



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS



DEPARTAMENTO
DE PESQUERÍAS Y BIOLOGÍA MARINA

MORFOMETRÍA DE LA BALLENA AZUL (*Balaenoptera musculus*)
DE BAJA CALIFORNIA MEDIANTE FOTOGRAFÍAS AÉREAS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

CON ESPECIALIDAD EN:

MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA:

OCEAN. CHRISTIAN DANIEL ORTEGA ORTÍZ

LA PAZ, B.C.S.

DICIEMBRE DEL 2004



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 24 del mes Noviembre del año 2004, el (la) que suscribe CHRISTIAN DANIEL ORTEGA ORTIZ alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A030414 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 cede los derechos del trabajo titulado: "MORFOMETRÍA DE LA BALLENA AZUL DE BAJA CALIFORNIA (*Balaenoptera musculus*) MEDIANTE FOTOGRAFÍAS AÉREAS" 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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: cortegao@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

CHRISTIAN DANIEL ORTEGA ORTIZ

nombre y firma

DEDICATORIA

A mis padres y hermanas...

A toda mi familia...

A mis amigos y compañeros...

Y en especial a Ali...

Sin olvidar al gigante del mar... baleia!

Allí el leviatán, la más inmensa de las criaturas vivientes extendida como un promontorio nada, y parece una tierra en movimiento; y al aspirar arroja todo un mar.

Ibid

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Diane Gendron, por todo su apoyo, paciencia, dedicación, interés, motivación, etc. en este trabajo.

Al comité revisor: Dr. Víctor Gómez, Dr. Horacio de la Cueva, Dr. Jaime Gómez, Dr. Jorge Urbán y Dr. Juan F. Elorduy; por su interés, comentarios y sugerencias otorgados en este estudio.

A la piloto Sandy Lanham, por su gran y valioso apoyo en los vuelos. A Patricio Robles, por contribuir con material fotográfico para este trabajo. A los capitanes y especialistas en ballenas (Ciro, Javier y Zamarrón), por su dedicada labor. Al personal de cómputo, servicios estudiantiles, de la biblioteca y la cafetería *kilombo*, grandes contribuidores en la formación de estudiantes.

A mis amigos y compañeros del laboratorio de mamíferos marinos, a todos los del CICIMAR, UABCS, a los de La Paz, Colima y de otros lados. Los cuales no enlistaré ya que seguramente alguno se me esfumará y reclamará. (*Larga vida!*).

Al CICIMAR-I.P.N., CONACYT, PIFI-IPN y a la Universidad de Colima, por su inigualable apoyo.

A todos esos sonidos inarmónicos....fuente de inspiración.

Y finalmente al autor. Sé que es inusual, pero...¿Por qué no?

ÍNDICE

1. RESUMEN	9
2. ABSTRACT	10
3. INTRODUCCIÓN	11
4. ANTECEDENTES	14
4.1. Diferenciación morfológica entre subespecies de ballena azul.....	14
4.2. Diferenciación visual entre subespecies	15
4.3. Distribución de <i>Balaenoptera musculus brevicauda</i>	15
4.4. Ballena azul del Pacífico Norte (<i>Balaenoptera musculus musculus</i>)	17
5. JUSTIFICACIÓN	18
6. OBJETIVO GENERAL	18
7. OBJETIVOS PARTICULARES	18
8. ÁREA DE ESTUDIO	19
9. METODOLOGÍA	20
9.1. Fotogrametría	21
9.2. Selección de fotografías	23
9.3. Alometría	23
9.4. Uso de la técnica de alometría en datos de caza obtenidos para las subespecies <i>Balaenoptera musculus intermedia</i> y <i>B. m. brevicauda</i> ...	25
9.5. Comparación morfométrica entre subespecies o poblaciones.....	26
9.6. Origen y estimación del error en la fotogrametría aérea.....	27
10. RESULTADOS	31
10.1. Censos aéreos.....	31
10.2. Relaciones alométricas.....	33
10.3. Comparación de proporciones de cuerpo entre poblaciones o subespecies de ballena azul.....	37
10.4. Error estimado en fotografías aéreas	41
11. DISCUSIÓN	43
11.1. Alometría en la ballena azul.....	43
11.2. Posibles fuentes de error en las mediciones de cetáceos cazados	45
11.3. Determinación de subespecies de ballena azul en las aguas de Baja California	46
11.4. Origen de <i>Balaenoptera musculus brevicauda</i>	47
11.5. Denominación de subespecies	50
12. CONCLUSIONES	54
13. RECOMENDACIONES	55
14. BIBLIOGRAFÍA.....	56

Índice de figuras

FIGURA	Página
1.- Distribución mundial de <i>Balaenoptera musculus brevicauda</i>	16
2.- Zona de estudio incluyendo al Golfo de California y la costa occidental de la Península de Baja California.....	20
3.- Esquema de la morfometría aplicada a las fotografías perpendiculares de la ballena azul de Baja California.....	22
4.- Representación gráfica del error entre la vertical de la avioneta y las ballenas azules fotografiadas.....	28
5.- Esfuerzo de observación durante los censos aéreos alrededor de la Península de Baja California en el período de 1994 al 2004.....	31
6.- Alometría en la proporción del pedúnculo con respecto al resto del cuerpo de la ballena azul de Baja California.....	35
7.- Comparación de la proporción del pedúnculo entre sub-adultos de <i>B. m. brevicauda</i> (Omura, 1984), <i>B. m. intermedia</i> (Mackintosh y Wheeler, 1929) y las ballenas azules de Baja California (este estudio), con su relación de tallas.....	37
8.- Distribución de la proporción del pedúnculo de las ballenas azules: Pigmeas / I. Kerguelen (Omura, 1984), California/México/Costa Rica (Gilpatrick <i>et al.</i> , 1999), South Georgia, Sudáfrica (Mackintosh y Wheeler, 1929), y Baja California (este estudio).....	39
9.- Proporción del pedúnculo (promedio y desviación estándar) de las poblaciones o subespecies de ballena azul.....	42

Índice de tablas

TABLA	Página
I.- Diferencias morfológicas entre <i>Balaenoptera musculus intermedia</i> (Mackintosh y Wheeler, 1929) y <i>B. m. brevicauda</i> (Omura, 1984).....	14
II.- Número de imágenes de ballena azul obtenidas por sub-áreas en la Península de Baja California durante el periodo de 1994 al 2004.....	32
III.- Información general sobre las ballenas azules varadas en las costas de la Península de Baja California.....	32
IV.- Relaciones alométricas de la ballena azul de Baja California.	34
V.- Coeficientes alométricos del pedúnculo de las subespecies de ballena azul.....	36
VI.- Proporciones corporales promedio, intervalo de confianza (IC) y el tamaño de la muestra (n) para distintas poblaciones o subespecies de ballena azul.....	38
VII.- Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de las curvas de distribución de la proporción del pedúnculo de las subespecies o poblaciones de ballena azul.....	40
VIII.- Prueba de Mann-Whitney ($p < 0.05$) para la proporción del pedúnculo de las ballenas azules analizadas.....	41
IX.- Resultados de la estimación del error en la proporción del pedúnculo de las ballenas azules de Baja California.....	41
X.- Subespecies de mamíferos marinos, y su clasificación de acuerdo a las diferencias que presentan (Rice, 1998).	51

1. RESUMEN

Se reconocen tres subespecies de ballena azul; la ballena azul pigmea *Balaenoptera musculus brevicauda*, se caracteriza principalmente por tener un pedúnculo de menor proporción comparado con las otras dos subespecies (*B. m. intermedia* y *B. m. musculus*). Se ha postulado una distribución amplia para la subespecie pigmea y se especula su presencia en el Pacífico Nororiental. Mediante fotogrametría aérea se caracterizó la morfología externa de las ballenas azules avistadas en las aguas de Baja California, se realizó un análisis alométrico y se compararon las proporciones del cuerpo entre subespecies. Con base en 94 imágenes aéreas obtenidas entre 1994 y 2004 se midieron las proporciones por medio de un microscopio estereoscópico y el programa de análisis digital *Sigma Scan Pro 4*. Se estimó un error proporcional de $\pm 0.68\%$ originado por las fotografías no verticales. Los resultados de las relaciones alométricas mostraron un crecimiento positivo en la parte anterior del cuerpo y un crecimiento negativo en el pedúnculo de las tres subespecies. Este crecimiento desproporcionado fue más pronunciado en *B. m. brevicauda* ($b = -3.38$, $F = 203.87$, $p < 0.05$). El promedio de la proporción del pedúnculo permitió diferenciar entre subespecies, mostrando que el promedio de las ballenas azules de Baja California (22.51-28.31%; $n = 59$) no presentó diferencias significativas con el de *B. m. intermedia* (23-28%; $n = 555$, $p > 0.05$), pero sí difirió significativamente de *B. m. brevicauda* (19.1-28.0%; $n = 57$, $p < 0.05$). Lo anterior sugiere que las ballenas azules avistadas en las aguas de Baja California no corresponden a la subespecie *B. m. brevicauda* sino a *B. m. musculus*; contrastando con el reporte de la presencia de *B. m. brevicauda* en el Pacífico Nororiental. Este resultado apoya la idea de la existencia de más de un área de crianza en el noreste del Pacífico, además de Baja California.

2. ABSTRACT

Three blue whale subspecies have been recognized, the pygmy blue whale, *Balaenoptera musculus brevicauda*, has a smaller proportion of the peduncle-body in comparison with the other subspecies (*B. m. intermedia* and *B. m. musculus*). Several studies propose a wider distribution for the pygmy subspecies and its presence is assumed in the Northeastern Pacific. We used aerial photogrammetry to describe the external morphology of blue whales in Baja California's waters, and used an allometric analysis to compare body proportions between subspecies. We used 94 images obtained between 1994 and 2004 to measure body proportions with a micrometric dissecting scope and Sigma Scan Pro 4 software. A proportional error of $\pm 0.68\%$ was the result of non-vertical photographs. The allometric relations showed a positive relative growth in the fore part of the body and a negative relative growth in the peduncle for the three subspecies. This disproportional growth was most pronounced in *B. m. brevicauda* ($b = -3.38$, $F = 203.87$, $p < 0.05$). The average of the peduncle proportion allowed us to distinguish between subspecies, showing that the average of the blue whales from Baja California (22.51-28.31%; $n = 59$) did not show a significant difference with *B. m. intermedia* (23-28%; $n = 555$, $p > 0.05$), but showed a significant difference with *B. m. brevicauda* (19.1-28.0%; $n = 57$, $p < 0.05$). This suggests that the whales sighted around the Baja California do not belong to *B. m. brevicauda* subspecies but however they are *B. m. musculus*; contrasting with the report on the presence of *B. m. brevicauda* in the Northeastern Pacific. Our results support the idea that there should be at least one more nursing ground in the Northeastern Pacific, besides Baja California.

3. INTRODUCCIÓN

La ballena azul, *Balaenoptera musculus*, es el mamífero marino de mayor tamaño del reino animal. Es una ballena típicamente oceánica, con distribución cosmopolita; además realiza migraciones entre zonas de alimentación, reproducción y crianza (Yochem y Leatherwood, 1985). En la actualidad se reconocen tres subespecies de ballena azul: *Balaenoptera musculus musculus*, *B. m. intermedia* y *B. m. brevicauda* (Rice, 1998).

Con datos de capturas, Mackintosh y Wheeler (1929) postularon semejanzas morfológicas entre *B. m. musculus* (ballenas azules del hemisferio Norte) y *B. m. intermedia* (ballenas azules del hemisferio Sur). Los mismos autores mencionan diferencias en la proporción del pedúnculo (región del cuerpo entre la aleta dorsal y la muesca de la aleta caudal) relacionadas con el crecimiento de la especie.

La existencia de una subespecie pigmea de ballena azul (*B. m. brevicauda*) ha sido cuestionada por algunos autores (Ehrenfeld, 1970 en: Yochem y Leatherwood, 1985). Su primera descripción fue aproximadamente 30 años después del estudio de Mackintosh y Wheeler (1929) en base a diferencias en la longitud total, la anchura de las barbas y la proporción del pedúnculo, en comparación con *B. m. intermedia* (Ichihara, 1961; 1966). Esta última característica morfológica ha sido la determinante para discriminar entre las dos subespecies descritas en el Océano Antártico (Rice, 1998) y en la actualidad probablemente es la única medición que permite diferenciar a *B. m. brevicauda* de las otras subespecies.

La primera distribución registrada de *B. m. brevicauda* fue en la región subantártica adyacente a las islas Kerguelen durante el verano (Ichihara, 1966). Estudios posteriores basados en capturas, observaciones en el mar y registros acústicos coinciden en que esta distribución es más amplia (Yukhov, 1969; Ivashin, 1972; Aguayo, 1974; Berzin, 1978; Donovan, 1984; Alling *et al.*, 1991;

Kato *et al.*, 1995; 1998; Ljungblad *et al.*, 1998), y que incluso engloba parte del noreste del Pacífico (Gilpatrick y Perryman, 1999).

En el noreste del Pacífico la distribución general de la ballena azul abarca desde la región sur de las Islas Aleutianas y el Golfo de Alaska (Rice, 1974) hasta la región del Domo de Costa Rica (Berzin, 1978), área donde se observan durante todo el año (Reilly y Thayer, 1990). En el Golfo de California se distribuyen principalmente durante el invierno y la primavera (Gendron, 2002), donde realizan actividades de alimentación y crianza (Sears, 1987; Gendron, 1990). Por medio de foto-identificación se conoce que estas ballenas migran hacia California (Calambokidis *et al.*, 1990) para alimentarse durante el verano y otoño (Fiedler *et al.*, 1998). Con base a lo anterior y a estudios de ectoparásitos se propuso una “subpoblación” de ballena azul, restringida a las regiones de California y México (Rice, 1992).

Asimismo, Gilpatrick y Perryman (1999) mediante fotogrametría aérea de ballenas azules presentes en las aguas oceánicas de California, México y el Domo de Costa Rica, obtuvieron un promedio de la longitud total y una proporción del pedúnculo similar al reportado para *B. m. brevicauda*.

Considerando la incertidumbre que existe con respecto al estado actual de *Balaenoptera musculus* en el Pacífico Norte debido al problema de la distinción entre subespecies o subpoblaciones (NMFS, 1998); en este estudio se utilizaron fotografías aéreas para obtener información morfométrica de las ballenas azules presentes en las aguas de Baja California. Con esta información se realizó un análisis alométrico, para verificar si las diferencias morfológicas de la ballena azul son originadas por el crecimiento o si son rasgos distintivos entre subespecies; y posteriormente se hizo una comparación morfométrica entre subespecies para determinar si las ballenas azules avistadas en Baja California corresponden a la subespecie *B. m. brevicauda* como fue sugerido por Gilpatrick y Perryman (1999).

