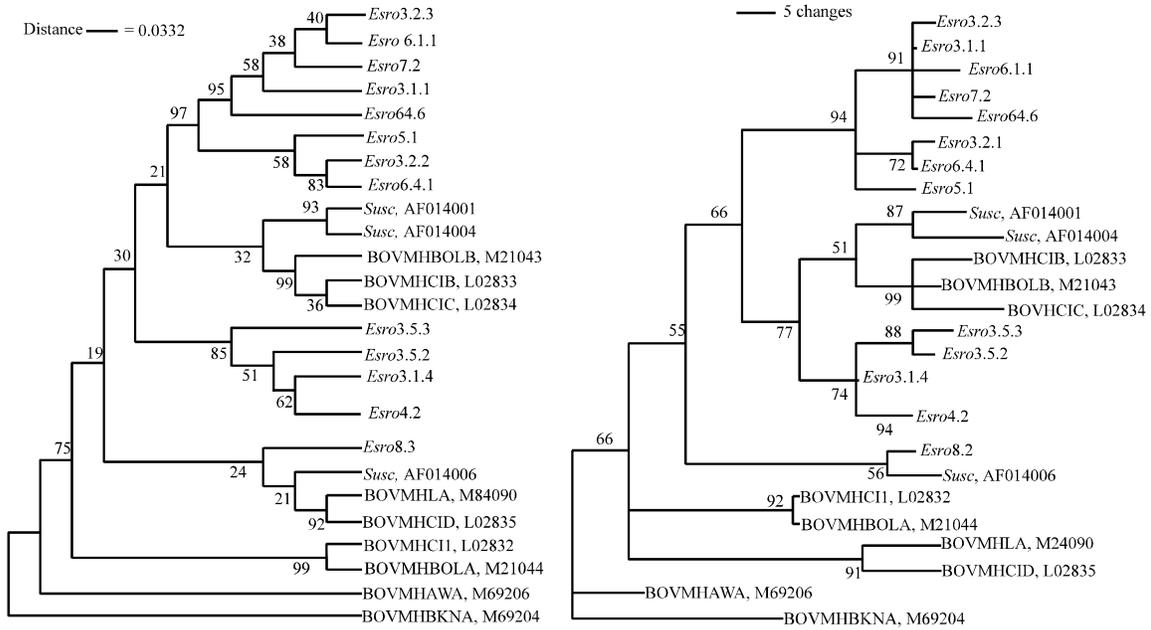
En mamíferos el nivel de variación de las moléculas del *CPH* puede ser resultado de cuellos de botella poblacionales, tamaños poblacionales muy reducidos al momento de la especiación, una presión parasítica diferencial y la reducción de las tasas de sustitución no sinónimas asociadas a la historia natural. La variación del *CPH* ha disminuido en el alce *Alces alces*, y en los guepardos *Acinonyx jubatus* después de cuellos de botella bien documentados (Ellegren *et al.* 1996, O'Brien *et al.* 1985, respectivamente). Asimismo, el nulo polimorfismo del *CPH* de la foca monje de Hawaii (Armstrong 1995) y del elefante marino del Norte (Hoelzel *et al.* 1999), coinciden con su abrupta disminución poblacional. Los tamaños poblacionales muy reducidos al momento de la especiación, podrían explicar la baja variabilidad del *CPH* en algunas especies de mamíferos marinos, pero no concuerdan con los mecanismos de especiación propuestos debido a la especialización trófica (Gaskin 1982). Distintas variedades de parásitos y niveles de virulencia en distintos hábitats, podrían explicar la distinta variabilidad del *CPH-I* y distintas tasas de sustitución no sinónimas encontradas en algunas poblaciones de mamíferos marinos, tal y como se ha documentado en humanos y vacunos (Hill *et al.* 1991; Watkins *et al.* 1992; Escayg *et al.* 1997). Alternativamente, el escaso polimorfismo del *CPH-I* en la ballena gris podría explicarse por la lenta tasa de sustitución no sinónima asociada a la historia natural y a tasas metabólicas lentas de los cetáceos (Martin y Palumbi 1993). Así, se requieren más estudios comparativos para comprobar estas hipótesis. Por el momento, cabe considerar que aunque las altas tasas de sustitución no sinónimas indican la funcionalidad de las moléculas *CPH-I* de la ballena gris, esta variabilidad es modesta de acuerdo a estándares terrestres y podría explicar la elevada susceptibilidad a enfermedades y mortalidad que afectan las poblaciones de mamíferos marinos. Esto especialmente cuando les afectan agentes exobióticos (como contaminantes) y patógenos exóticos y otros virus asociados a fauna introducida que no tienen hospederos específicos como los *Morbillivirus* (Domingo



*et al.* 1990; Taubenberger *et al.* 1996). Lo anterior plantea la necesidad de evaluar, regular y vigilar estrechamente el desarrollo de actividades humanas relacionadas con el uso de agentes exobióticos y de portadores potenciales de patógenos exóticos (Colborn, 1994) en la vecindad de los hábitats de distribución de la ballena gris.



**Figura 29.** Alineamientos de secuencias exon 2 *CPH-I* (a: nucleotidos; b: aminoacidos) de ballena gris (Esro3.1.4, Esro3.2.2, Esro3.2.3, Esro3.5.2, Esro3.5.3, Esro6.1.1, Esro3.3.1, Esro6.4.1, Esro 4.2, Esro5.1, Esro 7.2, Esro 8.2 y Esro 64.6) ratón, (H2-D<sup>b</sup>, U47325); leopardo (LPAl69J, U07676); foca de puerto (PLA-A1, U88874); humano (HLA-A-0205, U03862); bovidos (BOVMHCIA, L02832) y suidos (SLA-PA14, AF014001).



**Figura 30.** Árboles filogenéticos (a: **NJ** y b: **MP**) mostrando las relaciones evolutivas entre secuencias exon 2 del *CPH-I* de ballena gris (Esro3.1.4, Esro3.2.2, Esro3.2.3, Esro3.5.2, Esro3.5.3, Esro6.1.1, Esro3.3.1, Esro6.4.1, Esro 4.2, Esro5.1, Esro 7.2, Esro 8.2 y Esro 64.6), vobidos (BOVMHCIB, L02833; BOVMHBOLB.M21043; BOVMHCIC,L02834; BOVMHCI1, L02832; BOVMHBOLA, M21044; BOVMHLA, M24090; BOVMHCID,L02835; BOVMHAWA, M69206; BOVMHBKNA, M69204) y suidos (Susc, AF014001; Susc, AF014004; Susc, AF14006). La nomenclatura de los taxa sigue lo propuesto por Klein *et al.* (1990).

**Tabla IX.** Los valores significativamente mayores de sustituciones no sinónimas que de sustituciones sinónimas por sitio, indican que la diversidad de aminoácidos en los sitios de reconocimiento antigénico en moléculas clase I de ballena gris se mantiene por fuerzas selectivas.

