



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**MOVIMIENTOS MIGRATORIOS,
ESTRUCTURA POBLACIONAL Y TASA
DE SUPERVIVENCIA DE LAS BALLENAS
AZULES DEL PACÍFICO NORESTE CON
BASE EN DATOS DE FOTO-
IDENTIFICACIÓN**

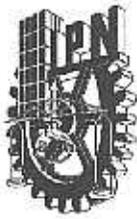
TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS**

PRESENTA

AZUCENA UGALDE DE LA CRUZ

LA PAZ, B.C.S., JULIO DE 2015



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

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 25 del mes de Junio del 2015 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"MOVIMIENTOS MIGRATORIOS, ESTRUCTURA POBLACIONAL Y TASA DE SUPERVIVENCIA DE LAS BALLENAS AZULES DEL PACÍFICO NORESTE CON BASE EN DATOS DE FOTO-IDENTIFICACIÓN"

Presentada por el alumno:

UGALDE	DE LA CRUZ	AZUCENA
Apellido paterno	materno	nombre(s)
Con registro:		
A	1	1
0	5	0
0		

Aspirante de:

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis



DRA. DIANE GENDRON LANIEL
Directora de Tesis



DR. TIM GERRODETTE
2º. Director de Tesis



DR. JAIME GÓMEZ GUTIÉRREZ



DRA. CLAUDIA JANETL HERNÁNDEZ CAMACHO



DR. LUIS ENRIQUEZ PAREDES

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



IPN
CICIMAR
DIRECCION



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 03 del mes Julio del año 2015
el (la) que suscribe MC. AZUCENA UGALDE DE LA CRUZ alumno(a) del
Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS
con número de registro A110500 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DRA. DIANE GENDRON LANIEL y DR. TIM GERRODETTE
y cede los derechos del trabajo titulado:

"MOVIMIENTOS MIGRATORIOS, ESTRUCTURA POBLACIONAL Y TASA DE SUPERVIVENCIA
DE LAS BALLENAS AZULES DEL PACÍFICO NORESTE CON BASE EN DATOS DE FOTO-IDENTIFICACIÓN"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: azu_ugalde@hotmail.com - dgendron@ipn.mx - tim.gerrodette@noaa.gov
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

MC. AZUCENA UGALDE DE LA CRUZ

nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico durante la duración del programa de doctorado. Al Instituto Politécnico Nacional por la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) por el apoyo económico durante los semestres 1, 4 y 7.

A Cetacean Society International y American Cetacean Society/Monterey Bay Chapter, por los fondos aportados para las estancias en el extranjero.

Al laboratorio de Ecología de Cetáceos y Quelonios por las bases de datos facilitadas para realizar este proyecto. Y a las instituciones y particulares por sus aportaciones: Universidad Autónoma de Baja California Sur, Universidad Autónoma de Baja California, Richard Sears (Mingan Island Cetacean Study), Michael Fishback, Gisela Heckel, entre otras aportaciones colectadas de manera oportunista; además, a los prestadores de servicios, principalmente a los tripulantes de la embarcación Don José.

A Cascadia Research Collective (CRC) y Southwest Fisheries Science Center-National Oceanic and Atmospheric Administration (SWFSC-NOAA), por facilitar la información de ballenas azules colectada en diferentes áreas del Pacífico Noreste. Al personal de ambas instituciones que participaron en la colecta y el procesamiento de la información. Además, a las instituciones y particulares que han aportado información: Aquarium of the Pacific (Kera Mathes), Channel Islands National Marine Sanctuary, Channel Islands Naturalist Corps, Nancy Black, Oregon State University, Michuro Ogino, Eric Martin (Round House Aquarium), Scripps Institution of Oceanography, Peter Howorth, Connie Ewald, Bernie Tershy, Peggy Stap entre otros, así como diferentes aportaciones oportunistas.

A John Calambokidis y Annie Douglas (CRC), por permitirme usar la base de datos, facilitarme el acceso y por su atención durante mi estancia en CRC. Gracias a Annie por el apoyo brindado durante todo el proceso de comparación fotográfica.

Al Dr. Tim Gerrodette y Paula Olson (SWFSC-NOAA), también por permitirme el uso de la base de datos y su atención durante mi estancia en sus instalaciones.

A la Dra. Diane Gendron y el Dr. Tim Gerrodette por su dirección durante el desarrollo de esta tesis.

A los integrantes del comité revisor por sus comentarios para mejorar la calidad de este documento: Jaime Gómez Gutiérrez, Claudia Hernández Camacho, Luis Enríquez Paredes.

Al Dr. Jeffrey Laake (SWFSC-NOAA) por su atención y apoyo con las rutinas de RMark.

Al Dr. Luis Enríquez Paredes por su colaboración en los análisis moleculares de piel y biopsias de las ballenas azules.

A todas las personas que participaron en las salidas de campo y colecta de datos cuyo aporte y experiencia es invaluable: personal técnico, alumnos, voluntarios.

A mi familia, mis papas y mis hermanos y hermanas, por estar aquí aún en la distancia (☺).

A mis amigos que me acompañaron durante este largo trayecto (☺) Geraldine, Marcia, Mario, Fabiola. Y gracias a Patricia por el apoyo.

Gracias especialmente a Yadira y Aníbal, a pesar del poco contacto que hemos tenido, estuvieron justo en el momento preciso con la respuesta correcta.

GLOSARIO

CRITERIO DE INFORMACION DE AKAIKE (CIA). Dentro de la estadística inferencial este criterio se utiliza para comparar la plausibilidad relativa de un conjunto de modelos. Para un juego de datos dado, el CIA es computado para cada modelo que se ajusta y aquel con el valor de CIA más bajo es el que tiene mayor soporte sobre los datos observados o bien es el que mejor explica la variación en los datos en relación al resto de los modelos.

FIDELIDAD AL SITIO. Es la tendencia de los individuos a regresar a la misma área en repetidas ocasiones o permanecer en ella por periodos amplios.

MEDIAN c-hat. Este es una prueba que mide la bondad de ajuste del modelo más general (con mayor número de parámetros) que se utiliza para estimar la probabilidad de supervivencia y la probabilidad de encuentro. Una falta de ajuste en este caso, se refiere a que los datos no cumplen con los supuestos subyacentes al modelo Cormack-Jolly-Seber:

1. Cada individuo (identificado) presente en la población en el tiempo (i) tiene la misma probabilidad de recaptura.
2. Cada individuo (identificado) tienen la misma probabilidad de sobrevivir al tiempo (i + 1).
3. Las marcas que identifican a los individuos no se pierden

MAXIMA VEROSIMILITUD. Es un método matemático que se utiliza para la estimación de los parámetros de un modelo y se basa en hallar la combinación de los parámetros dentro del modelo que tenga un mayor ajuste en los datos observados.

PROBABILIDAD. Es un número que expresa las oportunidades de que ocurra un evento específico, puede tomar cualquier valor entre 0 y 1.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	IV
LISTA DE FIGURAS.	VII
LISTA DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1. Ballenas azules en el Pacífico Noreste	5
2.2 Parámetros demográficos	8
3. OBJETIVOS	10
3.1. Objetivo general.	10
3.2. Objetivos particulares:.....	10
4. MATERIALES Y MÉTODOS	11
4.1. Foto-identificación	11
4.2 Destinos migratorios.....	19
4.3. Probabilidad de movimiento	24
4.4 Estructura por sexo	26
4.5. Tasa de supervivencia.....	27
5. RESULTADOS	32
5.1. Destinos migratorios.....	32
5.1.1. Golfo de California vs costa oeste de Norteamérica.	32

5.1.2. Península de Baja California vs costa oeste de Norteamérica.....	38
5.1.3. Golfo de California vs Domo de Costa Rica y Galápagos/Perú	39
5.2. Proporción de sexos.....	39
5.3 Tasa de supervivencia	40
5.3.1. Grupo de edad conocida	40
5.3.2. Grupo de individuos “no crías”	41
5.3.3. Grupo de sexo conocido-Golfo de California.....	44
6. DISCUSIÓN.	46
6.1 Destinos migratorios y probabilidad de movimiento.	46
6.2 Área de alimentación en verano.....	49
6.3 Intercambio entre ballenas azules del GoCa y el Domo de Costa Rica.	51
6.4 Tasa de supervivencia grupo de edad conocida.	51
6.5 Tasa de supervivencia “no crías”	52
7. CONCLUSIONES.....	56
8. BIBLIOGRAFÍA	57
9. ANEXOS	67
9.1 ANEXO I.....	67
9.2 ANEXO II. Hembras en edad reproductiva foto-identificadas en el GoCa que no se foto-recapturaron en las áreas de la CoNor, el número de foto-recapturas en diferentes años en los que se observaron y el número de crías que han tenido... 74	
9.3 ANEXO III. Tasa de supervivencia aparente (Φ) estimada para distintas poblaciones de misticetos. + tr=indica que los individuos transeúntes se consideraron en conjunto con los no transeúntes; (*)=valores obtenidos con el modelo 2 de la tabla 15.	75

LISTA DE FIGURAS.

- Figura 1. Posición geográfica de distintos avistamientos de las ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California y la Península de Baja California desde 1985 a 2012. 12
- Figura 2. Posición geográfica de distintos avistamiento de las ballenas azules foto-identificadas a lo largo de la costa oeste de Norteamérica desde P. Baja California hasta el Golfo de Alaska y en diferentes áreas del Pacífico tropical, Domo de Costa Rica y Galápagos desde 1970 a 2011. 15
- Figura 3. Número de individuos de ballena azul foto-identificados en diferentes latitudes frente a la costa oeste de Norteamérica desde 1970 A 2011. 1) Cuenca Sur de California, 2) Islas del Canal, 3) Bahía Monterey y 4) Golfo de Farallones/Banco de Cordell. 19
- Figura 4. Delimitación de diferentes áreas de agregación de ballenas azules en la costa oeste de Norteamérica: P. Baja California (BA), California Sur (CS), Islas del Canal (IC), Monterey (MO), Farallones (FA), Mendocino (ME), Oregon-Va (OR), Va-Alaska (VAK). 21
- Figura 5. Probabilidad de movimiento de individuos de ballena azul entre el Golfo de California y California Sur (CS), Islas del Canal (IC), Monterey (MO), Farallones (FA) y área de verano virtual (X) durante los periodos 1992-2001 y 2002-2011. Los signos (++) indican que las estimaciones se realizaron con los datos de áreas más norteñas sumados a los datos de Farallones. 37
- Figura 6. Probabilidad de encuentro estimada para los individuos “no crías” foto-identificadas en el Golfo de California (años debajo de las columnas en el gráfico) y desde California hasta Alaska (columnas que no tiene escrito el año). La probabilidad encuentro para el año 1992 en el Golfo de California no fue estimada dado que no hubo ninguna foto-recaptura. 43
- Figura 7. Probabilidad de encuentro estimada para hembras y machos de ballena azules foto-identificadas en el Golfo de California..... 45

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Número de individuos de ballena azul identificados (ID) por año en la zona suroeste (GoCa-So) y otras áreas en el Golfo de California (GoCa-So), además en la costa occidental de la Península de Baja California (Baja), información contenida en la base de datos de CICIMAR-IPN. 13
- Tabla 2. Número de individuos identificados (ID) por año desde California hasta Alaska (Cal-Ak) contenidos en la base de datos de Cascadia Reasearch Collective y Southwest Fisheries Science Center. 16
- Tabla 3. Número de individuos identificados (ID) por año en la costa occidental de la P. Baja California (Baja), el Domo de Costa Rica (DCR) y al sur del ecuador, Galápagos y Perú (Gal-Per) contenidos en la base de datos de Cascadia Reasearch Collective y Southwest Fisheries Science Center. 17
- Tabla 4. Número de individuos foto-identificados por año en cada una de las áreas delimitadas en la CoNor. P. Baja California (BA), California Sur (CS), Islas del Canal (IC), Monterey (MO), Farallones (FA), Mendocino (ME), Oregon-Va (OR), Va-Alaska (VAK), Golfo de California, Domo de Costa Rica (DCR), Galápagos (GAL)..... 23
- Tabla 5. Lista de modelos ajustados para la estimar de la probabilidad de supervivencia aparente (Φ) para el grupo de edad conocida de ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California y sus recapturas con la costa oeste de Norteamérica. (3e): tres clases de edad de 0-1, 1-10 y 10-18 años; (1e + ime): tres clases de edad, estimando la supervivencia de la clase de 0-1 año en función del Índice Multivariado del ENOS. Probabilidad de encuentro: $p(.) = \text{constante}$ ó $p(t) = \text{variable en el tiempo}$ 28
- Tabla 6. Esfuerzo de muestreo (días) en el Golfo de California (GoCa) y desde California Sur hasta Oregon-Va (CoNor)..... 30
- Tabla 7. Lista de modelos ajustados para la estimación de la probabilidad de supervivencia aparente (Φ) y la probabilidad de encuentro (p) para las ballenas azules de sexo conocido foto-identificadas en el Golfo de California..... 31
- Tabla 8. Número de individuos identificados (ID) en cada área de la costa oeste de Norteamérica y las foto-recapturas (Rec) con individuos del Golfo de California y su porcentaje (%n=604); área/GoCa=porcentaje de individuos del Golfo de California en relación al total de individuos identificados por área. 32
- Tabla 9. Número de individuos (ID) del Golfo de California que fueron foto-recapturados en una o más áreas a lo largo de la costa oeste de Norteamérica: P.

Baja California (1), California Sur (2), Islas del Canal (3), Monterey (4), Farallones (5), Mendocino (6), Oregon-Va (7). ID*=Número de individuos con más de una foto-recaptura en la misma área; Rec= Número de foto-recapturas en diferentes años de ID*..... 34

Tabla 10. Modelos ajustados para estimar la probabilidad de movimiento (Ψ) y de encuentro (p) de los individuos de ballena azul foto-identificados en el Golfo de California vs California Sur, Islas del Canal, Monterey y Farallones, en los periodos de 1992 a 2001 y de 2002 a 2011. CIAC=Criterio de Información de Akaike, Par=número de parámetros; (.)=parámetro constante e igual para las áreas; a=parámetro constante diferente para cada área, t=parámetro variable en tiempo igual para las áreas; a + t=parámetro variable en el tiempo para cada área; 4 áreas++ indica que los datos de áreas más norteñas se sumaron con los de Farallones..... 36

Tabla 11. Número de individuos identificados (ID) en cada área de la costa oeste de Norteamérica y las foto-recapturas (Rec) con individuos de la P. Baja California y su porcentaje (%n=157); Área/BA= porcentaje de individuos de la P. Baja California en relación al total de individuos identificados por área. 38

Tabla 12. Número de hembras (H) y machos (M) de ballena azul del GoCa foto-recapturados en las diferentes áreas de la CoNor desde 1970 hasta 2011..... 39

Tabla 13. Lista de los 4 modelos ajustados para la estimación de la tasa de supervivencia aparente (Φ) y la probabilidad de encuentro para el grupo de edad conocida de ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California y sus recapturas con la costa oeste de Norteamérica. La descripción de los modelos se muestra en la tabla 5. 40

Tabla 14. Tasa de supervivencia aparente (Φ) para el grupo de edad de ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California. EE= Error Estándar..... 41

Tabla 15. Lista de los 8 modelos ajustados para la estimación de la tasa de supervivencia aparente (Φ) y la probabilidad de encuentro (p) de las ballenas azules “no crías” foto-identificadas en el Pacífico Noreste. Par=número de parámetros. tr= 2 grupos transeúntes y no transeúntes, 1=individuos “no crías” sin efecto de los transeúntes, p(t)=variable en el tiempo, (esf)=esfuerzo de muestreo, (ime)=índice multivariado del ENOS, (.)=constante en el tiempo..... 42

Tabla 16. Lista de los 24 modelos ajustados para la estimación de la tasa de supervivencia aparente (Φ) y la probabilidad de encuentro (p) por sexo de las ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California. Par=número de

parámetros, La definición de las variables en cada modelo se describe en la tabla 7. 44

Tabla 17. Tasa de supervivencia (Φ) para hembras, machos e individuos de sexo no conocido de ballena azul foto-identificados en el Golfo de California. EE= Error Estándar. Ambos sexos=resultados obtenidos con el modelo 1, tabla 16 para ambos sexos en conjunto; hembras y machos=resultados obtenidos con el modelo 2. 45

RESUMEN

La información de la estructura y la demografía de las poblaciones son herramientas importantes para su manejo y conservación. Este trabajo se enfoca al estudio cuantitativo de la estructura poblacional de las ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) del Pacífico Noreste y la estimación de la tasa de supervivencia (TS). Se determinaron los destinos migratorios de los individuos foto-identificados en el Golfo de California (GoCa, zona de invernación) y 8 áreas diferentes en la costa oeste de Norteamérica (CoNor, zona de alimentación en verano). La probabilidad de movimiento relativo entre áreas y la TS se estimaron utilizando los modelos de captura-recaptura Cormack-Jolly-Seber y Multiestado. De 604 individuos foto-identificados en el GoCa, 266 (44%) se foto-recapturaron en las diferentes áreas de la CoNor, excepto el Golfo de Alaska, con mayor incidencia en las áreas más sureñas. Algunos individuos fueron foto-recapturados en múltiples ocasiones sólo en una de estas áreas, lo que da indicios de fidelidad al sitio. La probabilidad de movimiento se estimó en dos periodos (1992-2001 y 2002-2011) y también fue mayor hacia las áreas sureñas, aunque disminuyó del primer al segundo periodo. Esta disminución, posiblemente, se relaciona a un cambio en la distribución de las ballenas asociado, a su vez, a la fluctuación en la abundancia de sus presas regida por variaciones ambientales. El 56% de los individuos del GoCa no tuvieron foto-recapturas en la CoNor; lo anterior más información previa sugieren la existencia de otra área de alimentación. La TS estimada para los individuos de 0-1 año de edad fue de 0.545 (IC=0.394-0.688), la más baja reportada para misticetos. La TS para juveniles de 1 a 10 años fue de 0.958 (0.863- 0.988) y para individuos “no crías” 0.966 (IC=0.960-0.971). Y para hembras, machos fue de 0.983 (IC=0.973-0.989), 0.978 (IC=0.964-0.986), respectivamente. Este estudio revela una estructura intra-poblacional más compleja de lo que se conoce actualmente y permite sugerir la posible existencia de otra área de alimentación que no ha sido detectada. La TS, particularmente, para individuos de 0-1 y juveniles de 1-10 años de edad no tiene precedente en otras poblaciones.

Palabras clave: Ballena azul, estructura, poblacional, tasa de supervivencia, foto-identificación, captura-recaptura.

ABSTRACT

Population structure and demography information are important tools for developing management and conservation plans. This study provides a quantitative assessment of the Northeast Pacific blue whale (*Balaenoptera musculus*) population structure and survival rates (SR). We determined the migratory destinations of photo-identified individuals from the Gulf of California (GC, wintering ground) to 8 different areas in the west coast of North America (WCNA, summer feeding ground). Relative movement probabilities between areas and the survival rate (SR) were estimated using Cormack-Jolly-Seber and Multistate capture-recapture models. 266 (44%) of 604 individuals photo-identified in the GC were photo-recaptured in different areas of the WCNA, except in the Gulf of Alaska, and the higher movement probabilities occur in the most southern areas. Site fidelity was revealed with some of the individuals photo-recaptured in specific areas over multiple years. Movement probability was estimated for two different periods (1992-2001 and 2002-2011), and also was higher for southern areas; but it declined from the first to second period. This decline is possibly related to changes in the distribution of blue whales associated to prey abundance fluctuations ruled by environmental conditions. 56% of the GC individuals had no photo-recaptures in the WCNA, this data in addition to previous information suggest a missing feeding area. SR estimated for 0-1 year old individuals was 0.545 (IC=0.394-0.688), the lowest reported for baleen whales. The SR for 1-10 year old juveniles was 0.958 (0.863- 0.988) and for “non-calf” 0.966 (IC=0.960-0.971). Females and males SR was 0.983 (IC=0.973-0.989) and 0.978 (IC=0.964-0.986), respectively. This study reveals a more complex population structure, in addition to a possible missing feeding area. SR, mainly for 0-1 and 0-10 year old juveniles, has no precedent in other blue whale populations.

Keywords: Blue whale, population structure, survival rate, photo-identification, capture-recapture

1. INTRODUCCIÓN

El estudio demográfico de una población comprende diferentes aspectos, entre ellos la estructura en la distribución espacial y temporal, así como la dinámica de la población. La estructura espacial y temporal se refieren a la frecuencia relativa de individuos en un área y en un momento dado, mismas que pueden diferir en función del sexo y la edad, la fidelidad a sitios específicos o a sus vínculos sociales o de parentesco (Craig y Herman, 1997; Baker *et al.*, 1998; Härkönen *et al.*, 1999; Calambokidis *et al.*, 2001; Cosens, 2003; Koski y Miller, 2009). Por su parte, la dinámica de una población se refiere a la variación en el número de individuos que la integran, la cual depende de las tasas de reproducción y supervivencia (Pressat, 1967; Morris y Doak, 2002). Estas tasas demográficas son la información básica requerida para determinar el estado de las poblaciones, así como para proyectar su tendencia y evaluar el riesgo de extinción (Morris y Doak, 2002).

El conocer esta información permite delimitar y seleccionar las unidades prioritarias y apropiadas para el manejo y la conservación de las poblaciones (Taylor, 1997; Clapham *et al.*, 2008). Sin embargo, debido a las dificultades logísticas asociadas con el estudio demográfico en poblaciones silvestres, estos generalmente se basan en datos recolectados a una escala geográfica reducida o durante periodos cortos, lo que conlleva un sesgo hacia cierto grupo de individuos, más aún si éstos se distribuyen diferencialmente (Härkönen *et al.*, 1999). Consecuentemente, los parámetros demográficos que se estimen también pueden estar sesgados si la información de su distribución se toma en cuenta (Härkönen *et al.*, 1999; Mauritzen *et al.*, 2002). Además, pueden existir factores externos como diferentes condiciones ambientales (Hastings *et al.*, 2011) o amenazas antropogénicas (Knowlton y Kraus, 2001) que afecten a ciertos individuos en mayor medida que a otros dependiendo del área en la que se distribuyan.

Para realizar un estudio demográfico se requiere identificar a los individuos existentes en la población y darles seguimiento (Ryder, 1965; Pressat, 1967; Rose *et al.*, 1998). En especies silvestres es posible identificar a los individuos mediante la colocación de marcas artificiales, o a través de las marcas naturales o adquiridas (e.g. pigmentación, cicatrices) que presenten en su cuerpo (Hammond, 1986; Wilson *et al.*, 1996; Caro, 1998). Sin embargo, debido a las restricciones logísticas para el muestreo de poblaciones silvestres, no es posible incluir o conocer la ubicación de todos los individuos en un momento dado, por lo que se ha implementado un método alternativo conocido como “captura-recaptura”. Éste método consiste en tomar una muestra de individuos, marcarlos para identificarlos o bien tomar fotografías de sus marcas distintivas (foto-identificación) y compararlos con muestras o registros que se tomen en un periodo de muestreo posterior o en diferentes áreas. Los parámetros demográficos se estiman entonces a partir de la proporción de individuos identificados y no identificados en las muestras recolectadas utilizando modelos matemáticos específicos (Seber, 1982; Hammond, 1986; Pollock *et al.*, 1990; Amstrup *et al.*, 2005).