INTRODUCCIÓN

En este trabajo encontrarán un ejemplo de la técnica de fotogrametría aérea y su utilidad para adquirir información morfométrica. De esta manera se obtuvo la medida de la proporción del pedúnculo, rasgo corporal indispensable para la discriminación de subespecies de ballena azul.

4. ANTECEDENTES

4.1. Diferenciación morfológica entre subespecies de ballena azul

Mackintosh y Wheeler (1929) no encontraron diferencias morfológicas entre machos y hembras de *B. m. intermedia*, y no registraron otra subespecie de ballena azul para la Antártica.

Posteriormente Ichihara (1961; 1966) describió a *B. m. brevicauda* con base en rasgos morfológicos principalmente la menor proporción del pedúnculo, la cual se obtuvo al medir la distancia del ano a la muesca de la aleta caudal. En publicaciones posteriores se indicó que las mediciones realizadas del borde posterior de la aleta dorsal a la muesca de la aleta caudal, también revelan que el pedúnculo de *B. m. brevicauda* es más corto (promedio = 22.2%, intervalo de 19.17 a 28.09%; Omura, 1984) que el de *B. m. intermedia* (Tabla I).

Tabla I.- Diferencias morfológicas entre *Balaenoptera musculus intermedia* (Mackintosh y Wheeler, 1929) y *B. m. brevicauda* (Omura, 1984).

<u>Subespecie</u>	Longitud promedio	Proporción promedio del ancho de las barbas con respecto a la longitud total	Longitud de madurez física-sexual	Promedio de la proporción del pedúnculo con respecto a la longitud total
<i>B. m. intermedia</i>	24.6 m	1.80%	23.7 m (hembras) 22.6 m (machos)	24.54% (South Georgia) 25.18% (Sudáfrica)
<i>B. m. brevicauda</i>	21.4 m	1.48%	19.2 m (ambos)	22.22 % (I. Kerguelen)

El estudio de Ichihara (1966) demostró que la cabeza o la parte anterior del cuerpo es de menor tamaño en los fetos de *B. m. brevicauda* que en los de *B. m. intermedia*, sin embargo esta característica sólo ocurre en la etapa fetal ya que no se han encontrado diferencias significativas en la etapa adulta.

4.2. Diferenciación visual entre subespecies

Es muy difícil distinguir a simple vista las subespecies de ballena azul en el mar. Sin embargo algunos investigadores aseguran que *B. m. brevicauda* puede ser diferenciada de *B. m. intermedia* (Ichihara, 1961; 1966; Donovan, 1984; Kato *et al.*, 1998). Criterios propuestos para identificar a *B. m. brevicauda* se basan en la morfología, como el patrón de coloración (Ichihara, 1966; Kato *et al.*, 1998) y una cabeza de mayor longitud descrita como “forma de renacuajo” (Kato *et al.*, 1998; IWC, 2002). Otro criterio es el comportamiento superficial, en el cual se ha reportado que *B. m. brevicauda* presenta un comportamiento peculiar de pre-buceo donde nunca expone la aleta caudal y raramente la aleta dorsal, contrastando con *B. m. intermedia* la cual expone ambas aletas (Kato *et al.*, 1998). Sin embargo, en el Pacífico y Atlántico Norte no todas las ballenas azules exponen la aleta caudal al sumergirse (Sears *et al.* 1990; Gendron, 2002).

4.3. Distribución de *Balaenoptera musculus brevicauda*

De acuerdo con Donovan (1984) existe una segregación geográfica durante el verano austral, donde *B. m. brevicauda* se distribuye al Norte de la convergencia Antártica, en contraste con *B. m. intermedia* la cual se concentra más al Sur (Kato *et al.*, 1995). Estudios basados en capturas, observaciones en el mar y registros acústicos coinciden en que la distribución de *B. m. brevicauda* es más amplia a la descrita por Ichihara (1966) (Figura 1).



Figura 1.- Distribución mundial de *Balaenoptera musculus brevicauda*.

Para el Pacífico Oriental Tropical, Reilly y Thayer (1990) mencionaron que la designación de la ballena azul como *B. m. brevicauda* era prematura, debido a la falta de datos morfométricos o genéticos en esta región. Sin embargo, un estudio morfológico de ballenas azules fotografiadas en aguas de California, México y el Domo de Costa Rica mostró que estas ballenas son significativamente más pequeñas (aproximadamente dos metros) a las ballenas azules capturadas en el pasado en aguas del Golfo de Alaska (Gilpatrick y Perryman, 1999). Además tienen una proporción del pedúnculo similar a *B. m. brevicauda*, por lo que se sugirió que son morfológicamente diferentes a las del Pacífico Norte y por lo tanto deberían ser consideradas como una población separada geográficamente (Gilpatrick y Perryman, 1999).

4.4. Ballena azul del Pacífico Norte (*Balaenoptera musculus musculus*)

Balaenoptera musculus musculus comparte las mismas características morfológicas y fisiológicas que *B. m. intermedia*; solo presenta un promedio de la longitud total relativamente menor, de menos de un metro (Mackintosh y Wheeler, 1929; Tomilin, 1967).

Actualmente existen muy pocos registros de avistamientos de ballena azul en el Golfo de Alaska y al Sur de las Islas Aleutianas (Omura, 1955; Nishiwaki, 1966; Forney *et al.*, 2000). Estudios acústicos de las ballenas azules del Pacífico han registrado dos diferentes vocalizaciones: una asociada a ballenas del continente Asiático y otra a las ballenas de la costa oeste de América. Al registrar el mismo tipo de vocalización desde las aguas frente a Vancouver hasta el Domo de Costa Rica, se ha sugerido que todas estas ballenas azules pertenecen a una sola población (Stafford *et al.*, 1999; Stafford *et al.*, 2001).

Un grupo de ballenas azules se presenta en las aguas de Baja California durante el invierno y la primavera; al fin de esta temporada migran a la costa de California, donde se alimentan (Calambokidis *et al.*, 1990; Fiedler *et al.*, 1998). Sin embargo estas ballenas no están restringidas a esta región geográfica, ya que en los últimos años se han comprobado desplazamientos entre California y el Domo de Costa Rica con base en marcas rastreadas por satélite (Mate *et al.*, 1999). La presencia de estos rorcuales en el Domo de Costa Rica ha sido sujeta a varias hipótesis, y se ha planteado que utilizan dicha área como zona de alimentación debido a que es caracterizada por una densidad alta y permanente de eufáusidos (Reilly y Thayer, 1990).

5. JUSTIFICACIÓN

La determinación de la existencia de subespecies es un avance en el conocimiento de la biología de una especie (Curtis y Barnes, 1993). Las investigaciones relacionadas con la subespecie *B. m. brevicauda* son de gran interés para la Comisión Ballenera Internacional (IWC, 1995; 1997; 1999; 2001; 2002), ya que se debe planear un manejo adecuado para las poblaciones de *B. musculus* (NMFS, 1998). Una alternativa para diferenciar subespecies es la comparación de características morfométricas con datos provenientes de poblaciones actuales. El uso de la fotografía aérea vertical permite la observación total del cuerpo de la ballena, lo que facilita la obtención de información morfométrica que permitirá la discriminación morfológica de subespecies.

6. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la morfología externa de la ballena azul de Baja California mediante fotogrametría aérea.

7. OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Determinar los patrones de variación corporal en la ballena azul, por medio de relaciones alométricas.
- 2.- Comparar las proporciones del cuerpo de las ballenas azules avistadas en aguas de Baja California con las proporciones de las subespecies o poblaciones reconocidas.

8. ÁREA DE ESTUDIO

La región de estudio se ubicó en las aguas de la Península de Baja California, incluyendo el Golfo de California y la costa occidental de la Península (Figura 2).

El Golfo de California (GC) se localiza entre las latitudes 23° y 31° N y las longitudes 107° y 115° W. Limitado al oeste por la Península de Baja California y al este por los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit. Tiene una longitud aproximada de 1,000 km y 150 km de ancho, con un área aproximada de 210,000 km (Roden, 1964).

El GC es considerado como una zona subtropical con altos índices de productividad primaria de diciembre a junio y bajos índices entre junio y octubre (Santamaría-del-Ángel y Álvarez-Borrego, 1994). Las surgencias comúnmente se presentan en las islas y al sotavento de la costa este durante el invierno y primavera, cuando predominan los vientos del noroeste; y en la costa oeste durante el verano cuando predominan los vientos del sureste (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). La temperatura superficial presenta rangos entre los 14° y 21° C en febrero, y entre los 28° y 31° C en el mes de agosto (Álvarez-Borrego y Schwartzlose, 1979).

La costa occidental de la Península de Baja California presenta una plataforma continental irregular (de 20 a 150 km de ancho) y un talud con una pendiente muy abrupta (De la Lanza, 1991). Esta región marina posee las características físico-químicas de la Corriente de California (caracterizada por una baja salinidad y temperatura; así como una reducida velocidad), sin embargo cerca de la costa pueden alterarse las concentraciones debido a surgencias y contraflujos. Durante el otoño se presentan los contenidos más bajos de materia orgánica, debido a que las surgencias son débiles y la Corriente de California alcanza su máximo (De la Lanza, 1991).

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

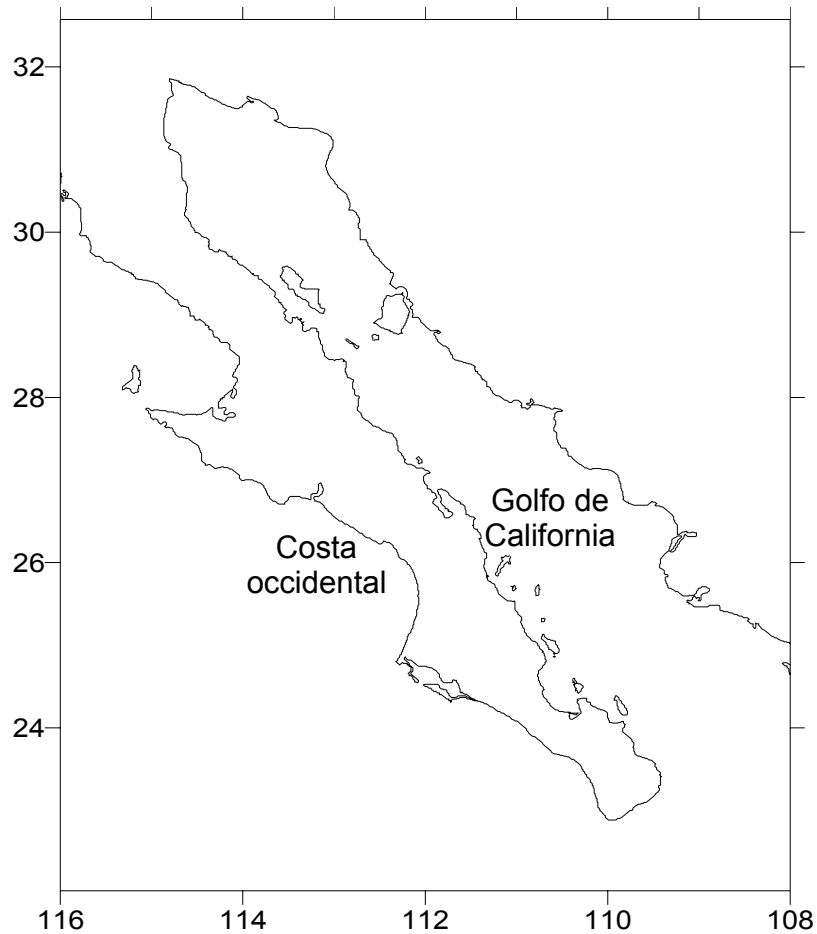


Figura 2.- Zona de estudio incluyendo al Golfo de California y la costa occidental de la Península de Baja California.

9. METODOLOGÍA

A bordo de una avioneta Cessna 182 con alas fijas en la parte superior (Environmental Flying Service, piloto: Sandy Lanham) se tomaron imágenes verticales de ballenas azules en aguas del Golfo de California y la costa occidental de la Península, principalmente en invierno y primavera. Los censos aéreos fueron parte del objetivo del proyecto de ecología de cetáceos del CICIMAR durante el período de 1994 al 2004.

Cada censo aéreo fue de aproximadamente cuatro horas, y se realizaron a una altura promedio de 270 m con un rango de 130 a 430 m, a una velocidad promedio de 100 km/h. La tripulación consistió en dos observadores expertos y otro observador de apoyo ubicado en la parte posterior de la avioneta. Las trayectorias previamente diseñadas se seguían con ayuda del Geoposicionador (GPS) de la avioneta. Para cada trayectoria se anotaba en una bitácora de vuelo: la hora, fecha, estado del mar (escala Beaufort), visibilidad y cobertura de nubes. Durante un avistamiento de ballena azul la avioneta se posicionaba en la vertical sobre el animal y giraba 45° sobre su eje horizontal para la toma de la fotografía. Ésta era capturada por el observador del frente, quien a su vez con un número registraba la ubicación (hora, latitud y longitud guardada en la memoria del GPS), la especie, número de animales, número de rollo fotográfico y de las fotografías; así como observaciones particulares.

9.1. Fotogrametría

La mayoría de las imágenes de ballena azul fueron tomadas con una cámara de 35 mm Canon EOS 2, equipada con un zoom Tamron de 70-300 mm, cargada con una película de transparencias Ektachrome (Kodak) de 100/ASA; otras imágenes se obtuvieron con una cámara de video Sony HI 8. También se usaron fotografías de un colaborador (Patricio Robles, presidente de Unidos para la Conservación). Las transparencias se colocaron en marcos de filminas y las proporciones del cuerpo de las ballenas se midieron utilizando un microscopio estereoscópico Olympus, equipado con un filtro micrómetro Olympus de 10X. Las fotografías digitalizadas e imágenes de video obtenidas, se midieron por medio del programa de computación *Sigma Scan pro 4*.