Cluster	Número promedio de sustituciones nucleotídicas por sitio <sup>+</sup>	
	$d_S$	$d_N$
Cluster A	0.0338 ± 0.0210	0.0226 ± 0.0090
A vs. B	0.0451 ± 0.0225	0.0399 ± 0.0117
A vs. C	0.0345 ± 0.0197	0.1149 ± 0.0227*
Cluster B	0.0194 ± 0.0196	0.0244 ± 0.0223
B vs. C	0.0406 ± 0.0248	0.0920 ± 0.0196*
Cluster C	0.0186 ± 0.0187	0.0561 ± 0.0150*
Todos los clusters	0.0414 ± 0.0199	0.1031 ± 0.0204*

<sup>+</sup> (Nei and Gojobori (1986).

\*Indica la diferencia significativa entre  $d_S$  y  $d_N$ ,  $p < 0.05$  (Nei y Jin, 1989).



## LITERATURA CITADA

- Adams, L. 1968. Census of the gray whale, 1966-67. *Norsk Hvalfangsttid*, 57(2):40-43.
- Aguilar, A. y J. Nadal. 1984. Obtención de biopsias hipodérmicas de cetáceos en libertad. *Investigación Pesquera*. 48(1):23-29.
- Alvarado, J., Galindo, J., Idaware, M., Migoya, R. y Vázquez, M. 1986. Evaluación de los parámetros ambientales y su relación con la distribución y movimientos de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*, Lacepede 1804) en la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S. México. *Ciencia Pesquera*, 5: 33-49.
- Anónimo, 1972a. "Decreto que declara zona de refugio para ballenas y ballenatos, las aguas del área de la Laguna Ojo de Liebre, al sur de la Bahía Sebastián Vizcaíno, en el litoral del Océano Pacífico, Territorio Sur de Baja California Sur". *Diario Oficial de la Federación*, 14 de enero, pp 4-5.
- Anónimo, 1972b. "Decreto por el que se declara zona de reserva y refugio de aves migratorias y de la fauna silvestre, la constituida por la Laguna Ojo de Liebre y San Ignacio dentro del área que comprende, en la costa del Territorio Sur de Baja California". *Diario Oficial de la Federación*, 11 de septiembre, pp 4-5.
- Anónimo, 1979. "Decreto por el que se declara como refugio para ballenas grávidas y ballenatos y zona de atracción turístico-marítima, las aguas de la zona interior de la Laguna de San Ignacio, en el Estado de Baja California Sur". *Diario Oficial de la Federación*, 16 de julio, pp 23-24.
- Anónimo, 1980. "Decreto por el que se modifica el diverso de 6 de diciembre de 1971, declarándose como zona de refugio para ballenas y ballenatos las aguas del complejo Laguna Ojo de Liebre, ubicados en Baja California Sur". *Diario Oficial de la Federación*, 28 de marzo, pp 36-37.
- Anónimo, 1988. "Decreto por el que se declara la Reserva de la Biosfera "El Vizcaíno", ubicada en el Municipio de Mulegé, B.C.S.". *Diario Oficial de la Federación*, 30 de noviembre, pp 2-26.
- Anónimo, 1995. *Boletín de la Sociedad Mexicana para el Estudio de los Mamíferos Marinos, A.C.* octubre, 1995. 1(1): 3.
- Anónimo, 1996. Chairman's Report of the Forty-Seven Annual Meeting. *Rep. Int. Whal. Commn* 46.
- Armstrong P.S. 1995. MHC Diversity on the Hawaiian monk seal (Abstract), p. 4, *Eleventh Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*, Orlando Fla.
- Aurioles G., D., Urbán R., J. y B. Morales V. 1993 Programa nacional de investigación sobre mamíferos marinos. En: Salazar-Vallejo S.I. y González N.E (eds.), *Biodiversidad marina y costera de México*, pp. 139-159, Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 p.
- Baird, R.W., P.J. Stacey, D.A. Duffus y K.M. Langelier. 1990. An evaluation of gray whale (*Eschrichtius robustus*) mortality incidental to fishing operations in British Columbia, Canada. Trabajo SC/A90/G21 presentado al Comité Científico de la Comisión Ballenera Internacional (IWC). Abril 1990. No publicado.
- Barnes, L.G. y McLeod, S.A. 1984. The fossil record and phyletic relationships of gray whales. 3-32. En: Jones, M.L., Swartz, S.L. y Leatherwood, S. (Eds). *The Gray Whale Eschrichtius robustus*. Academic Press. Orlando. 600 pp.
- Berdegué, J. 1956. Último censo de la ballena gris, *Rhachianectes glaucus* Cope, en aguas de Baja California. *Ciencia*, 16(4-6): 99-109.
- Bigg, M.A., G.M. Ellis y K.C. Balcomb. 1986. The photographic identification of individual cetaceans. *Whalewatcher* 20(2):10-12.



- Brown, M.W., S.D. Kraus y D.E. Gaskin. 1991. Reaction of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) to skin sampling for genetics and pollutant analysis. *Rep. Int. Whal. Comm.* Special Issue 13:81-90.
- Bryant, P.J., Lafferty, C.M. y S.K.Lafferty, 1984. Re-occupation of Laguna Guerrero Negro, Baja California, Mexico by gray whales.. En: Jones, M.L., Swartz, S.L. y Leatherwood, S. (eds.) *The gray whale, Eschrichtius robustus*, pp. 375-388, Academic Press, Inc., Orlando, Florida, 600 p.
- Bjorkman P.J., Saper M.A., Samraoui B., Bennet W.S., Strominger J.L., Wiley D.C. 1987. The foreign antigen binding site and T cell recognition regions of class I histocompatibility antigens. *Nature* 329, 512 - 518.
- Bjorkman P., y Parham P. 1990. Structure function and diversity of class I major histocompatibility complex molecules. *Annual Review of Biochemistry* 59, 253 - 288
- Buckland S.T., Breiwick J.M., Cattanach K.L., Laake J.L. 1993. Estimated population size of the California gray whale. *Marine Mammal Science* 9, 235-249.
- Calambokidis, J., Evenson, J.R., Steiger, G.H. y S.J. Jeffries. 1994. *Gray whales of Washington State: Natural history and photographic catalogue*. Cascadia Research Collective, Olympia, Whashington. 60 p.
- Colborn T. 1994. The wildlife human connection: modernizing risk decisions. *Environmental Health Perspectives* 102, 55 -59.
- Dahlheim, M.E. 1983. Acoustical studies on the gray whale (*Eschrichtius robustus*) in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. No Publicado. Reporte final a la Secretaría de Pesca, México. 55 p.
- Dahlheim, M.E. 1985. A comparison of the acoustical environments and activities of the gray whale (*Eschrichtius robustus*) in the Bering Sea, Alaska, and Baja California, México. *Memoria de la X Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. 24-27 de marz*, pp. 37-70, Secretaría de Pesca y Universidad Autónoma de Baja California Sur,
- Dahlheim, M.E., Fisher, J.K. y J. Schemmp. 1984. Sound production by the gray whale (*Eschrichtius robustus*) and ambient noise levels in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. En: Jones, M.L., Swartz, S.L. y Leatherwood, S. (eds.) pp. 499-529. *The Gray Whale, Eschrichtius robustus*. Academic Press, Orlando 600 p.
- Darling, J. y H. Morowitz. 1986. Census of "Hawaiian" humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) by individual identification. *Can. J. Zool.* 64:105-111.
- Dedina, S. y E.H. Young, 1995. Conservation and development in the gray whale (*Eschrichtius robustus*) lagoons of Baja California Sur, Mexico. Report to the U.S. Marine Mammal Commission. Contract No. T10155592.
- Domingo M, Ferrer L, Pumarola M, Marco A, Plana J, Kennedy S 1990 Morbillivirus in dolphins. *Nature* 348, 21.
- Eberhardt, R.L. y K.S. Norris, 1964. Observations on newborn Pacific gray whales (*Eschrichtius glaucus* Cope) on Mexican calving grounds. *J. Mamm.* 45(1):88-95.
- Ellegren H, Mikko S D, Wallin K, Anderson L. 1996 Limited polymorphism at Major Histocompatibility Complex (MHC) loci in the Swedish moose *Alces alces*. *Molecular Ecology* 5, 3 - 9.
- Escayg A.P., Hickford G.H., Bullock D.W. 1997. Association between alleles of the ovine major histocompatibility complex and resistance to footrot. *Research Veterinary Science* 63, 283 - 287.
- Fleischer, L. A. y S. Beddington. 1985. Seasonal abundance, reproduction and early mortality rates of gray whales (*Eschrichtius robustus*), in mexican waters (1980-1985). Paper SC/A90/G29 presented to the Scientific Committee. June 1985. No publicado.
- Fleischer, L. A. y O. Maravilla Ch. 1990. Precence of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in the Gulf of California, México. Trabajo SC/A90/G30 presentado al Comité Científico de la Comisión Ballenera Internacional (IWC). Marzo 1990. No publicado. 306 pp.