Las limitaciones logísticas para el muestreo son evidentes en los estudios de las poblaciones de cetáceos. Particularmente en el caso de la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), el gran tamaño que alcanza (~30m), su distribución geográfica amplia y sus movimientos migratorios estacionales (Rice, 1974; Yochem y Leatherwood, 1985; Calambokidis *et al.*, 1990; Chandler *et al.*, 1999; Mate *et al.*, 1999; Calambokidis y Barlow, 2004), aunados a su longevidad estimada en 80-90 años (Berta *et al.*, 2006), son factores limitantes que traen como consecuencia la necesidad de contar con un esfuerzo de muestreo a largo plazo para conocer la información demográficos de las poblaciones de esta especie.

En el Pacífico Noreste, las ballenas azules que se agregan durante el verano y parte del otoño frente a la costa oeste de Norteamérica (CoNor), desde California hasta Alaska, conforman una misma población. Éstas migran al sur

durante el invierno, siguiendo una ruta principal frente a la costa occidental de la Península de Baja California (P. Baja California), hacia al Golfo de California (GoCa) y a zonas tropicales adyacentes al Domo de Costa Rica. Sin embargo, se ha sugerido que el área de alimentación durante el verano podría no restringirse a la CoNor, ya que frente a la P. Baja California se observan ballenas azules durante todo el año (ver antecedentes).

El vínculo entre las ballenas azules observadas en la CoNor y las áreas de invernación se conoce a partir de la información de marcas satelitales adheridas a algunos individuos (Mate *et al.*, 1999; Bailey *et al.*, 2009) y con recapturas fotográficas (Calambokidis *et al.*, 1990; Chandler *et al.*, 1999). Con las marcas satelitales se ha obtenido información de toda la trayectoria que siguen las ballenas, aunque a corto plazo; ya que las marcas quedan adheridas a sus cuerpos entre 58 y 85 días en promedio (Bailey *et al.*, 2009). Esta información se colectó a partir de un proporción baja de individuos, ~5% (128 individuos de 159 a los que se les colocaron marcas; Bailey *et al.*, 2009), en relación al número total que se ha estimado para esta población (~3000, Calambokidis y Barlow, 2004). En relación a las recapturas foto-gráficas, la información se restringe únicamente al número de individuos recapturados entre áreas generales (Calambokidis *et al.*, 1990; Chandler *et al.*, 1999). Es decir, no se ha evaluado a detalle si los individuos regresan a la misma zona donde fueron fotografiados o si arriban a diferentes destinos, por lo que se desconoce si existe fidelidad a sitios específicos y, por consecuencia, una distribución diferencial intra-poblacional. Además, el número de individuos con recapturas fotográficas fue bajo y esta comparación se realizó hace varios años (Calambokidis *et al.*, 1990, 2000a). No obstante, hasta el momento se desconoce si existe intercambio entre los individuos que migran a los distintos destinos invernales, GoCa y Domo de Costa Rica.

En lo que se refiere a los parámetros demográficos en esta población, los estudios se han enfocado principalmente a estimaciones de abundancia global y local, así como de la tasa de supervivencia utilizando datos a una escala

geográfica reducida (Gendron, 2002; Calambokidis y Barlow, 2004; Ugalde de la Cruz, 2008).

Esta especie está catalogada como “en peligro” en la lista roja de la IUCN debido a la reducción en la abundancia de sus poblaciones a nivel mundial debido a la caza intensiva a la que fue sujeta a principios del siglo XX (Reilly *et al.*, 2008). De acuerdo a las estimaciones de abundancia actuales, la población del Pacífico Noreste es la que muestra más signos de recuperación (Calambokidis y Barlow, 2004). Otro estudio preliminar acerca del estado de la población realizado con base en datos de la longitud de los individuos y la estructura de tallas, muestran una recuperación de 75-100% de la abundancia previa al periodo de caza comercial, dichos resultados sugieren que la población está estable o que está alcanzando la estabilidad (Ortega-Ortiz, 2009).

Durante los últimos 30 años la especie ha sido estudiada por diversas instituciones y se cuenta con datos de avistamientos y registros fotográficos en diferentes áreas del Pacífico Noreste. Toda esta información se encuentra concentrada principalmente en las bases de datos y catálogos fotográficos de tres instituciones: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, específicamente en el Laboratorio de Ecología de Cetáceos y Quelonios; en Cascadia Research Collective y Southwest Fisheries Science Center-National Oceanic and Atmospheric Administration. En el presente estudio se realizó una comparación entre estas bases de datos y se verificaron los destinos migratorios, particularmente, de los individuos foto-identificados en el GoCa en las diferentes áreas de la CoNor y con otras áreas del Pacífico Tropical. Además, se estimó la tasa de supervivencia de la población por categoría de edad crías, juveniles e individuos “no crías” y por sexo utilizando el historial de foto-identificación. Esta información es esencial para conocer aspectos de la estructura poblacional y parámetros demográficos de las ballenas azules del Pacífico Noreste, que será útil para las estrategias de manejo y para determinar el estado de la población.

2. ANTECEDENTES

2.1. Ballenas azules en el Pacífico Noreste

Con base en la información de las bitácoras de capturas obtenidas durante el periodo de caza ballenera y los avistamientos registrados de ballenas azules se describieron 5 diferentes áreas de agregación en el Pacífico Norte: 1) sur de Japón, 2) norte de Japón/Kurils/Kamchatka, 3) Islas Aleutianas, 4) este del Golfo de Alaska y 5) California/México, aunque se desconocía el grado de mezcla y la migración de individuos entre estas zonas (NMFS, 1998). En la región del Pacífico Noroeste, las ballenas azules distribuidas en aguas adyacentes a Japón y la Península de Corea, fueron cazadas intensivamente y se han observado en pocas ocasiones en el área en los últimos años (Reilly *et al.*, 2008), aunque se han registrado vocalizaciones (Moore *et al.*, 2002) y algunos avistamientos en años recientes al sur de las Islas Aleutianas (Rankin *et al.*, 2006).

En el Pacífico Noreste, las ballenas observadas en California y México se consideraban como una sub-población diferente a aquellas observadas en Alaska (Rice, 1992; National Marine Fisheries Service, 1998). Posteriormente, con base en datos acústicos (Stafford *et al.*, 1999; McDonald *et al.*, 2006) algunas recapturas fotográficas y los movimientos registrados de los individuos con marcas satelitales entre California y Alaska (Mate *et al.*, 1999; Calambokidis *et al.*, 2009a; Bailey *et al.*, 2009), indican que estas ballenas pertenecen a la misma población. Durante el verano se han registrado avistamientos de ballenas azules a todo lo largo de la CoNor, aunque éstas se concentran en zonas de mayor productividad biológica, principalmente en las Islas del Canal, Bahía Monterrey y el Golfo de Farallones (Schoenherr, 1991; Fiedler *et al.*, 1998; Croll *et al.*, 2005; Calambokidis *et al.*, 2009b; Bailey *et al.*, 2009; Irvine *et al.*, 2014). Durante el invierno las ballenas de la CoNor migran hacia el Domo de Costa Rica y el GoCa (Calambokidis *et al.*, 1990, 2000a; Chandler *et al.*, 1999; Mate *et al.*, 1999; Stafford *et al.*, 1999). Frente a las costa de Estados Unidos (California, Oregón y Baja

California), se estima un número de ~2,000 ballenas (Calambokidis y Barlow, 2004). En el GoCa, la abundancia estacional de ballenas azules se estima en ~300 ballenas (Gendron, 2002; Ugalde de la Cruz, 2008), lo que indica que menos de la mitad de las ballenas migran esta área en invierno.

En el GoCA la productividad incrementa durante el invierno y la primavera (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991), donde estas ballenas continúan sus actividades de alimentación (Gendron, 1992, 2002; Del Angel, 1997; Jimenez-Pinedo, 2010). Se observan en el GoCa desde diciembre y hasta junio, con un número máximo registrado durante el mes de marzo, y en abril empiezan su retorno a las zonas de alimentación en la CoNor. El GoCa también es una zona de crianza para esta especie donde se han registrado entre 1 a 10 crías por año (Gendron, 2002).

El Domo de Costa Rica es un área altamente productiva a lo largo de todo el año (Fiedler, 2002) y en la que se ha observado una agregación importante de ballenas azules durante el invierno, además de avistamientos todo el año (Reilly y Thayer, 1990) y en donde se han registrado también comportamientos de alimentación (Calambokidis *et al.*, 2009b). Anteriormente, se planteaba que las ballenas observadas durante el verano y otoño en ésta área podrían ser una mezcla de individuos migrando desde la CoNor y desde el hemisferio sur, o que pudiera ser una población residente (Reilly y Thayer, 1990). Posteriormente, con base en la información acústica se determinó que las ballenas azules en el Domo de Costa Rica presentan el mismo tipo de vocalización que aquellas en la CoNor y el GoCa, lo que indica hasta el momento que forman parte de la población del Pacífico Noreste (Stafford *et al.*, 1999).

Por otra parte, la mayoría de los registros fotográficos de ballenas azules se han obtenido frente a las costas de la CoNor, principalmente frente a California, considerada como la zona de alimentación durante el verano, sin embargo, se ha planteado que ésta pudiera ser más amplia. Los registros de captura comercial

(Rice, 1974, 1992), así como la frecuencia de avistamientos (Mangels & Gerrodette, 1994; Gendron, 2002) indican que las ballenas azules se localizan en la zona frente a la P. Baja California durante todo el año. Incluso, dos ballenas a las que se les colocaron marcas satelitales dentro del GoCa, durante su viaje de retorno, permanecieron frente a la costa occidental de la P. Baja California hasta principios y finales de octubre, respectivamente (Bailey *et al.*, 2009). Esta área frente a la P. Baja California es importante ya que las ballenas se detienen donde existen frentes oceánicos y la productividad es alta durante su migración de regreso a la zona de verano (Etnoyer *et al.*, 2004) y también se les ha observado alimentándose (Gendron, 2002).

Aunque no se ha investigado a detalle si existe una distribución diferencial o si es homogénea entre los individuos de esta población a gran escala, existen evidencias de que al menos algunos individuos exhiben fidelidad ciertas áreas. Una de las ballenas azules, cuya marca satelital, excepcionalmente, permaneció adherida a su cuerpo por 504 días, regresó al área en la que fue marcada un año atrás (Irvine *et al.*, 2014). De igual forma, pero a una escala geográfica menor, algunas ballenas azules presentan residencias estacionales prolongadas en áreas específicas del suroeste del GoCa (Gendron, 2002) y cerca del 50% de los individuos foto-identificados en la zona regresan en años subsecuentes (Ugalde de la Cruz, 2008).

Se ha observado, además, una distribución diferencial por sexo. En un estudio se determinó que las hembras se distribuyen preferencialmente en las zonas costeras a diferencia de los machos se distribuyen principalmente en zonas oceánicas (Gendron, 2002). Y en relación a la profundidad, los individuos juveniles predominan en aguas someras a diferencia de las hembras y machos adultos (Mata-Cruz, 2013).

En el GoCa y la P. Baja California de acuerdo a estudios genéticos en las ballenas azules, se ha determinado que existen dos linajes maternos

marcadamente divergentes, lo cual sugería la hipótesis de dos sub-poblaciones, aunque no se encontraron diferencias en la distribución espacial (Enriquez-Paredes, 2005).

En otras especies, como la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en el del Golfo de Maine, presentan una distribución diferencial, ya que la tasa de retorno es mayor a sitios específicos dentro del área de alimentación. O bien, para la población del Pacífico Norte, los individuos migran a diferentes áreas de invierno y el intercambio entre ellas es bajo (Calambokidis *et al.*, 2000b, 2001; Urban *et al.*, 2000; Robbins, 2007). En algunos de los casos anteriores, así como para otras especies, la fidelidad al sitio se ha asociado a las relaciones genéticas entre linajes o grupos de ascendencia materna común (Baker *et al.*, 1998; Ree *et al.*, 2013; Lang *et al.*, 2014).

2.2 Parámetros demográficos

Para determinar la dinámica poblacional, se utilizan diferentes parámetros demográficos, entre estos la tasa de supervivencia (Smith y Smith, 2001; Coulson *et al.*, 2006; Zerbini *et al.*, 2010). Ésta se refiere a la proporción de individuos vivos en un intervalo de tiempo en relación al número de individuos vivos al principio de este intervalo y, más específicamente, al intervalo de edad (Smith y Smith, 2001), debido a que ésta no es igual en las diferentes etapas del ciclo de vida de los individuos. Los mamíferos exhiben un patrón general con una tasa de supervivencia menor en la etapa temprana del ciclo de vida, durante la etapa adulta ésta es relativamente alta y disminuye nuevamente en la etapa final o senescente (Caughley, 1966; Olesiuk, 2005; Condit *et al.*, 2014).

Las ballenas azules, al igual que otros mamíferos de gran tamaño, son longevas y se estima que pueden vivir hasta 80 años (Berta *et al.*, 2006); aunque en otras especies como la ballena de cabeza arqueada (*Balaena mysticetus*) puede vivir hasta más de 100 años (George y Bockstoce, 2008). Debido a que los

estudios a nivel individual se iniciaron desde hace relativamente poco tiempo, en algunas especies se ha logrado estimar la tasa de supervivencia de individuos denominados como “no crías”, que pueden incluir individuos juveniles, adultos y senescentes. Lo anterior debido a que en estas especies la edad se puede determinar sólo en los individuos que se foto-identifican desde que son crías, los cuales se distinguen por la diferencia de tamaño entre éstos y sus madres (Bradford *et al.*, 2006; Ramp *et al.*, 2006; Robbins, 2007).

Para las ballenas azules observadas frente a las costas de California se estimó la tasa de supervivencia aunque los valores fueron bajos y variables (0.81-0.97) en el tiempo (Calambokidis y Barlow, 2004), los autores comentan que los resultados no fueron realistas y lo atribuyen a la heterogeneidad de las foto-recapturas y al sesgo en el muestreo en un área específica (Calambokidis y Barlow, 2004). A menor escala, en el GoCa se estimó una tasa de supervivencia para los individuos de ballena azul “no crías” de 0.980 (0.952-0.991; Ugalde de la Cruz, 2008).

En algunas especies de cetáceos, aunque se puede distinguir a las crías por el tamaño pequeño, es difícil estimar la tasa de supervivencia ya que los individuos no cuentan con marcas distintivas o cambian con el paso del tiempo (Aglar *et al.*, 1990; Rugh, 1990; Silva, 2000, Arnbohm, 1987). Este parámetro se ha logrado estimar para la ballena gris del Pacífico Noroeste en individuos al primer año de edad, 0.70 (0.49-0.85) (Bradford *et al.*, 2006) y para la ballena jorobada del Golfo de Maine fue 0.664 (0.517-0.784; Robbins, 2007). Para las ballenas azules del GoCa se estimó una tasa de 0.405 (0.253-0.568), ésta última fue muy baja en comparación con otras especies, aunque se sugiere que puede estar subestimada debido a la baja tasa de encuentro de las crías en años posteriores (Ugalde de la Cruz, 2008).

Hipótesis

De acuerdo a la tasa de retorno a sitios específicos observada en otras especies de misticetos, se plantea que las ballenas azules que invernan en el Golfo de California, presentan también una preferencia a diferentes destinos migratorios y por tanto una distribución diferencial a lo largo de su área de alimentación durante el verano frente a la costa oeste de Norteamérica.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general.

Determinar la estructura poblacional de las ballenas azules mediante sus movimientos migratorios entre distintas áreas del Pacífico Noreste y estimar la tasa de supervivencia.

3.2. Objetivos particulares:

- a) Determinar si existe una distribución diferencial de las ballenas azules observadas en el Golfo de California y la P. Baja California a lo largo de la zona de alimentación durante el verano.
- b) Verificar si los individuos foto-identificados en el Golfo de California se observan también en el Domo de Costa Rica/ETP.
- c) Estimar la tasa de supervivencia por clases de edad y sexo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Foto-identificación

Para este estudio se utilizaron dos diferentes bases de datos y fotografías de ballenas azules recopiladas en diferentes áreas del Pacífico Noreste. Las fotografías corresponden a los costados de las ballenas azules donde se observan diferentes patrones de pigmentación únicos para cada individuo y su característica principal de identificación (Sears, 1987; Sears *et al.*, 1990). Las fotografías han sido colectadas durante muestreos sistemáticos y no sistemáticos utilizando tanto embarcaciones mayores como menores. También se incluyen fotografías colectadas de manera oportunista por colaboradores externos y prestadores de servicios turísticos.

Una de estas bases de datos pertenece al laboratorio de Ecología de Cetáceos y Quelonios del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) e incluye 698 individuos identificados entre 1985 y 2012. Ésta incluye información oportunista desde 1985 y a partir de 1993 el muestreo es continuo principalmente en la zona suroeste del GoCa, desde la Bahía de La Paz hasta el Parque Nacional Bahía de Loreto. Además, se incluyen algunos muestreos ocasionales en el Alto Golfo, zona oceánica al este-sureste de la Bahía de la Paz y, también, en la costa occidental de la P. Baja California (Fig. 1). Los muestreos se han realizado principalmente de enero a abril, aunque se han registrado avistamientos de ballenas azules hasta junio y en la costa occidental los avistamientos se han registrado la mayor parte del año (Tabla 1).

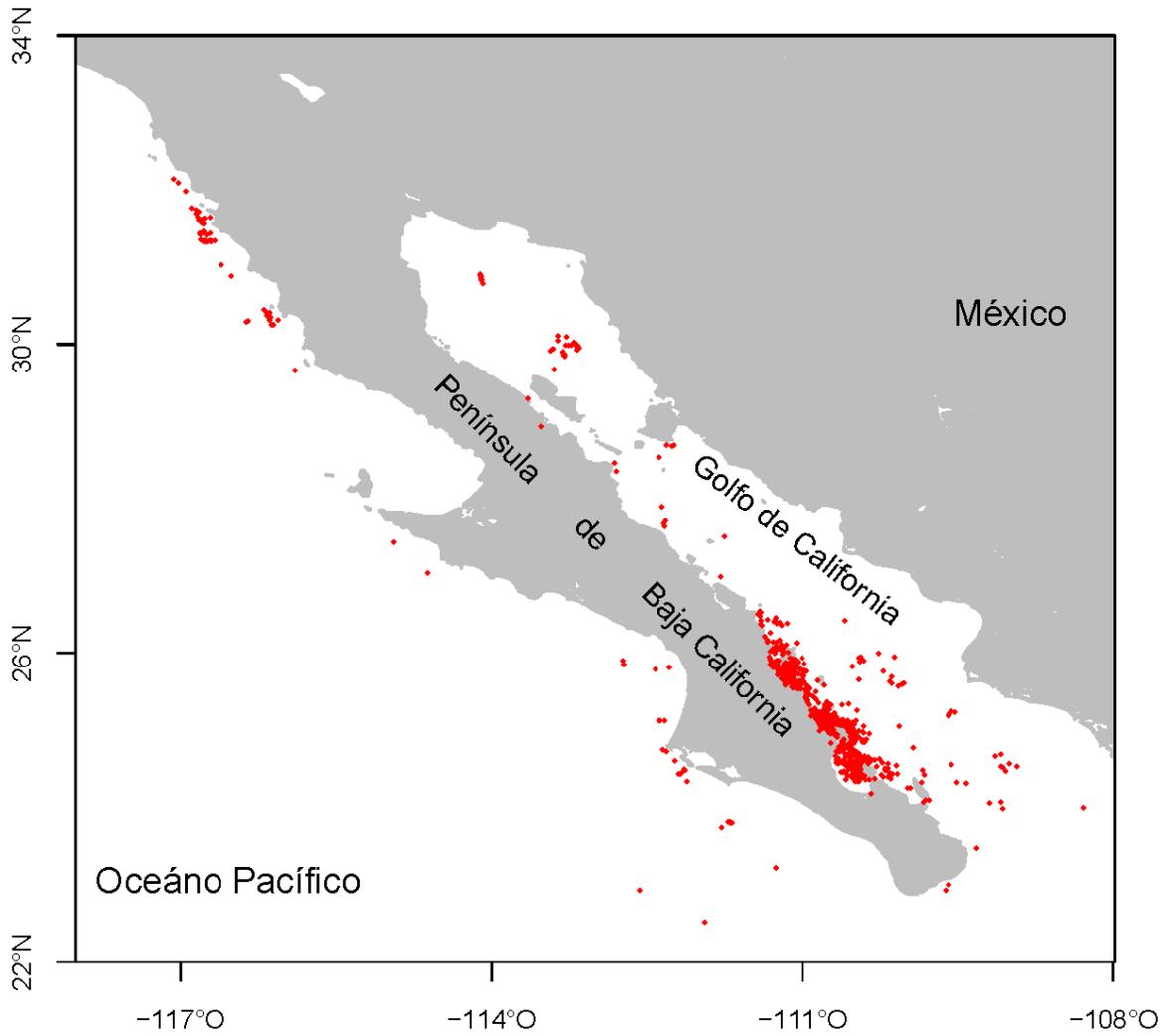


Figura 1. Posición geográfica de distintos avistamientos de las ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California y la Península de Baja California desde 1985 a 2012.

Tabla 1. Número de individuos de ballena azul identificados (ID) por año en la zona suroeste (GoCa-So) y otras áreas en el Golfo de California (GoCa-Otras), además en la costa occidental de la Península de Baja California (Baja), información contenida en la base de datos de CICIMAR-IPN.

Año	GoCa-SO ID	GoCa- Otras ID	Periodo	Baja Id	Meses*
1985	3	1	Abr	-	-
1987	0	4	30 ene-6 mar	-	-
1988	7	-	14 mar-7 abr	-	-
1989	3	-	Mar	-	-
1990	11	-	20 mar-19 abr	-	-
1991	15	-	11 mar-8 abr	-	-
1992	1	1	mar	-	-
1993	11	-	15 mar-6 jun	-	-
1994	37	2	25 feb-jul	5	mar, jun
1995	14	1	19 feb-2 may	17	mar, may, jun
1996	25	2	5 feb- 11 abr	13	abr, jun, ago, oct
1997	44	18	23 feb-12 abr	1	Jun
1998	34	6	24 ene-10 abr	4	Mar
1999	60	-	3 feb-may	-	-
2000	37	-	18 ene-4 abr	-	-
2001	69	-	22 ene-29 mar	-	-
2002	59	7	30 ene-10 abr	-	-
2003	48	-	20 ene- 27 mar	-	-
2004	58	-	25 ene-4 abr	-	-
2005	36	32	29 ene-19 jun	-	-
2006	78	20	25 ene-23 abr	-	-
2007	117	1	20 ene-8 jun	5	Jun
2008	71	-	9 feb-8 abr	-	-
2009	107	-	5 feb-5 may	14	sep, oct, nov
2010	43	-	18 feb-21 abr	-	-
2011	33	-	4 ene-30 mar	-	-
2012	46	2	3 ene-12 abr	-	-

*Dado que no se realizan muestreos continuos solo se incluyó el mes en el que se colectó la información.

Esta base de datos incluye información del sexo de 372 Individuos, 214 hembras y 158 machos, determinados mediante análisis moleculares a partir de muestras de piel descamada y biopsias; en algunos casos se designó el sexo como hembras, a aquellas observadas con cría. Los análisis moleculares fueron realizados por el Dr. Luis Enríquez Paredes del laboratorio de Ecología Molecular de la Universidad Autónoma de Baja California (Enriquez-Paredes, 2005; datos no publicados).

