



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR  
ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA MARINA

**TESIS**

**POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplodon peruvianus*) EN  
EL PACIFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE  
MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS**

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**  
**CON ORIENTACION EN BIOLOGIA MARINA**

PRESENTA:

**JORGE ANTONIO GUZMÁN SEGURA**

DIRECTOR DE TESIS

**SERGIO FCO. FLORES RAMÍREZ Ph. D.**

La Paz, B.AJA CALIFORNIA SUR, JUNIO 2012



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR  
ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA MARINA

**POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR, (*Mesoplodon peruvianus*) EN  
EL PACIFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEO MÉTRICO Y DE  
MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS**

TESIS  
PARA OBTENER EL GRADO EN  
MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS.  
CON ORIENTACION EN  
BIOLOGIA MARINA

P R E S E N T A

**JORGE ANTONIO GUZMÁN SEGURA.**

DIRECTOR DE TESIS

**SERGIO FCO. FLORES RAMÍREZ Ph. D.**

ASESORES

**DR. JORGE URBÁN RAMÍREZ.  
DR. HÉCTOR REYES BONILLA.**

La Paz, B. C. S. Junio de 2012.



**UABCS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR**

Fecha: 30 de Enero 2012

BIOLOGÍA MARINA

CIMACO

**Posgrado en Ciencias  
Marinas y Costeras(CIMACO)**

PNP

**M.C. ENRIQUE ALEJANDRO GÓMEZ GALLARDO  
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA  
PRESENTE.**

Los abajo firmantes, Miembros de la Comisión Revisora del proyecto de tesis titulado:

Poblaciones del Mesoplodonte Menor (*Mesoplodon parvicornis*)  
en el Pacífico Oriental: un análisis craneométrico y de marcadores  
genéticos e isotópicos

que presentó:

Jorge Antonio Guzmán Segura

Otorgamos nuestro voto **aprobatorio** y consideramos que dicho Trabajo está listo para su **defensa**, a fin de obtener el **Grado de Maestría** en Ciencias Marinas y Costeras, con Orientación en Biología Marina.

Comisión Revisora:

Sergio Flores Ramirez

Nombre del Director

FIRMA

Jorge Urbán R.

Nombre del Asesor

FIRMA

Hector Rojas Benlli

Nombre del Asesor

FIRMA

C.c.p. Responsable de CIMACO.  
C.c.p. Expediente del alumno (CIMACO)

Carretera al Sur Km. 5.5  
La Paz, BCS.

Tels. 01 (612) 12 38800 ext. 2002  
Fax: 01 (612) 12 388 19

Apartado postal 19-B  
Código postal 23080



**UABCS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR**

**BIOLOGÍA MARINA  
CIMACO**

**Posgrado en Ciencias Marinas y  
Costeras  
PNP**

Oficio núm: DBM-CIMACO/155-12.  
21 de septiembre de 2012.

M. en C. ALBERTO TORRES GARCÍA  
DIRECTOR DE SERVICIOS ESCOLARES  
PRESENTE

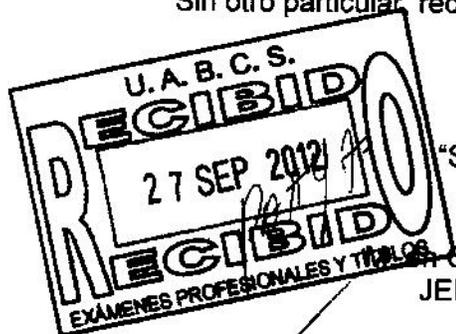
Anexo al presente envío a usted el dictamen emitido por la Comisión Revisora del Proyecto de tesis: "Poblaciones del Mesoplodonte menor (*Mesoplodon peruvianus*) en el Pacífico Oriental: un análisis craneométrico y de marcadores génicos e isotópicos", que presentó Jorge Antonio Guzmán Segura, estudiante del programa de Maestría en Ciencias Marinas y Costeras.

De acuerdo al dictamen, el trabajo está listo para su defensa. A fin de obtener el Grado de Maestro en Ciencias Marinas y Costeras, con orientación en Biología Marina.