- Garber T.L., Hughes A.L., Letvin N.L., Templeton J.W., Watkins D.I. 1993. Sequence and evolution of cattle MHC class I cDNAs: concerted evolution has not taken place in cattle. *Immunogenetics* 38, 11 - 20.
- Gard, R. 1974. Aerial census of gray whales in Baja California lagoons, 1970 and 1973, with notes on behavior, mortality and conservation. *Calif. Fish Game* 60(3):132-144.
- Gaskin D.E. 1982. *The Ecology of Whales and Dolphins*, Heinemann, London .
- Gatesy J. 1997. More DNA support for a Cetacea - Hippopotamidae clade: The blood clotting fibrinogen gene gamma fibrinogen. *Molecular Biology and Evolution* 14, 537 - 543.
- Geraci, J.R. y V.J. Lounsbury. 1993. *Marine mammals ashore: a field guide for strandings*. Texas A&M Sea Grant Publications. Texas, USA. 304 pp.
- Gilmore, R.M. 1960a. Census and migration of the California gray whale. *Nor. Hvalfangst-Tid.* 49(9): 409-31
- Gilmore, R.M. 1960b. A census of the California gray whale. *U.S. Fish Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish.*, 30 p.
- Gilmore, R.M. y G. Ewing. 1954. Calving of the California grays. *Pac. Disc. Cal. Acad. Sci.* 7(3):13-15.
- Gilmore, R.M. y J.G. Mills. 1962. Counting of gray whales in the Gulf of California. . *Pac. Disc. Cal. Acad. Sci.* 15(2): 26-27
- Gilmore, R.M., R.L. Brownell, J.G. Mills y A. Harrison. 1967. Gray whales near Yavaros southern Sonora, Golfo de California, México. *Trans. of the San Diego Soc. of Nat. Hist.* 14(16): 197-204
- Goodman S.J., Slade R. 1995. DNA sequence variation in the European harbour seal (*Phoca vitulina*) Major Histocompatibility class I genes (abstract), p. 45, *Eleventh Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*, Orlando Fla.
- Henderson, D.A. 1972. *Men and whales at Scammon's Lagoon*. Dawson's Book Shop. Los Angeles, 313 p.
- Henderson, D.A. 1984. Nineteenth century gray whale whaling: grounds, catches and kills. Practices and depletion of the whale population. 159-186. *En: Jones, M.L., Swartz, S.L. y Leatherwood, S. (Eds). The Gray Whale Eschrichtius robustus*. Academic Press. Orlando. 600 pp.
- Heyning, J.E. y T.D. Lewis. 1990. Entanglements of baleen whales in fishing gear off southern California. . *Rep. Int. Whal. Commn* 40:427-431
- Heyning, J.E. y M.E. Dahlheim. 1990. Strandings, incidental kills, and mortality rates of gray whales. Trabajo SC/A90/G2 presentado al Comité Científico de la Comisión Ballenera Internacional (IWC). Abril 1990. No publicado. 20 pp. + tablas y figuras.
- Highsmith, R.C., y Coyle, K.O. 1992. Productivity of arctic amphipods relative to gray whale requirements. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80:125-133.
- Hill A.V.S., Allsopp C.E.M., Kwiatkowski D., Anstey N.M., Twumasi P., Rowe P.A., Bennett S., Brewster D., McMichael A.J., Greenwood B.M. 1991. Common West African HLA antigens are associated with protection from severe malaria. *Nature*: 352, 595 - 600.
- Hoelzel, A.R. (Ed). 1991. Genetic Ecology of whales and dolphins. *Report of International Whaling Commission*. Special Issue 13. 311 pp.
- Hoelzel R.A., Claiborne Stephens J. y O'Brien S.J. 1999. Molecular genetic diversity and evolution at the MHC DQB locus in four species of pinnipeds. *Molecular Biology and Evolution*: 16, 611-618.
- Hubbs, C.L. y L.C. Hubbs. 1967. Gray whale censuses by airplane in Mexico. *Cal. Fish Game* 53(1): 23-27.
- Hughes A.L., Nei M. 1988. Pattern of nucleotide substitution at major histocompatibility complex class I loci reveals overdominant selection. *Nature* 335, 167 - 170.
- Jones, M.L. 1990. The reproductive cycle in gray whales based on photographic resightings of females on the breeding grounds from 1977-82.. *En: Hammond, P.S., Mizroch, S.A. y*