Las siguientes partes del cuerpo de las ballenas fueron medidas y posteriormente se convirtieron en proporciones de la longitud total (LT) (Figura 3):

LT) Mandíbula a la muesca de la aleta caudal

1) Mandíbula al ojo

2) Mandíbula al orificio nasal

3) Mandíbula a la axila (fin de la aleta pectoral)

4) Ancho del cráneo (nivel de los ojos)

5) Longitud de la aleta pectoral (parte posterior)

6) Ancho del cuerpo

7) Orificio nasal a la aleta caudal

8) Mandíbula a la aleta dorsal

9) Aleta dorsal a la axila

10) Pedúnculo (distancia aleta dorsal a la aleta caudal)

11) Longitud de la aleta caudal

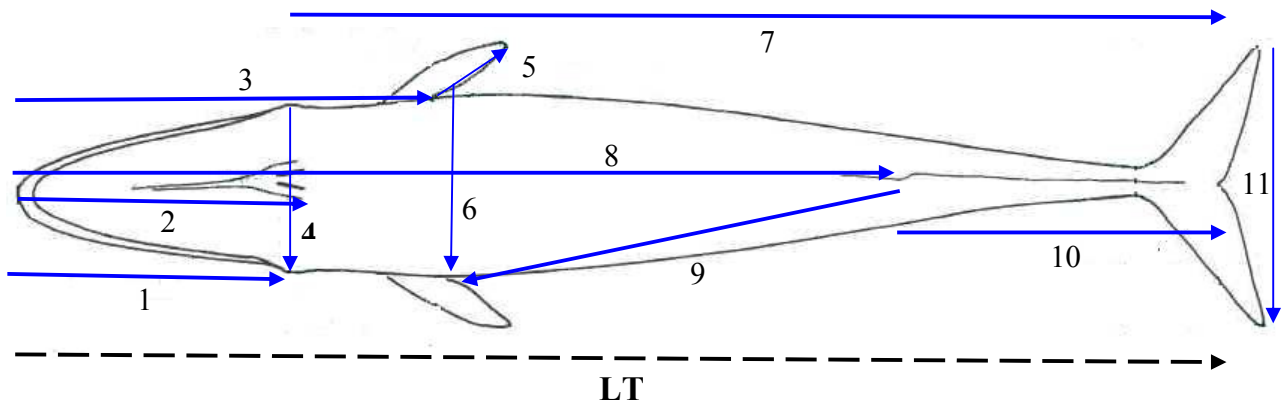


Figura 3.- Esquema de la morfometría aplicada a las fotografías perpendiculares de la ballena azul de Baja California. Se señalan con número las biometrías analizadas. LT=Mandíbula a muesca de la aleta caudal, 1=Mandíbula al ojo, 2=Mandíbula al orificio nasal, 3=Mandíbula a la axila, 4=Ancho del cráneo, 5=Longitud aleta pectoral, 6=Ancho del cuerpo, 7=Orificio nasal a aleta caudal, 8=Mandíbula a aleta dorsal, 9=Aleta dorsal a axila, 10=Pedúnculo y 11=Longitud aleta caudal.

Las regiones del cuerpo analizadas consistieron en ocho medidas longitudinales y tres medidas transversales (Figura 3). Estas medidas se eligieron con base en las medidas utilizadas por Mackintosh y Wheeler (1929) para las ballenas (*B. m. intermedia*) capturadas en el hemisferio Sur.

9.2. Selección de fotografías

Para que una fotografía fuera seleccionada en el análisis morfométrico, ésta debía cumplir con los siguientes criterios de calidad: 1) que el cuerpo de la ballena estuviera completo, recto y paralelo a la superficie del mar o que la fotografía fuera tomada lo más perpendicular posible a la avioneta, 2) que presentara una excelente nitidez y 3) que se apreciaran al menos dos medidas de las mencionadas en la Figura 3, aparte de la longitud total. Las imágenes en donde se observó turbulencia en el agua o aquellas que presentaron dificultades para realizar las mediciones debido a que no eran conspicuos los bordes corporales de la ballena, fueron descartadas del análisis. Asimismo se eliminaron aquellas imágenes en donde el cuerpo de la ballena se encontraba flexionado, ya que se podía subestimar la longitud total. Los datos de cada fotografía (fecha, lugar, número de rollo y de fotografías) junto con los valores de las mediciones se almacenaron en una hoja de trabajo electrónica (Excel).

9.3. Alometría

Mediante relaciones alométricas, las cuales describen el crecimiento relativo de los organismos con respecto a otros cambios morfológicos (Huxley, 1924; 1932; Schneider, 1994), se analizó la morfología de la ballena azul de Baja California enfatizando la proporción del pedúnculo y la parte anterior del cuerpo (distancia de la mandíbula a la aleta dorsal).

De acuerdo con Huxley (1924), la mejor determinación del coeficiente alométrico se obtiene a partir del graficado de los datos directamente o por técnicas estadísticas como la regresión por mínimos cuadrados. En este estudio se utilizó la ecuación logarítmica (ecuación 1) (Huxley, 1924; 1932; Schmidt-Nielsen, 1984), la cual se obtuvo al graficar los datos morfométricos de la ballena azul.

$$\text{Log } Y = b (\log X) + \log a \quad (1)$$

Donde:

a = Intersección con el eje Y.

b = La pendiente de la recta (coeficiente alométrico).

Y = Parte del cuerpo de interés, y que se considera que varía con respecto a X .

X = Segunda región morfológica de interés, considerada como una medición a partir de la cual podemos comparar la tasa de cambio de la medición Y .

El $\log a$ describe el punto inicial de crecimiento. La pendiente (b) representa la tasa de cambio de la medición Y con respecto a la medición X , en un cierto período. El crecimiento isométrico se indica con $b = 1$, cuando $b > 1$ se le denomina alometría positiva y cuando $b < 1$ es alometría negativa (Huxley y Teissier, 1936; Schmidt-Nielsen, 1984). Mientras más negativo sea el coeficiente alométrico significa que la variable Y presentará un crecimiento más lento, que el de la variable X .

9.4. Uso de la técnica de alometría en datos de caza obtenidos para las subespecies *Balaenoptera musculus intermedia* y *B. m. brevicauda*

Para comprobar si las diferencias en la proporción del pedúnculo de la ballena azul se relacionan con el crecimiento de los organismos o si representan una característica distintiva entre subespecies, se calculó la relación alométrica con datos de caza de *B. m. intermedia* (Mackintosh y Wheeler, 1929) y *B. m. brevicauda* (Omura, 1984).

Finalmente se aplicó un análisis de covarianza, para buscar diferencias significativas entre las pendientes (coeficientes alométricos; Zar, 1996) de las relaciones corporales de las subespecies de ballena azul. Este análisis está dado por (ecuación 2):

$$F = \frac{\left(\frac{SSc - SSp}{k - 1} \right)}{\frac{SSp}{DFp}} \quad (2)$$

Donde:

F = Estadístico de la prueba del análisis de covarianza para varias pendientes.

SSc = Suma de cuadrados residual común

SSp = Suma de cuadrados residual agrupado

k = Número de pendientes a comparar

DFp = Grados de libertad

9.5. Comparación morfométrica entre subespecies o poblaciones

Las proporciones del cuerpo obtenidas en este estudio se compararon con las proporciones obtenidas a partir de mediciones de ballenas azules cazadas en otras áreas: 1) Sudáfrica e isla de South Georgia (*B. m. intermedia*; Mackintosh y Wheeler, 1929), 2) Islas Kerguelen (*B. m. brevicauda*; Omura, 1984) y 3) Atlántico Norte (*B. m. musculus*; Tomilin, 1967). Adicionalmente se compararon con los resultados de fotogrametría aérea para la ballena azul de California, México y el Domo de Costa Rica (*B. m. brevicauda*, Gilpatrick *et al.*, 1999). De esta forma se realizó una comparación morfométrica de las tres subespecies descritas en la ballena azul.

Con las medidas comunes entre las tres subespecies, se desarrolló un análisis discriminante (Zar, 1996) con la finalidad de encontrar una característica morfométrica que ayudara a diferenciar a *B. m. brevicauda* de las otras subespecies. El resultado del análisis discriminante se analizó con una estadística no paramétrica, debido a que aún después de su transformación *arco seno*, la distribución no fue normal. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Steel y Torrie, 1988) para analizar las curvas de distribución de la proporción del pedúnculo, variable morfométrica resultante del análisis discriminante. Por medio de la prueba de Kruskal-Wallis (H), utilizada para comparar más de dos grupos, se corroboró el resultado de la prueba anterior al analizar la proporción del pedúnculo de todas las subespecies. Con la prueba de Mann-Whitney (U; Zar, 1996; Daniel, 1999) se buscaron diferencias morfométricas en las subespecies con base en la variación de la proporción del pedúnculo.

9.6. Origen y estimación del error en la fotogrametría aérea

La selección de imágenes permitió la exclusión de algunas fuentes potenciales de error que pueden presentarse en cualquier estudio que use la técnica de fotogrametría. El uso de fotogrametría aérea para el análisis de proporciones del cuerpo, requiere de una excelente calidad de las fotografías para poder observar con claridad los bordes corporales de los organismos a medir (Davis *et al.*, 1986).

Se supuso la existencia de algún error adicional en la estimación de las proporciones, este error se presenta cuando las fotografías no son obtenidas en una posición totalmente vertical sobre el organismo; es decir, que existiera un ángulo entre la ballena y la posición de la avioneta sobre el eje vertical en el momento de capturar la imagen. Lo anterior daría como resultado un efecto de perspectiva sobre el animal, ya que en las fotografías se registraría una parte del cuerpo de mayor tamaño que el resto, dando como resultado proporciones corporales espurias. Cabe señalar que el efecto de perspectiva dependerá de la posición de la ballena en la fotografía; por lo tanto las fotografías donde se presentó perspectiva en cualquiera de las medidas longitudinales fueron descartadas, ya que una de estas partes del cuerpo es la principal medida utilizada en la discriminación de subespecies (Ichihara, 1966).

Para estimar el error presente en las fotografías que no fueron totalmente perpendiculares a la ballena, se necesitan datos precisos de la altura de la avioneta y del ángulo de la cámara sobre la vertical en el momento de capturar cada una de las fotografías. Debido a la pérdida rápida de altura en el momento de girar 45° para la toma de fotografías, fue imposible leer la altura indicada por el altímetro de la avioneta en ese momento; asimismo no se midió el ángulo entre la vertical de la cámara y la posición de la ballena.

Para evaluar este posible error se realizó una simulación con valores aleatorios de la altura de la avioneta y del ángulo de la cámara sobre la vertical en el momento de capturar la imagen. Esta simulación consistió en generar aleatoriamente 200 valores de alturas (H) y 20 valores del ángulo con respecto a la vertical (\emptyset). El rango del ángulo fue entre 0 y 2°; y el rango de las alturas fue entre los 200 y 260 metros. La altura común a la cual se tomaron las fotografías fue de 230 m, debido a que a esta altura se garantizaba la observación del cuerpo de la ballena completamente al usar el fotolente a su máximo acercamiento (300 mm). En total fueron 2,000 combinaciones de alturas y ángulos, las cuales produjeron un error promedio (Figura 4).

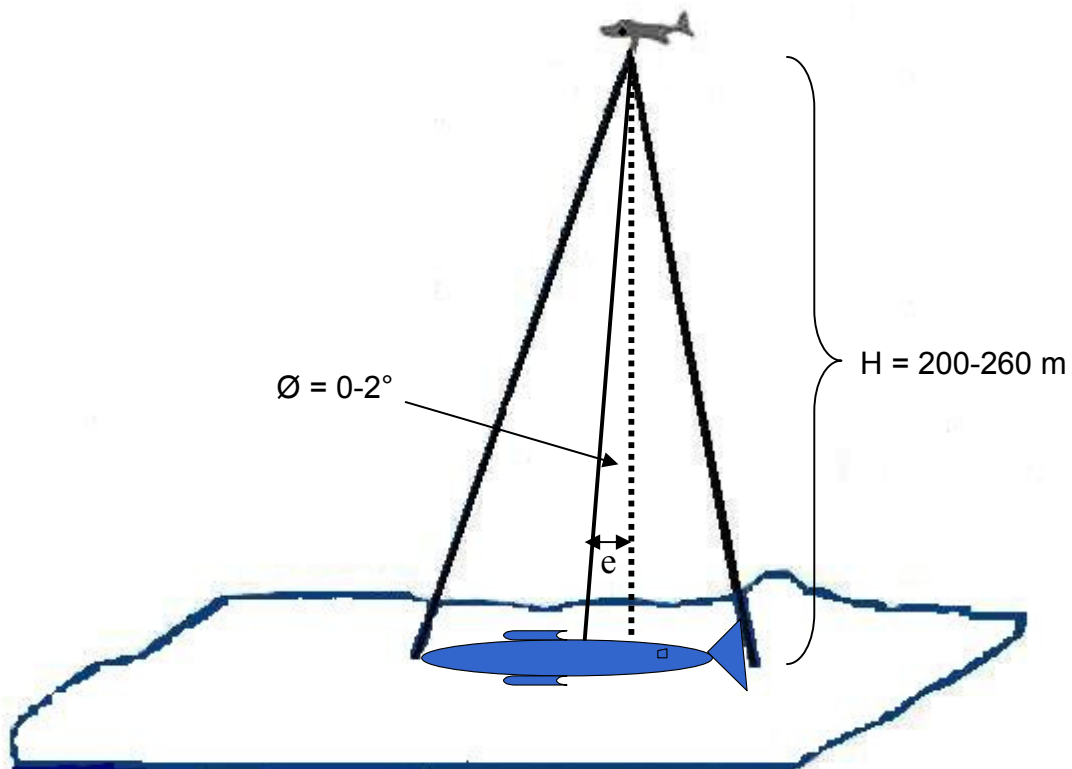


Figura 4.- Representación gráfica del error entre la vertical de la avioneta y las ballenas azules fotografiadas. (Líneas continuas en extremidades de la ballena = representación visual a través de la cámara. Línea continua central = la vertical. Línea punteada = desviación de la vertical a la cual fue tomada la fotografía. Distancia entre las dos líneas centrales = el error (e). \emptyset = ángulo existente respecto a la vertical y H = altura a la cual se tomaron las fotografías).

Este error es representado por la ecuación 3, la cual se fundamenta por una función trigonométrica. Al despejar la hipotenusa obtendremos la distancia (en metros) entre la vertical y la posición de la ballena en el momento de capturar la imagen. Esta distancia fue definida como la magnitud del error por el ángulo (e_1).

$$e_1 = H * \tan (\varnothing * 3.1416 / 180^\circ) \quad (3)$$

Donde:

e_1 = distancia entre la vertical y la posición de la ballena al fotografiarla.

H = posible altura a la cual se obtuvo la fotografía (valor aleatorio entre los 250 y 290 m).

\varnothing = posible ángulo de la cámara con respecto a la vertical (valor aleatorio entre 0 y 2°).

Nota: la operación $3.1416 / 180^\circ$ se introduce con la finalidad de realizar la conversión a radianes.

Experimentalmente se observó que el fotolente provee de un acercamiento promedio de 35 m al utilizarse a su máxima potencia (300 mm). Lo anterior se estimó al fotografiar un objeto terrestre de tamaño similar a una ballena (20 m) a partir de diversas distancias y con un ángulo menor a 2° entre la cámara y el objeto. Por lo tanto, estimamos el error ocasionado por la imprecisión de la altura (altura real – acercamiento del fotolente) y por el ángulo, tal y como se muestra en la siguiente expresión definida como la magnitud del error por la altura (4):

$$e_2 = (H-h) * \tan (\varnothing * 3.1416 / 180^\circ) \quad (4)$$

Donde:

h = 35 m, la altura o distancia entre la lente y la ballena debido al acercamiento por el fotolente.