También, se conoce la edad aproximada de 100 individuos que fueron identificados cuando eran crías. Ya que el destete de las ballenas azules ocurre a los 6 meses, la edad aproximada de estos individuos es menor. Incluso puede haber recién nacidos de acuerdo al periodo sugerido para su nacimiento, entre enero y mayo (Gendron, 2002) y de acuerdo a la longitud estimada para uno de estos individuos, 7.2 m (Ortega-Ortíz, 2009), la cual es la talla al nacer que se conoce para esta especie de acuerdo a la información de las capturas durante la caza ballenera.

La segunda base de datos incluye información recopilada por dos instituciones, principalmente, Cascadia Research Collective, una organización científica-educativa sin fines de lucro situada en Olympia, Washington y la División de Mamíferos Marinos y Tortugas (Marine Mammal and Turtle Division) en Southwest Fisheries Science Center-National Oceanic and Atmospheric Administration. Esta colección incluye fotografías de 1,975 individuos recolectadas durante el verano y parte del otoño a lo largo de la costa oeste de los Estados Unidos de América, desde 1979 hasta 2011 principalmente frente a California; además de fotografías colectadas en la costa occidental de la P. Baja California y áreas tropicales en diferentes temporadas del año (Fig. 2; Tabla 2 y 3).

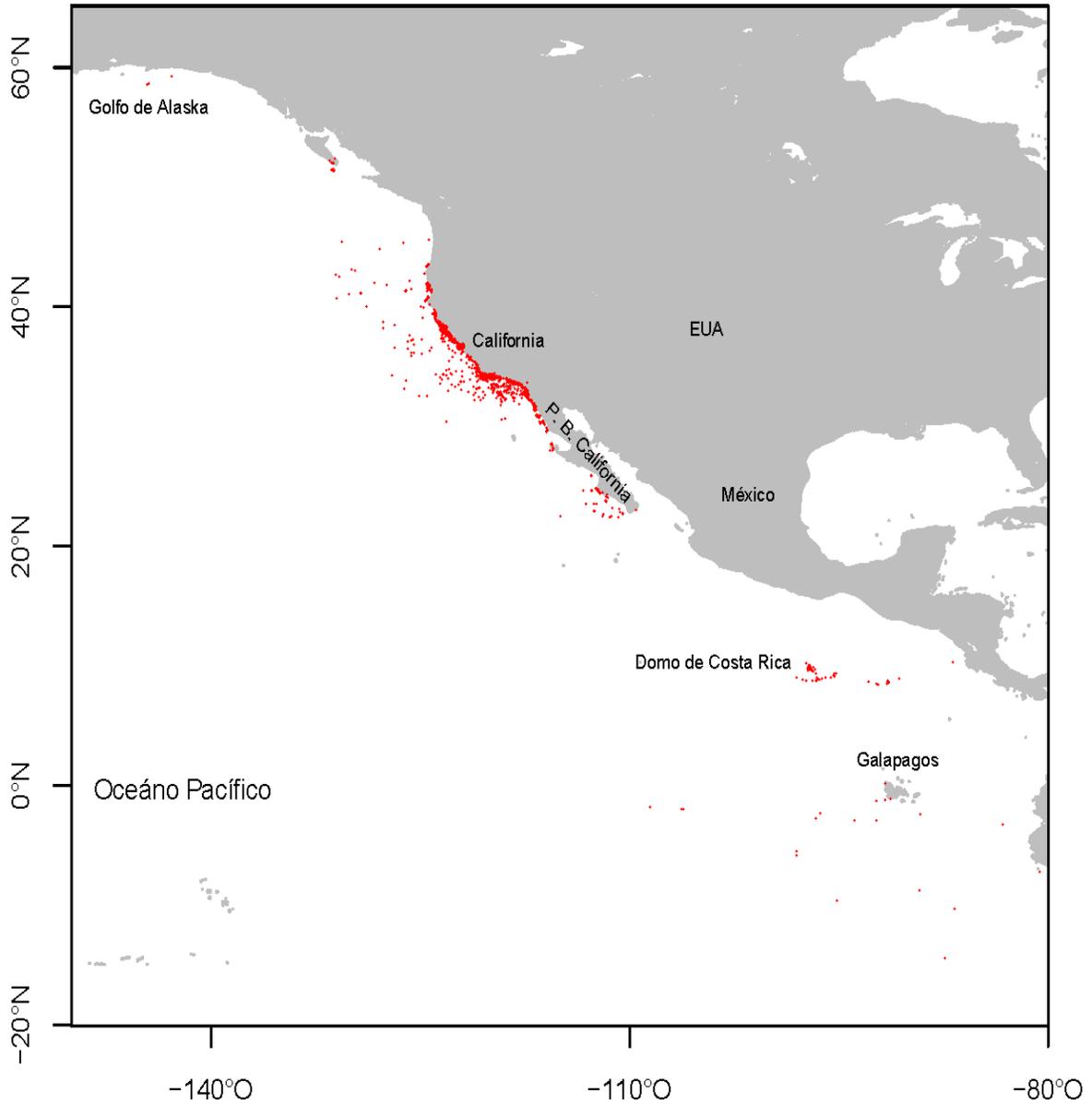


Figura 2. Posición geográfica de distintos avistamiento de las ballenas azules foto-identificadas a lo largo de la costa oeste de Norteamérica desde P. Baja California hasta el Golfo de Alaska y en diferentes áreas del Pacífico tropical, Domo de Costa Rica y Galápagos desde 1970 a 2011.

Tabla 2. Número de individuos identificados (ID) por año desde California hasta Alaska (Cal-Ak) contenidos en la base de datos de Cascadia Reasearch Collective y Southwest Fisheries Science Center.

Año	Cal-Ak ID	Periodo de muestreo
1970	1	-
1975	1	4 dic
1979	5	7 dic
1980	2	19 jun, 8 ago
1983	3	1 ago, 18 de sep
1984	3	14 de jul
1985	4	6 jul -10 oct
1986	76	1 jul - 26 nov
1987	118	5 jul - 16 nov
1988	116	1 ago - 28 oct
1989	70	1 jul -3 nov
1990	106	1 ago -18 nov
1991	72	17 jul -12 dic
1992	270	mar, abr, may, 6 jun- 16 nov*
1993	119	30 jul -19 oct
1994	193	jun -4 nov
1995	215	15 jun -25 nov
1996	174	2 jul -1 nov
1997	171	24 may - 2 nov
1998	215	30 may - 21 nov
1999	172	17 jun - 2 nov
2000	164	18 jun - 29 dic
2001	274	19 jun - 18 nov
2002	285	26 may - 6 nov
2003	281	14 jun - 4 nov
2004	183	18 jun - 2 nov
2005	173	4 jul -18 nov
2006	211	28 may -11 oct
2007	332	10 jun-5 nov
2008	188	18 may-6 dic
2009	288	22 may - 24 nov
2010	263	mar, 4 jun-1 nov*
2011	286	20 may - 8 dic

* Dado que no se realizan muestreos continuos solo se incluyó el mes en el que se colectó la información.

Tabla 3. Número de individuos identificados (ID) por año en la costa occidental de la P. Baja California (Baja), el Domo de Costa Rica (DCR) y al sur del ecuador, Galápagos y Perú (Gal-Per) contenidos en la base de datos de Cascadia Reasearch Collective y Southwest Fisheries Science Center.

Año	Baja Id	Meses	DCR/ Gal-Per Id	Meses
1980	1	jul	-	-
1982	1	Ago	-	-
1983	1	Mar	-	-
1988	27	mar, abr	-	-
1989	33	feb, abr, may	-	-
1991	2	Mar	-	-
1992	1	Jul	4 /	ago, oct
1993	4	ago, oct	/ 5	ago
1995	5	sep, nov	-	-
1998	4	mar, nov, dic	/ 7	nov
1999	6	abr, jul	19 / 1	ene, mar, oct, nov
2000	10	jul, ago	5 /	oct, nov
2003	5	ago, dic	4 / 4	oct, nov
2005	3	Ene	-	-
2006	53	jul, ago, oct	6 / 21	sep, oct
2007	5	Jun	-	-
2008	31	may, jun, ago	64 /	ene
2009	17	Oct	1 / 1	feb, abr
2011	4	mar, abr	-	-

Las fotografías de cada uno de los individuos contenidos en las bases de datos mencionadas, se compararon entre sí y a simple vista. El catálogo fotográfico de CICIMAR-IPN está clasificada en 8 formas diferentes de aleta dorsal y cada una, a su vez, se subdivide en 6 patrones de pigmentación y el proceso de comparación se realizó conforme al protocolo descrito en el Apéndice 1 (Gendron y Ugalde de la Cruz, 2012).

En ambas catálogos las fotografías están calificadas de acuerdo a su calidad con base en el enfoque y la nitidez; en el catálogo 1, además, se incluye el criterio de la porción del costado visible y que incluya la aleta dorsal, además de tomar en cuenta que el costado de los individuos esté en la posición perpendicular al observador (Apéndice 1). Las fotografías de menor calidad se tomaron en cuenta si se observaba suficiente pigmentación para identificar al individuo. Sin embargo, en ambas colecciones hubo fotografías de calidad insuficiente, esto es, que la pigmentación no era distinguible ya sea por el enfoque, la luminosidad o si la porción del cuerpo fotografiada era mínima, por lo que se eliminaron de los análisis, 37 y 18 individuos en la colección 1 y 2 respectivamente.

Todas las foto-recapturas encontradas entre ambas colecciones fueron verificadas y avaladas por el personal de Cascadia Research Collective con mayor experiencia en foto-identificación.

4.2 Destinos migratorios

Para determinar la existencia de un patrón diferencial en la distribución de los individuos foto-identificados del GoCA y la P. Baja California en su zona de alimentación durante el verano, en primer lugar se delimitaron las diferentes áreas o destinos migratorios entre los verificó el movimiento de los individuos.

Con base en el número total de individuos foto-identificados con respecto a la latitud, desde P. Baja California hasta Alaska, se observó que existen áreas donde se concentra un número mayor de individuos foto-identificados: la cuenca del Sur de California, las Islas del Canal, el Golfo de Farallones/Banco de Cordell y la Bahía Monterrey (Fig. 3). Sin embargo, los individuos han sido foto-identificados de forma continua a lo largo de la costa oeste de Norteamérica, principalmente frente a California, (Fig. 2 y 3) y no hay una separación conspicua entre áreas.

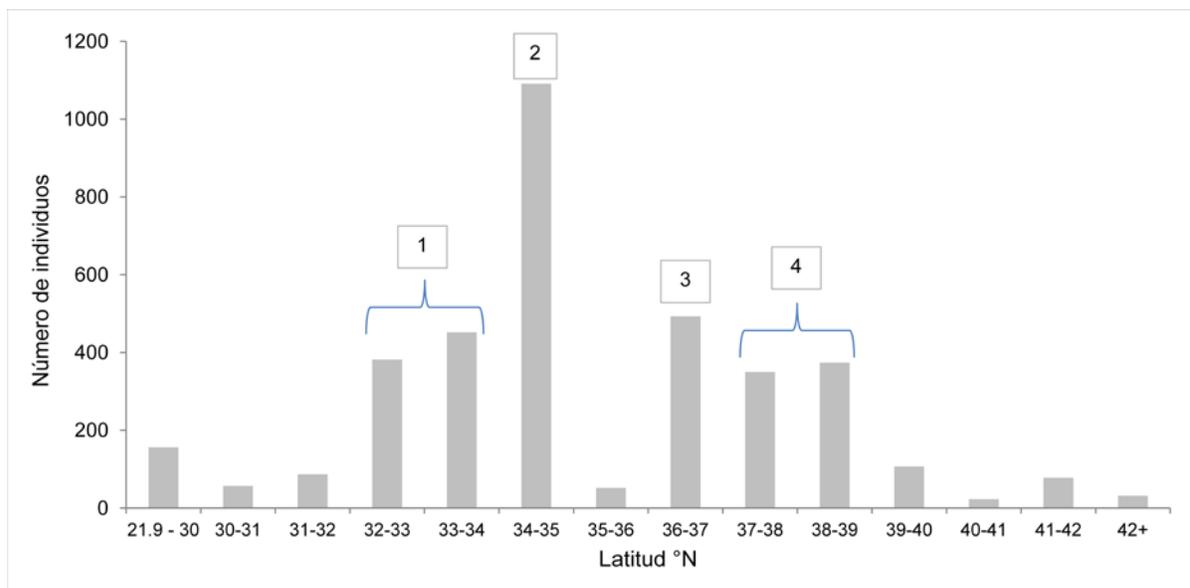


Figura 3. Número de individuos de ballena azul foto-identificados en diferentes latitudes frente a la costa oeste de Norteamérica desde 1970 A 2011. 1) Cuenca Sur de California, 2) Islas del Canal, 3) Bahía Monterrey y 4) Golfo de Farallones/Banco de Cordell.

Para establecer los límites entre los distintos destinos migratorios se utilizó la información obtenida a partir de marcas satelitales colocadas en las ballenas azules donde se describen las áreas de mayor uso (Irvine *et al.*, 2014). En éstas áreas denominadas como “núcleo”, los rangos de movimiento de las ballenas se traslapan en mayor medida y también es donde permanecen por más tiempo (Irvine *et al.*, 2014); aunque, las ballenas no se restringen a dichas áreas núcleo sino que se mueven en un rango alrededor de las mismas (Irvine *et al.*, 2014). Estas áreas núcleo coinciden con las Islas del Canal y el Golfo de Farallones, que son donde se ha registrado el mayor número de individuos (Figs. 3 y 4). Otra área núcleo se ubicó alrededor de Cabo Mendocino (latitud 40-42 Figs. 3 y 4), aunque el número de individuos identificados en esa zona es bajo. La zona norte de la P. Baja California no fue considerada como núcleo, aunque las ballenas azules también permanecen por mayor tiempo en dicha área (Bailey *et al.*, 2009; Irvine *et al.*, 2014). Ya que el rango de movimiento en el norte de la P. Baja California se traslapa con la Cuenca Sur de California, estas se consideraron como una sola área (Fig. 4). En las zonas más norteñas (latitud °N > 42; Fig. 3) el número de individuos foto-identificados fue bajo, pero se consideraron por separado de las áreas de mayor concentración. Finalmente, tomando en cuenta la información del número de individuos foto-identificados y la información de las áreas núcleo y los rangos de movimiento alrededor estas (Bailey *et al.*, 2009; Irvine *et al.*, 2014), la CoNor se dividió en 8 áreas incluyendo la P. Baja California (Fig. 4):

1. P. Baja California
2. Norte de la P. Baja California - Cuenca Sur de California (California Sur),
3. Islas del Canal
4. Bahía Monterey (Monterey) ,
5. Golfo de Farallones/Banco de Cordell (Farallones),
6. Norte de Fort Bragg -Cabo Mendocino-Oregon Dunes (Mendocino),
7. Oregon Dunes – Norte de la Isla Vancouver (Oregon-Va),
8. Norte de la Isla Vancouver-Golfo de Alaska (Va-Alaska)

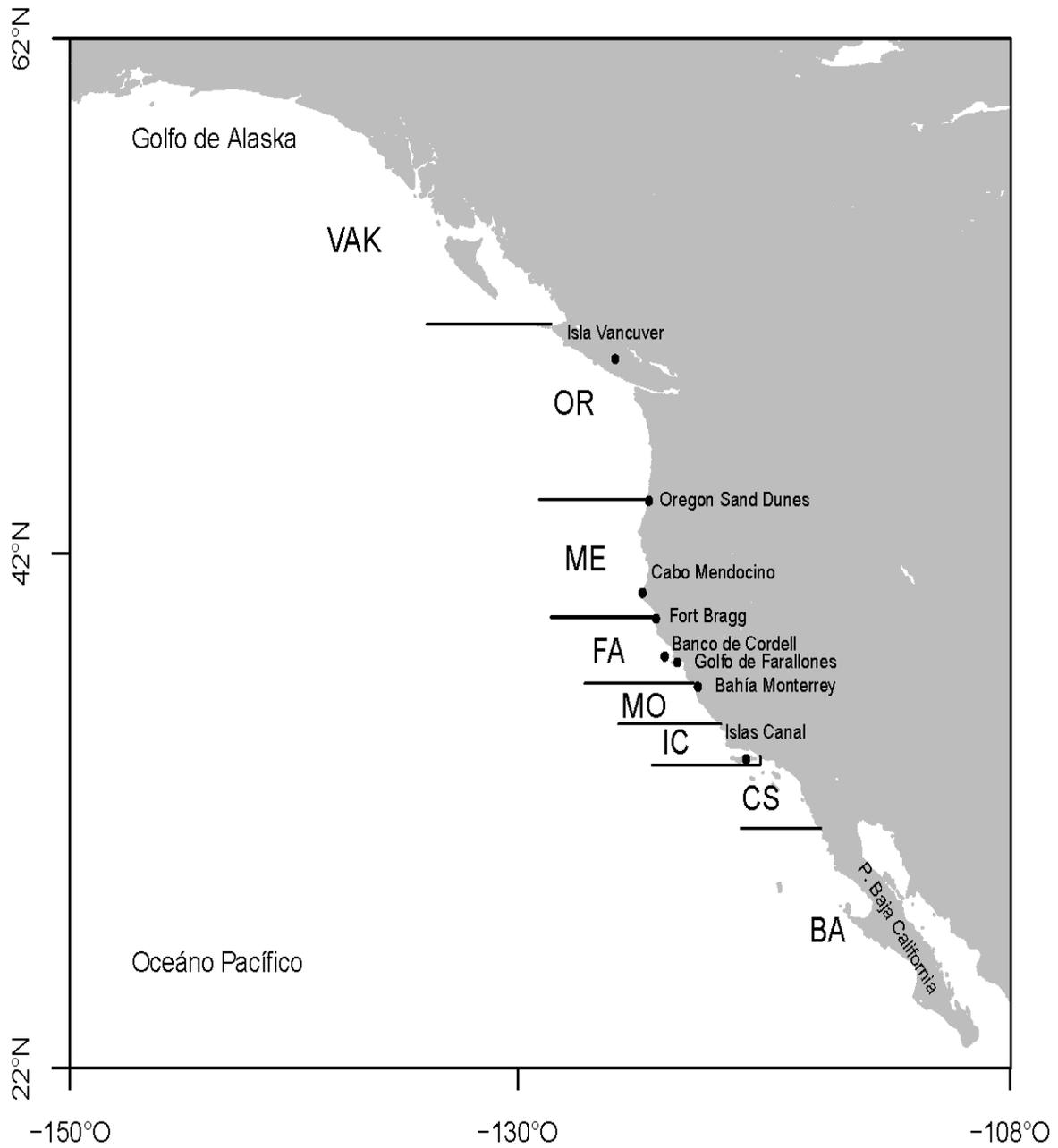


Figura 4. Delimitación de diferentes áreas de agregación de ballenas azules en la costa oeste de Norteamérica: P. Baja California (BA), California Sur (CS), Islas del Canal (IC), Monterey (MO), Farallones (FA), Mendocino (ME), Oregon-Va (OR), Va-Alaska (VAK).

Una vez comparadas todas las fotografías entre ambos catálogos y delimitadas las áreas a lo largo de la CoNor, se verificó el número de individuos foto-identificados:

- 1) En el GoCa vs las 8 diferentes áreas de la CoNor.
- 2) En la P. Baja California vs las 7 áreas restantes de la CoNor

Además de se verificaron las foto-recapturas entre los individuos del GoCa y áreas más sureñas en el Pacífico Tropical: Domo de Costa Rica y Galápagos-Perú. En la tabla 4 se muestra el número de individuos foto-identificados por año en cada una de las áreas delimitadas.

Tabla 4. Número de individuos foto-identificados por año en cada una de las áreas delimitadas en la CoNor. P. Baja California (BA), California Sur (CS), Islas del Canal (IC), Monterey (MO), Farallones (FA), Mendocino (ME), Oregon-Va (OR), Va-Alaska (VAK), Golfo de California, Domo de Costa Rica (DCR), Galápagos (GAL)

Año	BA	CS	IC	MO	FA	ME	OR	VAK	GOCA	DCR	GAL
1970-1985	3	6	0	5	8	0	0	0	26	0	0
1986	0	0	2	40	37	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	55	71	0	0	0	9	0	0
1988	27	0	0	23	99	0	0	0	9	0	0
1989	26	7	0	14	60	0	0	0	5	0	0
1990	0	5	0	0	101	0	0	0	11	0	0
1991	2	30	9	0	29	6	0	0	15	0	0
1992	1	1	120	6	171	10	0	0	2	4	0
1993	4	25	17	24	63	1	0	0	11	0	5
1994	4	2	155	17	31	0	0	0	39	0	0
1995	21	34	170	7	10	0	0	0	15	0	0
1996	13	22	82	36	40	0	0	0	27	0	0
1997	1	11	114	9	52	0	0	1	62	0	0
1998	6	40	78	72	40	11	0	0	40	0	7
1999	6	0	118	21	49	0	0	0	62	19	1
2000	10	9	33	88	48	0	0	0	37	5	0
2001	0	58	154	38	38	3	0	0	69	0	0
2002	0	8	218	30	45	0	0	0	66	0	0
2003	5	16	73	106	103	7	0	1	48	4	4
2004	0	4	127	13	27	15	0	0	58	0	0
2005	3	10	73	52	14	33	2	2	71	0	0
2006	12	190	48	0	3	8	0	1	98	6	21
2007	0	74	263	0	19	2	0	5	118	0	0
2008	4	85	108	0	28	9	2	0	72	64	0
2009	17	93	213	13	8	0	1	0	108	1	1
2010	0	114	132	26	10	9	0	0	43	0	0
2011	4	162	114	10	9	17	4	0	34	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0

4.3. Probabilidad de movimiento

La probabilidad de movimiento relativa de los individuos entre el GoCa y las distintas áreas de la CoNor se estimó con los modelos de captura-recaptura conocidos como Multiestado, los cuales son una generalización del modelo Cormack-Jolly-Seber (Cooch y White, 2012).

Este parámetro se estima utilizando el método de máxima verosimilitud con base en una distribución multinomial.

La probabilidad de movimiento (Ψ) entre áreas está condicionada a la probabilidad de supervivencia (Φ) del tiempo i al tiempo $i + 1$, la cual se denomina como aparente ya que está condicionada, a su vez, por la probabilidad de encuentro (p), esto es, que el individuo se encuentre vivo y este representado en la muestra. Para estimar dicha probabilidad, se elaboró el historial de encuentro de los individuos desde 1992 a 2011. Este historial es una matriz de presencia/ausencia donde se denota con diferentes letras "A, B, C" cada ocasión en la que cada individuo fue foto-identificado en un área específica o con "0" si no se le foto-identificó (i.e. A000ACA000B0000). Dado que las fotografías se colectan en diferentes épocas del año, el periodo de colecta en el GoCa corresponde al tiempo de muestreo 1 (enero-abril) y en las diferentes áreas de la CoNoR (junio-noviembre) corresponde al tiempo 2, equivalentes a 40 periodos de muestreo.

La complejidad de los modelos Multiestado se incrementa con el número de áreas que se utilicen en combinación con los periodos de muestreo, lo que puede sesgar los resultados (Lebreton *et al.*, 2009). Debido a que el número de periodos de muestreo en este estudio es alto, no fue posible realizar una sola estimación combinando todo el periodo de estudio y las diferentes áreas. Por lo que la estimación se dividió en dos periodos de 1992 a 2001 y de 2002-2011.