- Donovan G.P. (eds) *Individual recognition of cetaceans: Use of photoidentification and other techniques to estimate population parameters*, pp. 177-182, Rep. Int. Whal. Commn. (Special Issue 12) U.K. 440 p.
- Jones, M.L. y S.L. Swartz. 1984. Demography and phenology of gray whales and evaluation of whale-watching activities in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. En: Jones, M.L., Swartz, S.L. y Leatherwood, S. (eds.) pp. 309-374. *The Gray Whale Eschrichtius robustus*, Academic Press, Orlando, 600 p.
- Jones, M.L. y S.L. Swartz. 1986. Demography and phenology of gray whales and evaluation on whale-watching activities in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico: 1978-1982. *U. S. Department of Commerce N.T.I.S. Publication PB 94-195062*, 38 p.
- Jones, M.L., Swartz, S.L. y M.E. Dahlheim. 1988. Census of gray whale abundance in San Ignacio Lagoon: a follow-up study in response to low whale counts recorded during an acoustic playback study of noise-effects on gray whales. *U.S. Department of Commerce N.T.I.S. Publication PB 86-2190778*, 69 p.
- Jukes T.H., Cantor C.R. 1969. Evolution of protein molecules. pp. 21 - 132. In Munro H N (ed.). *Mammalian Protein Metabolism*. Academic Press, New York.
- Katona, S. y H. Whitehead. 1988. Are cetacea ecologically important?. *Oceanograf. Mar. Biol. Annu. Rev.* 26:553-568.
- Kim, S.L. y J.S. Oliver. 1989. Swarming benthic crustaceans in the Bering and Chukchi seas and their relation to geographic patterns in grey whale feeding. *Canadian Journal Zoology.* 67:1531-1542.
- Klein J., Takahata N. 1990. The major histocompatibility complex and the quest for origins. *Immunology Review* 113, 5 - 25.
- Klein J., Bontrop R.E., Dawkins R.L., Erlich H.A., Gyllesten U.B., Heise E.R., Jones P.P., Parham, P., Wakeland E.K. y Watkins D.I. 1990. Nomenclature of the Major histocompatibility complexes of different species: a proposal. *Immunogenetics* 31, 217 - 219.
- Klein J., Satta Y., O'hUigin C. y Takahata N. 1993. The molecular descent of the major histocompatibility complex. *Annual Review of Immunology* 11, 269-295.
- Klein J., Klein D., Figueroa F., Sato A. y O'hUigin C. 1997. Major histocompatibility complex genes in the study of fish phylogeny. pp. 271 - 283 In Kocher T D, Stepien C A (ed.) *Molecular Systematics of Fishes*. Academic Press, New York.
- Kumar S., Tamura K. y Nei M. 1993. *MEGA: molecular evolutionary genetic analysis, version 1.01*, The Pennsylvania State University. University Park Pa.
- Kumar S., Hedges B. 1998. A molecular timescale for vertebrate evolution. *Nature* 392: 917 - 919.
- Lambersteen R.H. 1987. A biopsy system for large whales and its use for cytogenetics. *Journal of Mammalogy* 68, 443 - 445.
- Lawlor D A, Ward F E, Ennis P D, Jackson A P, Parham P 1988. HLA-A and B polymorphisms predate the divergence of humans and apes. *Nature* 335, 268-271.
- Lawlor D A, Warren E, Taylor P, Parham P 1991. Gorilla class I major histocompatibility alleles: comparison to human and chimpanzee class I. *Journal of Experimental Medicine* 174, 1491 - 1509.
- Leatherwood, J.S. 1974. Aerial observations of migrating gray whales, *Eschrichtius robustus*, off southern California, 1969-72. *Mar. Fish. Rev.* 36(4):50.
- Loreto C., P.A., Luis A. Fleischer y M. O. Maravilla Ch. 1996. Actividades turístico-educativas en dos zonas de refugio de la ballena gris *Eschrichtius robustus* (Lilljeborg, 1981) en Baja California Sur, México durante la temporada 1991. *Boletín Pesquero CRIP-La PAZ*, 2: 15-29
- Lunney J 1994. Current status of the swine leukocyte antigen complex. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 43, 19 - 28.
- Martin A P, Palumbi S R 1993. Body size, metabolic rate, generation time and the molecular clock. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 90, 4087 - 4091.



- Mate, B.R. y J.T. Harvey. 1981. An evaluation of three radio tags applied to gray whales and their utility in assessing movements and dive characteristics. *U.S. Dept. of Commerce BLM Contract Rep. AA 730 79 4120 0109*, 66 p.
- Mate, B.R. y J.T. Harvey. 1984. Ocean movements of radio tagged gray whales. En: Jones, M.L., Swartz, S.L. y Leatherwood, S. (eds.) pp. 33-55, *The Gray Whale, Eschrichtius robustus*. Academic Press, Orlando, 600 p.
- Mayer W E, Jonker M, Klein D, Ivanyi P, van Seventer G, Klein J 1988. Nucleotide sequences of chimpanzee MHC class I alleles: evidence for transpecies mode of evolution. *EMBO Journal* 7, 2765 - 2774
- Mead, J.G. y Mitchell, E.D. 1984. Atlantic gray whales. pp.33-56 En: Jones, M.L., Swartz, S.L. y Leatherwood, S. (Eds.) *The Gray Whale Eschrichtius robustus*. Academic Press. Orlando. 600 pp.
- Mitchell, C.T. y R.R. Ware. 1989. Gray whale monitoring study - Final Report. *U.S. Department of Interior, Minerals Management Services*. 99 pp.
- Milinkovitch M C, Thewissen J G M 1997. Even-toed fingerprints on whale ancestry. *Nature* 388, 622 - 624.
- Mosig R., P. 1998. *Efectos del turismo en la abundancia y comportamiento de la ballena gris, Eschrichtius robustus, en Laguna San Ignacio, B.C.S., México*. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 139 pp.
- Murray B W, Malik S, White B N 1995. Sequence variation at the Major Histocompatibility Complex locus DQB in beluga whales (*Delphinapterus leucas*). *Molecular Biology and Evolution* 12, 582 - 593.
- Murray B W and White B N 1998. Sequence variation at the major histocompatibility complex DRB loci in beluga (*Delphinapterus leucas*) and narwhal (*Monodon monoceros*). *Immunogenetics* 48, 242 - 252.
- Nei M, Hughes A L 1991. Polymorphism and evolution of the MHC in Mammals. pp. 222 - 247. In Selander R K, Clark A G, Whittman T S (ed.) *Evolution at the molecular level*. Sunderland Massachusetts, Sinauer.
- Norman, S.A., Muto, M.M. Rugh, D.J. y Moore, S.E. 2000. Gray whale strandings in 1999 and a review of Stranding Records in 1995-1998. Unusual Mortality event Report to the National Marine Fisheries Service. No publicado. Documento SC/52/AS5, sometido al Comité Científico de la International Whaling Commission, 31pp.
- O'Brien S J, Roelke M E, Marker L, Newman A, Winkler C A, Meltzer D, Colly L, Everman J F, Bush M, Wildt D E 1985. Genetic basis for species vulnerability in the cheetah. *Science* 227, 1428 - 1434.
- Patten, D.R., W.F. Samaras y D.M. McIntyre. 1980. Whales move over! *Whalewatcher* 14 (4): 13-15
- Parham P, Lomen C E, Lawlor D A, Ways J P, Holmes N, Coppin H L, Salter R D, Wan A M, and Ennis P D 1988. The nature of polymorphism in HLA-A, B and C molecules. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 85, 4005 - 4009.
- Perryman, W.L. y J.L. Laake. 1994. gray whale day/night migration rates determined with infrared sensor. Trabajo SC/46/AS1 presentado al Comité Científico de la Comisión Ballenera Internacional (IWC). No publicado. 16 pp.
- Peryman, W.L., Donahue, M.A., Perkins, P.C. y Reilly, S.B. 2000. Annual calf production for the California stock of gray whales and environmental correlates 1994-2000. No publicado. Documento SC/52/AS18, sometido al Comité Científico de la International Whaling Commission, 29pp.
- Reeves, R.R. 1977. The problem of Gray Whale (*Eschrichtius robustus*), harassment at the breeding lagoons. *U.S. Department of Commerce, N.T.I.S. P.B.-272-506*, 60 p.