Con ambas ecuaciones (3 y 4) se analizaron los valores de las 2,000 combinaciones de ángulos y alturas; obteniéndose el valor mínimo, máximo y un promedio del error ocasionado por el ángulo (e_1) y del error ocasionado por la diferencia de alturas (e_2).

El error total (E) será la relación existente entre ambos errores (e_1 y e_2), y expresa la distancia entre la posición del eje de la cámara y la vertical (ecuación 5).

$$E = e_1 \pm e_2 \quad (5)$$

El error total promedio obtenido se introdujo en las siguientes ecuaciones (6), las cuales expresan el error en valores proporcionales. Estas ecuaciones representan las cuatro posibilidades en que la distancia entre la vertical y la posición de la ballena puede afectar la proporción con respecto a la longitud total de las ballenas. A partir de estas se obtuvo la variación máxima, mínima y el promedio de la proporción corporal analizada. Las ecuaciones se expresan de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Error } P_1 &= P + e / LT + e \\ \text{Error } P_2 &= P - e / LT - e \\ \text{Error } P_3 &= P + e / LT - e \\ \text{Error } P_4 &= P - e / LT + e \end{aligned} \quad (6)$$

Donde:

P = representa una proporción del cuerpo de una ballena azul.

e = distancia entre la vertical y la posición de la ballena en el momento de capturar la imagen.

LT = longitud total de la misma ballena azul analizada.

10. RESULTADOS

10.1. Censos aéreos

Se realizaron aproximadamente 86 censos aéreos alrededor de la Península de Baja California, principalmente entre los meses de diciembre a julio del año de 1994 al 2004. La distancia total recorrida durante el período de estudio fue de aproximadamente 27,987 km (Figura 5).

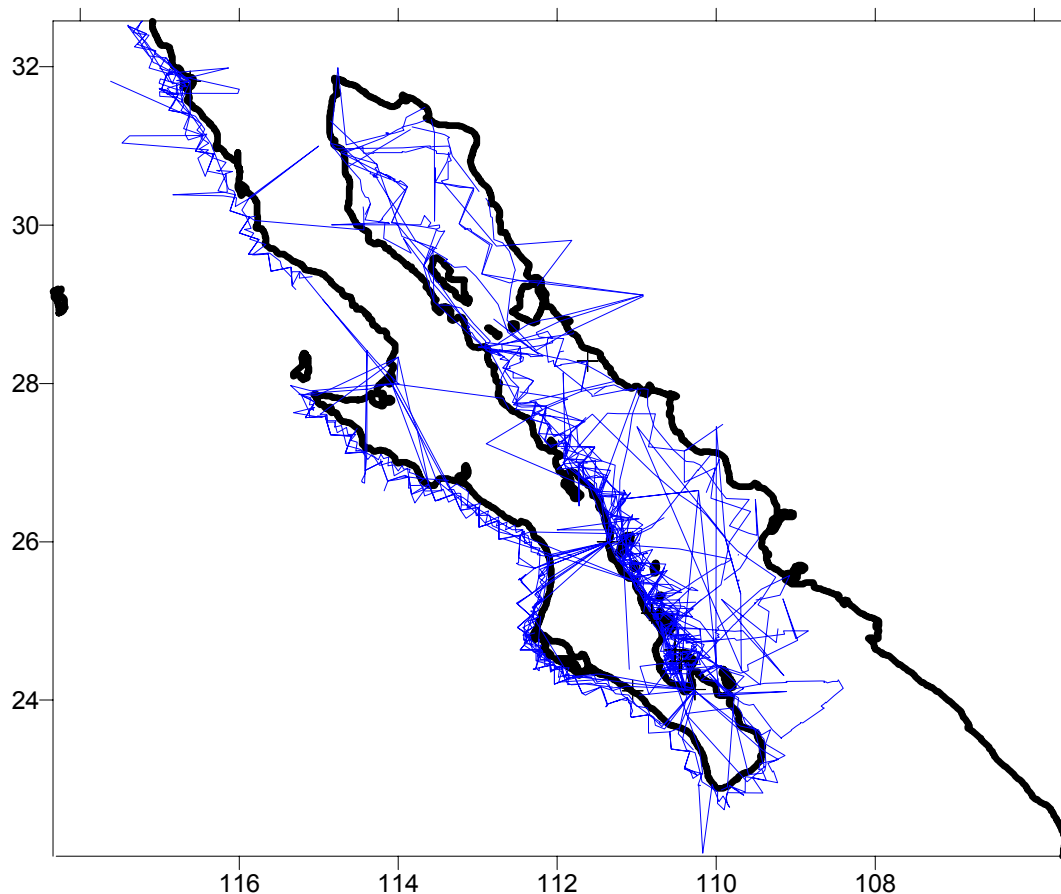


Figura 5.- Esfuerzo de observación (línea azul) durante los censos aéreos alrededor de la Península de Baja California en el período de 1994 al 2004.

RESULTADOS

Durante estos censos se tomaron fotografías aéreas verticales de ballenas azules. Del total se seleccionaron 94 imágenes de alta calidad repartidas en toda la zona de estudio (Tabla II), aunque la mayoría (77%) se obtuvieron en la zona suroeste del Golfo de California. Adicionalmente se adquirió información morfométrica de dos ballenas azules varadas en dos localidades de la península de Baja California (Tabla III).

Tabla II.- Número de imágenes de ballena azul obtenidas por sub-áreas en la Península de Baja California durante el periodo de 1994 al 2004.

Año	Alto Golfo	Centro-Sur Golfo	Costa occidental
1994	0	3	1
1995	1	0	6
1996	0	4	0
1997	0	9	0
1998	0	0	0
2001	0	10	0
2002	0	20	0
2003	3	9	0
2004	0	28	0

Tabla III.- Información general sobre las ballenas azules varadas en las costas de la Península de Baja California.

Organismos varados	Fecha	Ubicación	Sexo	Longitud
1	Junio del 2000	Bahía de La Paz, B.C.S.	Macho	18 m
2	Octubre del 2000	Ensenada, B.C.	Macho	17.9 m

10.2. Relaciones alométricas

Al analizar las 11 proporciones del cuerpo de las ballenas azules fotografiadas en las aguas de Baja California, se encontró un crecimiento alométrico desproporcionado entre la parte anterior y posterior del cuerpo.

La proporción del orificio nasal a la aleta caudal mostró una alometría negativa significativa; es decir, un crecimiento más lento en comparación con la proporción de la mandíbula al orificio nasal ($b = -0.2$, $r = 0.99$, $p < 0.05$, $n = 75$) (Tabla IV). Y al comparar la proporción del pedúnculo con la parte anterior del cuerpo de la ballena (distancia de la mandíbula a la aleta dorsal) se encontró una alometría negativa significativa ($r^2 = 0.86$, $r = -0.92$, $p < 0.05$, $n = 59$), además de ser la más pronunciada de todas las relaciones alométricas analizadas ($b = -2.51$). Esto indica que el pedúnculo tiene un crecimiento más lento que la parte anterior del cuerpo (Tabla IV, Figura 6). Al analizar la proporción del pedúnculo con relación a otras proporciones de la parte anterior del cuerpo de la ballena, se confirmó su crecimiento lento, pero con menor significancia (Tabla IV).

RESULTADOS

Tabla IV.- Relaciones alométricas de la ballena azul de Baja California. *b* = coeficiente alométrico; r^2 = evalúa la relación entre las variables morfométricas comparadas; El símbolo * indica la comparación que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$); n = número de individuos medidos.

Proporciones del cuerpo de <i>B. musculus</i>	<i>b</i>	r^2	n
Orificio nasal a la aleta caudal vs. Mandíbula al orificio nasal	-0.2	0.99 *	75
Pedúnculo vs. Mandíbula a la aleta dorsal	-2.51	0.86 *	59
Pedúnculo vs. Mandíbula al orificio nasal	-0.22	0.15 *	43
Pedúnculo vs. Mandíbula al ojo	-0.23	0.15 *	32
Pedúnculo vs. Mandíbula a la axila	-0.5	0.29 *	41
Pedúnculo vs. Aleta dorsal a la axila	-0.18	0.02 *	41
Aleta dorsal a la axila vs. Mandíbula a la axila	-0.48	0.44 *	39
Pedúnculo vs. Ancho del cráneo	-0.03	0.002	28
Pedúnculo vs. Longitud de la aleta caudal	-0.02	0.001	38
Pedúnculo vs. Ancho del cuerpo	-0.06	0.008	29
Mandíbula a la aleta dorsal vs. Ancho del cráneo	-0.01	0.002	28
Ancho del cuerpo vs. Mandíbula a la aleta dorsal	0.63	0.03	29
Longitud de la aleta caudal vs. Mandíbula a la aleta dorsal	0.1	0.0008	38
Longitud de la aleta pectoral vs. Mandíbula a la aleta dorsal	0.05	0.0004	16

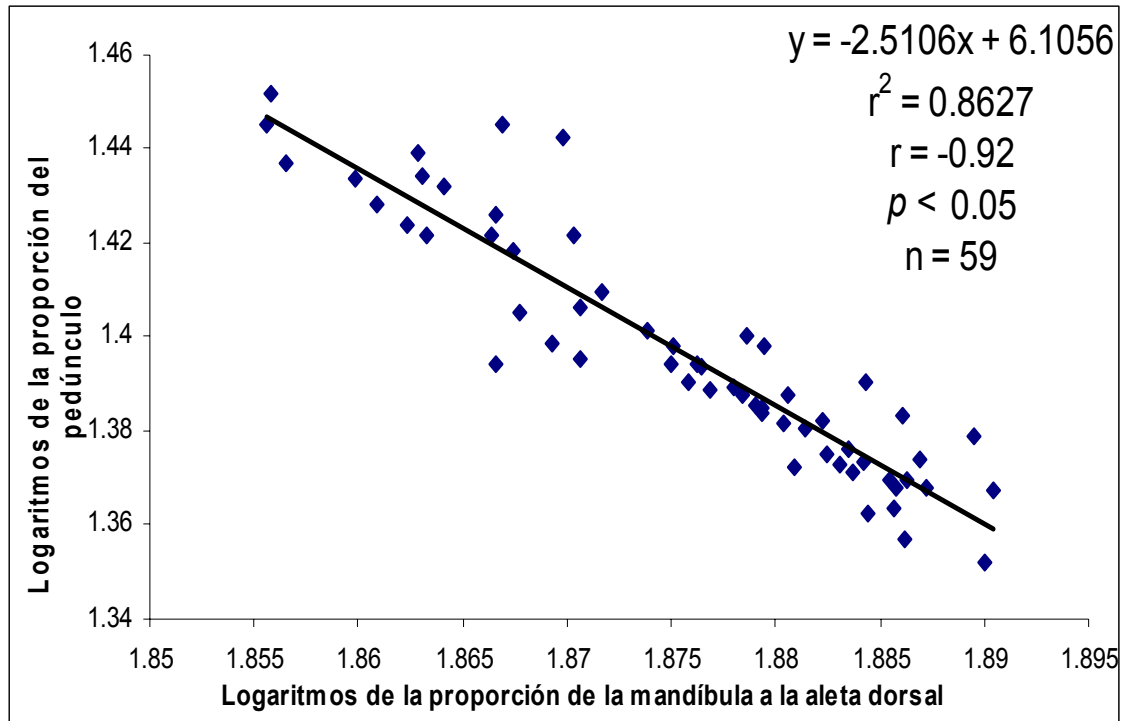


Figura 6.- Alometría en la proporción del pedúnculo con respecto al resto del cuerpo de la ballena azul de Baja California.

De forma similar las subespecies *B. m. intermedia* y *B. m. brevicauda* presentaron una alometría negativa en el pedúnculo, sin embargo sus coeficientes alométricos fueron menores al de la ballena azul de Baja California (Tabla V); por lo que se encontraron diferencias significativas entre los tres coeficientes ($F = 203.87, p < 0.05$). El coeficiente alométrico más negativo fue el de *B. m. brevicauda*, lo que sugiere que el lento crecimiento del pedúnculo será más pronunciado en esta subespecie (Tabla V).

RESULTADOS

Tabla V.- Coeficientes alométricos del pedúnculo de las subespecies de ballena azul. *b* = coeficiente alométrico; r^2 = evalúa la relación entre las variables morfométricas comparadas; El símbolo * indica la comparación que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$); *n* = número de individuos medidos.

Subespecies	<i>b</i>	r^2	<i>n</i>	Origen de datos
<i>B. m. intermedia</i>	-3.03	0.99 *	555	Mackintosh y Wheeler, (1929)
<i>B. m. brevicauda</i>	-3.38	0.99 *	57	Omura, (1984)
Ballena azul de Baja California	-2.51	0.86 *	59	Este estudio

El crecimiento alométrico negativo caudal describe que los individuos de tallas menores como crías y jóvenes de las tres subespecies de ballena azul, muestran un pedúnculo más grande en proporción a la longitud total, y no crece con la misma rapidez que el resto del cuerpo; razón por la cual presentarán diferencias proporcionales al ser adultos. Del mismo modo, encontramos que a un tamaño similar (18-19m) en las subespecies de ballena azul, el promedio de la proporción del pedúnculo es significativamente diferente ($U = 277$, $p < 0.05$) (Mackintosh y Wheeler, 1929; Ichihara, 1966; Omura, 1984); siendo de 22% en *B. m. brevicauda* y de 25% en *B. m. intermedia* y en las ballenas azules de Baja California (Figura 7).