Únicamente, las áreas de California Sur, Islas del Canal, Monterey y Farallones cuentan con un número considerable de individuos foto-identificados durante todos los años de muestreo (Apéndice 1). Entonces, para incluir a todos los individuos foto-identificados en las áreas más norteñas, se realizaron dos distintas estimaciones comparando el movimiento entre GoCa y las 4 áreas descritas, solo que en el segundo ejercicio se sumaron los individuos foto-identificados en áreas más norteñas (Oregon-Va y Mendocino) al grupo de datos del área de Farallones.

Para realizar la estimación se requiere sólo un avistamiento por individuo por área en cada tiempo de muestreo, sin embargo, algunos individuos avistados en la CoNor se observaron en más de un área durante un mismo periodo de muestreo. Con base en los registros de vocalizaciones y la información de marcas satelitales (Burtenshaw *et al.*, 2004; Bailey *et al.*, 2009), se sabe que el movimiento de las ballenas se da en forma progresiva de sur a norte en su viaje de retorno a la zona de alimentación. Por lo anterior, para la estimación de la probabilidad de movimiento se seleccionó el avistamiento en el área más norteña que los individuos hayan alcanzado en el mismo tiempo de muestreo.

Los parámetros a estimar dentro de este ejercicio son las probabilidad de supervivencia Φ , de movimiento Ψ y de encuentro p , los cuales pueden ser modelados como variables o constantes en relación al tiempo. El parámetro de interés principal en este caso es Ψ , por lo que Φ se estimó como constante e igual para las diferentes áreas. Ya que el número de recapturas entre áreas por año es muy bajo, Ψ se estimó como constante para cada área y p se modeló en función del tiempo (t), constante (.) y diferente por área (a) o constante e igual para las áreas.

Además de las 4 áreas que se utilizaron para estimar la probabilidad de movimiento, se integraron dos áreas virtuales, una de verano y otra de invierno. Ya que las ballenas no se observan en el GoCa durante el verano y en la CoNor

durante el invierno, la inclusión de dichas áreas fuerza al modelo a considerar que las ballenas no permanecen en el GoCa o la CoNor en las respectivas temporadas. El área de verano se añadió ya que si algunos individuos no se observaron durante el periodo de estudio en las distintas áreas de la CoNor, la probabilidad de movimiento hacia alguna de las otras áreas estaría sobre estimada. Para este caso, al no haber avistamientos en las áreas virtuales “p” se fijó en 0.

Para la elección del mejor modelo, aquel con mayor soporte por los datos observados, se utilizó el Criterio de Información de Akaike (CIAC). El modelo con el valor de CIAC menor es el que tiene mayor soporte. Adicionalmente, se obtuvo el valor Δ CIAC para verificar el soporte relativo de los modelos restantes con respecto al mejor modelo. Si el valor de Δ CIAC es menor a 2, se considera que los modelos tienen un soporte similar; si es mayor a 2 y menor que 7, indica que existe diferencias entre los modelos y un valor de Δ CIAC mayor a 7, indica que los modelos no tienen soporte en los datos observados (Burnham y Anderson, 2002).

Estos modelos se desarrollaron utilizando el lenguaje de programación “R” (R Development Core Team 2007) y el paquete RMark (Laake y Rexstad, 2008) como interface para el programa MARK V.8.0.

4.4 Estructura por sexo

Adicionalmente, para verificar si existe segregación en relación al sexo de los individuos, se calculó la proporción de sexo de las ballenas entre las distintas áreas.

4.5. Tasa de supervivencia.

La tasa de supervivencia aparente (de aquí en adelante supervivencia) se estimó por edad sólo para el grupo de individuos foto-identificados como crías en el Golfo de California, incluyendo sus foto-recapturas en la CoNor. Mientras que para el grupo de individuos “no crías” (debido a que se desconoce la edad pueden estar incluidos individuos jóvenes, adultos y senescentes) se utilizaron los datos de la población en general, tanto los individuos foto-identificados en el GoCa como en las diferentes áreas de la CoNor (desde California Sur hasta Oregon-Va). Para ambos análisis se seleccionaron los datos recolectados de enero a abril en el GC y de junio a noviembre en las diferentes áreas de la CoNoR y desde 1991 a 2012. Este periodo se seleccionó debido a que hubo una mayor representación de datos para las áreas mencionadas, principalmente para los individuos de edad conocida. Para realizar estas estimaciones se utilizó como base el modelo de captura-recaptura Cormack-Jolly-Seber (Lebreton *et al.*, 1992).

El grupo de edad conocida comprendió un total de 94 individuos que fueron foto-identificados como crías (edad aproximada entre 0 y 6 meses), aunque solo 34 de éstos fueron foto-recapturados en un tiempo posterior y el rango de edades fue de 1 a 18 años. Dado el escaso número de datos, no fue posible estimar la supervivencia para edades específicas. Considerando que la supervivencia en individuos jóvenes presenta variaciones mayores que en adultos y que la edad de madurez sexual para las ballenas azules ocurre, aproximadamente, a los ~10 años (Yochem y Leatherwood, 1985; Trumble *et al.*, 2013), la supervivencia se estimó para tres grupos o clases de edad: 0-1 año, 1-10 y 10-18 años.

La supervivencia de individuos jóvenes puede verse afectada por diferentes factores, entre estos la escasez de alimento (Bowyer, 1991; Côté y Festa-bianchet, 2001). Durante la ocurrencia del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), la productividad marina disminuye en general resultando en una reducción en la abundancia de las principales presas de las ballenas azules (Lavaniegos, 1987, Benson *et al.*, 2002; Kahru *et al.*, 2004, Marinovich *et al.*,

2002). Por tal motivo se plantea que este fenómeno podría afectar la supervivencia, particularmente, durante el primer año de edad, cuando el crecimiento implica un alto costo energético. Por lo anterior, la supervivencia del grupo de 0-1 año se modeló en función una variable alterna que es el Índice Multivariado del ENOS (IME, <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/data>).

En cuanto a la probabilidad de encuentro, se modeló como constante y variable en función del tiempo. Finalmente, se ajustaron 4 modelos para estimar la supervivencia por grupo de edad a partir de individuos con edad conocida (Tabla 5.)

Tabla 5. Lista de modelos ajustados para la estimar de la probabilidad de supervivencia aparente (Φ) para el grupo de edad conocida de ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California y sus recapturas con la costa oeste de Norteamérica. (3e): tres clases de edad de 0-1, 1-10 y 10-18 años; (1e + ime): tres clases de edad, estimando la supervivencia de la clase de 0-1 año en función del Índice Multivariado del ENOS. Probabilidad de encuentro: $p(.) = \text{constante}$ ó $p(t) = \text{variable en el tiempo}$.

Modelos	
ϕ (3e)	p (.)
ϕ (1e + ime)	p (.)
ϕ (3e)	p (t)
ϕ (1e + ime)	p (t)

Para estimar la tasa de supervivencia para el grupo de “no crías” se utilizó información de 1833 individuos. Uno de los supuestos subyacentes de los modelos de captura-recaptura, es que los individuos tienen la misma probabilidad de supervivencia entre periodos de muestreo, es decir que no existe heterogeneidad entre individuos (Seber, 1982; Pollock *et al.*, 1990), lo cual generalmente no ocurre. Del total de individuos en el grupo de “no crías” el 46% (842) se identificó sólo una vez durante el periodo de estudio, razón por la que se les denominó transeúntes; el que este grupo de individuos no se les haya encontrado durante el muestreo, no implica necesariamente que hayan muerto.

Sin embargo, este es un factor de heterogeneidad que ocasiona una subestimación en la tasa de supervivencia. Para contrarrestar el efecto de este factor, se utilizaron modelos conocidos como “Tiempo desde el marcado”, (Time since marking; Pradel *et al.*, 1997; Belda *et al.*, 2007), en los que la probabilidad de supervivencia se estima en dos clases por separado los individuos transeúntes (tr) y los que se identificaron en más de una ocasión (no transeúntes). La probabilidad de encuentro (p), se modeló en función del esfuerzo de muestreo (esf) en días (Tabla 6), como variable en el tiempo (t) o se designó como constante (.) en el tiempo. Además, ya que se ha observado que los movimientos de las ballenas azules se alteran durante la ocurrencia del fenómeno de El Niño (Burtenshaw *et al.*, 2004), la probabilidad de encuentro también se modeló en relación a los promedios semestrales del índice multivariado del ENOS (ime) (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/data>).

Tabla 6. Esfuerzo de muestreo (días) en el Golfo de California (GoCa) y desde California Sur hasta Oregon-Va (CoNor).

Año	GoCa	CoNor
1991	7	35
1992	1	73
1993	23	60
1994	32	64
1995	32	87
1996	24	94
1997	22	100
1998	29	87
1999	31	71
2000	42	78
2001	40	104
2002	37	101
2003	41	84
2004	42	74
2005	58	83
2006	68	88
2007	42	101
2008	20	98
2009	74	83
2010	37	108
2011	40	108

Debido a que solo se cuenta con datos de sexo para los individuos foto-identificados en el Golfo de California, para estimar la tasa de supervivencia se utilizó el historial de avistamientos en esta área, y se utilizaron datos desde 1991 a 2012. La supervivencia se estimó por sexo (s) y también consideraron por separado a los individuos transeúntes (tr). En la tabla 7 se muestra la lista de modelos y variables utilizadas.

Tabla 7. Lista de modelos ajustados para la estimación de la probabilidad de supervivencia aparente (Φ) y la probabilidad de encuentro (p) para las ballenas azules de sexo conocido foto-identificadas en el Golfo de California.

Modelos		
Φ		
1	tr	Hembras y machos en un solo grupo, separando a individuos transeúntes
2	s + tr	Hembras y machos en grupos diferentes, separando individuos transeúntes
3	s	Hembras y machos, sin separar a individuos transeúntes
4	1	Un grupo sin separar transeúntes
p		
1	s	Diferente por grupo de sexo y constante en el tiempo
2	s + t	Diferente por grupo de sexo y variable en el tiempo
3	t	Variable en el tiempo
4	1	Constante
5	esf	Esfuerzo de muestreo
6	ime	Índice multivariado del ENOS

De igual forma, se utilizó el CIAC para la selección del mejor modelo. Adicionalmente, se realizó una prueba de bondad de ajuste (median c-hat, ver glosario), para verificar que el modelo más general (Φ s + tr, p s + t), con el mayor número de parámetros, se ajuste razonablemente a los datos. Un valor de c-hat < 3 indica que la estructura del modelo tiene un buen ajuste por lo que se considera adecuado utilizar ese modelo. Si el valor de c-hat es diferente de 1, los valores de CIAC que se obtengan de los modelos son ajustados al valor de c-hat que se obtenga (QCIAC). Adicionalmente, se obtuvo el peso de cada modelo que indica el soporte relativo de cada uno en relación al mejor (Cooch y White, 2012).

5. RESULTADOS

5.1. Destinos migratorios.

5.1.1. Golfo de California vs costa oeste de Norteamérica.

En el GoCa se identificaron 604 individuos en una o más ocasiones durante el periodo de estudio. De éstos, sólo 266 (44%) tuvieron 1 o más foto-recapturas en las diferentes áreas en la CoNor, exceptuando la zona más norteña donde no hubo ninguna (Tabla 8). El número de individuos foto-recapturados en las distintas áreas fue diferente, destacando Islas del Canal con el porcentaje mayor. En contraste, el porcentaje de individuos del GoCa en relación al total de ballenas identificadas en cada área, fue mayor en Oregon-Va y la P. Baja California y menor en Farallones (Tabla 8).

Tabla 8. Número de individuos identificados (ID) en cada área de la costa oeste de Norteamérica y las foto-recapturas (Rec) con individuos del Golfo de California y su porcentaje (%n=604); área/GoCa=porcentaje de individuos del Golfo de California en relación al total de individuos identificados por área.

	Área	ID	Rec	% (n=604)	% Área/GoCa
1	P. Baja California	157	41	6.8	26.1
2	California Sur	698	126	20.9	18.1
3	Islas del Canal	1111	210	34.8	18.9
4	Monterey	497	92	15.2	18.5
5	Farallones	563	75	12.4	13.3
6	Mendocino	118	19	3.1	16.1
7	Oregón	9	3	0.5	33.3
8	Va-Alaska	10	0	0.0	0.0

De los 266 individuos del GoCa, el 38% se identificó 1 o más veces en una sola área de la CoNor durante el periodo de estudio, destacando nuevamente Islas del Canal (Tabla 9). Sin embargo, el 62% se foto-identificó en dos o más áreas, por este motivo el porcentaje total en la tabla 9 (columna % (n=266) es mayor al 100%. De los individuos foto-identificados en dos o más áreas, la mayoría ocurrió entre áreas continuas con un porcentaje mayor entre California Sur e Islas del Canal (Tabla 9).

De los 94 individuos foto-identificados sólo en un área, desde California Sur hasta Mendocino (Tabla 9), 27 tuvieron desde 2 hasta 6 foto-recapturas en diferentes años. Cabe destacar que 7 de los individuos del GoCa tuvieron foto-recaptura solo con la P. Baja California y ninguna con las otras áreas en la CoNor.

Tabla 9. Número de individuos (ID) del Golfo de California que fueron foto-recapturados en una o más áreas a lo largo de la costa oeste de Norteamérica: P. Baja California (1), California Sur (2), Islas del Canal (3), Monterey (4), Farallones (5), Mendocino (6), Oregon-Va (7). ID*=Número de individuos con más de una foto-recaptura en la misma área; Rec= Número de foto-recapturas en diferentes años de ID*.

	ID	% (n=266)	ID*	Rec
1 Área				
1	7	2.6		
2	23	8.6	10	2-4
3	57	21.4	23	2-6
4	7	2.6	1	3
5	7	2.6	2	2-6
Total	101	38.0	36	
2 áreas				
1, 2	3	1.1		
1, 3	3	1.1		
1, 5	1	0.4		
2, 4	4	1.5		
2, 5	1	0.4		
2, 3	52	19.5		
3, 7	1	0.4		
3, 4	15	5.6		
3, 5	10	3.8		
3, 6	2	0.8		
4, 5	4	1.5		
5, 6	1	0.4		
Total	97	36.5		
3 áreas	42	15.8		
4 áreas	20	7.5		
5 áreas	6	2.3		

5.1.1.1. Probabilidad de movimiento, Golfo de California vs costa oeste de Norteamérica.

La probabilidad de movimiento relativa se estimó entre el GoCa y California Sur, Islas del Canal, Monterey y Farallones en los periodos de 1992 a 2001 y de 2001 a 2011. Para cada estimación se usaron 4 modelos con la misma estructura, solo la probabilidad de encuentro fue diferente por área y variable en el tiempo. El modelo 1 en todos los casos fue el único cuyo valor de ΔCI_{Ac} fue menor a 1 y comprendió el peso total en la estimación (Tabla 10).

Durante el primer periodo (1992-2001) la probabilidad de movimiento fue mayor hacia California Sur y decreció progresivamente hacia las áreas más norteñas, destacando los valores más bajos para Monterey y Farallones (Fig. 5). En la segunda estimación incluyendo datos de áreas más norteñas se observa el mismo patrón de movimiento aunque hubo diferencias en los valores, principalmente hacia California Sur.

En el segundo periodo, 2001 a 2011, la probabilidad de movimiento hacia California Sur disminuyó, en Islas del Canal fue similar al primer periodo y en Farallones incrementó. Al incluir los datos de áreas más norteñas, la probabilidad de movimiento disminuye hacia Islas del Canal e incrementa en Monterey y Farallones (Fig. 5).

Tabla 10. Modelos ajustados para estimar la probabilidad de movimiento (Ψ) y de encuentro (p) de los individuos de ballena azul foto-identificados en el Golfo de California vs California Sur, Islas del Canal, Monterey y Farallones, en los periodos de 1992 a 2001 y de 2002 a 2011. CIAC=Criterio de Información de Akaike, Par=número de parámetros; (.)=parámetro constante e igual para las áreas; a=parámetro constante diferente para cada área, t=parámetro variable en tiempo igual para las áreas; a + t=parámetro variable en el tiempo para cada área; 4 áreas++ indica que los datos de áreas más norteñas se sumaron con los de Farallones.

No. Mod.	Ψ	p	Par	CIAC	Δ CIAC	Peso
1992-2001						
4 áreas						
1	a	a + t	36	9268.4	0.0	1.0
2	a	t	33	9394.1	125.7	0.0
3	a	a	19	9403.3	134.9	0.0
4	a	.	15	9438.9	170.5	0.0
2002-2011						
4 áreas						
1	a	a + t	36	12318.3	0.0	1.0
2	a	t	33	12397.4	79.2	0.0
3	a	a	19	12530.3	212.1	0.0
4	a	.	15	12573.8	255.5	0.0
1992-2001						
4 áreas++						
1	a	a + t	36	9345.2	0.0	1
2	a	t	33	9461.2	116.1	0
3	a	a	19	9470.0	124.8	0
4	a	.	15	9509.3	164.2	0
2002-2011						
áreas++						
1	a	a + t	36	12849.1	0.0	1
2	a	t	33	12935.0	85.9	0
3	a	a	19	13040.2	191.1	0
4	a	.	15	13085.1	236.0	0

La probabilidad de movimiento conjunta hacia las 4 áreas fue menor a 0.5 en ambos periodos, aún con la inclusión de datos de zonas más norteñas. Esto se refleja en la probabilidad estimada para el área virtual que comprende a las ballenas del GoCa que no fueron foto-identificadas en las 4 áreas en los distintos periodos (Fig. 5). Además, la probabilidad de movimiento a las 4 áreas disminuye del primero al segundo periodo ó en sentido inverso, la probabilidad estimada para el área virtual incrementa.

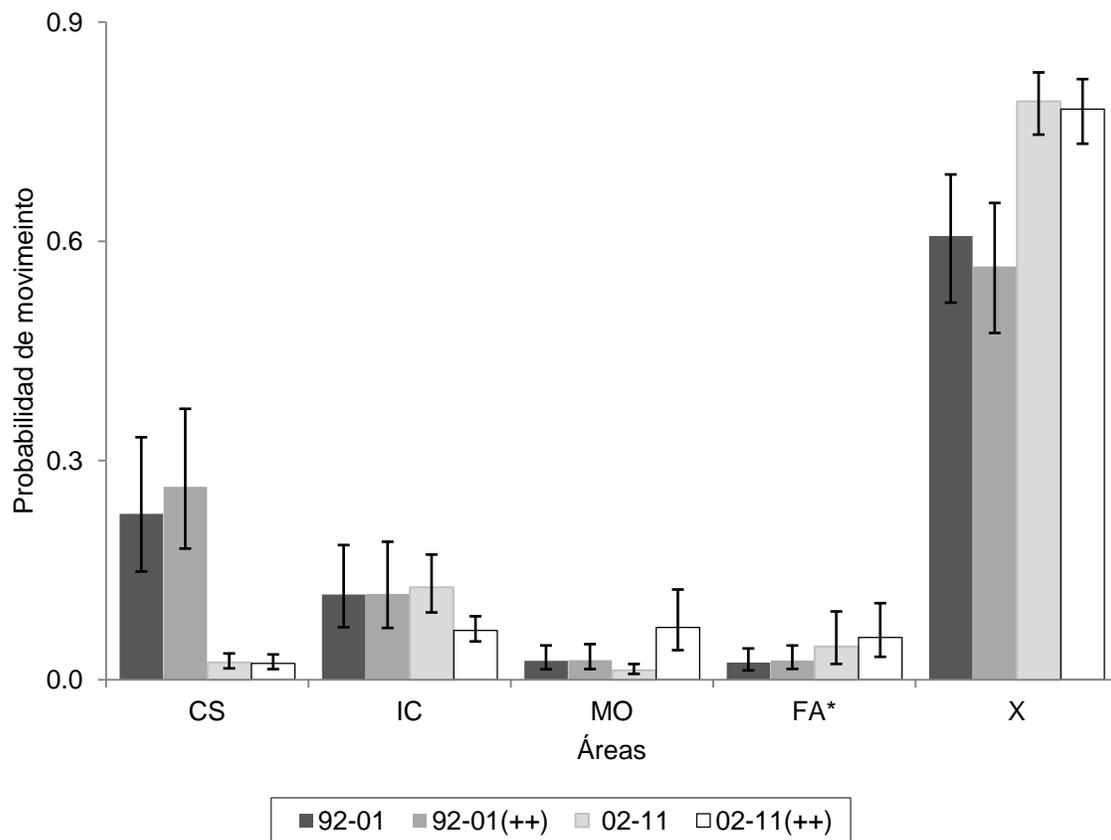


Figura 5. Probabilidad de movimiento de individuos de ballena azul entre el Golfo de California y California Sur (CS), Islas del Canal (IC), Monterey (MO), Farallones (FA) y área de verano virtual (X) durante los periodos 1992-2001 y 2002-2011. Los signos (++) indican que las estimaciones se realizaron con los datos de áreas más norteñas sumados a los datos de Farallones.

5.1.2. Península de Baja California vs costa oeste de Norteamérica

De los individuos de ballena azul foto-identificados en la P. Baja California (157) solo 84 (53.5%) tuvieron foto-recaptura con una o más de las otras áreas de la CoNor, excepto las dos áreas más norteñas donde no hubo foto-recaptura. De igual forma que los individuos provenientes del GoCa la mayoría de las foto-recapturas ocurren con Islas del Canal. Debido al reducido número de individuos foto-identificados en esta área no fue posible estimar la probabilidad de movimiento (Tabla 11).

Tabla 11. Número de individuos identificados (ID) en cada área de la costa oeste de Norteamérica y las foto-recapturas (Rec) con individuos de la P. Baja California y su porcentaje (%n=157); Área/BA= porcentaje de individuos de la P. Baja California en relación al total de individuos identificados por área.

	Área	ID	Rec	% (n=157)	% Área/ BA
1	California Sur	698	45	28.7	6.4
2	Islas del Canal	1111	61	38.9	5.5
3	Monterey	497	39	24.8	7.8
4	Farallones	563	38	24.2	6.7
5	Mendocino	118	2	1.3	1.7
6	Oregon-Va	9	0	0.0	0.0
7	Va-Alaska	10	0	0.0	0.0

5.1.3. Golfo de California vs Domo de Costa Rica y Galápagos/Perú

De los 604 individuos de ballena azul foto-identificados en una o más ocasiones en el GoCa, sólo 7 (1.2%) tuvieron foto-recaptura con los individuos foto-identificados en el Domo de Costa Rica (101). Cabe destacar que 5 de estos individuos no tuvieron foto-recaptura con ninguna de las áreas en la CoNor.

Por otra parte, en Perú-Galápagos se identificaron 39 individuos y de estos no se encontró ninguna recaptura con los individuos del GoCa.

5.2. Proporción de sexos

La proporción de sexos (Hembra:Macho) estuvo sesgada hacia las hembras en todas las áreas, incluyendo el GoCa. La mayor proporción de hembras se observó en la P. Baja California y la menor en Islas del Canal y, esta última, fue similar a la observada en el GoCa (Tabla 12).

Tabla 12. Número de hembras (H) y machos (M) de ballena azul del GoCa foto-recapturados en las diferentes áreas de la CoNor desde 1970 hasta 2011.