- Reeves, R.R. 1984. Modern commercial pelagic whaling of gray whales. pp. 187-202 *En: Jones, M.L., Swartz, S.L. y Leatherwood, S. (Eds.) The Gray Whale Eschrichtius robustus.* Academic Press. Orlando. 600 pp.
- Rice, D.W. 1961. Census of the California gray whale. *Norsk. Hvalfaugst-Tidende* 50(6):219-225.
- Rice, D.W. 1965. Offshore southward migration off gray whales of southern California. *J. Mammal.* 46(3):500-501.
- Rice, D.W. y A.A Wolman. 1971. The life history and ecology of the gray whale (*Eschrichtius robustus*). *Spec. Publ. Am. Soc. Mammal*, 3:1-142.
- Rice, D.W., Wolman, A.A., Withrow, D.E. y L.A. Fleischer, 1981. Gray whales on the winter grounds in Baja California. *Rep. int. Whal. Commn* 31: 477-493.
- Ross P, Deswart R, Addison R, Vanloveren H, Vos J, Osterhaus A 1996. Contaminant-induced immunotoxicity in harbor seals: wildlife at risk. *Toxicology* 112, 157 -169.
- Rugh, D.J. y H.W. Braham 1979. California gray whale (*Eschrichtius robustus*) fall migration through Unimak Pass, Alaska, 1977: a preliminary report. *Rep. Int. Whal. Commn* 29:315-320.
- Rugh, D.J., Muto, M.M., Moore, S.E. y Demaster, D.P. 1999. Status Review of the Eastern North Pacific stock of gray whales. U.S. Dep. Commer., *NOAA Tech. Memo.* NMFS-AFSC-103. 96pp.
- Saitou N, Nei M 1987. The neighbor joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution* 4, 406 - 425.
- Samaras, W.F. 1974. Reproductive behavior of the gray whale *Eschrichtius robustus*, in Baja California. *Bull. So. Cal. Acad. Sci.*, 73(2):57-64.
- Sánchez, P. J. 1991. *Distribución espacio-temporal de la ballena gris (Eschrichtius robustus) en la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., México.* Tesis de Licenciatura. U.A.B.C.S., 70 p.
- Sánchez, P.J. 1996.. Investigaciones realizadas en 1996 sobre ballena gris. Anexo 1, *En: Reserva de la Biósfera "El Vizcaíno". Programa de ordenamiento turístico de la ballena gris en Baja California Sur, México.* No Publicado.
- Sánchez, P.J. 1998.. Gray whale mortality at Ojo de Liebre and Guerrero Negro Lagoons, Baja California Sur, México: 1984-1995. *Marine Mammal Science* 14(1): 149-155
- Sánchez, P.J. y J.L. Valdés A. 1997. Tránsito de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en Bahía de Ballenas, Baja California Sur, México. *Boletín Pesquero CRIP-La PAZ*, 7: 26-33
- Scammon, C.M. 1874. *The Marine Mammals of the North'western coast of North America.* John H. Carmany and Co. San Francisco, California. (Dover reprint, 1968). 319 pp.
- Slade R. 1992. Limited MHC polymorphism in the southern elephant seals: implications for MHC evolution and marine mammal population biology. *Proceedings of the Royal Society of London B* 249, 163 - 171.
- Spencer, M. P. 1973. Scientific studies on the gray whales of Laguna Ojo de Liebre (Scammon's Lagoon), Baja California, Mexico. *Nat. Geogr. Soc. Res. Rep.*, 1966: 235-253
- Sumich, J.L. y J.T. Harvey. 1986. Juvenile mortality in gray whales (*Eschrichtius robustus*). *Journal of Mammalogy* 67: 179-182
- Swartz, S. L. y W.C. Cummings. 1978. Gray Whales (*Eschrichtius robustus*), in Laguna San Ignacio, Baja California, México. *U.S. NTIS PB Rep. PB-276319*, 38 p.
- Swartz, S.L. y M.L. Jones. 1979. The evaluation on human activities on gray whales (*Eschrichtius robustus*), in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. *U.S. Dept. of Commerce N.T.I.S. PB-289737*, 42 p.
- Swartz, S.L. y M.L. Jones. 1980. Gray whales (*Eschrichtius robustus*), during the 1977-1978 and 1978-1979 winter seasons in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. *U.S. Dept. of Commerce, N.T.I.S. PB 80-202989*, 34 p.
- Swartz, S.L. y M.L. Jones. 1981. Demographic studies and habitat assessment of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. *U.S. Dept. of Commerce, N.T.I.S. PB 82-1233773*, 56 p.



- Swartz, S.L. y M.L. Jones. 1983. Gray whale (*Eschrichtius robustus*) calf production and mortality in the winter range. *Rep. int. Whal. Commn* 33:503-508.
- Swofford D L. 1993. *PAUP. Phylogenetic analysis using parsimony. Version 3*. University of Illinois Natural History Survey. Champaign, Ill.
- Taubenberger, J K, Tsai M, Krafft A E, Lichy J H, Reid A H, Schulman FY, Lipscomb T P 1996. Two morbilliviruses implicated in bottlenose dolphin epizootics. *Emerging Infectious Disease* 2, 213 - 216.
- Thompson J D, Higgins D G, Gibson T J 1994. Clustal-W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignments through sequence weighting, position specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research* 22, 4673 - 4680.
- Trowsdale J, Groves V, Arnason A 1989 Limited MHC polymorphism in whales. *Immunogenetics* 29, 19 - 24.
- Trowsdale J 1995. "Both man & bird & beast": comparative organization of MHC genes. *Immunogenetics* 41, 1 - 17.
- Urbán R., J., L. Bourillón M., D.E. Claridge y K.C. Balcomb III. 1990. La ballena gris, *Eschrichtius robustus*, en el extremo sur de la Península de Baja California durante sus temporadas de reproducción 1989-1990. Trabajo presentado en la XV Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos, La Paz, B.C.S., Abril de 1990. No publicado.
- Urbán R., J., E. A. Gómez Gallardo U. y M. Palmeros R. 1997a. La ballena gris en la Laguna San Ignacio y Bahía de Ballenas. Temporada invernal 1996. Informe Final. UABCS. 62 pp. + anexos
- Urbán R., J., E. A. Gómez Gallardo U. y M. Palmeros R. 1997b. La ballena gris en la Laguna San Ignacio, B.C.S. Temporada invernal 1997. Informe Final. UABCS. 31 pp. + anexos
- Urbán R., J., A. Gómez-Gallardo U., V. Flores de Sahagún, J. Cifuentes L., S. Ludwig y M. Palmeros R. 1997c. Gray whale studies at Laguna San Ignacio, B.C.S., México, 1996. SC/48/AS19. *Rep. int. Whal. Commn* 47: 625-633
- Urbán R., J., E. A. Gómez Gallardo U. y M. Palmeros R.. 1998a. La Ballena Gris en Baja California Sur. Informe presentado al Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAP). 88 pp.
- Urbán R., J., E. A. Gómez Gallardo U. y M. Palmeros R.. 1998b. A note on the Gray Whale studies at Laguna San Ignacio, B.C.S. México. *Rep. Int. Whal. Commn*. 48:513-516.
- Urbán R., J., E. A. Gómez Gallardo U. y M. Palmeros R. 1999. La Ballena Gris en Laguna San Ignacio y Bahía de Ballenas, B.C.S., México, 1999. Informe Final. UABCS. 36 pp.
- Urbán R., J., A. Gómez-Gallardo U., V. Flores de Sahagún, L. y M. Palmeros R S. Ludwig. 1999b. Cambios en la abundancia, distribución y mortalidad de las ballenas grises en la Laguna San Ignacio, B.C.S., durante El Niño 1997/98 y La Niña 1998/99. No Publicado. Resúmenes de la XXV Reunión Internacional para el estudio de los Mamíferos Marinos, La Paz, B.C.S., 7 al 11 de mayo de 2000, 74 pp.
- Vidal, O. 1989. La ballena gris, *Eschrichtius robustus*, en las áreas de crianza del Golfo de California, México. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guaymas. 102 pp.
- Vincek V, O'hUigin C, Satta Y, Takahata N, Boag P T, Grant P R, Grant B R, Klein J 1997. How large was the founding population of Darwin's finches. *Proceeding of the Royal Society of London* B 264: 111 - 118.
- Watkins D I, McAdam S N, Liu X M, Strang C R, Milford E L, Levine C G, Garber T L, Dogon A L, Lord C I, Ghim S H, Troup G M, Hughes A L 1992. New recombinant HLA-B alleles in a tribe of south-american amerindians indicate rapid evolution of Mhc Class-I loci. *Nature* 357, 329 - 333.
- White, S.B. y H.J. Griese. 1978. Notes on lengths, weights, and mortality of gray whale calves. *Journal of Mammalogy* 59: 440-441