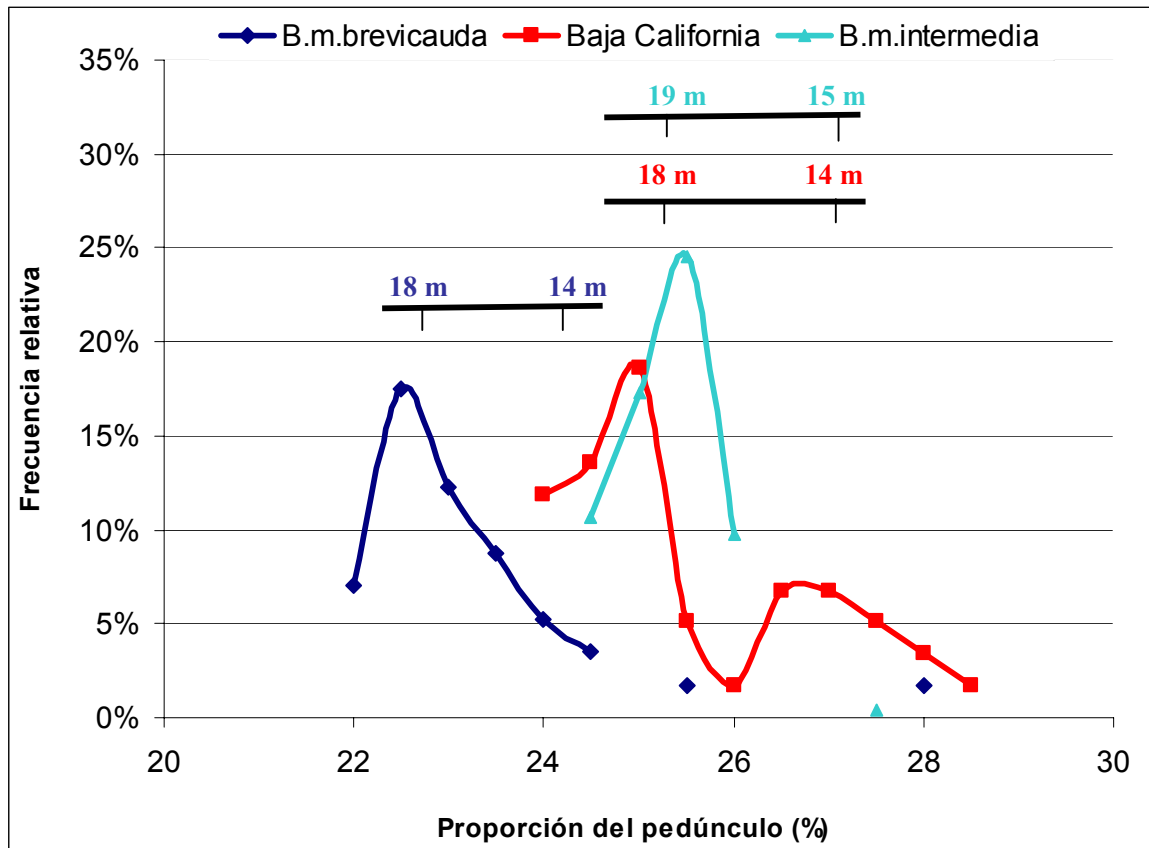


Figura 7.- Comparación de la proporción del pedúnculo entre sub-adultos de *B. m. brevicauda* (Omura, 1984), *B. m. intermedia* (Mackintosh y Wheeler, 1929) y las ballenas azules de Baja California (este estudio), con su relación de tallas.

10.3. Comparación de proporciones de cuerpo entre poblaciones o subespecies de ballena azul

La comparación morfométrica entre las subespecies de ballena azul sólo se realizó con las mediciones 1, 2, 3, 8 y 10 (descritas en la metodología), ya que fueron las únicas mediciones disponibles y que coincidieron entre las tres subespecies. El promedio de la proporción del pedúnculo fue el que presentó la mayor variación (Tabla VI).

RESULTADOS

Tabla VI.- Proporciones corporales promedio, intervalo de confianza (IC) y el tamaño de la muestra (n) para distintas poblaciones o subespecies de ballena azul. 1 = Mandíbula al ojo, 2 = Mandíbula al orificio nasal, 3 = Mandíbula a la axila, 8 = Mandíbula a la aleta dorsal y 10 = Pedúnculo.

Subespecies de ballena azul	1	P R O 2	P O R C I O 3	N E S 8	10
Baja California (Este estudio)	21% IC= 14.8-24.7% n=56	17.73 % IC=12.9-21.3% n= 75	34.72% IC=30.2-40.9% n=63	75.11% IC=71.7-77.7% n=59	24.96% IC=22.5-28.3% n=59
Atlántico Norte <i>B. m. musculus</i>; Tomilin, (1967)	21.01% n=25	18.04% n=16	35.08% n=18	77.51% n=14	
California/Méx/C.R. <i>B. m. breviceuda</i>; Gilpatick <i>et al.</i> (1999)		17.75% IC=17.3-18.2% n=43			22.23% IC=19.5-25% n=55
Islas Kerguelen <i>B. m. breviceuda</i>; Omura, (1984)	20.21% IC=18-23.9% n=93	18.15% IC=15.2-20.3% n=42		77.77% IC=71.9-80.8% n=57	22.19% IC=19.1-28% n=57
Sudáfrica <i>B. m. intermedia</i>; Mackintosh y Wheeler, (1929)	19.56% IC=16.9-22.9% n=245	17.01% IC=14.4-20.1% n=238		74.86% IC=72.5-76.3% n=202	25.18% IC=21.8-29.9% n=202
I. South Georgia <i>B. m. intermedia</i>; Mackintosh y Wheeler, (1929)	20.46% IC=15.2-24.7% n=521	17.97% IC=13.7-21.6% n=458		75.49% IC=74.3-76.9% n=355	24.54% IC=20.5-28.8% n=353

El resultado del análisis discriminante entre subespecies mostró que la proporción de la mandíbula al orificio nasal y el pedúnculo presentan una función discriminante con una correlación canónica significativa de 0.99 ($p < 0.05$). Siendo el pedúnculo la variable morfométrica más representativa del análisis (Coeficiente estandarizado = 1.86).

RESULTADOS

Considerando lo anterior, los siguientes análisis fueron dirigidos a comparar la proporción del pedúnculo, con la finalidad de tratar de determinar que subespecie de ballena azul está presente en las costas de Baja California.

De acuerdo con las distribuciones de la proporción del pedúnculo de las ballenas azules, se observa una tendencia de agrupamiento: uno constituido por las ballenas azules pigmeas (I. Kerguelen) y las de California, México, Costa Rica; y otro por las ballenas de Sudáfrica, las de South Georgia y las de Baja California (Figura 8).

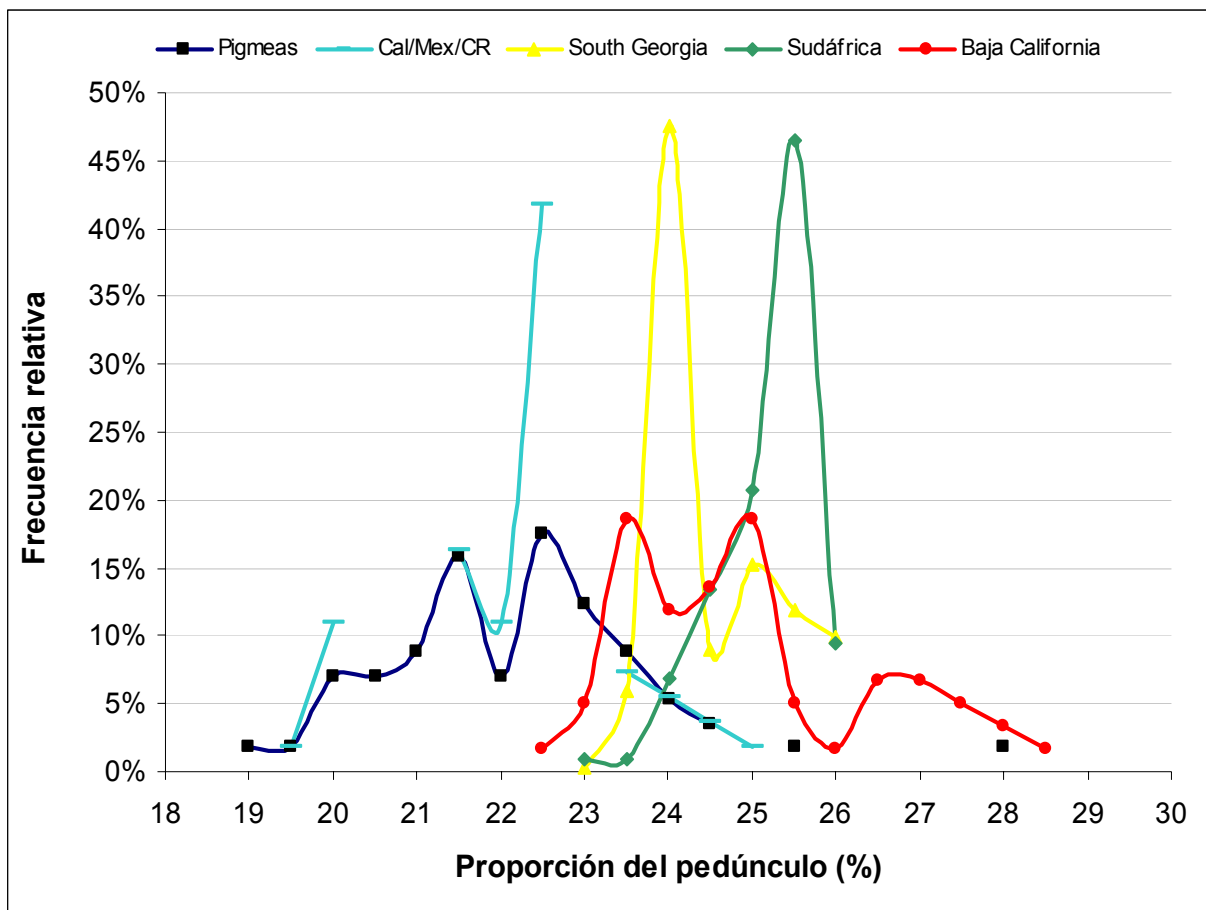


Figura 8.- Distribución de la proporción del pedúnculo de las ballenas azules: *B. m. brevicauda* / I. Kerguelen (Omura, 1984), California/México/Costa Rica (Gilpatrick *et al.*, 1999), South Georgia y Sudáfrica (Mackintosh y Wheeler, 1929) y Baja California (este estudio).

RESULTADOS

Se encontraron diferencias significativas entre todas las distribuciones, a excepción de la comparación entre las ballenas pigmeas (Islas Kerguelen) y las de California, México, Costa Rica; lo que indica una semejanza morfométrica entre estos dos grupos de ballenas azules (Tabla VII).

Tabla VII.- Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para el análisis de las curvas de distribución de la proporción del pedúnculo de las subespecies o poblaciones de ballena azul ($p < 0.05$ cuando: D calculada > D teórica). El símbolo * indica la comparación que presentó diferencias significativas.

	D calculada	D teórica
Baja California vs. Pigmeas *	0.7217	0.2273
Baja California vs. Cal/Mex/CR *	0.8012	0.2294
Baja California vs. Sudáfrica *	0.2857	0.1811
Baja California vs. S.Georgia *	0.2373	0.1721
Pigmeas vs. Cal/Mex/CR	0.1515	0.2313
Pigmeas vs. Sudáfrica *	0.8573	0.1835
Pigmeas vs. S.Georgia *	0.8148	0.1747
Cal/Mex/CR vs. Sudáfrica *	0.8711	0.1861
Cal/Mex/CR vs. S.Georgia *	0.8285	0.1774
Sudáfrica vs. S.Georgia *	0.4491	0.1079

Se analizó la variancia entre las proporciones del pedúnculo de las ballenas azules y también se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H_{4,720} = 300.65$, $p < 0.05$). Las ballenas azules presentes en Baja California mostraron diferencias significativas con las de la región de California, México, Costa Rica, con las pigmeas y las de Sudáfrica; mientras que las ballenas azules de California, México, Costa Rica mostraron diferencias significativas con las de Sudáfrica, las de South Georgia y las de Baja California (Tabla VIII). Este resultado coincide con el análisis anterior.

RESULTADOS

Tabla VIII.- Prueba de Mann-Whitney ($p < 0.05$) para la proporción del pedúnculo de las ballenas azules analizadas. El símbolo * indica la comparación que presentó diferencias significativas.

	BC	Cal/Mex/CR	Pigmeas	Sudáfrica	S.Georgia
BC	1				
Cal/Mex/CR	3.082E-16 *	1			
Pigmeas	7.067E-15 *	0.740	1		
Sudáfrica	0.002 *	8.916E-30 *	8.676E-28 *	1	
S.Georgia	0.211	1.008E-28 *	3.111E-27 *	1.170E-21 *	1

10.4. Error estimado en fotografías aéreas

El error promedio fue de 4.1 m (IC = 0.62 m – 7.58 m), valor considerado como la distancia de desfazamiento de la avioneta sobre la ballena azul con respecto a la vertical, al momento de obtener la fotografía. Esta distancia promedio de desfazamiento se introdujo en las ecuaciones del error expresado en la proporción del pedúnculo (6), obteniéndose un promedio de $\pm 0.15\%$ (Tabla IX).

Tabla IX.- Resultados de la estimación del error en la proporción del pedúnculo de las ballenas azules de Baja California.

Formas de error en el registro fotográfico del pedúnculo	%
Error P ₁	0.36
Error P ₂	-0.01
Error P ₃	-0.02
Error P ₄	0.26
Error P promedio	0.15

RESULTADOS

Incluyendo el promedio de este error proporcional en el promedio de la proporción del pedúnculo de las ballenas azules fotografiadas en las aguas de Baja California, se observa que difiere del promedio de las *B. m. brevicauda* y del promedio de las ballenas azules de California, México, Costa Rica (Figura 9).

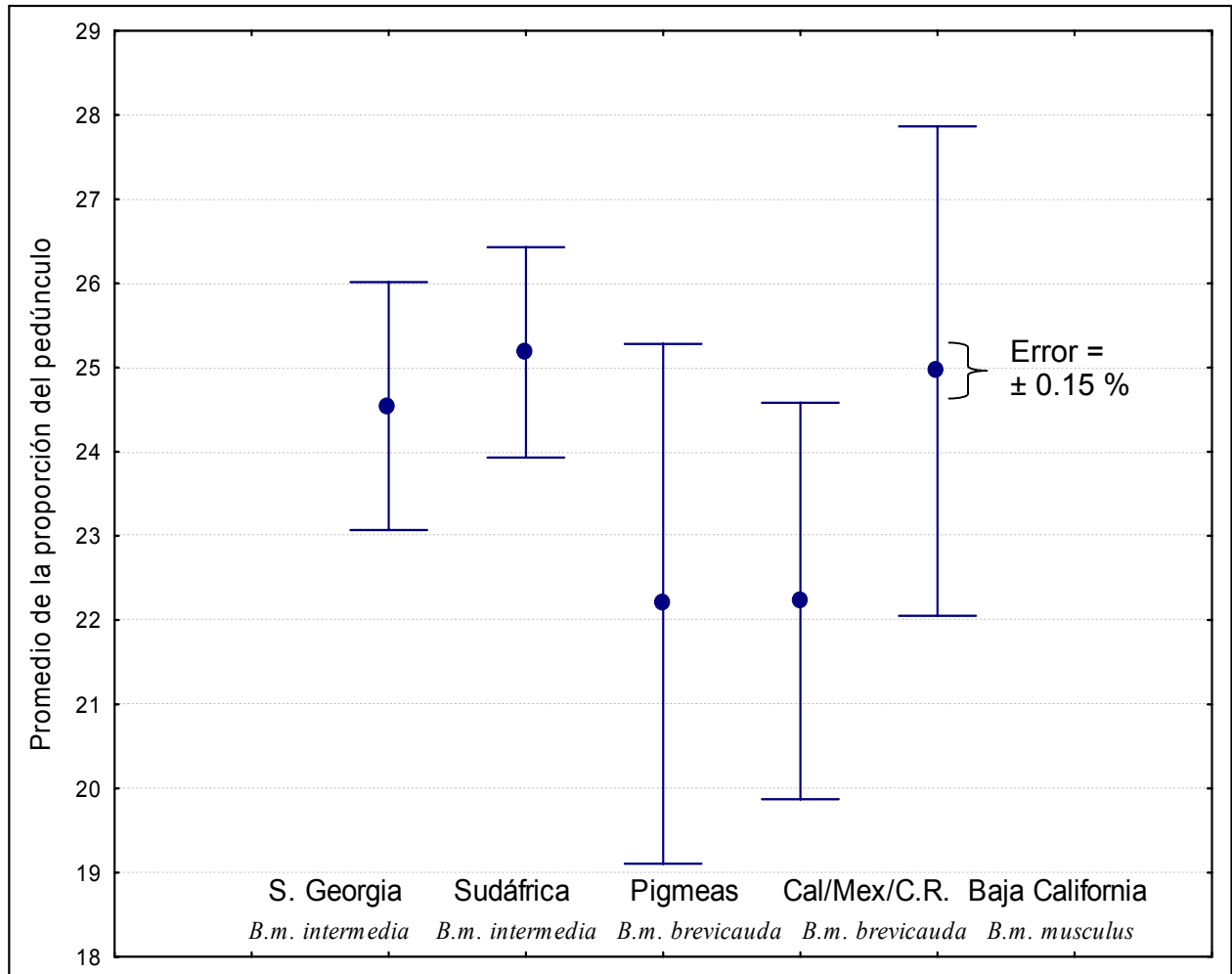


Figura 9.- Proporción del pedúnculo (promedio y desviación estándar) de las poblaciones o subespecies de ballena azul.