Así mismo le comunico que el Jurado para dicho examen, queda integrado de la siguiente manera:

PRESIDENTE:	DR. JORGE URBÁN RAMÍREZ
SECRETARIO:	DR. SERGIO FLORES RAMÍREZ
VOCAL:	DR. HÉCTOR REYES BONILLA
SUPLENTE:	M.C. ENRIQUE A. GÓMEZ GALLARDO
SUPLENTE:	DR. LUIS GERARDO HERNANDEZ MORENO

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.



Atentamente

"SABIDURÍA COMO META, PATRIA COMO DESTINO"

M.C. ENRIQUE ALEJANDRO GÓMEZ GALLARDO UNZUETA  
JEFE DEL DEPTO. ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA

C.c.p. M.C. Lorena Guadalupe Pérez Sánchez, Jefe del Depto. de Declaración de Equivalencias, Revalidación de Estudios y Exámenes profesionales  
C.c.p. Expediente CIMACO.

## DEDICATORIA

*En especial a las mujeres de mi Familia por ser un ejemplo para mí de mantener siempre el anhelo de triunfo, admiro su fortaleza.*

*Enseñándome que para crecer y ser mejor persona hay que derrotarse asimismo para poder triunfar.*

Con todo mi amor para ustedes:

Ma. Elene Segura Robles  
Ana M. Segura Robles  
Ma. Lourdes Segura Robles  
Ariadna M. López Ortiz  
Rosa E. Aguilar Segura  
Yazmín Guzmán Segura  
Claudia Aguilar Segura

*También aunque no están en vida ya con la familia, han sido fuente de motivación para mi carácter, para ustedes abuelitos queridos.*

*A quienes dedico esta frase: Al final, lo que importa no son los años de vida, sino la vida de los años.*

*A mi Padrino querido, al super hermano Rafa y afectuosos primos Luis, Lalo y Jesús, a todos los quiero mucho.*

*Ari, gracias por ser mis ojos cuando no veía, por ser mi apoyo cuando me desvanecía, y por estar a mi lado en los momentos buenos y malos.*

*Siempre estás en mis pensamientos y en mi corazón.*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi amigo y escucharme en los momentos más aislados y complicados que viví durante este proyecto, gracias por tu amor.

A mi familia: mama Ma. Elena, madrina Lourdes, tía Ana, mi corazón Ariadna, mi hermana Yazmin y cuñado Víctor, mi queridísimo primo Luis, a todos ellos, por no dejarme solo durante la realización de este proyecto, teniendo siempre su atención para escucharme y apoyarme con su espíritu alentador en los momentos más difíciles y estresantes.

A mi director de tesis Dr. Sergio Flores Ramírez por su amistad, apoyo económico, paciencia, sobre todo, porque el camino fue largo y siempre estuvo presente su lado paternal con el temple para guiarme.

Al Posgrado en Ciencias Marinas y Costeras y al Departamento de Biología Marina por el apoyo académico y a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de esta tesis.

A mis asesores Dr. Jorge Urbán Ramírez y Dr. Héctor Reyes Bonilla por sus aportaciones en el desarrollo de la tesis, que permitieron hacer mejoras o corregir errores en la escritura.

A los Profesores e Investigadores que resguardan las colecciones osteológicas de mesoplodontes menores, por haberme facilitado la disposición de estos ejemplares o restos para la toma de medidas y muestras de hueso para los análisis que se realizaron en este proyecto, Mil gracias Dr. David Auriolles Gamboa (CICIMAR), Dr. Jorge Urbán Ramírez (UABCS), Dr. Víctor Pacheco Torres de la (UNMSM, Universidad del Perú MHN), Biol. Julio Reyes Robles (ACOREMA, Perú), Alejandro Álvarez Andrade (ingresado de UABCS).

Al Dr. David Auriolles Gamboa por el apoyo económico para la realización del análisis isotópico de laboratorio.

A la Dra. Liliana Rojo, Arreola por su amistad y apoyo brindado sobre todo con alícuotas de reactivos.