Yuhki N, O'Brien J 1990. DNA variation of the mammalian major histocompatibility complex reflects genomic diversity and population history. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA 87: 836-840.



## **ANEXO I**

**Ponencias, publicaciones y tesis generados en este  
proyecto de investigación por el Programa de  
Investigación de Mamíferos Marinos de la UABCS**



## PONENCIAS

- XXI Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos.** Chetumal, Quintana Roo. 8 al 12 de abril, 1996.  
**Trabajo:** Tránsito de ballenas grises frente a la costa de Punta Abreojos, B.C.S.  
**Trabajo:** Abundancia y distribución de la ballena gris en la Laguna de San Ignacio, B.C.S. durante febrero y marzo de 1996.
  
- **International Whaling Commission.** Annual Meeting of Scientific Committee. Aberdeen, Escocia. 5-18 de junio, 1996.  
**Trabajo:** Preliminary report of the 1996 gray whale studies at Laguna San Ignacio, B.C.S., México..
  
- 7ª Reunión de trabajo de Especialistas en Mamíferos Acuáticos de América del Sur. 1er Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos.** Viña del mar, Chile. 22 al 25 de octubre de 1996.  
**Trabajo:** La conservación de la ballena gris en México.
  
- XXII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos.** Nuevo Vallarta, Nayarit. Del 23 de abril al 1 de mayo de 1997.  
**Trabajo:** Abundancia y distribución espacio-temporal de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la Laguna San Ignacio. Invierno de 1996.  
**Trabajo:** Efectos del turismo en la abundancia y comportamiento de la ballena gris en la Laguna San Ignacio, B.C.S. México. Resultados preliminares.  
**Trabajo:** Observaciones de una ballena gris sin aleta caudal en Laguna San Ignacio, B.C.S.  
**Trabajo:** Efecto del ruido producido por las bombas de extracción de agua sobre las ballenas grises en la Laguna de Ojo de Liebre.  
**Trabajo:** Radiomarcado por satélite de ballenas grises en la Laguna San Ignacio durante la temporada invernal 1996.
  
- **International Whaling Commission.** Annual Meeting of Scientific Committee. Bournemouth, Inglaterra. 29 de septiembre al 12 de octubre, 1997.  
**Trabajo:** Report of the 1997 gray whale studies at laguna San Ignacio, B.C.S., México.
  
- **12<sup>th</sup> Biennial Conference on the biology of Marine Mammals.** Mónaco, 20-24 de enero de 1998.  
**Trabajo:** A flukeless gray whale in Laguna San Ignacio, B.C.S.  
**Trabajo:** Gray whales of Laguna San Ignacio, B.C.S., México. 1996-1997.



- XXIV Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos.** Mazatlán, Sinaloa. Del 18 al 23 de abril de 1999.  
**Trabajo:** Permanencia, filopatría y número de ballenas grises que visitaron Laguna San Ignacio, B.C.S. durante los Inviernos de 1996 y 1997.  
**Trabajo:** Varamientos de ballenas grises, *Eschrichtius robustus*, en Baja California Sur, México, durante el Invierno de 1998-99. Situación anormal?  
**Trabajo:** Efecto del Niño 1997-98 en las ballenas grises que visitaron Laguna San Ignacio, B.C.S., México.
- International Whaling Commission.** Annual Meeting of Scientific Committee. Grenada. 3 al 15 de mayo de 1999.  
**Trabajo:** A preliminary note on the gray whale strandings at Baja California Sur, Mexico during the winter 1998/99.  
**Trabajo:** Changes in the abundance and distribution of the Gray whales of Laguna San Ignacio, México, during the 1997-98 El Niño and the 1998-99 La Niña.
- 13<sup>th</sup> Biennial Conference on the biology of Marine Mammals.** Wailiea, Maui, Hawaii Nov. 28- Dic. 3, 1999.  
**Trabajo:** Evidence for functional polymorphism of gray whales (*Eschrichtius robustus*) mayor histocompatibility complex – I sequences.  
**Trabajo:** Diving behavior of gray whales (*Eschrichtius robustus*) with calves in San Ignacio Lagoon, Baja California.  
**Trabajo:** On the gray whale, *Eschrichtius robustus*, strandings at Baja California Sur, Mexico during the winter 1998/99.  
**Trabajo:** Gray whales at laguna San Ignacio, Mexico, during el Niño and la Niña 1997-1999.
- XXV Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos.** La Paz, B.C.S. del 7 al 11 de mayo de 2000.  
**Trabajo:** Cambios en la abundancia, distribución y mortalidad de las ballenas grises en la Laguna San Ignacio, B.C.S. durante el Niño 1997/98 y la Niña 1998/99.  
**Trabajo:** Comportamiento de buceo y movimientos locales de ballenas grises con cría en la Laguna San Ignacio, México, utilizando multisensores y radiotelemetría.  
**Trabajo:** Reporte de la mortalidad inusual de ballenas grises en la Península de Baja California durante la temporada 2000
- International Whaling Commission.** Annual Meeting of Scientific Committee. Adelaide, Australia del 12 al 26 de junio de 2000.  
**Trabajo:** A report of the gray whale mortality in the Baja California Peninsula during the 2000 season  
**Trabajo:** Whale watching and gray whales at Laguna San Ignacio, B.C.S., México.