11. DISCUSIÓN

En este trabajo se obtuvieron mediciones de ballenas azules por fotogrametría aérea y por varamientos, esta información morfológica se adquirió principalmente de la región suroeste del Golfo de California, zona con mayor esfuerzo de búsqueda; sin embargo, considero que esta información es representativa de la población actual de la región. Con estas mediciones se obtuvo la proporción del pedúnculo, la cual nos permitió diferenciar entre subespecies (Ichihara, 1966; Omura, 1984).

11.1. Alometría en la ballena azul

La mayoría de las proporciones longitudinales del cuerpo de las ballenas azules avistadas en aguas de Baja California mostraron una alometría negativa significativa, en cambio las proporciones transversales presentaron una alometría negativa no significativa, ya que los coeficientes alométricos fueron cercanos a cero, lo que indica una independencia de las variables o que éstas no tienen una fuerte relación en el proceso del crecimiento (Huxley y Teissier, 1936; Schmidt-Nielsen, 1984).

Se observó una alometría negativa en la proporción del orificio nasal a la aleta caudal cuando se comparó con la proporción de la mandíbula al orificio nasal, lo que demuestra un rápido desarrollo de la cabeza de la ballena azul. En un estudio alométrico en *Balaenoptera physalus* (ballena de aleta) se encontró lo contrario, ya que se reportó que la medición de la mandíbula al orificio nasal presenta un crecimiento lento con relación a la longitud total (Ratnaswamy y Winn, 1993). Sin embargo esta relación alométrica probablemente contiene un error de covarianza, ya que una medición (de la mandíbula al orificio nasal) esta involucrada dentro de la otra (longitud total); además estas medidas no son complementarias o no componen la longitud total del animal, por lo que posiblemente no son una buena representación del crecimiento de la ballena.

El pedúnculo fue la única parte corporal que mostró una alometría negativa significativa al ser comparada con la mayoría de las partes del cuerpo, pero su relación alométrica más importante fue al compararse con la proporción de la mandíbula a la aleta dorsal (parte anterior del cuerpo). Como ambas mediciones son complementarias de la longitud total del animal, éstas describen claramente la relación del crecimiento de la ballena. La alometría negativa registrada en el pedúnculo de las ballenas azules fotografiadas en las aguas de Baja California también se manifestó en *B. m. intermedia* y *B. m. brevicauda*, y demuestra la existencia de un crecimiento desproporcionado; es decir, un crecimiento más lento en el pedúnculo que en la parte anterior del cuerpo.

Estos resultados de la alometría de la cabeza y del pedúnculo coinciden con lo deducido por Mackintosh y Wheeler (1929) a partir de datos de capturas de *B. m. intermedia*, y con un estudio alométrico en los organismos de *Physeter macrocephalus* del Pacífico Suroriental (Clarke y Paliza, 1972).

El crecimiento desigual entre la parte anterior del cuerpo y el pedúnculo de *B. musculus* posiblemente implica adaptaciones necesarias para la alimentación de esta especie. Los neonatos no necesitan tener una boca grande que filtre alimento durante la lactancia; en cambio cuando ocurre el destete, el crecimiento acelerado de la parte anterior del cuerpo hará más eficiente su estrategia alimentaria (Ricklefs y Miles, 1994), la cual consiste en tomar una bocanada de agua para filtrar macrozooplancton (principalmente eufáusidos) (Nemoto, 1959; Pivorunas, 1979).

De las tres subespecies, *B. m. brevicauda* mostró un coeficiente alométrico significativamente menor. Lo anterior muestra que esta subespecie presenta el crecimiento desproporcionado más pronunciado, lo que pudiera explicar el desarrollo de un pedúnculo relativamente más corto, característica que distingue a la subespecie (Ichihara, 1966; Omura, 1984).

Al mostrar el pedúnculo un crecimiento más lento, la parte anterior del cuerpo crece rápidamente, lo que podría beneficiar el desarrollo de una cabeza de mayor dimensión. Aparentemente *B. m brevicauda* se puede distinguir de *B. m. intermedia* en el mar por la mayor longitud de su cabeza descrita como “forma de renacuajo” (Kato *et al.*, 1998). Sin embargo no se encontraron diferencias significativas en el tamaño de la cabeza entre adultos de *B. m. brevicauda* y *B. m. intermedia* (Ichihara, 1966).

Finalmente es crucial señalar que a pesar de que las tres subespecies de ballena azul mostraron un crecimiento alométrico desproporcionado, la proporción del pedúnculo de *B. m. brevicauda* evidentemente es menor.

11.2. Posibles fuentes de error en las mediciones de cetáceos cazados

No existe información sobre las fuentes de error en las mediciones de ballenas cazadas. Sin embargo es probable que esta información morfométrica presenta errores relacionados a 1) la falta de sistematización entre medidores (Gregr *et al.*, 2000) y 2) mediciones de cuerpos flexionados, en donde se subestimaría la longitud total de la ballena (Mackintosh y Wheeler, 1929). Con respecto a lo anterior, se ha reportado una mayor variación o error entre dos personas midiendo una misma población de cachalotes, *Physeter macrocephalus*, en comparación con una sola persona midiendo en dos poblaciones diferentes (Clarke y Paliza, 1972).

No obstante, este hecho no aminora la relevancia ni la validez de la información morfométrica proveniente de animales cazados, ya que gracias a ésta actualmente se puede contar con el conocimiento básico de los cetáceos. Por otro lado, medir cetáceos por medio de la técnica de fotogrametría presenta mayor dificultad que realizar mediciones *in situ*, por lo que suponemos que los errores en las mediciones de ballenas azules capturadas no afectan los resultados encontrados en este estudio.

11.3. Determinación de subespecies de ballena azul en las aguas de Baja California

La información morfométrica obtenida en este estudio confirma que las ballenas azules presentes en las aguas de Baja California, no corresponden a la subespecie *Balaenoptera musculus brevicauda* descrita por Ichihara (1966). De acuerdo con el promedio de la proporción del pedúnculo de las ballenas azules avistadas en Baja California (24.96%, error estimado $\pm 0.15\%$), éstas corresponden a la subespecie *Balaenoptera musculus musculus*, mostrando una morfología similar a su contraparte *B. m. intermedia* (Mackintosh y Wheeler, 1929). Este resultado difiere de la designación dada a las ballenas de California, México y el Domo de Costa Rica como la subespecie *B. m. brevicauda* (Gilpatrick *et al.*, 1999). Esta designación se basó en un estudio de fotogrametría aérea, en el cual se estimó que estas ballenas tienen una proporción del pedúnculo y una longitud total similar a la de *B. m. brevicauda*, por lo que se sugirió que se consideraran como una subpoblación separada (Gilpatrick y Perryman, 1999; Gilpatrick *et al.*, 1999).

Dado lo anterior, se sospecha la existencia de dos grupos o subespecies putativas de ballena azul en el Pacífico Oriental, un grupo de *B. m. musculus* (este estudio) y otro de *B. m. brevicauda* (Gilpatrick y Perryman, 1999). Esto contrasta los resultados provenientes de registros acústicos para las ballenas azules del Pacífico Noreste, los cuales sugieren que se trata de una sola población (Stafford *et al.*, 1999; Stafford *et al.*, 2001).

Sin embargo la sospecha sobre la presencia de dos grupos de ballena azul en el Pacífico Oriental se sustenta con las estimaciones de abundancia para estas ballenas en las regiones de California y Baja California. Gendron (2002) encontró que de las $\approx 3,000$ ballenas azules estimadas en las aguas de California en el verano (Calambokidis y Barlow, 2004), menos de la mitad migran hacia las costas de Baja California durante el invierno para realizar actividades

de alimentación, crianza y posible reproducción (Sears, 1987; Gendron, 1990; 2002). Por lo tanto, el resto de las ballenas azules de California podrían migrar hacia otras zonas como las del Domo de Costa Rica; región propuesta por Reilly y Thayer (1990) y posteriormente confirmada por movimientos de ballenas registrados por marcas satelitales (Mate *et al.*, 1999) y con foto-recapturas entre ambas zonas (Chandler *et al.*, 1999).

La presencia de diferentes subespecies en las aguas de Baja California (*B. m. musculus*) y en las aguas de California, México, Costa Rica (*B. m. brevicauda*; Gilpatrick y Perryman, 1999), apoya la idea de la existencia de más de una zona de invernación para las ballenas azules del Pacífico Oriental, con el Domo de Costa Rica como nueva área potencial de reproducción (Gendron, 2002).

Las aguas de las islas Galápagos y zonas adyacentes, además de ser zonas de alimentación de ballena azul (Reilly y Thayer, 1990; Palacios, 1999) también han sido consideradas áreas de reproducción potenciales (IWC, 1999). En estas aguas, son continuos los avistamientos de ballenas a lo largo del año, por lo tanto se especula que existe una población permanente o que es un área visitada por las ballenas de ambos hemisferios en diferentes temporadas (Berzin, 1978; Wade y Friedrichsen, 1979; Reilly y Thayer, 1990). Estas ballenas azules han sido descritas como *B. m. brevicauda* (Berzin, 1978) aunque existe contradicción con esta designación (Kato *et al.*, 1995).

11.4. Origen de *Balaenoptera musculus brevicauda*

Es importante reconsiderar la existencia de *B. m. brevicauda*, la cual fue descrita por mostrar “ciertos rasgos morfológicos” diferentes a las otras subespecies; incluso se hizo tanto hincapié en estas diferencias que se sugirió designarla como la especie *Balaenoptera brevicaudis* (Zemsky, 1972).

Tomilin (1967) sugiere que la población de ballenas azules del hemisferio Sur esta compuesta por emigrantes jóvenes del hemisferio Norte. Coincidiendo con lo anterior, Zemsky y Boronin (1964) suponen que *B. m. brevicauda* representa una ramificación de las ballenas azules del hemisferio Norte (*B. m. musculus*), las cuales pudieron haber penetrado en el hemisferio opuesto favoreciendo la divergencia y formación de subespecies.

Otro posible origen de *B. m. brevicauda* pudo haber sucedido a partir de algunos organismos de la población de *B. m. intermedia*, los cuales posiblemente sufrieron cambios morfológicos (madurez prematura, reducción del tamaño, de las barbas y del pedúnculo; Ichihara, 1966) como consecuencia a presiones, tales como: variaciones en el alimento o la sobreexplotación de la especie en la época ballenera.

Lo anterior se sustenta con la relación encontrada entre el aumento de la tasa reproductiva en organismos jóvenes y la sobreexplotación de *B. musculus*, *B. physalus* y *B. acutorostrata* (Mackintosh, 1942; Gambell, 1973; Lockyer, 1984; Agler *et al.*, 1993; Butterworth *et al.*, 1999), en las cuales coincidentemente se reconocen tres subespecies (Ichihara, 1966; Rice, 1998; Clarke, 2004). Asimismo se ha registrado una edad prematura de madurez sexual en *B. physalus* debido a una reducida competencia por el alimento entre las ballenas sobrevivientes a la caza (Lockyer, 1984).

Como las características de las barbas de los misticetos se relacionan con el tipo de presa (Nemoto, 1959), la pequeña diferencia en el promedio del ancho de las barbas de *B. m. brevicauda* (un 0.32% más angostas, Ichihara, 1966) posiblemente representa una especialización en su principal alimento, *Euphausia vallentini* (Ichihara, 1966), el cual es de menor tamaño con respecto a la presa principal de *B. m. intermedia* (*Euphausia superba*; Mackintosh y Wheeler, 1929). Asimismo esta diferencia en el ancho de las barbas posiblemente sea un cambio morfológico debido a posibles variaciones naturales

en la abundancia del alimento (Beddington y Grenfell, 1984; Laws, 1985; Murase *et al.*, 2002); es decir, una plasticidad fenotípica (Travis, 1994).

Por otra parte, la menor proporción del pedúnculo, característica principal de *B. m. brevicauda* (Ichihara, 1966; Omura, 1984) posiblemente se debe al crecimiento corporal desproporcionado; ya que un amplio desarrollo de la parte anterior del cuerpo pudiera facilitar la estrategia de alimentación (Ricklefs y Miles, 1994). Lo anterior pudiera incitar la sospecha de una deficiencia en el desplazamiento de la ballena azul; sin embargo debido a las estrategias de alimentación de las ballenas barbadas (filtradores, tragadores ó dragadores; Nemoto, 1959; Pivorunas, 1979), éstas no requieren nadar rápidamente; en contraste con los odontocetos, los cuales son considerados como cazadores activos.

Una vez desarrollados estos cambios morfo-fisiológicos (madurez sexual prematura, barbas angostas y pedúnculo corto), *B. m. brevicauda* pudo haberse dispersado hacia otras regiones; lo que explicaría su presencia en otros mares como actualmente se ha especulado (Yukhov, 1969; Ivashin, 1972; Aguayo, 1974; Berzin, 1978; Donovan, 1984; Alling *et al.*, 1991; Kato *et al.*, 1995; 1998; Ljungblad *et al.*, 1998; Gilpatrick y Perryman, 1999).