	Área	Hembras	Machos	Proporción (H:M)
1	GoCa	203	151	1.3:1
2	P. Baja California	31	11	2.8:1
3	California Sur	80	44	1.8:1
4	Islas del Canal	97	73	1.3:1
5	Monterey	52	25	2.1:1
6	Farallones	43	23	1.9:1
7	Mendocino	8	4	2.0:1
8	Oregon-Va	2	0	

5.3 Tasa de supervivencia

5.3.1. Grupo de edad conocida

De los 94 individuos de edad conocida, únicamente 34 tuvieron una o más foto-recapturas en tiempo posterior, 19 de estos últimos se foto-recapturaron únicamente en el GoCa en 1 y hasta 7 ocasiones en años diferentes. La prueba de bondad de ajuste ($c\text{-hat}$) para el modelo más general (núm. 3, Tabla 13) tuvo un valor de 1.52 y los 4 modelos fueron ajustados a dicho valor (QCIAC).

El mejor modelo (no.1, Tabla 13) indica que la probabilidad de supervivencia varía en las tres clases de edad y que la probabilidad de encuentro no mostró efectos en el tiempo. El modelo 2 que incluye el efecto de la variable ambiental (Índice multivariado del IME) en la supervivencia de individuos de 0-1 año de edad tuvo un valor $\Delta\text{QCIAC} > a 7$, lo que indica que no tuvo soporte por los datos observados; no obstante, los resultados indican que comprende 0.01 del peso.

Tabla 13. Lista de los 4 modelos ajustados para la estimación de la tasa de supervivencia aparente (Φ) y la probabilidad de encuentro para el grupo de edad conocida de ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California y sus recapturas con la costa oeste de Norteamérica. La descripción de los modelos se muestra en la tabla 5.

No. Mod.	Modelos	Par	QCIAC	ΔQCIAC	Peso
1	ϕ (3e) p (.)	4	342.7	0	0.99
2	ϕ (1e + ime) p (.)	4	351.5	8.8	0.01
3	ϕ (3e) p (t)	24	356.92	14.22	0
4	ϕ (1e + ime) p (t)	24	366.09	23.39	0

La supervivencia estimada para las distintas clases de edad se muestra en la tabla 14. La supervivencia de individuos de 0 a 1 año fue más baja que individuos juveniles y para el grupo de edad de 10-18 años no fue estimable (ver discusión).

Tabla 14. Tasa de supervivencia aparente (Φ) para el grupo de edad de ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California. EE= Error Estándar.

	Φ	EE	Intervalo
0-1	0.545	0.077	0.394-0.688
1-10	0.958	0.026	0.863-0.988

5.3.2. Grupo de individuos “no crías”

Para estimar la supervivencia general de los individuos “no crías”, se ajustaron en total 8 modelos (Tabla 15). El modelo más general (Φ (tr), p (t)) obtuvo un valor de la prueba c-hat de 2.3, por lo que los modelos en la tabla fueron ajustados a ese valor. El mejor modelo comprendió el peso total e indica que los efecto de los individuos transúntes en la supervivencia.

Tabla 15. Lista de los 8 modelos ajustados para la estimación de la tasa de supervivencia aparente (Φ) y la probabilidad de encuentro (p) de las ballenas azules “no crías” foto-identificadas en el Pacífico Noreste. Par=número de parámetros. tr= 2 grupos transeúntes y no transeúntes, 1=individuos “no crías” sin efecto de los transeúntes, p(t)=variable en el tiempo, (esf)=esfuerzo de muestreo, (ime)=índice multivariado del ENOS, (.)=constante en el tiempo.

	Modelo		Par	QCIAc	Δ QCIAc	Peso
	Φ	P				
1	s + tr	s + t	46	17173.1	0.0	0.97
2	tr	s + t	44	17179.9	6.8	0.03
3	s + tr	T	44	17370.0	196.8	0.0
4	s	s + t	45	17392.9	219.8	0.0
5	.	s + t	43	17401.8	228.7	0.0
6	tr	t	42	17417.1	244.0	0.0
7	s + tr	s + esf	8	17470.8	297.7	0.0
8	tr	s + esf	6	17477.3	304.2	0.0
9	s	t	43	17633.4	460.3	0.0
10	s + tr	esf	6	17667.4	494.3	0.0
11	s	s + esf	7	17672.3	499.2	0.0
12	.	s + esf	5	17680.1	507.0	0.0
13	.	t	41	17700.4	527.3	0.0
14	tr	esf	4	17712.9	539.8	0.0
15	s	esf	5	17913.6	740.5	0.0
16	.	esf	3	17977.4	804.3	0.0
17	s + tr	s + ime	8	18862.2	1689.1	0.0
18	s + tr	s	6	18870.2	1697.1	0.0
19	tr	s + ime	7	18870.5	1697.3	0.0
20	tr	s	5	18878.7	1705.6	0.0
21	s + tr	ime	6	19052.8	1879.7	0.0
22	s + tr	.	5	19061.0	1887.8	0.0
23	s	s + ime	7	19072.7	1899.6	0.0
24	.	s + ime	5	19082.3	1909.2	0.0
25	s	s	6	19084.3	1911.2	0.0
26	.	s	4	19094.3	1921.2	0.0
27	tr	ime	4	19103.8	1930.7	0.0
28	tr	.	3	19112.4	1939.3	0.0
29	s	ime	5	19314.4	2141.3	0.0
30	s	.	4	19325.9	2152.8	0.0
31	.	ime	3	19385.1	2211.9	0.0
32	.	.	2	19397.4	2224.3	0.0

La supervivencia estimada para individuos “no crías” fue de 0.966 (IC=0.960-0.971). Como se esperaba, los modelos que estiman la supervivencia sin incluir el efecto de los individuos transeúntes, no tuvieron soporte en los datos observados.

La probabilidad de encuentro de los individuos fue variable en el tiempo (Fig. 6) y los modelos que incluyen el efecto de la variable ambiental (Índice Multivariado del ENSO) y el esfuerzo de muestreo en la probabilidad de encuentro no tuvieron soporte por los datos observados.

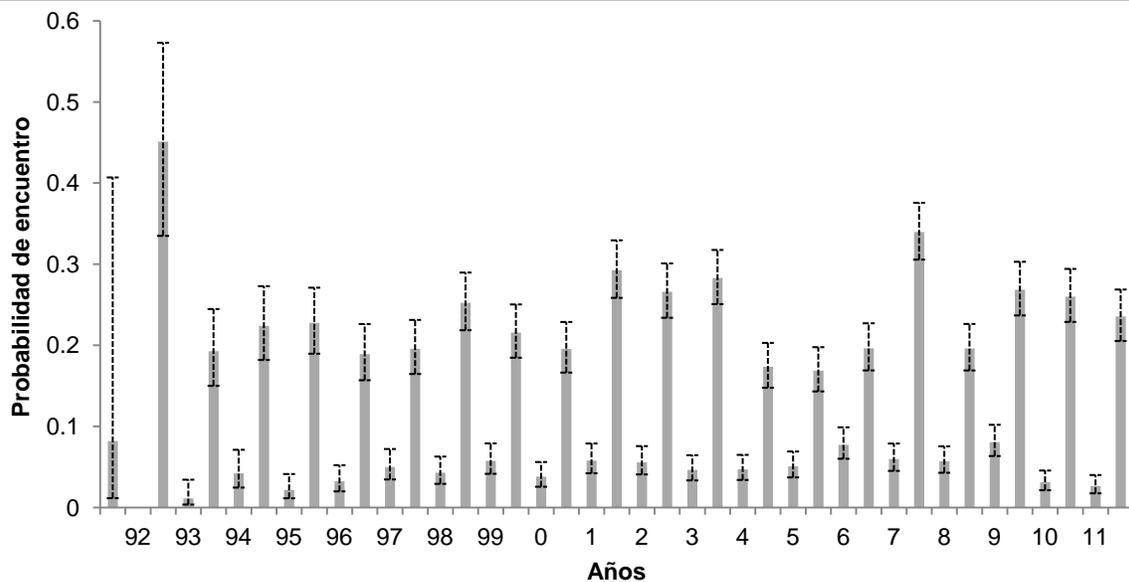


Figura 6. Probabilidad de encuentro estimada para los individuos “no crías” foto-identificadas en el Golfo de California (años debajo de las columnas en el gráfico) y desde California hasta Alaska (columnas que no tiene escrito el año). La probabilidad encuentro para el año 1992 en el Golfo de California no fue estimada dado que no hubo ninguna foto-recaptura.

5.3.3. Grupo de sexo conocido-Golfo de California

Se ajustaron 24 modelos (Tabla 16) para estimar la supervivencia por sexo, únicamente de los individuos foto-identificados en el Golfo de California. El modelo más general (Φ (s + tr), p (s + tr)) obtuvo un valor de la prueba c-hat de 1.19, por lo que los modelos en la tabla fueron ajustados a ese valor. El mejor modelo comprendió 61% del peso total e indica que no hay diferencias entre sexos en la supervivencia, aunque si hay un efecto por parte de los individuos transeúntes. No obstante, el segundo mejor modelo con $\Delta QCIAC > 2$ y un 36% del peso si indica diferencias entre sexos. Los resultados de ambos modelos se muestran en la tabla 17.

Tabla 16. Lista de los 24 modelos ajustados para la estimación de la tasa de supervivencia aparente (Φ) y la probabilidad de encuentro (p) por sexo de las ballenas azules foto-identificadas en el Golfo de California. Par=número de parámetros, La definición de las variables en cada modelo se describe en la tabla 7.

No. Modelo	Modelos		Par	QCIAC	$\Delta QCIAC$	Peso
1	Φ (tr)	p (s + t)	24	4436.0	0.0	0.61
2	Φ (s + tr)	p (s + t)	25	4437.0	1.0	0.36
3	Φ (s + tr)	p (t)	24	4443.1	7.1	0.02
4	Φ (tr)	p (t)	23	4444.6	8.6	0.01
5	Φ (1)	p (s + t)	23	4464.9	28.9	0.00
6	Φ (s)	p (s + t)	24	4465.6	29.7	0.00
7	Φ (s)	p (t)	23	4472.7	36.7	0.00
8	Φ (1)	p (t)	22	4475.3	39.3	0.00
9	Φ (tr)	p (s)	4	4520.5	84.6	0.00
10	Φ (s + tr)	p (s)	5	4521.3	85.3	0.00
11	Φ (s + tr)	p (.)	4	4526.2	90.2	0.00
12	Φ (s + tr)	p (ime)	5	4526.8	90.8	0.00
13	Φ (s + tr)	p (esf)	5	4528.1	92.1	0.00
14	Φ (tr)	p (.)	3	4528.2	92.3	0.00
15	Φ (tr)	p (ime)	4	4528.8	92.8	0.00
16	Φ (tr)	p (esf)	4	4530.2	94.2	0.00
17	Φ (1)	p (s)	3	4541.2	105.2	0.00
18	Φ (s)	p (s)	4	4541.6	105.6	0.00
19	Φ (s)	p (.)	3	4547.1	111.1	0.00
20	Φ (s)	p (ime)	4	4547.7	111.7	0.00
21	Φ (s)	p (esf)	4	4548.9	112.9	0.00
22	Φ (1)	p (.)	2	4550.2	114.2	0.00
23	Φ (1)	p (ime)	3	4550.8	114.8	0.00
24	Φ (1)	p (esf)	3	4552.1	116.1	0.00

Tabla 17. Tasa de supervivencia (Φ) para hembras, machos e individuos de sexo no conocido de ballena azul foto-identificados en el Golfo de California. EE= Error Estándar. Ambos sexos=resultados obtenidos con el modelo 1, tabla 16 para ambos sexos en conjunto; hembras y machos=resultados obtenidos con el modelo 2.

	Φ	EE	Intervalo
Ambos sexos	0.981	0.003	0.971 – 0.987
Hembras	0.983	0.003	0.973 - 0.989
Machos	0.978	0.019	0.964 - 0.986

La probabilidad de encuentro fue variable en el tiempo, es diferente entre sexos y fue mayor para las hembras (Fig. 7). Los modelos que incluyen el efecto de la variable ambiental (IME) y el esfuerzo de muestreo en la probabilidad de encuentro no tuvieron soporte por los datos observados.

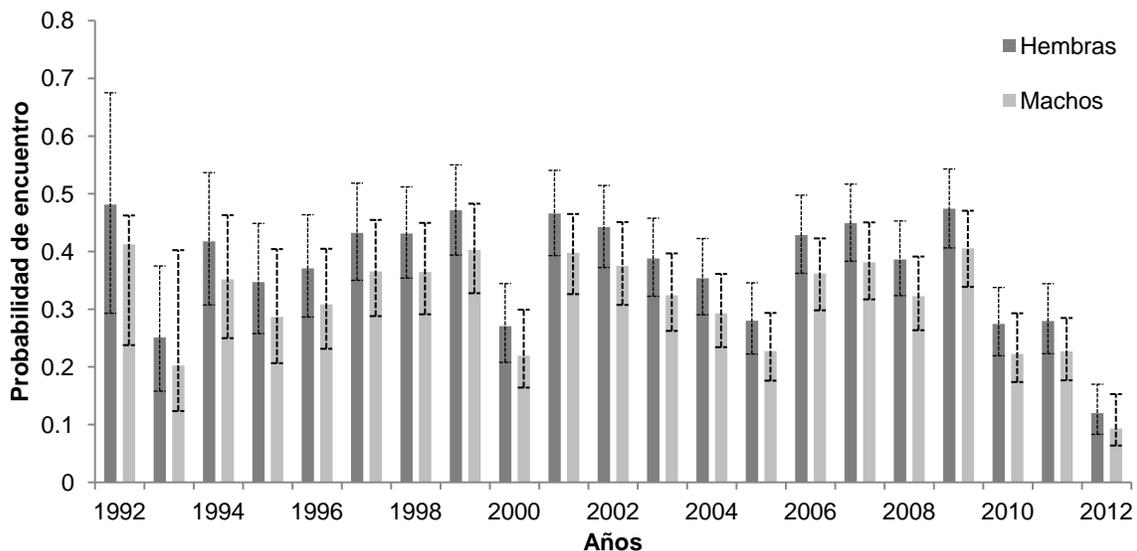


Figura 7. Probabilidad de encuentro estimada para hembras y machos de ballena azules foto-identificadas en el Golfo de California

6. DISCUSIÓN.

La información de la estructura de las poblaciones y los parámetros demográficos es necesaria para la implementación de estrategias de manejo y conservación. Este tipo de estudios requiere de información de los individuos y su seguimiento a través del tiempo, para lo cual, en especies silvestres, se utiliza el método de muestreo de captura-recaptura. El presente es el primer estudio cuantitativo de la estructura intra-poblacional de las ballenas azules del Pacífico Noreste con base en los destinos migratorios de las ballenas foto-identificadas en un área de invernación (GoCa) hacia el área de alimentación en verano-otoño (CoNor). Adicionalmente, se utilizó el historial de foto-identificación de las ballenas azules para estimar la tasa de supervivencia de la población general, por sexo y por grupo de edad.

6.1 Destinos migratorios y probabilidad de movimiento.

El 44% (n=266) de los individuos del GoCa (n=604) foto-recapturados en la CoNor hacen uso de casi todas las áreas, lo cual indica que no conforman un grupo discreto separado del resto de la población. No obstante, se observa una preferencia hacia las áreas más sureñas, Islas del Canal y California Sur (Tabla 8). Incluso hay individuos que no han sido recapturados en zonas más norteñas a Islas del Canal (Tabla 9). También, se observó que el 38% (n=266) se foto-recapturaron sólo en un área una o más veces en diferentes años, lo cual indica fidelidad a áreas específicas.

La fidelidad a áreas específicas implica que un mismo grupo de individuos están expuestos a las condiciones ambientales y las amenazas potenciales que ocurran en cada área. En California Sur e Islas del Canal, las actividades militares que utilizan sonares de baja frecuencia alteran el comportamiento de alimentación de las ballenas azules (Goldbogen *et al.*, 2013). Además, el tráfico marítimo y, por

consecuencia, las colisiones con las embarcaciones que han ocurrido en estas áreas (Berman-Kowalewski *et al.*, 2010) indican que son áreas con alteraciones antropogénicas desfavorables para esta especie. No obstante, un estudio sobre el impacto de las colisiones en la tendencia y el estatus poblacional de las ballenas azules de Pacífico Noreste indican que éstos serían mínimos al menos a corto plazo (Monnahan *et al.*, 2014), aunque se estima que las colisiones que ocurren están por arriba de los límites legales (Redfern *et al.*, 2013),

La información de las recapturas entre el GoCa y la CoNor se obtuvo con el número acumulado total de individuos foto-identificados en cada una de las áreas durante todo el periodo de estudio. Por otra parte, la estimación de la probabilidad de movimiento toma en cuenta las foto-recapturas que ocurren en diferentes años, para el primer periodo (1992-2001) esta probabilidad fue mayor hacia áreas más sureñas, un patrón similar observado con el porcentaje mayor de foto-recapturas en esas mismas áreas; aunque la probabilidad de movimiento fue mayor para California Sur (Fig. 5). En el segundo periodo (2002-2011) la probabilidad de movimiento disminuyó considerablemente hacia California Sur e incrementó en Farallones. Además, dicho incremento fue más notorio al incluir los datos de Mendocino y Oregón. De manera similar que los datos de recapturas totales, destaca el área de Islas del Canal donde las probabilidades de movimiento estimadas presentaron variaciones mínimas durante ambos periodos. En conjunto, la probabilidad de movimiento hacia las 4 áreas (California Sur, Islas del Canal, Monterey y Farallones) disminuye del primero al segundo periodo (Fig. 5).

Una causa posible de la disminución en la probabilidad de movimiento de las ballenas, del primer al segundo periodo, podría relacionarse con la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP). Ésta es una fluctuación climática de largo período (~20, 30 años) que afecta al Océano Pacífico Norte y costa oeste de Norteamérica a partir de los 20°N. En general, este fenómeno consta de una fase positiva o cálida y se caracteriza por un debilitamiento en las surgencias e incremento de la temperatura superficial del mar y viceversa durante la fase negativa o fría; los

efectos son más conspicuos en las zonas más norteñas como el Golfo de Alaska (Mantua *et al.*, 1997; Hare y Mantua, 2000). Además, se ha reportado una disminución del eufaúsido *Euphausia pacifica*, en California sur y Central en relación a éste fenómeno (Brinton y Townsend, 2003), una de las principales presas de las ballenas azules en esta región (Fiedler *et al.*, 1998; Croll *et al.*, 2005).

La hipótesis del cambio de distribución asociado a la ODP se planteó anteriormente, con base en las foto-recapturas recientes de ballenas azules entre California, British Columbia y el Golfo de Alaska (Calambokidis *et al.*, 2009a). En estas áreas previas de caza se han reportado muy pocos avistamientos desde 1970 (Calambokidis *et al.*, 2009a). Esta hipótesis también se plantea en relación al incremento en la abundancia de ballenas azules reportado en la costa de California entre 1979 y 1991 de 470 a 1872 ballenas (Barlow, 1994), coincidiendo con el cambio de la fase fría a la cálida y que empezó a ocurrir en el año 1977. Posteriormente, la abundancia estimada de ~1900 ballenas en los años 1991, 1993 y 1996 disminuyó a ~600 en 2001-2005, coincidiendo nuevamente con el cambio inverso de la fase cálida a la fría que ocurrió en el año 1998 (Barlow y Forney, 2007).

Los periodos de estudio 1992-2001 y 2002-2011, no coinciden exactamente con los cambios de fases del ODP. Aunque durante el primer periodo el índice del ODP (<http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>) indica condiciones, predominantemente cálidas y la probabilidad de movimiento fue mayor hacia las áreas más sureñas. Y durante el segundo periodo, aunque se presentaron condiciones cálidas de 2003 a 2007, las condiciones de la fase fría fueron predominantes. Lo que podría explicar la disminución de la probabilidad de movimiento hacia, California Sur, Islas del Canal y el incremento notable hacia Farallones al incluir los datos de Mendocino y Oregon-Va. Incluso, los individuos foto-identificados en Oregon-Va se registraron de 2003 en adelante.

6.2 Área de alimentación en verano.

De los individuos del GoCa el 56% no tuvo ninguna foto-recaptura en las distintas áreas de la CoNor durante todo el periodo de estudio. Cabe resaltar que la probabilidad de encuentro de los individuos es baja (Fig. 6), y el tamaño de muestra que se colecta por año (Tabla 2) también es bajo, en relación al número de individuos que se estima para la CoNor (~2000) por lo que algunos de estos, simplemente, pueden no haberse visto durante el periodo de estudio aunque estuvieran presentes en el área. Además, es posible que algunos de estos individuos hayan muerto.

Sin embargo, hasta el momento, se considera como área principal de alimentación de la población de ballena azul del Pacífico Noreste, a la costa oeste de Estados Unidos, principalmente frente a California (Rice, 1974; Calambokidis *et al.*, 1990; Fiedler *et al.*, 1998; Calambokidis y Barlow, 2004). No obstante, diversos autores han planteado que el área fuera de la P. Baja California, pudiera formar parte del área de alimentación durante el verano, aunque se ha realizado muy poco esfuerzo de foto-identificación. En esta área se reportaron ballenas azules alimentándose en la zona costera durante la migración desde el GoCa hacia el norte entre abril y junio, además de que se detectaron ballenas azules en verano y otoño en la zona oceánica fuera de la P. Baja California (Gendron, 2002). Por otro parte, dos ballenas azules a las que se colocaron marcas satelitales durante su estancia en el GoCa, permanecieron fuera de la P. Baja California hasta octubre, cuando, en teoría, ya deberían estar en su área de alimentación (Bailey *et al.*, 2009). Además, se estimó un número de ~1000 individuos de julio a noviembre, principalmente en la zona oceánica frente a P. Baja California (Calambokidis y Barlow, 2004). Esta región presenta una gran concentración de frentes persistentes todo el año que se originan por la confluencia de la Corriente de California y la Corriente de Davidson (Etnoyer *et al.*, 2004). Este sistema de frentes es una de las pocas áreas con estas condiciones en el Pacífico Noreste y

que es una zona de alimentación de varias especies pelágicas incluyendo a la ballena azul (Etnoyer *et al.*, 2004).

Aunque existe la posibilidad de que los individuos en el GoCa simplemente no se hayan foto-identificado en las área de la CoNor, los resultados obtenidos en este estudio apoyan la hipótesis de que el área frente a la costa occidental de la P. Baja California podría ser una zona de alimentación para las ballenas azules del Pacífico Noreste durante el verano. El número de ballenas foto-identificadas en el área fue de 157, de los cuales el 47% no tuvo foto-recaptura en ninguna de las áreas más norteñas (Tabla 11). Adicionalmente, de las ballenas del GoCa, 7 se foto-recapturaron solo en esta área.

Por otra parte, el porcentaje de recapturas comprende individuos foto-identificados desde 1979, es posible que algunos de los individuos hayan muerto. Sin embargo, de los individuos del GoCa no foto-recapturados de California Sur hacia las zonas más norteñas, 85 corresponden a individuos que se han foto-identificado entre 2 y 10 ocasiones en diferentes años el GoCa. Por ejemplo, 14 individuos son hembras en edad reproductiva que han tenido de 1 a 3 crías (Anexo) y 19 individuos registrados como crías (sección 5.3.1) que se foto-recapturaron en el GoCa de 2 a 7 veces en años posteriores.