## PUBLICACIONES

- Urbán R., J., A. Gómez-Gallardo U., V. Flores de Sahagún, J. Cifuentes L., S. Ludwig y M. Palmeros R. 1997. Gray whale studies at Laguna San Ignacio, B.C.S., México, 1996. SC/48/AS19. **Report of the International Whaling Commission**. 47: 625-633
- Urbán R., J., A. Gómez-Gallardo U., y M. Palmeros R. 1998. A note on the 1997 Gray whale studies at Laguna San Ignacio, B.C.S., México. SC/49/AS25. **Report of the International Whaling Commission**. 48:513-516
- Urbán R., J. 1998. La Ballena Gris y la conservación de su hábitat en la Península de Baja California. pp. 213-230. In G. Toledo C. y M. Leal P. (eds.) **Destrucción del hábitat**. Programa Universitario del Medio Ambiente, UNAM. 455 pp.
- Flores-Ramírez, S., J. Urbán R. y R. D. Miller. **En prensa**. Cloning and characterization of Gray whale (*Eschrichtius robustus*) Major Histocompatibility Complex-I exons 2 and 3. **Journal of Heredity**
- Le Boeuf, B.J., H. Pérez-Cortés M., J. Urbán R., B.R. Mate y F. Ollervides U. **En prensa**. High Gray whale mortality and low recruitment in 1999: potential causes and implications. **Cetacean Research and Management**.
- Urbán R., J., A.Gómez-Gallardo U., V. Flores de Sahagún, M. Palmeros R. y S. Ludwig. **En prensa**. Changes in the abundance and distribution of gray whales at Laguna San Ignacio, México during the 1997-98 El Niño and the 1998-99 La Niña. **Geofísica Internacional**
- Urbán R., J. y A. Gómez Gallardo U. **En prensa**. Efectos de EL NIÑO (1997-98) y LA NIÑA (1998-99) en las ballenas grises de Laguna San Ignacio, B.C.S. **Ciencia y Tecnología, CONACYT**.



## TESIS TERMINADAS

### Licenciatura

- Víctor Hugo Flores de Sahagún. 1997. Abundancia y distribución espacio-temporal de la ballena gris *Eschrichtius robustus* (Lilljeborg, 1861) en la Laguna San Ignacio, B.C.S. Temporada de 1996. Departamento de BIOLOGÍA Marina, **UABCS**. 69 pp
- Jessica Elena Cifuentes Luján. 1997. Permanencia y número de ballenas grises *Eschrichtius robustus* (Lilljeborg, 1861), que visitaron la Laguna San Ignacio, B.C.S., México, en el invierno de 1996. Departamento de biología Marina, **UABCS**. 53 pp.
- Mauricio Cortez Aguilar. 1997. Patrones de buceo de hembras y crías de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. Campus Iztacala, **UNAM**. 70 pp.
- Paola Mosig Reidl. 1998. Efectos del turismo en la abundancia y comportamiento de la ballena gris, *Eschrichtius robustus*, en Laguna San Ignacio, B.C.S., México. Facultad de Ciencias, **UNAM**. 139 pp.

### Maestría

- Rodrigo Ruiz. 1997. La baleine grise (*Eschrichtius robustus*) et son etude comportementale dans la lagune de San Ignacio (Basse Californie). **Ecole Nationale Veterinaire de Lyon**. 101 pp
- Stefan Ludwig. 1996. Raumlich-zeitliche Verbreitung von Grauwalen, *Eschrichtius robustus*, in den Wintergrunden der Lagune San Ignacio (Sudkalifornien, Mexiko). Institute fur Meereskunde, **Universitat zu Kiel**. 79 pp.



## **ANEXO II**

### **Censos de ballenas grises efectuados en Laguna San Ignacio, B.C.S., durante las temporadas invernales de 1996-2000**



**ANEXO II.** Número de ballenas grises adultas por zona y categoría, contadas mediante los censos efectuados en Laguna San Ignacio, B.C.S., durante las temporadas invernales de 1996-2000 (mc=madre con cría; sol=solitarios).

Fecha	Hora		Zona Inferior		Zona Media		Zona Superior		Total		Total
	inicial	final	mc	sol	mc	sol	mc	sol	mc	sol	adultos
17-ene-96	9:45	12:05	3	5	0	13	0	4	3	22	25
18-ene-96	11:16	14:38	3	8	7	6	2	1	12	15	27
19-ene-96	8:25	10:22	4	7	2	6	6	7	12	20	32
31-ene-96	11:07	13:39	7	18	10	30	15	4	32	52	84
1-feb-96	9:13	11:14	8	37	15	26	13	1	36	64	100
2-feb-96	9:35	11:16	10	36	12	14	32	6	54	56	110
4-feb-96	11:52	14:22	8	55	14	21	10	4	32	80	112
5-feb-96	11:29	14:09	3	49	13	19	21	8	37	76	113
7-feb-96	12:25	15:15	8	50	17	25	29	18	54	93	147
10-feb-96	11:29	14:13	5	39	7	24	13	8	25	71	96
13-feb-96	10:48	13:46	10	54	21	28	31	3	62	85	147
17-feb-96	13:22	16:32	10	48	17	25	15	1	42	74	116
24-feb-96	14:14	17:42	19	65	27	32	22	7	68	104	172
2-mar-96	12:00	15:34	33	84	31	25	28	6	92	115	207
3-mar-96	9:36	12:08	23	66	25	39	46	7	94	112	206
9-mar-96	10:00	13:22	35	32	38	10	10	2	83	44	127
10-mar-96	9:40	12:43	44	28	27	15	12	1	83	44	127
16-mar-96	11:48	14:38	46	1	3	0	3	0	52	1	53
21-mar-96	10:28	13:16	34	3	14	0	2	0	50	3	53
27-mar-96	10:07	13:00	35	0	14	0	2	0	51	0	51
11-feb-97	9:55	12:43	8	85	25	36	54	15	87	136	223
15-feb-97	13:16	15:45	3	77	17	31	16	10	36	118	154
16-feb-97	11:08	14:09	29	64	17	37	51	7	97	108	205
22-feb-97	10:18	14:00	25	67	28	45	70	5	123	117	240
26-feb-97	10:13	13:20	8	62	37	59	81	6	126	127	253
6-mar-97	11:33	14:27	53	47	54	18	36	0	143	65	208
10-mar-97	10:43	14:05	35	54	56	16	42	1	133	71	204
15-mar-97	9:00	11:51	54	9	51	7	4	0	109	16	125
19-mar-97	9:53	12:38	48	3	21	2	3	0	72	5	77
25-mar-97	10:37	13:25	80	2	42	0	8	2	130	4	134
29-mar-97	10:05	12:41	58	0	15	0	0	0	73	0	73
25-ene-98	12:42	15:17	5	31	10	16	8	5	23	52	75
29-ene-98	10:57	13:46	3	60	8	30	11	5	22	95	117
4-feb-98	14:00	16:30	3	51	12	40	21	32	36	123	159
8-feb-98	11:16	14:28	10	92	13	60	21	14	44	166	210
13-feb-98	10:40	13:25	11	84	7	69	34	25	52	178	230
20-feb-98	9:15	12:13	9	81	24	37	15	2	48	120	168
27-feb-98	11:18	14:10	14	33	18	22	10	2	42	57	99
4-mar-98	11:18	13:52	24	27	14	11	1	0	39	38	77
9-mar-98	12:17	14:52	16	12	6	1	2	0	24	13	37
11-mar-98	10:25	13:15	50	2	11	0	1	0	62	2	64
15-mar-98	10:47	13:15	15	1	6	0	0	0	21	1	22



... **Continuación ANEXO II.** Número de ballenas grises adultas por zona y categoría, contadas mediante los censos efectuados en Laguna San Ignacio, B.C.S., durante las temporadas invernales de 1996-2000 (mc=madre con cría; sol=solitarios).