Cabe notar que algunas de las nuevas regiones de distribución sugeridas para *B. m. brevicauda*, se han basado en estudios que no han confirmado la subespecie. Por ejemplo, algunos análisis morfológicos, principalmente la coloración corporal (Zemsky y Boronin, 1964; Ichihara, 1966; Kato *et al.*, 1998) y el comportamiento superficial (Berzin, 1978, Kato *et al.* 1995; 1998) no han logrado diferenciar a las subespecies de ballena azul en el mar. Por otra parte, aún no son claras las diferencias acústicas entre subespecies (Alling *et al.*, 1991; Ljungblad *et al.*, 1998; IWC, 1999; 2000; 2002). Y hasta la actualidad los análisis genéticos tampoco han sido una evidencia fuerte en la discriminación de subespecies (Brownell *et al.* 1996; LeDuc *et al.*, 1997; IWC, 2000; 2001; 2002; Conway *et al.*, 2003).

Al parecer, las únicas características que pueden diferenciar a *B. m. brevicauda* de las otras subespecies son las morfométricas, descritas por Ichihara (1966). Tomando en cuenta los registros de *B. m. brevicauda* basados solamente en estas características, la distribución de esta subespecie se restringe únicamente en aguas Antárticas, aguas de Chile y el noreste del Pacífico (Ichihara, 1966; Aguayo, 1974; Gilpatrick y Perryman, 1999). Sin embargo en aguas chilenas y en el noreste del Pacífico la designación para esta subespecie queda en duda, ya que Aguayo (1974) y Gilpatrick y Perryman, (1999) no muestran información morfométrica clara. Por lo tanto, se sugiere que la distribución de *B. m. brevicauda* con base en datos morfométricos fidedignos, corresponde a la descrita por Ichihara en 1966.

La duda sobre la existencia de *B. m. brevicauda* persiste, ya que algunos de los rasgos morfológicos que la distinguen se han observado en otras especies. Por ejemplo, con base en datos de capturas se han encontrado diferencias en el tamaño con relación a la madurez físico-sexual de *B. borealis* y *P. macrocephalus* (Best, 1980; Clarke *et al.*, 1980; Lockyer, 1984), los cuales carecen de subespecies (Rice, 1998). Además, entre poblaciones de *P. macrocephalus* se han reportado diferencias notables tanto en la proporción del pedúnculo (Nishiwaki *et al.*, 1963; Clarke y Paliza, 1972) como en el tamaño de los animales (Jaquet, 2003). Asimismo, en los ejemplares de *Megaptera novaeangliae* de ambos hemisferios, se han reportado variaciones en tamaño y coloración (Rice, 1998). Sin embargo, en contraste con el caso de *B. musculus*, todos estos rasgos morfológicos no han sido considerados como evidencias para la designación de subespecies en *P. macrocephalus* y *M. novaeangliae*. Lo anterior incita a dudar la existencia de subespecies pigmeas.

11.5. Denominación de subespecies

La definición de subespecie como una categoría taxonómica por debajo del nivel de especie, reconoce subdivisiones geográficas y temporales; y por décadas ha sido un tema de debate académico (Miththapala *et al.*, 1996).

En la designación de una subespecie, los organismos deben de mostrar diferencias fenotípicas sobresalientes (Curtis y Barnes, 1993). En contraste, varios autores proponen que la nominación de una subespecie se debe de fundamentar con datos morfológicos y genéticos (Savage, 1973; Dobzhansky *et al.*, 1980; Avise y Ball, 1990; O'Brien y Mayr, 1991). Ya que el origen de una subespecie se da por diferencias en la distribución y por cambios genéticos en un segmento de la población (Savage, 1973, Dobzhansky *et al.*, 1980, Ayala y Kiger, 1984). Sin embargo la cantidad de diferenciación genética requerida para distinguir entre subespecies, el número de estas y la posición de sus límites son cuestiones arbitrarias (Ayala y Kiger, 1984).

Es notorio que la variación morfológica ha sido usada para definir subespecies, a pesar de que estas diferencias pueden indicar distinciones taxonómicas entre poblaciones o simplemente pueden ser el efecto relativo a cambios ambientales (Savage, 1973; Ayala y Kiger, 1984; Aragon *et al.*, 1998). Asimismo la designación de nuevas subespecies se ha llevado a cabo principalmente en la tradición más que en la evidencia científica (Rice, 1998); siendo una cuestión de conveniencia, ya que la diferenciación entre subespecies varía enormemente de una especie a otra (Dobzhansky *et al.*, 1980). De acuerdo con Rice (1998), la descripción de las 67 subespecies reconocidas de mamíferos marinos se ha basado principalmente en distribuciones espaciales diferentes (Tabla X).

Tabla X.- Subespecies de mamíferos marinos, y su clasificación de acuerdo a las diferencias que presentan (Rice, 1998).

Subespecies	Distribución	Morfometría	Genética
<i>Sirénidos: 4</i>	Todas		
<i>Pinnípedos: 20</i>	Todas	1	
<i>Odontocetos: 29</i>	Todas		
<i>Misticetos: 15</i>	Todas	3	1

Lo anterior es claramente ilustrado en la ballena azul, ya que fueron reconocidas las subespecies *B. m. musculus* y *B. m. intermedia*, solo por ligeras diferencias en tamaño (Mackintosh y Wheeler, 1929; Tomilin, 1967) y sobre todo por distribuirse en diferentes hemisferios, sin tener la evidencia de un aislamiento reproductivo. Otro caso similar fue la designación reciente de subespecies en la ballena franca, *Balaena glacialis glacialis* y *B. g. australis* (Rice, 1998). Sin embargo esta designación posiblemente se debió a que *B. g. glacialis* puede ser la especie de los misticetos con mayor probabilidad de extinción.

En contraste, el caso de la ballena azul pudo involucrar intereses comerciales más que científicos ya que la carne y el aceite de un ejemplar de *B. musculus* equivalía a dos ejemplares de *B. physalus*, ó dos ejemplares y medio de *Megaptera novaeangliae* ó seis de *B. borealis* ó 25 del rorcual pequeño, *B. acutorostrata* (Eguchi, 1994). Razón por la cual fue el recurso más codiciado en la pasada época ballenera siendo cazada implacablemente hasta casi llegar a su extinción (Small, 1971; Tønnessen y Johnsen, 1982; Yochem y Leatherwood, 1985).

Pero la subespecie pigmea de la ballena azul ya está aceptada científicamente. También se reconocen *formas* y *subespecies* pigmeas o enanas en otros rorcuales (Rice, 1998). En la ballena de bryde (*Balaenoptera edeni*) se reconocieron dos formas (costera y oceánica) distinguidas principalmente por diferencias en el alimento (peces y plancton respectivamente; Best, 1974; 1977; Omura, 1977); posteriormente se propuso la existencia de dos especies en la ballena de bryde, una forma pigmea (*Balaenoptera edeni*) con aparentes diferencias genéticas en comparación con *Balaenoptera brydei* (Rice, 1998). La ballena minke “enana” (*Balaenoptera acutorostrata* subespecie; Best, 1985; Arnold *et al.*, 1987; Rice, 1998) se distingue de la ballena minke antártica (*B. bonaerensis*) por características osteológicas, morfométricas y genéticas; y finalmente la ballena de aleta pigmea (*Balaenoptera physalus patachonica*; Clarke, 2004) actualmente descrita por presentar menor tamaño, maduración física y sexual a menor talla, así como una coloración más oscura en el cuerpo y

las barbas en comparación con la ballena de aleta del hemisferio Sur (*Balaenoptera physalus quoyi*; Clarke, 2004).

Clarke (2004) menciona que sólo falta la descripción de una subespecie pigmea en *B. borealis* para que el fenómeno de subespecie “más chica”, sea considerado como una adaptación de los rorcuales del hemisferio Sur para distribuirse en áreas con menor abundancia de alimento que las aguas Antárticas. Lo anterior tal vez sugiere que los rasgos de las subespecies pigmeas en cetáceos, son por adaptaciones al ambiente. Esta idea, aunada a la intensa caza que sufrió la ballena azul podría explicar las diferencias morfométricas descritas en este estudio.

12. CONCLUSIONES

-La cabeza (de la mandíbula al orificio nasal) de las tres subespecies de *Balaenoptera musculus* presenta un crecimiento alométrico positivo con respecto al resto del cuerpo, posiblemente asociado con una eficiencia en la técnica de alimentación.

El pedúnculo de las tres subespecies de *B. musculus* presenta una alometría negativa (crecimiento lento) con respecto al resto del cuerpo, y se relaciona con la ontogenia de la especie, tal y como fue sugerido por Mackintosh y Wheeler (1929).

-De acuerdo con la proporción del pedúnculo, las ballenas azules avistadas en las costas de Baja California corresponden a la subespecie *Balaenoptera musculus musculus*; las cuales presentan una morfología similar a *B. m. intermedia*, su contraparte del hemisferio Sur.

13. RECOMENDACIONES

-La obtención de fotografías aéreas de cetáceos es una técnica relativamente costosa, sin embargo la información obtenida es muy valiosa y difícil de obtener de otra manera. Para obtener fotografías de calidad, se recomienda ensayos previos al muestreo aunado a una gran capacitación o experiencia del fotógrafo y el piloto.

-Un equipo fotográfico sofisticado, a pesar de su alto costo, mejora la calidad de las fotografías; en las cuales se observará con mayor claridad los bordes del cuerpo de las ballenas. Se recomienda película de buen contraste en caso de fotografía análoga y un filtro electrónico apropiado en el caso de fotografía digital.

-Disponer de un medidor de la altura preciso, aumentaría la exactitud de los análisis geométricos aplicables en la fotogrametría aérea.

-El incremento de la muestra (medidas corporales de cetáceos) debe de ser fundamental para un análisis alométrico, ya que el coeficiente alométrico es muy sensible al tamaño de muestras.

-Para realizar excelentes análisis alométricos y morfométricos sobre cualquier cetáceo, es esencial incluir en la muestra a organismos de todas las edades, para tener una buena representación de los cambios morfológicos ocurridos durante la ontogenia.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Agler, B.A.; Schooley, R.L.; Frohock, S.E.; Katona, S.K. y Seipt, I.E. 1993. Reproduction of photographically identified fin whales, *Balaenoptera physalus*, from the Gulf of Maine. *Journal of Mammalogy*, 74 (3): 577-587.
- Aguayo L., A. 1974. Baleen whales off continental Chile. En: K.S. Norris (ed.). *Whales, Dolphins and Porpoises*. University of California Press, Berkeley. Pp 209-217.
- Álvarez-Borrego, S. y Schwartzlose, R.A. 1979. Masas de agua del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 6(1, 2): 43-63.
- Álvarez-Borrego, S. y Lara-Lara, J.R. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: B.R.T. Simoneit y J.P. Dauphin (eds.). *The Gulf and Peninsular province of the Californias*. American Association of Petroleum Geologists, 47: 1-13.
- Alling, A.; Dorsey, E.M. y Gordon, C.D. 1991. Blue whales (*Balaenoptera musculus*) off the Northeast coast of Sri Lanka: Distribution, feeding, and individual identification. En: S. Leatherwood y G.P. Donovan (eds.). *Cetaceans and cetacean research in the Indian Ocean Sanctuary*. UNEP Marine Mammal Technical Report, 3: 247-258.
- Aragon, S.; Braza, F.; San Jose, C. y Fandos, P. 1998. Variation in skull morphology of roe deer (*Capreolus capreolus*) in western and central Europe. *Journal of Mammalogy*, 79 (1): 131-140.
- Arnold, P.; Marsh, H. y Heinsohn, C. 1987. The occurrence of two forms of minke whales in East Australian waters with a description of external characters and skeleton of the diminutive or dwarf form. *Scientific Reports of the Whales Research Institute*, 38: 1-46.

BIBLIOGRAFÍA

- Awise, J.C. y Ball, R.M. 1990. Principles of genealogical concordance in species concepts and biological taxonomy. *Oxford Survey of Evolutionary Biology*, 7: 45-67.
- Ayala, F.J. y Kiger, J.A.Jr. 1984. *Genética moderna*. Editorial Omega. 836 pp.
- Beddington, J.R. y Grenfell, B. 1984. Baleen whales and their food supply in the Southern ocean: the effect on reproduction. *Report of International Commission, (special issue) 6*: 476.
- Berzin, A. A. 1978. Whale distribution in tropical Eastern Pacific waters. *Report of the International Whaling Commission*, 28: 173-177.
- Best, P.B. 1974. Status of the whale populations off the west coast of South Africa and current reach. En: W.F. Shevill (ed.). *The whale Problem: A status Report*. Harvard University Press, Cambridge. Pp 53-81.
- Best, P.B. 1977. Two allopatric forms of bryde's whale off South Africa. *Report of International Whaling Commission, (special issue) 1*: 10-38.
- Best, P.B. 1980. Pregnancy rates in sperm whales off Durban. *Report of International Whaling Commission, (special issue) 2*: 93-97.
- Best, P.B. 1985. External characters of Southern minke whales and the existence of a diminutive form. *Scientific Reports of the Whales Research Institute*, 36: 1-33.
- Brownell, R.L.; Dizon, A.E.; Lux, C.A.; Kato, H. y Bannister, J.L. 1996. A preliminary examination of the taxonomic status of *Balaenoptera musculus brevicauda* from the Southern Ocean based on mitochondrial DNA. SC/48/SH5 Reporte presentado a la Comisión Ballenera Internacional (IWC), (No publicado). 4 pp.

- Butterworth, D.S.; Punt, A.E.; Geromont, H.F.; Kato, H. y Fujise, Y. 1999. Inferences on the dynamics of Southern hemisphere minke whales from ADAPT analyses of catch-at-age information. *Journal of Cetacean Research and Management*, 1(1): 11-32.
- Calambokidis, J.; Steiger, G. H.; Cabbage, J. C.; Balcomb, K. C.; Ewald, C.; Kruse, S.; Wells, R. y Sears, R. 1990. Sighting and movements of blue whales off central California in 1986-88 from photo-identification of individuals. *Report of International Whaling Commission, (special issue) 12*: 343-348.
- Calambokidis, J. y Barlow, J. 2004. Abundance of blue and humpback whales in the Eastern North Pacific estimated by capture-recapture and line-transect methods. *Marine Mammal Science*, 20 (1): 63-85.
- Clarke, R. 2004. Pygmy fin whales. *Marine Mammal Science*, 20(2): 329-334.
- Clarke, R.M. y Paliza, O. 1972. Sperm whales of the Southeast Pacific Part III: Morphometry. *Hvalradets Skrifter. Scientific Results of Marine Biological Research*. OSLO Universitets Forlaget. 108 pp.
- Clarke, R.; Aguayo, A. y Paliza, O. 1980. Pregnancy rates of sperm whales in the Southeast Pacific between 1959 and 1962 and a comparison with those from Paita, Perú between 1975 and 1977. *Report of International Whaling Commission, (special issue) 2*: 151-158.
- Conway, C.; Lyons, L.; Sears, R.; Calambokidis, J.; Gill, P. y May, B. 2003. Population structure of the blue whale (*Balaenoptera musculus*) based on nuclear genetic variation. Abstract 14th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Vancouver, Canada. Pp 46.
- Curtis, H. y Barnes N. S. 1993. *Biología*. Editorial Médica Panamericana. 5^a ed. 1199 pp.