Considerando el número de hembras registradas en el GoCa en compañía de una cría y que estas requieren una fuente abundante de alimento, apoyaría la idea de que pudieran permanecer fuera del área de la P. Baja California, ya sea porque aún no concluyan la lactancia, o para recuperar las reservas de grasa invertidas en el crecimiento de la cría y prevenir el costo energético de una migración más larga.

6.3 Intercambio entre ballenas azules del GoCa y el Domo de Costa Rica.

De las ballenas del GoCa 7 tuvieron foto-recaptura con aquellas registradas en el Domo de Costa Rica, estas son las primera recapturas que se reportan entre los dos destinos invernales conocidos para la población del Pacífico Noreste. Aunque la cantidad de datos es baja, lo anterior indicaría un movimiento migratorio más complejo de lo que se conoce hasta el momento. Cabe destacar que 5 de estos 7 individuos se foto-recapturaron sólo en el GoCa y el Domo de Costa Rica.

6.4 Tasa de supervivencia grupo de edad conocida.

En cuanto a la supervivencia para individuos de 0 a 1 año de edad fue de ($\Phi=0.545$, $IC=0.394-0.688$). Este valor es el más bajo que se ha reportado en misticetos hasta la fecha. En ballenas jorobadas del Golfo de Maine, la supervivencia estimada para la misma edad fue de $\Phi=0.664$ ($IC=0.517-0.784$, Robbins, 2007) y para ballenas grises del Pacífico Noreste fue de $\Phi=0.701$ ($IC=0.492-0.850$, Bradford *et al.*, 2006). Se plantea que estas diferencias pueden estar relacionadas al tiempo del destete que es menor en las ballena azules, 6-7 meses, en comparación con la gris y principalmente con la ballena jorobada, 7-8 y 10-11 meses, respectivamente (Berta *et al.*, 2006), la cuales continúan siendo alimentadas por su madres a una edad más tardía, con mayor cuidado parental. En individuos juveniles de ballena azul la supervivencia estimada en conjunto de 1-10 años de edad fue muy alta (0.958, $IC=0.863-0.988$), compensado la supervivencia muy baja al primer año.

En general, los individuos jóvenes son más susceptibles a factores extrínsecos que pueden afectar la supervivencia como son: la escases de alimento, la mala calidad del mismo, la depredación o la combinación de uno o más de estos (Clutton-Brock *et al.*, 1983; Bowyer, 1991; Iverson *et al.*, 1993; Côté y Festa-bianchet, 2001; Olson *et al.*, 2005, Barrett-Lennard *et al.*, 2011). En los modelos ajustados para la estimación de supervivencia de individuos de 0-1 año,

se incluye el Índice Multivariado del ENOS, el cual no tuvo soporte en los datos observados. Lo que indica que la supervivencia no varía directamente en función de las condiciones ambientales relacionadas con este índice. Sin embargo, diferentes factores puede afectar la supervivencia de estos individuos al mismo tiempo. No se descarta que la escases de alimento que ocurre durante de El Niño, pudiera tener un efecto en la supervivencia de las ballenas azules, dados los requerimientos energéticos para su crecimiento, ya que duplican su tamaño desde que nacen (7 m) a cuando son destetadas a los 6-7 meses (16 m) (Yochem y Leatherwood, 1985). Sin embargo, la supervivencia puede verse afectada por varios factores en conjunto, la denso-dependencia afecta en mayor medida la supervivencia de individuos juveniles y las tasas reproductivas en hembras (Bonefant *et al.*, 2009). La depredación en este caso por parte de las orcas (*Orcinus orca*), las cuales atacan a individuos pequeños en otras especies de cetáceos (Weller, 2002, Steiger *et al.*, 2008). En las ballenas azules los reportes de ataques de orca son escasos, uno se reportó al suroeste de la P. Baja California (Tarpy, 1979) y en San Quintín, Baja California en 2013 (<http://www.worldfishingnetwork.com/california-fishing-guide/video/rare-footage-of-killer-whales-attacking-a-blue-whale>). Aunque, estos ataques pueden deducirse indirectamente por las marcas que dejan las orcas en las ballenas (Ugalde de la Cruz, 2005).

6.5 Tasa de supervivencia “no crías”

La supervivencia para las ballenas azules “no crías”, obtenida con datos de la población en general fue de 0.966. Como se esperaba, si se estima la supervivencia considerando en conjunto a los individuos transeúntes y no transeúntes, causa una subestimación (Anexo III). Este valor de supervivencia presenta algunas diferencias con otras poblaciones de misticetos (Anexo III); aunque, la supervivencia no tiene que ser necesariamente igual entre especies y, más específicamente, entre poblaciones, debido a las variaciones que pueden ocasionar los factores externos que influyan en cada población. Sin embargo, las

diferencias observadas pueden deberse al tratamiento de los datos o la muestra de individuos utilizada; o bien, en los diferentes ejemplos del Anexo III, algunas de las estimaciones incluyen a los individuos transeúntes en la supervivencia reportada.

En general, la supervivencia para individuos “no crías” es mayor a 0.9. A excepción de la ballena franca (*Eubalaena glacialis*) del Atlántico Norte, la cual mostró en los últimos 15 años un decremento importante, principalmente, en las hembras en edad reproductiva (Fujiwara y Caswell, 2001). La causa se asocia a las colisiones con embarcaciones y enmallamientos en redes de pesca, tanto por la evidencia encontrada en cadáveres como por la alta incidencia de cicatrices en ballenas vivas relacionadas con dichos factores (Knowlton y Kraus, 2001b). Además, las hembras con crías son las más vulnerables por su velocidad de nado lenta comparado con individuos solitarios o grupos que no incluyen crías, incluso pueden permanecer estacionarias por varias horas (Hain *et al.*, 2013).

La supervivencia estimada por sexos fue mayor en hembras que en machos, 0.983 y 0.978, respectivamente. Esta estimación es más alta que la obtenida para los individuos “no crías” en general. Esto puede deberse a que ésta se estimó únicamente con los individuos foto-identificados en el GoCa, los cuales tuvieron una tasa de encuentro más alta, en comparación con los individuos “no crías” (Figs. 6 y 7). Además, los individuos que se ven regularmente tienen más oportunidad de que se les tome una muestra de piel o biopsia para determinar el sexo.

En cuanto a las diferencias entre sexos, en los mamíferos usualmente es mayor en hembras y las diferencias son más notables cuando las especies presentan dimorfismo sexual (Olesiuk, 2005; Toïgo *et al.*, 2007). En las ballenas azules las hembras tienen una longitud mayor que los machos, pero las diferencias no son tan contrastantes (Yochem & Leatherwood, 1985).

En el caso de las ballenas azules del Pacífico Noreste, las amenazas más severas a las que están expuestas (ver sección 6.1) se concentran principalmente en el área de Islas del Canal. En relación a las colisiones con embarcaciones, son pocos los casos de muerte de ballenas azules reportados por esta causa; sin embargo, sí estos accidentes ocurren en mar abierto los cuerpos se hunden o se varan en playas aisladas (Jensen & Silber, 2003), por lo que éstos reportes pueden estar subestimados. Aunque se puede inferir una mayor frecuencia de esto accidentes con base en las ballenas que presentan marcas en el cuerpo de tamaño considerable y que se asocia a accidentes con embarcaciones (Ugalde de la Cruz, 2005). Otra amenaza potencial son los contaminantes producidos por construcciones, infraestructura náutica, embarcaciones, ya que estos son persistentes y se acumulan en los tejidos de los animales (Frodello y Marchand, 2001; Tanabe, 2002; Carballo *et al.*, 2004; Flores-Lozano, 2006).

Por otra parte, la probabilidad de encuentro (Fig. 7) fue más alta para las hembras, lo que indica que hacen mayor uso del área en el GoCa. Aunque, la estimación de ésta probabilidad no incluyó los datos de la CoNor, la proporción de sexos calculada con la recapturas totales (Tabla 12), es mayor también para las hembras en las distintas áreas de la CoNor. En el GoCa se ha observado que las hembras prefieren las zonas costeras y muestran un tiempo de residencia mayor en comparación con los machos (Gendron, 2002; Mata-Cruz, 2013), lo que incrementa la probabilidad de que sean foto-identificadas y por tanto la tasa de encuentro es mayor. La proporción de sexos mayor para las hembras, tanto en el GoCa como en las diferentes áreas CoNor, puede estar relacionada, a la estructura social; en el suroeste del GoCa se han registrado asociaciones entre pares o tríos de individuos conformados en mayor parte por hembras (Martínez-Serrano, 2005).

En mamíferos que tienen larga vida, las tasas de supervivencia tienen una mayor contribución en el crecimiento poblacional, principalmente, la de individuos adultos seguida por los jóvenes (Heppell *et al.*, 2000). No obstante, cualquier

disminución en la supervivencia de jóvenes debería ser monitorizada ya que disminuiría el número de individuos que se incorporan a la población reproductiva.

El estudio de grandes cetáceos de vida libre se dificulta principalmente por la baja cantidad de datos que se pueden coleccionar por temporada o por año. Los datos que se presentan aquí representan el trabajo exhaustivo de muchos colaboradores durante un periodo largo y representan información invaluable para el conocimiento de la distribución y demografía de la especie. Los resultados obtenidos en este estudio revelan una estructura intra-poblacional compleja para las ballenas azules del Pacífico Noreste. La mayor incidencia de ballenas en Islas del Canal, los indicios de fidelidad a los sitios y la posible existencia de otra área de alimentación durante el verano, son evidencia importante para ser tomado en consideración en los planes de conservación.

7. CONCLUSIONES.

Las ballenas azules del GoCa no forman un grupo discreto en la zona de alimentación durante el verano, dadas las foto-recapturas encontradas en casi todas las áreas delimitadas en la CoNor.

Las ballenas azules presentan una distribución diferencial en su zona de alimentación en la CoNor, indicada por una mayor incidencia de foto-recapturas y una mayor probabilidad de movimiento hacia las zonas más sureñas.

El 56% de las ballenas azules del GoCa no fueron foto-recapturadas en el área alimentación de la CoNor, al igual que el 46.5% de individuos foto-identificados en la P. Baja California. Lo anterior aunado a la información previa, sugieren que la P. Baja California es ó forma parte del área de alimentación durante el verano para las ballenas azules del Pacífico Noreste.

La disminución de la probabilidad de movimiento entre los periodos 1992 – 2001 y 2002 a 2011, posiblemente, se asocia a cambios en la distribución relacionados a factores ambientales de la Oscilación Decadal del Pacífico en la abundancia de sus presas.

La tasa de supervivencia aparente de ballenas azules de 0 a 1 año de edad es el valor más bajo reportado en mysticetos, posiblemente, relacionado al alto requerimiento energético para su crecimiento y al menor tiempo de lactancia en comparación con las otras especies.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Agler, B.A., Beard, J.A., Bowman, R.S., Corbett, H.D., Frohock, S.W., Hawvermale, M.P., Katona, S.K., Sadove, S.S. & Seipt, I.E. 1990. Fin whale (*Balaenoptera physalus*) photographic identification: methodology and preliminary results from the western North Atlantic. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 12: 349–56.
- Amstrup, S.C., T.L. McDonald & B.F.J. Manly. 2005. Handbook of capture recapture analysis. Princeton University Press., New Jersey. 313 p.
- Arnborn, T. 1987. Individual identification of sperm whales. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 37: 201–04.
- Bailey, H., B.R. Mate, D.M. Palacios, L. Irvine, S.J. Bograd & D.P. Costa. 2009. Behavioural estimation of blue whale movements in the Northeast Pacific from state-space model analysis of satellite tracks. *Endang Species Res.* 10: 93-106.
- Baker, C. S., Medrano-Gonzalez, L., Calambokidis, J., Perry, A., Pichler, F., Rosenbaum, H., J.M. Straley, J. Urban-Ramirez, Yamaguchi, M. & Von Ziegeler, O. 1998. Population structure of nuclear and mitochondrial DNA variation among humpback whales in the North Pacific. *Mol. Ecol.* 7(6): 695-707.
- Barlow, J., & K.A. Forney. 2007. Abundance and population density of cetaceans in the California Current ecosystem. *Fish. Bull.* 105: 509–526.
- Belda, E.J., E. Barba & J.S. Monrós. 2007. Resident and transient dynamics, site fidelity and survival in wintering Blackcaps *Sylvia atricapilla*: evidence from capture – recapture analyses. *IBIS*: 149, 396-404.
- Berman-Kowalewski, M., F.M.D. Gulland, S. Wilkin, J. Calambokidis, B. Mate, J. Cordaro, D. Rotstein, J. St. Leger, P. Collins, K. Fahy, & S. Dover. 2010. Association between blue Whale (*Balaenoptera musculus*) mortality and ship strikes along the California Coast. *Aquat. Mamm.* 36(1): 59–66
- Berta, A., J.L. Sumich & K.M. Kovacs. 2006. Marine Mammals: Evolutionary Biology. 2nd. ed. Elsevier Inc. 547 p.
- Bowyer, T.R. 1991. Timing of parturition and lactation in southern mule deer. *J. Mammal.* 72(1):138–145.
- Bradford, A.L., P.R. Wade, D.W. Weller, A.M. Burdin, Y.V. Ivashchenko, G.A. Tsidulko, G.R. VanBlaricom & R.L. Brownell Jr. 2006. Survival estimates of western gray whales *Eschrichtius robustus* incorporating individual heterogeneity and temporary emigration. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 315: 293-307.
- Branch, T.A., K. Matsuoka & T. Miyashita. 2004. Evidence for increasing in Antarctic blue whales based on bayesian modeling. *Mar. Mam. Sci.*, 20:726-754.

- Brinton, E., & A. Townsend. 2003. Decadal variability in abundances of the dominant euphausiid species in southern sectors of the California Current. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 50(14-16): 2449–2472.
- Burnham, K. & D. Anderson. 2002. Model Selection and multi-model Inference. 2nd edition. Springer-Verlag. 488 p.
- Burtenshaw, J.C., E.M. Oleson, J. A. Hildebrand, M. A. McDonald, R.K. Andrew, B.M. Howe & J. a. Mercer. 2004. Acoustic and satellite remote sensing of blue whale seasonality and habitat in the Northeast Pacific. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 51(10-11): 967–986.
- Calambokidis, J., G.H. Steiger, J.C. Cubbage, K.C. Balcomb, C. Ewald, S. Kruse, R. Wells & R. Sears. 1990. Sightings and movements of blue whales off Central California 1986-1988 from photo-identification of individuals. *Rep. int. Whal. Commn (special issue). Whal. Commn. Spec. Iss.* 12: 343-348.
- Calambokidis, J., T.E. Chandler, K. Rasmussen, L. Schlender & G.H. Steiger. 2000a. Humpback and blue whale photo-identification research off California, Oregon and Washington in 1999. Final report to Southwest Fisheries Science Center, Olympic Coast National Marine Sanctuaries, and Channel Islands National Marine Sanctuary. Prepared by Cascadia Research, 218½ W Fourth Ave., Olympia, WA 98501. 39 p.
- Calambokidis, J., G.H. Steiger, K. Rasmussen, J. Urbán-Ramírez, K.C. Balcomb, P. Ladrón de Guevara, M. Salinas, J.K. Jacobsen, C.S. Baker, L.M. Herman, S. Cerchio & J.D. Darling. 2000b. Migratory destinations of humpback whales that feed off California, Oregon and Washington. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 192: 295–304.
- Calambokidis, J., G.H. Steiger, J.M. Straley, L.M. Herman, S. Cerchio, D.R. Salden, J. Urbán R., J.K. Jacobsen, O. von Ziegesar, K.C. Balcomb, C.M. Gabriele, M.E. Dahlheim, S. Uchida, G. Ellis, Y. Miyamura, P. Ladrón de Guevara P., M. Yamaguchi, F. Sato, S.A. Mizroch, L. Schlender, K. Rasmussen, J. Barlow & T.J. Quinn II. 2001. Movements and population structure of humpback whales in the North Pacific. *Mar. Mamm. Sci.* 17: 769-794.
- Calambokidis, J. & J. Barlow. 2004. Abundance of blue and humpback whales in the Eastern North Pacific estimated by capture-recapture and line-transect methods. *Mar. Mam. Sci.*, 20: 63-85.
- Calambokidis, J., J. Barlow, J.K.B. Ford, T.E. Chandler & A.B. Douglas. 2009a. Insights into the population structure of blue whales in the Eastern North Pacific from recent sightings and photographic identification. *Mar. Mamm. Sci.* 25(4): 816–832.
- Calambokidis, J., E. Falcone, A. Douglas, L. Schlender & J. Huggins. 2009b. Photographic identification of humpback and blue whales off the US West Coast: Results and updated abundance estimates from 2008 field season. Final Report for

Contract AB133F08SE2786 from Southwest Fisheries Science Center. Prepared by Cascadia Research 218½ W 4th Ave., Olympia, WA 98501. 18 p.

- Caro, T. 1998. Behavioral ecology and conservation biology. Oxford University Press. 582 p.
- Caughley, G. 1966. Mortality patterns in mammals. *Ecology*. 47: 906–918.
- Chandler, T.E., J. Calambokidis & K. Rasmussen. 1999. Population identity of blue whales on the Costa Rica Dome. Abstract in the 13th Biennial Conference. Hawaii.
- Clapham, P.J., A. Aguilar & L.T. Hatch. 2008. Determining spatial and temporal scales for management: lessons from whaling. *Mar. Mamm. Sci.* 24(1): 183–201.
- Clapham, P.J. & C.A. Mayo 1987. Reproduction and recruitment of individually identified humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, observed in Massachusetts Bay, 1979-1985. *Can. J. Zool.* 65: 2853-2863.
- Condit, R., J. Reiter, P. Morris, R. Berger, S. Allen & B. Le Boeuf. 2014. Lifetime survival rates and senescence in northern elephant seals. *Mar. Mamm. Sci.* 30(1): 122–138.
- Cooch, E.G., & G.C. White. 2012. Program Mark: a gentle introduction. Disponible en: <http://warnercnr.colostate.edu/~gwhite/mark/mark.htm#Documentation>
- Cosens, S. E. & A. Blouw. 2003. Size and age-class segregations of bowhead whales summering in northern Foxe basin: a photogrammetric analysis. *Mar. Mam. Sci.*, 19(2): 284-296.
- Côté, S.D., & M. Festa-bianchet. 2001. Birthdate, mass and survival in mountain goat kids: effects of maternal characteristics and forage quality. *Oecologia* 127(2): 230–238.
- Costa-Urrutia, P., S. Sanvito, N. Victoria-Cota, L. Enríquez-Paredes & D. Gendron. 2013. Fine-scale population structure of blue whale wintering aggregations in the Gulf of California. PLoS ONE 8(3): e58315. doi:10.1371/journal.pone.0058315.
- Coulson, T., T.G. Benton, P. Lundberg, S.R.X. Dall, B.E. Kendall, & J.-M. Gaillard. 2006. Estimating individual contributions to population growth: evolutionary fitness in ecological time. *Proc. Biol. Sci.* 273(1586): 547–55.
- Craig George, J.C., & J.R. Bockstoce. 2008. Two historical weapon fragments as an aid to estimating the longevity and movements of bowhead whales. *Polar Biol.* 31(6): 751–754.
- Craig, A.S. & L.M. Herman. 1997. Sex differences in site fidelity and migration of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to the Hawaiian Islands. *Can. J. Zool.* 75: 1923–1933.

- Croll, D., B. Marinovic, S. Benson, F. Chavez, N. Black, R. Ternullo & B. Tershy. 2005. From wind to whales: trophic links in a coastal upwelling system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 289: 117–130.
- Da Silva, C.Q., J. Zeh, D. Madigan, J. Laake, D. Rugh, L. Baraff, W. Koski, & G. Miller. 2000. Capture-recapture estimation of bowhead whale population size using photo-identification data. *J. Cetacean Res. Manage.* 2(1):45-61.
- Del Ángel- Rodríguez, J.A. 1997. Hábitos alimentarios y distribución espaciotemporal de los rorcuales común (*Balaenoptera physalus*) y azul (*Balaenoptera musculus*) en la Bahía de La Paz, B.C.S. México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz. B.C.S. 68 p.
- Enríquez-Paredes, L.M. 2005. Identidad genética de la población de ballena azul (*Balaenoptera musculus*) en el Pacífico Nororiental: agregaciones mexicanas. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. 198 p.
- Etnoyer, P., A.C.L. Angeles, B. Mate, O. State, L. Morgan, M. Conservation & G. Ellen. 2004. Persistent Pelagic Habitats in the Baja California to Bering Sea (B2B) Ecoregion. *Oceanography.* 17(1): 90-101.
- Fiedler, P.C. 2002. The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep-Sea Res. Pt. I.* 49: 321–338.
- Fiedler, P.A., S.B. Reilly, R.P. Hewitt, D. Demer, V.A. Philbrick, S. Smiths, W. Armstrong, D.A. Croll, B.R. Tershy & B.R. Mate. 1998. Blue whales habitat and prey in the California Channel Islands. *Deep-Sea Res. II*, 45: 1781-1801.
- Fujiwara, M., & H. Caswell. 2001. Demography of the endangered North Atlantic right whale. *Nature* 414(6863): 537–541.
- Gaillard, J.M., J.M. Boutin, D. Delorme, G. Van Laere, P. Duncan, & J.-D. Lebreton. 1997. Early survival in roe deer causes and consequences of cohort variation in two contrasted populations. *Oecologia* 112: 502–513.
- Gendron, D. 1992. Population structure of daytime surface swarms of *Nyctiphanes simplex* (Crustacea: *Euphausiacea*) in the Gulf of California, Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 87: 1–6.
- Gendron, D. 2002. Ecología poblacional de la ballena azul *Balaenoptera musculus* de la Península de Baja California. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada. 105p.
- Gendron, D. & A. Ugalde de la Cruz. 2012. A new classification method to simplify blue whale photo- identification technique. *J. Cetacean Res. Manag.* 12(1): 79–84.
- Goldbogen, J.A., B.L. Southall, S.L. Deruiter, J. Calambokidis, S. Ari, E.L. Hazen, E.A. Falcone, G.S. Schorr, A. Douglas, D.J. Moretti, C. Kyburg, M.F. Mckenna, P.L.