Fecha	Hora		Zona Inferior		Zona Media		Zona Superior		Total		Total
	inicial	final	mc	sol	mc	sol	mc	sol	mc	sol	adultos
20-mar-98	10:22	13:15	27	0	9	0	2	0	38	0	38
24-mar-98	11:00	13:52	14	0	5	0	0	0	19	0	19
29-mar-98	10:34	12:46	14	0	1	0	0	0	15	0	15
17-abr-98	12:55	15:28	5	0	0	0	0	0	5	0	5
25-ene-99	11:24	14:25	1	3	6	2	3	0	10	5	15
30-ene-99	13:06	15:44	12	8	10	6	1	0	23	14	37
4-feb-99	11:17	14:15	2	19	2	20	4	11	8	50	58
14-feb-99	13:06	15:45	5	50	8	33	0	2	13	85	98
19-feb-99	13:10	16:12	5	70	9	43	2	16	16	129	145
23-feb-99	12:14	15:07	23	7	16	10	0	2	39	19	58
25-feb-99	10:52	13:37	9	82	1	54	7	8	17	144	161
7-mar-99	11:55	14:41	9	48	17	36	7	7	33	91	124
14-mar-99	11:51	14:38	19	43	21	35	5	6	45	84	129
19-mar-99	11:04	13:41	21	34	10	15	10	0	41	49	90
26-mar-99	10:37	13:27	19	9	7	9	2	1	28	19	47
15-abr-99	11:26	14:14	25	0	7	0	2	0	34	0	34
27-ene-00	14:40	17:15	6	42	6	20	3	1	15	63	78
03-feb-00	11:07	13:19	15	60	6	9	4	1	25	70	95
08-feb-00	11:42	14:09	2	103	31	61	12	18	45	182	227
13-feb-00	11:36	14:39	5	80	10	86	6	10	21	176	197
15-feb-00	13:06	16:13	5	80	10	86	6	10	21	176	197
19-feb-00	10:26	13:15	5	68	11	62	14	40	30	170	200
24-feb-00	9:49	12:30	26	56	28	63	8	13	62	132	194
01-mar-00	10:10	13:04	21	81	9	55	5	10	35	146	181
07-mar-00	10:28	15:37	15	62	17	37	3	8	35	107	142
12-mar-00	10:33	13:20	20	47	17	63	1	7	38	117	155
19-mar-00	12:45	15:35	6	26	8	21	2	8	16	55	71
24-mar-00	10:01	12:47	14	7	4	4	1	1	19	12	31
31-mar-00	12:19	15:03	19	4	7	1	1	0	27	5	32
02-abr-00	13:15	15:51	14	3	11	0	0	0	25	3	28



## **ANEXO III**

**Resultados parciales del análisis genético de las muestras de piel de ballenas grises, tomadas en Laguna San Ignacio, Bahía de Ballenas y San José del Cabo, B.C.S., durante 1996 y 1997**



**ANEXO III.** Haplotipo, sexo, y localidad de las muestras analizadas. SI=Laguna San Ignacio; BB=Bahía de Ballenas; Ojo = Laguna Ojo de Liebre; SJ = San José del Cabo.

Haplotipo	No. de Muestra	Sexo	Categoría	Localidad	Año
1	87	H	Hembra	SI	97
1	91	H	Hembra	SI	97
1	93	H	Hembra	SI	97
2	53	H	Hembra	SI	96
3	65	H	Hembra	SI	97
3	99	H	Hembra	SI	97
4	49	H	Hembra	SI	96
4	60	H	Hembra	SI	96
5	86	H	Hembra	SI	97
6	5	H	Hembra	SI	96
7	62	H	Hembra	SI	96
7	54	M	Solitario	BB	96
8	145	H	Hembra	Ojo	97
8	16	H	Solitario	SI	96
8	116	M	Solitario	SI	97
9	29	H	Solitario	SI	96
10	26	M	Solitario	SI	96
11	74	H	Hembra	SI	97
12	128	H	Hembra	Ojo	97
13	43	H	Hembra	SI	96
13	117	H	Hembra	SI	97
13	22	M	Solitario	SI	96
14	138	H	Hembra	Ojo	97
14	72	H	Hembra	SI	97
15	30	H	Hembra	SI	96
16	82	H	Hembra	SI	96
16	88	H	Hembra	SI	97
17	38	H	Hembra	SI	96
18	19	H	Solitario	SI	96
18	20	H	Solitario	SI	96
19	149	H	Hembra	Ojo	97
19	83	H	Hembra	SI	97
20	36	H	Hembra	SI	96
20	100	H	Hembra	SI	97
20	24	H	Solitario	SI	96
20	27	M	Solitario	SI	96
20	80	M	Solitario	SI	97
20	92	M	Solitario	SI	97
21	137	H	Hembra	Ojo	97
21	34	H	Hembra	SI	96
21	39	H	Hembra	SI	96
21	110	H	Hembra	SI	97
22	125	H	Hembra	Ojo	97
22	140	H	Hembra	Ojo	97



...Continuación ANEXO III. Haplotipo, sexo, y localidad de las muestras analizadas. SI=Laguna San Ignacio; BB=Bahía de Ballenas; Ojo = Laguna Ojo de Liebre; SJ = San José del Cabo.

Haplotipo	No. de Muestra	Sexo	Categoría	Localidad	Año
22	150	H	Hembra	Ojo	97
22	111	H	Hembra	SI	97
22	118	H	Hembra	SI	97
22	10	H	Solitario	SI	96
22	18	H	Solitario	SI	96
22	12	M	Solitario	SI	96
22	13	M	Solitario	SI	96
22	79	M	Solitario	SI	97
23	96	H	Hembra	SI	97
23	17	H	Solitario	SI	96
23	21	M	Solitario	SI	96
23	67	M	Solitario	SI	97
24	45	H	Hembra	SI	96
24	136	M	Solitario	Ojo	97
25	41	H	Hembra	SI	96
25	76	H	Hembra	SI	97
25	78	H	Hembra	SI	97
25	104	H	Hembra	SI	97
25	115	H	Hembra	SI	97
25	123	H	Hembra	SI	97
25	134	H	Solitario	Ojo	97
25	131	M	Solitario	Ojo	97
25	135	M	Solitario	Ojo	97
25	23	M	Solitario	SI	96
26	106	H	Hembra	SI	97
26	113	H	Hembra	SI	97
27	8	H	Hembra	SI	96
27	109	H	Hembra	SI	97
27	63	H	Hembra	SJ	96
27	70	H	Solitario	SI	97
27	55	M	Solitario	BB	96
28	147	H	Hembra	Ojo	97
28	97	H	Solitario	SI	97
29	25	H	Solitario	SI	96
30	4	H	Hembra	SI	97
31	133	H	Hembra	Ojo	97
31	28	M	Solitario	SI	96
32	32	H	Hembra	SI	96
33	103	H	Hembra	SI	97