BIBLIOGRAFÍA

- Chandler, T.E.; Calambokidis, J. y Rasmussen, K. 1999. Population identity of blue whales on the Costa Rica Dome. Abstract 13th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Hawaii. Pp 20.
- Daniel, W. W. 1999. Bioestadística, base para el análisis de las ciencias de la salud. Editorial Uteha Noriega. 3^a ed. 878 pp.
- Davis, R.A.; Koski, W.R.; Miller, G.W.; Aclaren, P.L. y Evans, C.R. 1986. Reproduction in the bowhead whale, summer 1985. SC/38/PS2 Reporte presentado a la Comisión Ballenera Internacional (IWC), (No publicado). 127pp.
- De la Lanza, E.G. 1991. Oceanografía de los Mares Mexicanos. Editorial AGT. 565 pp.
- Dobzhansky, T.; Ayala, F.J.; Stebbins, G.L. y Valentine, J.W. 1980. Evolución. Editorial Omega. 558 pp.
- Donovan, G. P. 1984. Blue whales off Peru, december 1982, with special reference to pygmy blue whales. Report International Whaling Commission, 34: 473-476.
- Eguchi, E. 1994. Memory of the blue whale. ISANA, 10: 23-25.
- Ehrenfeld, D.W. 1970. Biological Conservation. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Fiedler, P.A.; Reilly, S.B.; Hewitt, R.P.; Demer, D.; Philbrick, V.A.; Smiths, S.; Armstrong, W.; Croll, D.A.; Tershy, B.R. y Mate, B.R. 1998. Blue whales habitat and prey in the California channel islands. Deep-Sea Research, II (45): 1781-1801.
- Forney, K.A.; Barlow, J.; Muto, M.M.; Lowry, M.; Baker, J.; Cameron, G.; Mobley, J.; Stinchcomb, C. y Carretta, J. 2000. U.S. Pacific marine mammal stock assessments: 2000. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-300. Report Southwest Fishery Science Center, National Marine Fisheries Service. Pp 53-157.

BIBLIOGRAFÍA

- Gambell, R. 1973. Some effects of exploitation on reproduction in whales. *Journal of Reproduction and Fertility*, 19: 533-553.
- Gendron, D. 1990. Relación entre la abundancia de eufáusidos y de ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) en el Golfo de California. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, 64 pp.
- Gendron, D. 2002. Ecología poblacional de la ballena azul *Balaenoptera musculus* de la Península de Baja California. Tesis de doctorado, CICESE, 105 pp.
- Gilpatrick, J. W. y Perryman, W. L. 1999. Aerial photogrammetry of Eastern tropical Pacific blue whales, *Balaenoptera musculus*. Abstract 13th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Hawaii. Pp 17.
- Gilpatrick, J. W.; Perryman, W. L.; Lynn, M. S.; DeAngelis, M. L. y Brownell, R. L., Jr. 1999. Geographic variation in external morphology of North Pacific and Southern hemisphere blue whales (*Balaenoptera musculus*). U.S. National Marine Fisheries Service (SWFSC). Reporte presentado a la Comisión Ballenera Internacional (IWC), (No publicado). 27 pp.
- Gregg, E.J.; Nichol, L.; Ford, J.K.B.; Ellis, G. y Trites, A.W. 2000. Migration and population structure of Northeastern Pacific whales off coastal British Columbia: an analysis of commercial whaling records from 1908-1967. *Marine Mammal Science*, 16(4): 699-727.
- Huxley, J. S. 1924. Constant differential growth-ratios and their significance. *Nature*, 114: 895-896.
- Huxley, J. S. 1932. Problems of relative growth. Methuen, London, United Kingdom. 276 pp.
- Huxley, J.S. y Teissier, G. 1936. Terminology of relative growth. *Nature*, 137: 780-781.

BIBLIOGRAFÍA

- Ichihara, T. 1961. Blue whales in the waters around Kerguelen island. Norsk Hvalfangst-Tidende, 50 (1): 1-20.
- Ichihara, T. 1966. The pygmy blue whale, *Balaenoptera musculus brevicauda*, a new subspecies from the Antarctic. En: K.S. Norris (ed.). Whales, Dolphins and Porpoises. University of California Press, Berkeley. Pp 79-113.
- International Whaling Commission (IWC). 1995. Report of the Scientific Committee on Southern Hemisphere baleen whales. Annex L, Report of the International Whaling Commission, 45: 204-209.
- International Whaling Commission (IWC). 1997. Report of the Scientific Committee on Southern Hemisphere baleen whales. Annex E, Report of the International Whaling Commission, 47: 128-130.
- International Whaling Commission (IWC). 1999. Report of the Scientific Committee on Other Great Whales. Annex E, Journal of Cetacean Research and Management, 1: 117-119.
- International Whaling Commission (IWC). 2000. Report of the Scientific Committee on Other Great Whales. Annex G, Journal of Cetacean Research and Management, 2: 172-174.
- International Whaling Commission (IWC). 2001. Report of the Scientific Committee on Other Great Whales. Annex H, Journal of Cetacean Research and Management, 3: 221- 223.
- International Whaling Commission (IWC). 2002. Report of the Scientific Committee on Other Great Whales. Annex G, Journal of Cetacean Research and Management, 4: 205- 207.

- Ivashin, M. V. 1972. Whales. En: Sea Mammals Pishchevaya Promyshlennost, Moscow. Pp 109-280.
- Jaquet, N. 2003. Size differences between two populations of sperm whale: Application of a simple technique to measure sperm whales at sea. Abstract 15th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. North Carolina, USA. Pp 79.
- Kato, H.; Miyashita, T. y Shimada, H. 1995. Segregation of the two sub-species of the blue whale in the Southern hemisphere. Report of the International Whaling Commission, 45: 273-283.
- Kato, H.; Nomura, A.; Yoshida, H. y Komiya, N. K. 1998. Further analysis on surfacing behavior of blue whales by video-sequences, with note on some morphological keys to discriminate subspecies. SC/51/CAWS7 Reporte presentado a la Comisión Ballenera Internacional (IWC), (No publicado). 14 pp.
- Laws, R.M. 1985. The ecology of the Southern ocean. American Scientist, 73: 26-40.
- LeDuc, R.G.; Dizon, A.E.; Brownell, R.L. Jr.; Lux, C.A.; Archer, F.I.; Pastene, L. y Kato, H. 1997. Discrimination of two forms of blue whales in the Southern ocean. SC/49/SH25 Reporte presentado a la Comisión Ballenera Internacional (IWC), (No publicado). 9 pp.
- Ljungblad, D.K.; Clark, Ch.W. y Shimada, H. 1998. A comparison of sounds attributed to pygmy blue whales (*Balaenoptera musculus brevicauda*) recorded South of the Madagascar plateau and those attributed to "true" blue whales (*Balaenoptera musculus*) recorded off Antártica. Report International Whaling Commission, 48: 439-442.
- Lockyer, C. 1984. Review of baleen whales (mysticeti) reproduction and implications for management. Report International Whaling Commission, (special issue) 6: 27-50.

BIBLIOGRAFÍA

- Mackintosh, N.A. 1942. The Southern stocks of whalebone whales. *Discovery Reports*, 22: 197-300.
- Mackintosh, N.A. y Wheeler, J.F.G. 1929. Southern blue and fin whales. *Discovery Reports*, 1: 257-540.
- Mate, B. R.; Lagerquist, B. A. y Calambokidis, J. 1999. Movements of North Pacific blue whales during the feeding season off Southern California and their southern fall migration. *Marine Mammal Science*, 15 (4): 1246-1257.
- Miththapala, S.; Seidensticker, J y O'Brien, S. 1996. Phylogeographic subspecies recognition in leopards (*Panthera pardus*): molecular genetic variation. *Conservation Biology*, 10: 1115-1132.
- Murase, H; Matsuoka, K. y Ichii, T. 2002. Relationship between the distribution of euphausiids and baleen whales in the Antarctic (35°E-145°W). *Polar Biology*, 25: 135-145.
- National Marine Fisheries Service. 1998. Recovery plan for the blue whale (*Balaenoptera musculus*). Prepared by Reeves, R.R.; Chapman, P.J.; Brownell, R.L.; Silber, G.K. For National Marine Fisheries Service, Silver Spring, MD, 42 pp.
- Nemoto, T. 1959. Food of baleen whales with reference to whale movements. *Scientific Report of the Whales Research Institute*, 14: 149-290.
- Nishiwaki, M. 1966. Distribution and migration of the larger cetaceans in the North Pacific as shows by Japanese whaling results. En: K.S. Norris (ed.). *Whales, Dolphins and Porpoises*. University of California Press, Berkeley. Pp 171-191.

BIBLIOGRAFÍA

- Nishiwaki, M; Ohsumi, S. y Maeda, Y. 1963. Change of form in the sperm whale accompanied with growth. Scientific Report of the Whales Research Institute, 17: 17 pp.
- O'Brien, S.J. y Mayr, E. 1991. Bureaucratic mischief: recognizing endangered species and subspecies. Science, 251: 113-118.
- Omura, H. 1955. Whales in the Northern part of the North Pacific. Norsk Hvalfangst-Tidende, 44(6): 323-345, 44(7): 395-405.
- Omura, H. 1977. Review of the occurrence of bryde's whale in the Northwest Pacific. Report International Whaling Commission, (special issue) 1: 88-91.
- Omura, H., 1984. Measurements of body proportions of the pygmy blue whale, left by the late Dr. Tadayoshi Ichihara. Scientific Report of the Whales Research Institute, 35: 199-203.
- Palacios, D.M. 1999. Blue whale (*Balaenoptera musculus*) occurrence off the Galápagos islands, 1978-1995. Journal of Cetacean Research and Management, 1(1): 41-51.
- Pivorunas, A. 1979. The feeding mechanisms of baleen whales. American Scientist 7: 432-440.
- Ratnaswamy, M. J. y Winn, H. E., 1993. Photogrammetric estimates of allometry and calf production in fin whales, *Balaenoptera physalus*. Journal of Mammalogy, 74 (2): 323-330.
- Reilly, S. B. y Thayer, V. G. 1990. Blue whale (*Balaenoptera musculus*) distribution in the Eastern tropical Pacific. Marine Mammal Science, 6 (4): 265-277.

BIBLIOGRAFÍA

- Rice, D. W. 1974. Whales and whale research in the eastern North Pacific. En: W.F. Shevill (ed.). *The Whale Problem: A status report*. Harvard University Press, Cambridge. Pp 170-195.
- Rice, D.W. 1992. The blue whales of the Southeastern North Pacific ocean. NMFS, Quaterly Report October-December 1992: 1-3.
- Rice, D. W. 1998. Marine mammals of the world systematic and distribution. *The Society for Marine Mammal, Special Publication (4): 77-79*.
- Ricklefs, R.E. y Miles, D.B. 1994. Ecological and evolutionary inferences from morphology: An ecological perspective. En: P.C., Wainwright y S.M., Reilly (eds.). *Ecological Morphology, Integrative Organism Biology*. University of Chicago Press. Pp 13-41.
- Roden, G.I. 1964. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. *Pacific Science*, 12 (1): 21-45.
- Santamaría-del-Ángel, E. y Álvarez-Borrego, S. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysics Research*, 99 (4): 7411-7421.
- Savage, J.M. 1973. *Evolución*. Editorial Continental. 1ª edición. 175 pp.
- Schmidt-Nielsen, .K. 1984. *Scaling, Why is animal size so important?* Cambridge University Press. 289 pp.
- Schneider, D. C. 1994. Quantitative ecology, Spatial and Temporal Scaling. Chapter 13: Allometric Rescaling. Academic Press. Pp 311-339.
- Sears, R. 1987. The photographic identification of individual blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Sea of Cortez. *Cetus*, 7: 14-17.

BIBLIOGRAFÍA

- Sears, R.; Williamson, J. M.; Wenzel, F. W.; Bérubé, M.; Gendron, D. y Jones, P. W. 1990. Photographic identification of the blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Gulf of St. Lawrence, Canada. Report International Whaling Commission, (special Issue) 12: 335-342.
- Small, G.L. 1971. The Blue Whale. Columbia University Press. 248 pp.
- Stafford, K.M.; Nieukirk, S.L. y Fox, C.G. 1999. An acoustic link between blue whales in the Eastern tropical Pacific and the Northeast Pacific. Marine Mammal Science, 15 (4): 1258-1268.
- Stafford, K. M.; Nieukirk, S. L. y Fox, C. G. 2001. Geographic and seasonal variation of blue whale calls in the North Pacific. The Journal of Cetacean Research and Management, 3 (1): 65-76.
- Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. Editorial McGraw Hill. 622 pp.
- Tomilin, A. G. 1967. Mammals of the U.S.S.R. and adjacent countries. CETACEA. S. Institution USA y National Science Foundation, Washington, D.C. (IX): 76-112.
- Tønnessen, J.N. y Johnsen, A.O. 1982. The history of modern whaling. University of California Press. 798 pp.
- Travis, J. 1994. Evaluating the adaptative role of morphological plasticity. En: P.C., Wainwright y S.M., Reilly (eds.). Ecological Morphology, Integrative Organism Biology. University of Chicago Press. Pp 99-122.
- Wade, S. y Friedrichsen, G.L. 1979. Recent sightings of the blue whale, *Balaenoptera musculus*, in the Northern tropical Pacific. Fishery Bulletin, 76 (4): 915-919.

BIBLIOGRAFÍA

- Yochem, P. K. y Leatherwood, S. 1985. Blue whale, *Balaenoptera musculus* (Linnaeus, 1758). En: S.H. Ridgway y R. Harrison (eds.). Handbook of Marine Mammals: The Sirenians and Baleen Whales. Academic Press, Orlando, Florida (III). Pp 193-227.
- Yukhov, V. L. 1969. Observations of whales in the Gulf of Aden and in the Northwest Arabian Sea. En: Marine Mammals, Nauka, Moscow. Pp 327-328.
- Zar, J. H. 1996. Biostatistical Analysis. Editorial Prentice Hall Inc. 3ª edición. 662 pp.
- Zemsky, V.A. 1972. Taxonomy of pygmy blue whales (*Balaenoptera musculus breviceuda*). En: M.V. Ivashin; L.A. Popov y A.S. Tsapko (eds.). Marine Mammals. 5th All-Union Conference Marine Mammal, Food Industry Publishing House, Moscow. Pp 163-165.
- Zemsky, V.A. y Boronin, V.A. 1964. On the question of the pygmy blue whale taxonomic position. Norsk Hvalfangst-Tidende, 53: 306-311.