- Tyack, P.R.S. B, J.A. Goldbogen, B.L. Southall, S.L. Deruiter, J. Calambokidis, A.S. Friedlaender, E.L. Hazen, E.A. Falcone, G.S. Schorr, A. Douglas, D.J. Moretti, C. Kyburg, M.F. Mckenna, & P.L. Tyack. 2013. Blue whales respond to simulated mid-frequency military sonar. *P. Roy Soc. Lond. B. Bio.* 280:20130657.
- Hain, J.H.W., J.D. Hampp, S. a McKenney, J. a Albert, & R.D. Kenney. 2013. Swim speed, behavior, and movement of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) in coastal waters of northeastern Florida, USA. *PLoS One* 8(1): 1–9.
- Hammond, P.S. 1986. Estimating the size of naturally marked whale populations using capture-recapture techniques. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 8:252-282.
- Hare, S.R. & N.J. Mantua. 2009. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Prog. Oceanogr.* 47: 103–145.
- Härkönen, T., K.C. Harding & G.L. Lunneryd. 1999. Age- and sex-specific behavior in harbour seals *Phoca vitulina* leads to biased estimates of vital population parameters. *J. Appl. Ecol.* 36: 825–841.
- Heppell, S.S., H. Caswell & L.B. Crowder. 2000. Life histories and elasticity patterns: perturbation analysis for species with minimal demographic data. *Ecology* 81(3): 654–664.
- Irvine, L.M., B.R. Mate, M.H. Winsor, D.M. Palacios, S.J. Bograd, D.P. Costa & H. Bailey. 2014. Spatial and temporal occurrence of blue whales off the U.S. west coast, with implications for management. *PLoS ONE.* 9(7): 1-10.
- Iverson, S.J., W.D. Bowen, D.J. Boness, & O.T. Oftedal. 1993. The effect of maternal size milk energy output on pup growth in grey seals (*Halichoerus grypus*). *Physiol. Zoo.* 61–88.
- Jiménez-Pinedo, N.C. 2010. Hábitos alimentarios y relación interespecífica entre la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) y la ballena de aleta (*B. physalus*) en el suroeste del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, BCS. 78p.
- Johnson, H.E.E.J., L.S.C.M. Millsllls, T.H.R.S. Stephenson & J.D. Wehausen. 2010. Population-specific vital rate contributions influence management of an endangered ungulate. *Ecol. Appl.* 20(6): 1753-1765.
- Knowlton, A.R. & S.D. Kraus. 2001. Mortality and serious injury of northern right whales (*Eubalaena glacialis*) in the western North Atlantic Ocean. *J. Cetacean Res. Manag.* 2: 193–208.
- Koski, W.R. & G.W. Miller. 2009. Habitat Use by different size classes of bowhead whales in the Central Beaufort Sea during Late Summer and Autumn. *Artic* 62(2): 137–150.

- Laake, J. & E. Rexstad. 2012. RMark—an alternative approach to building linear models in MARK. Appendix C in program MARK: a gentle introduction (E. Cooch and G. White, eds.).
- Lang, A.R., J. Calambokidis, J. Scordino, V.L. Pease, A. Klimek, V.N. Burkanov, P. Gearin, D.I. Litovka, K.M. Robertson, B.R. Mate, J.K. Jacobsen & B.L. Taylor. 2014. Assessment of genetic structure among eastern North Pacific gray whales on their feeding grounds. *Mar. Mamm. Sci.* 30(4): 1473-1493.
- Lavaniegos-Espejo, B.E. 1987. Efectos del evento del Niño 1982-1983 sobre las poblaciones de eufáusidos del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICESE. Ensenada, B.C. 113 p.
- Lebreton, J., P.B. Kenneth, J. Clobert, & R. Anderson, D. 1992. Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecol. Monogr.* 62: 67–118.
- Lebreton, J.D., J.D. Nichols, R.J. Barker, R. Pradel & J. A. Spendelov. 2009. Modeling individual animal histories with multistate capture-recapture models. 41, 87-173. *En* Caswell, H. (ed.), *Adv. Ecol. Res.* 1st ed. Elsevier Ltd.
- Mangels, K. & T. Gerrodette. 1994. Report of cetacean sightings during a marine mammal survey in the Eastern Pacific Ocean and the Gulf of California aboard the NOAA ships McArthur and David Starr Jordan July 28 - November 6, 1993. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-SWFSC-221. 88 p.
- Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace & R.C. Francis. 1997. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78: 1069–1079.
- Marinovic, B.B., D. a. Croll, N. Gong, S.R. Benson & F.P. Chavez. 2002. Effects of the 1997-1999 El Niño and La Niña events on zooplankton abundance and euphausiid community composition within the Monterey Bay coastal upwelling system. *Prog. Oceanogr.* 54: 265–277.
- Martínez-Serrano, I. 2005. Patrón de asociaciones entre individuos de ballena azul (*Balaenoptera musculus*) en el suroeste del Golfo de California, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 95 p.
- Mata-Cruz, R. 2013. Distribución espacio-temporal de la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) por categorías de edad y sexo en el suroeste del Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 82 p.
- Mate, B.R., B.A. Lagerquist & J. Calambokidis. 1999. Movements of north Pacific blue whales during the feeding season off southern California and their southern fall migration. *Mar. Mam. Sci.*, 15: 1246-1257.

- Mauritzen, M., A.E. Derocher, O. Wiig, S.E. Belikov, A.N. Boltunov, E. Hansen & G.W. Garner. 2002. Using satellite telemetry to define spatial population structure in polar bears in the Norwegian and western Russian Arctic. *J. Appl. Ecol.* 39(1): 79–90.
- Mcdonald, M.A., J.A. Hildebrand & S.M. Wiggins. 2006. Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. *J. Acoust. Soc. Am.* 120(2):711-718.
- Mizroch, S.A. 2004. Estimating the adult survival rate of central north pacific humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *J. Mammal.* 85(5): 963–972.
- Monnahan, C.C., T. a. Branch, & A.E. Punt. 2014. Do ship strikes threaten the recovery of endangered eastern North Pacific blue whales? *Mar. Mamm. Sci.* 31: 279–297.
- Moore, S.E., W.A Watkins, M.A. Daher, J.R. Davies & M.E. Dahlheim. 2002. Blue whale habitat associations in the Northwest Pacific: analysis of remotely sensed data using a Geographic Information System. *Oceanography* 15(3):20-5
- Morris, W.F. & D.F. Doak. 2002. Quantitative conservation biology. Theory and practice of population viability analysis. Sinauer Associates, Massachusetts. 480 p.
- National Marine Fisheries Service. 1998. Recovery plan for the blue whale (*Balaenoptera musculus*). Prepared by Reeves R.R., P.J. Clapham, R.L. Brownell, Jr., & G.K. Silber for the National Marine Fisheries Service, Silver Spring, MD. 42.
- Olesiuk, P.F. 2005. Life history and population dynamics of northern resident killer whales (*Orcinus orca*) in British Columbia. Canadian Science Advisory Secretariat. 1-75 p.
- Ortega-Ortíz, C.D. 2009. Aspectos de la dinámica poblacional de la ballena azul (*Balenoptera musculus*) del Pacífico Noreste. Tesis de doctorado. CICIMAR- IPN. 215 p.
- Pollock, K.H., J.D. Nichols, C. Brownie & J.E. Hines. 1990. Statistical inference for capture-recapture experiments. *Wildl. Monogr.* 107: 1–97.
- Pradel, R., J.E. Hines, J.-D. Lebreton & J.D. Nichols. 1997. Capture-recapture survival models taking account of transients. *Biometrics* 53: 60–72.
- Pressat, R. 1967. El análisis demográfico. 1a. edición. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Ramp, C., M. Bérubé, W. Hagen & R. Sears. 2006. Survival of adult blue whales *Balaenoptera musculus* in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 319: 287-295.
- Ramp, C., M. Bérubé, W. Hagen, & R. Sears. 2006. Survival of adult blue whales *Balaenoptera musculus* in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Mar. Ecol-Prog. Ser.* 319: 287–295.

- Rankin, S., J. Barlow & K.M. Stafford. 2006. Blue whale (*Balaenoptera musculus*) sightings and recordings South of the Aleutian Islands. *Mar. Mamm. Sci.* 22(3): 708–713.
- Redfern, J. V, M.F. McKenna, T.J. Moore, J. Calambokidis, M.L. Deangelis, E. Becker, J. Barlow, K. a Forney, P.C. Fiedler, & S.J. Chivers. 2013. Assessing the risk of ships striking large whales in marine spatial planning. *Conserv. Biol.* 27(2): 292–302.
- Ree, F., C.S. Baker, D. Steel, J. Calambokidis, E. Falcone, U. González-peral, J. Barlow, A.M. Burdin, P.J. Clapham, J.K.B. Ford, C.M. Gabriele, D. Mattila, L. Rojas-bracho, J.M. Straley, B.L. Taylor, J. Urbán, P.R. Wade, D. Weller, B.H. Witteveen & M. Yamaguchi. 2013. Strong maternal fidelity and natal philopatry shape genetic structure in North Pacific humpback whales. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 494: 291–306.
- Reilly, S., & V. Thayer. 1990. Blue Whale (*Balaenoptera musculus*) distribution in the eastern tropical Pacific. *Mar. Mamm. Sci.* 6(4): 265–277.
- Rice, D.W. 1974. Whales and whale research in the Eastern North Pacific. 171-180. En: W.E. Schevill (Edit.). *The whale problem, a status report*. Harvard press Cambridge, Massachussets, USA.
- Robbins, J. 2007. Structure and dynamics of the Gulf of Maine humpback whales population. PhD. Thesis. University of St. Andrews. Scotland, U.K. 168 p.
- Rose, K.E., T.H. Clutton-Brock & F.E. Guinness. 1998. Cohort variation in male survival and lifetime breeding success in red deer. *J. Anim. Ecol.* 67: 979–986.
- Rugh, D.J. 1990. Bowhead whales reidentified through aerial photography near Point Barrow, Alaska. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 12: 289–94.
- Ryder, N.B. 1965. The cohort as a concept in the study of social change. *Am. Sociol. Rev.* 30(6): 843–861.
- Schoenherr, J.R. 1991. Blue whales feeding on high concentrations of euphausiids around Monterey Submarine Canyon. *Can. J. Zool.* 69: 583–594.
- Sears, R. 1987. The photographic identification of individual blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Sea of Cortez. *Cetus* 7(1): 14–17.
- Sears, R., J.M. Williamson, F.W. Wenzel, M. Bérubé, D. Gendron & P.W. Jones. 1990. Photographic identification of the blue whale (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of St. Lawrence, Canada. p. 335–342. En Hammond, P.S., Mizroch, S.A., Donovan, regory P. (eds.), Report for the International Whaling Commission. Individual Recognition of Cetaceans: Use of Photo-Ident. Seber, G.A.F. 1982. The estimation of animal abundance and related parameters. 2a. Ed. Charles Griffin and Company LTD. 654 p.

- Seber, G. 1982. The estimation of animal abundance and related parameters. 2nd ed. London Charles Griffin and Company LTD. 654 p.
- Smith, R.L. & T.M. Smith. 2001. Ecología. 4ª. edición. Pearson Educación, España. 642 p.
- Stafford, M. 2003. Two types of blue whale calls recorded in the Gulf of Alaska. *Mar. Mamm. Sci.* 19: 682–693.
- Stafford, K.M., S.L. Nieukirk & C.G. Fox. 1999. An acoustic link between blue whales in the Eastern Tropical Pacific and the Northeast Pacific. *Mar. Mamm. Sci.* (4): 1258-1268.
- Steiger, G.H., J. Calambokidis, J.M. Straley, L.M. Herman, S. Cerchio, D.R. Salden, J. Urbán-r, J.K. Jacobsen, O. Von Ziegesar, K.C. Balcomb, C.M. Gabriele, M.E. Dahlheim, S. Uchida, & J.K.B. Ford. 2008. Geographic variation in killer whale attacks on humpback whales in the North Pacific: implications for predation pressure. 4: 247–256.
- Taylor, B.L. 1997. Defining “population” to meet management objectives for marine mammals. *Molecular Genetics of Marine Mammals*. 3: 49–65.
- Trumble, S.J., E.M. Robinson, M. Berman-Kowalewski, C.W. Potter, & S. Usenko. 2013. Blue whale earplug reveals lifetime contaminant exposure and hormone profiles. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1–5.
- Ugalde-De la Cruz, A. 2005. Descripción y cambios a través del tiempo de las marcas naturales en ballenas azules fotografiadas alrededor de la Península de Baja California. Tesis de Licenciatura. UAEM. Cuernavaca, Mor. 65 p.
- Ugalde-De la Cruz, A. 2008. Abundancia y tasa de supervivencia de ballenas azules en el Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR- IPN. 64 p.
- Urban, J., a Jaramillo, a Aguayo, P.L.D.E. Guevara, M. Salinas, C. Alvarez, L. Medrano, J. Jacobsen, K. Balcomb, D. Claridge, J. Calambokidis, G. Steiger, J. Straley, O.V.O.N. Ziegesar, J.M. Waite, S. Mizroch, M.E. Dahlheim, J.D. Darling & C.S. Baker 2000. Migratory destinations of humpback whales wintering in the Mexican Pacific. *J. Cetacean Res. Manag.* 2(2)101-110.
- Weller, D.W. 2002. Predation on marine mammals. 985-994. En F.W. Perrin, B. Würsig & J.G.M. Thewissen (eds.). *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press. 1316p.
- Wilson, D.E., C.E. Russel, J.D. Nicols, R. Rudran & M.S. Foster. 1996. Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for mammals. Smithsonian Institution Press., Washington. 409 p.

Yochem, P.K. & S. Leatherwood. 1985. Blue whale, *Balaenoptera musculus* (Linnaeus, 1758). p. 193–240. *En* Ridgeway S.H. & R. Harrison (eds.). Handbook of marine mammals. Vol. 3. The sirenians and baleen whales. Academic Press, London.

Zerbini, A.N., P.J. Clapham, & P.R. Wade. 2010. Assessing plausible rates of population growth in humpback whales from life-history data. *Mar. Biol.* 157(6): 1225–1236.

9. ANEXOS

9.1 ANEXO I

A new classification method to simplify blue whale photo-identification technique

D. GENDRON AND A. UGALDE DE LA CRUZ

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), A.P. 592, La Paz, Baja California Sur, C.P. 23000, México

Contact e-mail: dgendron@ipn.mx

ABSTRACT

Individual identification of blue whales is based on unique pigmentation patterns. Historically photo-identification has been based on the pigmentation patterns observed on a large portion of the animal's flanks. The new classification method presented here is based primarily on seven dorsal fin shapes and secondarily on five pigmentation patterns selected from a minor portion of the flank adjacent to the dorsal fin. This classification is then applied to a blue whale catalogue that comprises 621 individuals photo-identified in the waters adjacent to the Baja California Peninsula in Mexico. The classification system adequately divides the number of individuals per dorsal fin category and pigmentation patterns. It has been useful not only for reducing time and for matching photographs more efficiently but also has facilitated the finding of intra-catalogue photographic recaptures or photo-recaptures and has enhanced the efficiency of the field work. This new classification method should be considered by other blue whale researchers and for future inter-catalogue comparisons.

KEYWORDS: TECHNIQUE; PHOTO-ID; BLUE WHALE

INTRODUCTION

Since the cessation of whaling, knowledge of the biology of free-ranging species through identification photographs of individuals has been substantial. The photo-identification technique, applied to the blue whale, *Balaenoptera musculus* (Sears *et al.*, 1990) has proven to be useful to investigate movement patterns (Calambokidis *et al.*, 2009; Calambokidis *et al.*, 1990; Gendron, 2002), and in the estimation of population abundance and survival rates through mark-recapture models (Calambokidis and Barlow, 2004; Ramp *et al.*, 2006; Ugalde de la Cruz, 2008).

Blue whales are currently considered endangered under the IUCN Red List of threatened species and three subspecies are recognised worldwide although the intra-specific taxonomy of the Northeastern Pacific blue whales is ambiguous (Reilly *et al.*, 2008). The abundance estimates based on capture-recapture method for the northeastern Pacific range are around 2,000 blue whales (Calambokidis and Barlow, 2004). Evidence from photographic recaptures shows some of these whales move to the Gulf of California (Calambokidis *et al.*, 1990). This region serves as a nursing and feeding area for approximately 300 blue whales during winter-spring season (Gendron, 2002). At the Laboratory of Cetacean and Chelonian Ecology based in CICIMAR-IPN, an identification catalogue of blue whale photographs has been built which encompasses a data series of 25 years. The main objective is to monitor the blue whales that visit this area for long term conservation purposes. Identification photographs and biological samples are collected to develop a comprehensive individual sighting history to serve as the basis of several current research projects.

Standard photo-identification technique consists in taking photographs at a perpendicular angle to a large portion of the left and right flanks of the animal including the dorsal fin and comparing them with individual photographs that have been classified into several pigmentation patterns (Sears *et*

al., 1990). The photos are usually taken during the last respiration when the whale is preparing for a deep dive. Depending on whale behaviour and maritime conditions when photographic attempts are made, it may not always be possible to obtain a photo of a large portion of the flank in one frame. In Sears' classification, photographs of whales that showed only small portions of the flank are problematic to classify.

Since no computer-assisted matching program has yet been developed for blue whales, comparing identification photographs by hand can become a laborious task, especially when the number of individuals is large. This paper proposes a new classification method for blue whale photo-identification that simplifies the photograph comparison by hand.

METHOD

The Baja California blue whale catalogue (Baja CA Catalogue) maintained at CICIMAR includes photographs obtained in coastal and offshore waters adjacent to the Baja California Peninsula. Most of the effort has been conducted in the southwestern region of the Gulf of California (Fig. 1). The photographs were taken between 1985 and 2009 and comprise 621 individuals (unpublished data). This work has been accomplished with the collaboration of the Mingan Island Cetacean Study (2003; 2004; 2006; 2009), Cascadia Research Collective (2001; 2004; 2006), Universidad Autónoma de Baja California Sur, as well as with the help of other researchers and naturalist-guides with opportunistic photographs taken in the study area.

Initially, a 35mm reflex EOS Canon camera coupled with a 70–300 telephoto lens, with black and white film was used. Since 2005, photographs have been taken using colour digital EOS (10D, 20D and 30D) Canon cameras with a 100–300 telephoto lens. The quality of each photograph in the catalogue has been rated from one (excellent) to 4 (bad)

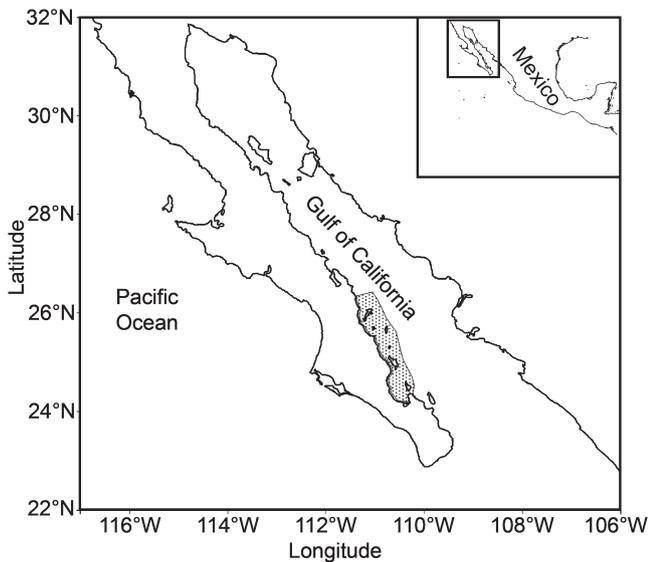


Fig. 1. Study area around the Baja California Peninsula where blue whales were photographed. Shaded area denotes the southwestern region of the Gulf of California where most of the effort has been conducted.

according to the focus, camera angle, and exposure. Quality 4 photographs contain features that are useful to identify the individual; however, for population parameter estimations they are not taken into account (Hammond, 1986; Hammond *et al.*, 1990).

Distinct pigmentation patterns observed on blue whales do not change with time therefore all individuals can be photo-identified (Sears *et al.*, 1990), including calves born during the winter season (Gendron, 2002). Of the 621 individuals contained in the Baja CA Catalogue, 57.2% of them possess photographs of both flanks, while 23.8% and 19.0% have only one flank, the right and left, respectively. Until 2009, 92 calves have been photo-identified and 40% of them have been re-sighted from 1 to 15 years later. This catalogue was initially classified by following the method of Sears *et al.* (1990). Over the years, changes were made to simplify the comparison of whale photographs which led to this new classification method.

Description of the classification

The only criterion needed is that photographs of the flank must contain the dorsal fin with, preferably, a sufficient area of adjacent pigmentation (see Fig. 2). The method is centred primarily on seven categories based on dorsal fin shapes (Fig. 3). A further category includes undefined dorsal fins for photographs in which the angle may bias the dorsal fin classification. In these cases, the photographs are temporally classified as undefined, until a better photograph of this

particular individual is obtained. Furthermore, photographs included in each dorsal fin category are secondarily classified into five pigmentation patterns that progressively change from light to dark (Fig. 4). Photographs showing insufficient areas of pigmentation around the dorsal fin or taken with poor light exposure may not be categorised and are classified temporally under undefined pigmentation patterns.

New photographs are assigned to dorsal fin and pigmentation categories in accordance with the opinions of two persons that keep the catalogue up to date. In order to test how subjective this new photograph classification is, a set of 70 photographs (10 of each dorsal fin category including all pigmentation categories) of qualities 1 to 3 were chosen from the Baja CA Catalogue and then classified independently by four observers with little to extensive experience in blue whale photo-identification. The results were then compared with the category previously assigned in the Baja CA Catalogue. Furthermore, to test how consistent the categorisation is over time, duplicates of five individuals, first photographed as calves and then years later, were included and mixed in the set of photographs selected. A chi-squared test ($p < 0.05$) was used to verify if all dorsal and pigmentation categories were assigned in concordance with the Baja CA Catalogue. As significant differences were found, a subdivision of the test was made to verify which category failed to distinguish from the others by removing the category that contributes with a relatively larger amount to the previous calculated chi-square (Zar, 1996).

RESULTS

The classification applied to the Baja CA Catalogue of blue whale photographs showed that the seven dorsal fin types were not equally represented but they formed a suitable division of it (Table 1). The falcate dorsal fin was the most abundant type comprising 33.5% of the individuals compared to the mutilated dorsal fin that corresponds to 4.3%. Only 2.9% of the individuals were classified in the undefined dorsal fin category.

As for the pigmentation patterns, the most commonly observed was the light mottled with a frequency of 36.5% while the least common was the dark pattern (12.6%; Table 1). Only 6% of all individuals were included in the undefined category, mostly due to the poor light exposure.

There were significant differences in the selection of categories made by the observers and the ones assigned in the Baja CA Catalogue ($\chi^2 = 18.6$, degrees of freedom (df) = 6, $p = 0.0049$). Notably, the most ambiguous category was the falcate-triangular dorsal fin with only 45% of matches with the Baja CA Catalogue (Table 2). This ambiguity was

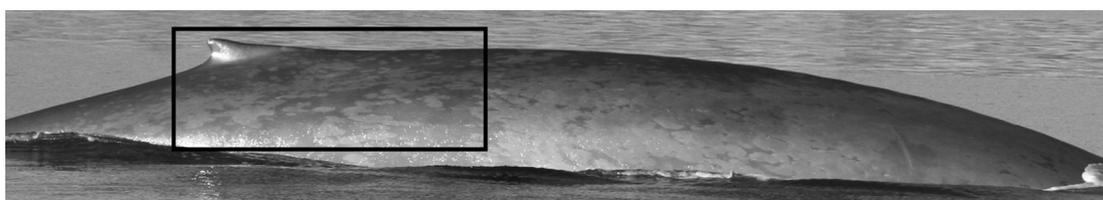


Fig. 2. Example of a blue whale identification photograph included in the Baja California blue whale catalogue. The area delimited by the box indicates the minimum body area needed for photograph comparisons.

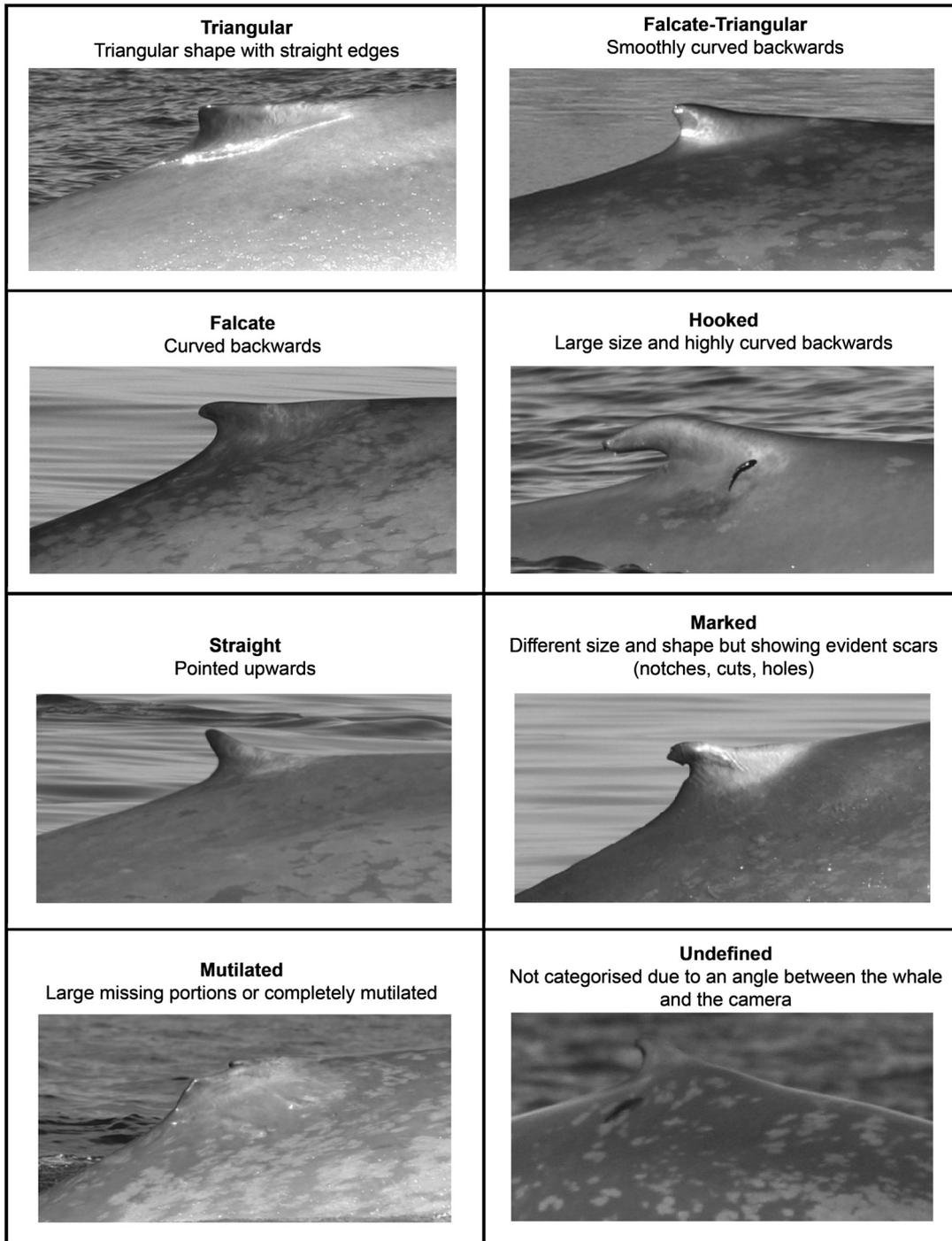


Fig. 3. Description and photographs of eight dorsal fin categories used as the first classification step in the blue whale photo-identification method.

associated with the contiguous categories of triangular and falcate dorsal fins. The falcate-triangular category contributed largely to the chi-square calculated. After removing this category no significant difference between the other six categories was found ($\chi^2 = 6.5$, $df = 5$, $p = 0.26$). These categories ranged between 70 and 100% of matches with those assigned in the Baja CA Catalogue. As expected, the mutilated dorsal fin was the least ambiguous category. Ambiguities observed for the other categories were also associated with the contiguous dorsal fin shapes.

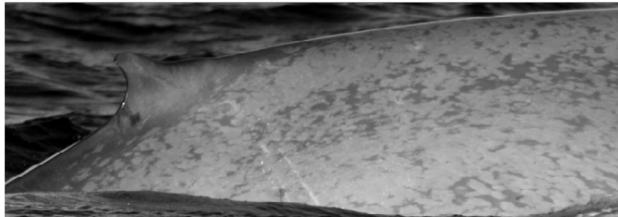
For the pigmentation patterns the range of matches between observers and the catalogue assignments was over 75% for all categories (Table 3), however a small but

significant difference was observed ($\chi^2 = 10.1$, $df = 4$, $p = 0.038$). The most ambiguous categories were the light mottled and the balanced pigmentation patterns. They contributed similarly to the chi-square calculated. The subdivision of the test revealed that only the combined effect of these two categories leads to significant differences, contrasting the results when only one of those categories was removed ($\chi^2 = 5.6$ and 6.1 , $df = 3$, $p = 0.133$ and $p = 0.107$, respectively). Likewise, the ambiguity was mostly related to the adjacent pigmentation patterns (Table 3).

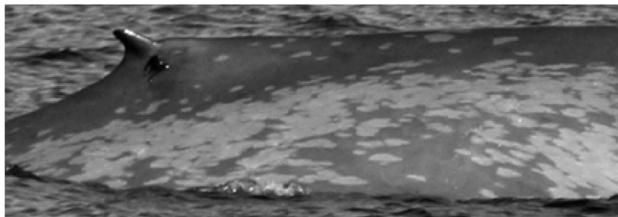
Consistency in dorsal fin and pigmentation categorisation over time showed a similar trend, with 65% matches in dorsal fin assignment between observers and the catalogue.



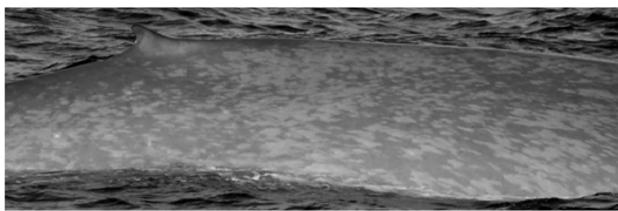
Light: prevailing light grey colour without or with few dark grey spots



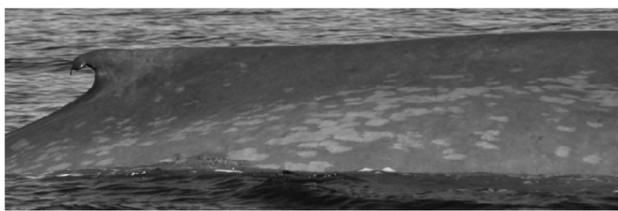
Light-mottled: prevailing light grey colour with several dark grey spots



Striped: variable colour but with an evident band or line located on or near the spinal cord



Balanced: no prevailing colour due to a uniform distribution of light and dark grey spots



Dark: prevailing dark grey colour with several light grey spots

Fig. 4. Description and photographs of the five pigmentation patterns used as a second classification step in the blue whale photo-identification method.

Ambiguities were observed between falcate-triangular and falcate dorsal fin shapes (20%) and between falcate and hooked shapes (15%). For the pigmentation pattern there were 85% of matches and ambiguousness was mostly found between light and light-mottled categories.

DISCUSSION

The potential of this new classification method is founded in the combination of the dorsal fin shape and pigmentation

patterns categories. By separating the photographs in 48 combinations (including the undefined categories), the number of photographs to compare is greatly reduced.

Similar to other classification systems, the proposed dorsal fin shape and pigmentation categories are not exclusively distinct, as for the mutilated or marked dorsal fins, but are centred on shapes and pigmentation that change progressively. This characteristic has led to a degree of uncertainty in the categorisation, which was particularly noted for the falcate-triangular dorsal fin and the light mottled and balance pigmentation patterns.

These results were obtained by comparing the category selections made by observers with different experience in blue whale photo-id work. Including observers with less experience reflected a situation for new research groups starting to work on blue whales, in order to test this classification method from a broad perspective. Our experience with this method has found that, with time, classification becomes less ambiguous.

In the process of photo-identification, the categories that most represent the dorsal fin and the pigmentation observed in the photograph are first compared. To assure that a match has not been omitted, the comparison is extended first with the adjacent pigmentation categories and then with the adjacent dorsal fin category in addition to the undefined categories. This process avoids comparing photographs that share combinations that have a very low probability of a photographic match (i.e. light with dark, or triangular with hooked).

Categorisation of individual dorsal fin and pigmentation over time, such as those that were first photo-identified as calf and recaptured at later age, also showed the same ambiguities with contiguous categories as found for the other whales photographs. There was no modification of dorsal fins or change noted in the pigmentation pattern over time. Here the different category selections may also have been caused by the quality of the photograph that served as recaptures.

Since the exact age of these individuals at their first sighting as calves is known, the blue whale photo-identification technique constitutes a powerful tool in the long term sighting history data set. This contrasts with most other species of whales in which not all individuals can be photo-identified due to a lack of colour pattern or scars (Agler *et al.*, 1990; Rugh, 1990) or due to the fact that the calves show changes in the pigmentation patterns over the years (Carlson *et al.*, 1990) or their behaviour prevents photographing the body part used in the photo-identification technique (Arnbom, 1987).

There are, however, two factors in the blue whale photo-identification technique that can cause misidentification or negatively influence the photo-identification process. The first is the acquisition of marks on the dorsal fin or in the worse cases its mutilation. Therefore, during the comparison of marked or mutilated dorsal fin photographs, if no photo-recapture is found, the comparison with the other dorsal fin categories will be required to assure that the mark or mutilation has not been recently acquired. During the study period, only four whales presented conspicuous changes in their dorsal fin; one was mutilated and the three others showed new marks.

Table 1

Number of individual blue whales classified per dorsal fin and pigmentation categories included in the Baja California blue whale catalogue.

Pigmentation patterns	Dorsal fin categories								Total (%)
	Triangular	Falcate-triangular	Falcate	Hooked	Straight	Marked	Mutilated	Undefined	
Light	6	14	25	21	8	4	2	3	13.4
Light-mottled	15	34	80	36	25	19	10	8	36.5
Striped	8	11	26	14	10	6	3	2	12.9
Balanced	8	22	34	17	12	15	6	2	18.7
Dark	5	11	33	11	8	8	1	1	12.5
Undefined	5	6	10	7	1	1	5	2	6.0
Total (%)	7.6	15.8	33.5	17.1	10.3	8.5	4.3	2.9	100

The other factor that might interfere with the certainty of the uniqueness of individual pigmentation patterns is the effect of skin desquamation (Sears *et al.*, 1990). This is a natural phenomenon in cetaceans (Geraci *et al.*, 1986) and sloughed skin is observed and may be sampled from most individual blue whales (Gendron and Mesnick, 2001). However, it is observed more frequently on the flanks of lactating females than non-lactating females or males ($\chi^2 = 59.84$; $p < 0.05$; Ugalde de la Cruz, 2005). This characteristic may be related to physiological factors that take place during pregnancy and lactation (Perryman and Lynn, 2002; Randall *et al.*, 2002). It is probable that some lactating females may be misidentified during the photo-identification process due to large areas of desquamation on their flanks obstructing the pigmentation patterns normally visible. Although this problem is not observed in all lactating females, a special emphasis is recommended in those cases, since the estimation of population reproductive parameters relies on females (Barlow and Clapham, 1997). Likewise, this new classification method based on dorsal fin identification may improve the matching comparison of these females.

Although 68% of the blue whale individuals in the catalogue are now represented in digital images, the

difference in the image quality of black and white and colour digital photographs has not been evaluated in the identification process. While good black and white pictures are normally easy to match, the coloured digital images may be improved with software. The efficiency in matching digital photographs may be biased upwards especially since 2005 when digital cameras began to be used. Still only a low percent of the individuals in black and white photographs (4.2%) and digital images (1.6%) are contained in the undefined pigmentation category.

Overall, this method has been useful not only for reducing comparison time and thus allowing more efficient matching, but also in facilitating the finding of intra-catalogue photographic recaptures or photo-recaptures, a major bias when abundance estimations are performed (Hammond *et al.*, 1990). At sea, it has improved survey efficiency by allowing rapid identification of individuals. Depending on the type of photo-identification survey, recognition of individuals may be required to avoid spending unnecessary time photographing the same individual or duplicating skin-blubber biopsy samples within and between seasons. To achieve this objective, a catalogue of previously biopsied individuals classified into these dorsal and pigmentation

Table 2

Percentage of matches between dorsal fin categories elections made by the observers compared to the Baja California Catalogue (Baja CA Catalogue) classification of 70 blue whales photographs and the second elections for the photographs unmatched.

Dorsal fin category (Baja CA Catalogue)	Matches (%)	Second elections unmatched photographs (%)	
Triangle	72.0	Straight (20.0)	Falcate-triangular (8.0)
Falcate-triangular	45.0	Falcate (35.0)	Triangular (20.0)
Falcate	77.5	Hooked (15.0)	Falcate-triangular (7.5)
Hooked	82.5	Falcate (15.0)	Straight (2.5)
Straight	95.0	Falcate (2.5)	Falcate-triangular (2.5)
Marked	87.5	Mutilated (12.5)	
Mutilated	100.0		

Table 3

Percent of matches between pigmentation categories elections made by the observers compared to the Baja California Catalogue (Baja CA Catalogue) classification of 70 blue whales photographs and the second elections for the photographs unmatched.

Pigmentation category (Baja CA Catalogue)	Matches (%)	Second elections unmatched photographs (%)		
Light	93.0	Light-mottled (7.0)		
Light-mottled	77.0	Light (18.0)	Striped (2.5)	Balanced (2.5)
Striped	85.0	Light-mottled (7.5)	Balanced (5.0)	Dark (2.5)
Balanced	76.5	Dark (11.0)	Striped (8.5)	Light-mottled (4.0)
Dark	89.0	Balanced (8.0)	Striped (3.0)	

categories allow us to accomplish rapid comparison of a newly photographed whale (digital camera viewing) with those included in the field catalogue.

The results of the classification experiment appear to suggest that it may be convenient to remove the falcate-triangular dorsal fin category in order to group all falcate shapes together. However, grouping them in one category would increase the number of photographs considerably. On the other hand, leaving these two categories separate, there are still 77.5% and 45% probability of finding a match within the falcate and triangular falcate categories respectively (see Table 2) with less time consumed for the comparison. As for the light mottled or balanced pigmentation categories, we believe grouping them with the contiguous pigmentation categories will not change substantially the process of photographic comparison, since these are secondary classifications adjacent to each other in every dorsal fin category.

Finally, we encourage other blue whale researchers to test this classification method based on dorsal fin shapes and pigmentation patterns. If it proves as useful as it has been for us, this method will improve large comparison photographs between catalogues.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank all participants that help during field work with a special mention to Ciro Arista de La Rosa and Manuel Antonio Zamarrón. We are grateful to captain Jose Lozano, Mason Weinrich from Baja Expeditions, Lloyd Findley and Gisela Heckel, all for contributing with blue whale photographs. We thanks Paula Olson from Southwest Fisheries Science Center and John Calambokidis of Cascadia Research Collective for their useful comments and suggestions to this manuscript. We finally thank Amelie Gervais, Aurora Paniagua Mendoza and Ricardo Mirsha Mata Cruz for participating in the classification experiment. Sampling was conducted under annual research permits issued by the Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) of Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, México).

REFERENCES

Agler, B.A., Beard, J.A., Bowman, R.S., Corbett, H.D., Frohock, S.W., Hawvermale, M.P., Katona, S.K., Sadove, S.S. and Seipt, I.E. 1990. Fin whale (*Balaenoptera physalus*) photographic identification: methodology and preliminary results from the western North Atlantic. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 12: 349–56.

Ambom, T. 1987. Individual identification of sperm whales. *Rep. int. Whal. Commn* 37: 201–04.

Barlow, J. and Clapham, P.J. 1997. A new birth-interval approach to estimating demographic parameters of humpback whales. *Ecology* 78(2): 535–46.

Calambokidis, J. and Barlow, J. 2004. Abundance of blue and humpback whales in the eastern North Pacific estimated by capture-recapture and line-transect methods. *Mar. Mammal Sci.* 20(1): 63–85.

Calambokidis, J., Barlow, J., Ford, J.K.B., Chandler, T.O. and Douglas, A.B. 2009. Insights into the population structure of blue whales in the Eastern North Pacific from recent sightings and photographic identification. *Mar. Mammal Sci.* 25(4): 816–32.

Calambokidis, J., Steiger, G.H., Cabbage, J.C., Balcomb, K.C., Ewald, C., Kruse, S., Wells, R. and Sears, R. 1990. Sightings and movements of blue whales off central California 1986–88 from photo-identification of individuals. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 12: 343–48.

Carlson, C.A., Mayo, C.A. and Whitehead, H. 1990. Changes in the ventral fluke pattern of the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*), and its effects on matching; evaluation of its significance to photo-identification research. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 12: 105–11.

Gendron, D. 2002. Ecología poblacional de la ballena azul, *Balaenoptera musculus*, de la Península de Baja California. Doctoral thesis, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, BC. 112pp. [In Spanish].

Gendron, D. and Mesnick, S.L. 2001. Sloughed skin: a method for the systematic collection of tissue samples from Baja California blue whales. *J. Cetacean Res. Manage.* 3(1): 77–79.

Geraci, J.R., St Aubin, D.J. and Hicks, B.D. 1986. The epidermis of odontocetes: a view from within. pp.3–21. In: Bryden, M.M. and Harrison, R. (eds). *Research on Dolphins*. Clarendon Press, Oxford.

Hammond, P.S. 1986. Estimating the size of naturally marked whale populations using capture-recapture techniques. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 8: 253–82.

Hammond, P.S., Mizroch, S.A. and Donovan, G.P. 1990. *Report of the International Whaling Commission (Special Issue 12). Individual Recognition of Cetaceans: Use of Photo-Identification and Other Techniques to Estimate Population Parameters*. International Whaling Commission, Cambridge, UK. [vi]+440pp.

Perryman, W.L. and Lynn, M.S. 2002. Evaluation of nutritive condition and reproductive status of migrating gray whales (*Eschrichtius robustus*) based on analysis of photogrammetric data. *J. Cetacean Res. Manage.* 4(2): 155–64.

Ramp, C., Bérubé, M., Hagen, W. and Sears, R. 2006. Survival of adult blue whales *Balaenoptera musculus* in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 319: 287–95.

Randall, D., Burgglen, W. and French, K. 2002. *Eckert: Animal Physiology: Mechanisms and Adaptations*. W.H. Freeman and Company, New York. 736pp.

Reilly, S.B., Bannister, J.L., Best, P.B., Brown, M., Brownell Jr, R.L., Butterworth, D.S., Clapham, P.J., Cooke, J., Donovan, G.P., Urbán, J. and Zerbini, A.N. 2008. *Balaenoptera musculus*. In: IUCN (eds). *IUCN Red List of Threatened Species*. [Available at: <http://www.iucn.redlist.org>].

Rugh, D.J. 1990. Bowhead whales reidentified through aerial photography near Point Barrow, Alaska. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 12: 289–94.

Sears, R., Williamson, J.M., Wenzel, F.W., Bérubé, M., Gendron, D. and Jones, P. 1990. Photographic identification of the blue whale (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Rep. int. Whal. Commn (special issue)* 12: 335–42.

Ugalde de la Cruz, A. 2005. Descripción y cambios a través del tiempo de las marcas naturales en ballenas azules fotografiadas de la península de Baja California. BS thesis, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. 65pp. [In Spanish].

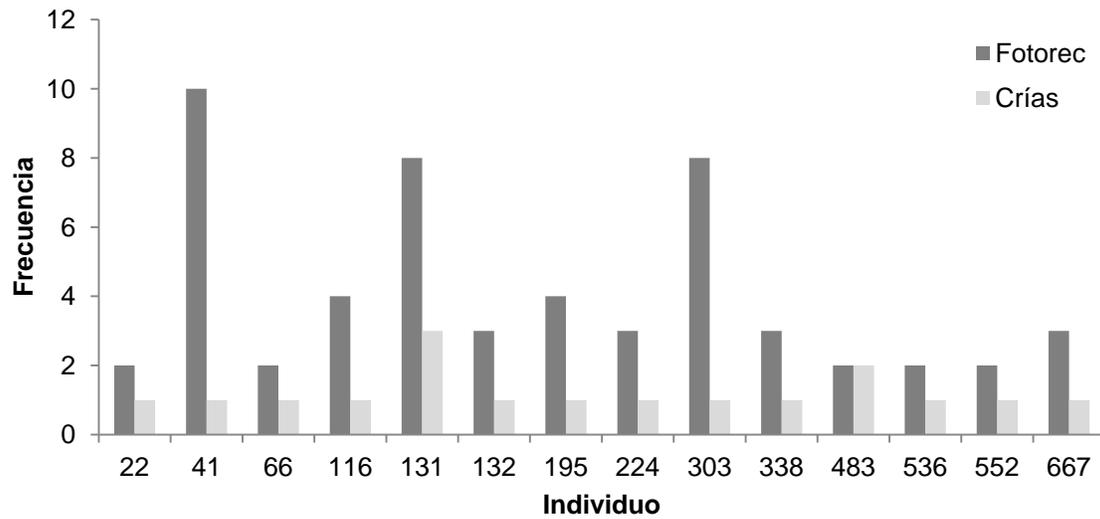
Ugalde de la Cruz, A. 2008. Abundancia y tasa de supervivencia de la ballena azul del Golfo de California. MS thesis, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, Mexico. [In Spanish].

Zar, J.H. 1996. *Biostatistical Analysis, 3rd Edition*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 662pp.

Date received: August 2010

Date accepted: April 2011

9.2 ANEXO II. Hembras en edad reproductiva foto-identificadas en el GoCa que no se foto-recapturaron en las áreas de la CoNor, el número de foto-recapturas en diferentes años en los que se observaron y el número de crías que han tenido.



9.3 ANEXO III. Tasa de supervivencia aparente (Φ) estimada para distintas poblaciones de misticetos. + tr=indica que los individuos transeúntes se consideraron en conjunto con los no transeúntes; (*)=valores obtenidos con el modelo 2 de la tabla 15.

Especie/Área	Φ (IC)	
Ballena azul – Pacífico Noreste		
“no crías”	0.966 (0.960 – 0.971)	
“no crías” + tr	0.932 (0.926 - 0.937)* ^b	Este estudio
Hembras	0.983 (0.973 - 0.989)	
Machos	0.978 (0.964 - 0.986)	
Ballena azul – Golfo de San Lorenzo Atlántico Noreste		
Hembras	0.976 (0.952-0.987)	
Machos	0.975 (0.943-0.987)	(Ramp <i>et al.</i> , 2006)
"no crías" + tr	0.946 (0.925-0.961)	
Ballena Jorobada - Golfo de Maine		
hembras > 25 años	0.975 (0.611-0.999)	
machos > 25 años	0.977 (0.577-0.999)	(Robbins, 2007)
hembras + tr	0.911 (0.867-0.941)	
Machos + tr	0.954 (0.900-0.979)	
Ballena Jorobada - Pacífico Norte		
"no crías" ^a	0.931(0.912-0.945) - 0.984(0.954-0.995) ^a	(Mizroch <i>et al.</i> 2004)
Ballena gris - Pacífico Noreste		
"no crías" + tr	0.951(0.917-0.972)	(Bradford <i>et al.</i> , 2006)
Ballena franca – Atlántico Norte		
Hembras en edad reproductiva	~0.93 - ~0.6-0.7	(Fujiwara & Caswell, 2001)

^aRango de diferentes estimaciones de supervivencia obtenida para diferentes áreas de alimentación e invernación por separado

^bResultado obtenido con el modelo 3 (Tabla 15)