A los buenasos amigos Oscar Salazar Oropeza, Eliseo Sánchez Gallegos, Jairo D. Medel Narváez, Sergio F. Nigenda Morales y Gabriela Díaz Erales por sus comentarios hechos para animarme siempre y por todo su apoyo brindado.

A todos los profesores que tuve el honor o fortuna de recibir sus conocimientos y consejos durante todos los cursos del posgrado. En especial al Dr. Octavio M. Maravilla Chavéz, Dr. Volker Koch y Dr. Héctor Reyes Bonilla.

## ÍNDICE GENERAL

## PÁGINA

<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>I</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>II</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>IV</b>
<b>Summary</b> .....	<b>V</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
Diversidad, distribución y abundancia de mesoplodontes.....	<b>4</b>
<b>Antecedentes y Justificación</b> .....	<b>5</b>
Estado actual del conocimiento de <i>Mesoplodon peruvianus</i> .....	<b>9</b>
Craneometría y marcadores genéticos e isotópicos: su aplicación en el análisis de estructura poblacional.....	<b>16</b>
<b>Hipótesis</b> .....	<b>16</b>
<b>Objetivo General</b> .....	<b>17</b>
<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>Métodos</b> .....	<b>18</b>
Generales: descripción del área de estudio.....	<b>18</b>
Métodos dirigidos por objetivo.....	<b>20</b>
Para establecer un modelo de clasificación morfológica para identificar especímenes de <i>M. peruvianus</i> .....	<b>20</b>
Para evaluar si la morfológica craneal de especímenes de <i>M. peruvianus</i> colectados en el Pacífico Mexicano es divergente de la de especímenes colectados en las costas de Perú, evidenciando poblaciones distintas.....	<b>23</b>
Para Evaluar si la frecuencia y divergencia de secuencias de la región control mitocondrial de especímenes de <i>M. peruvianus</i> colectados en el Pacífico Mexicano es divergente de la de especímenes colectados en las costas de Perú y evidenciar poblaciones distintas.....	<b>25</b>
Para evaluar si las firmas isotópicas de Carbono y Nitrógeno, de especímenes de <i>M. peruvianus</i> colectados en el Pacífico Mexicano divergen de aquellas de especímenes colectados en las costas de Perú, evidenciando que los organismos han permanecido en nichos tróficos distintos y por tanto su aislamiento poblacional.....	<b>26</b>

<b>Resultados</b> .....	<b>27</b>
Modelo de clasificación morfológica, para identificar especímenes de <i>M. peruvianus</i> .....	<b>27</b>
Morfología craneal: La divergencia entre mesoplodontes menores del Pacífico Mexicano y Perú, sustenta la existencia de dos poblaciones distintas.....	<b>35</b>
La Divergencia de las firmas isotópicas de carbono y nitrógeno, de especímenes de <i>M. peruvianus</i> colectados en el Pacífico Mexicano y aguas de Perú sustentan que los organismos han permanecido en ambientes tróficos contrastantes, consistentes con su aislamiento poblacional.....	<b>42</b>
<b>Discusión</b> .....	<b>46</b>
Modelo de clasificación para identificar especímenes de <i>M. peruvianus</i> .....	<b>46</b>
La divergencia craneométrica entre mesoplodontes menores del Pacífico Mexicano y Perú, sustenta la existencia de dos poblaciones distintas.....	<b>54</b>
El análisis de firmas isotópicas de N15 y C13 sustenta la divergencia poblacional entre mesoplodontes menores del Pacífico Mexicano y Perú.....	<b>58</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>62</b>
<b>Literatura citada</b> .....	<b>64</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>73</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

## PÁGINA

<b>Figura 1.</b> Mapa del área de distribución de <i>M. peruvianus</i> (MacLeod <i>et al.</i> 2006), acorde a avistamientos (círculos negros) y varamientos (círculos amarillos). En el Pacífico Oriental, desde el Norte de Chile hasta California USA (Reyes <i>et al.</i> 1991, Urbán y Auriolés 1992, Vidal <i>et al.</i> 1993, Dalebout <i>et al.</i> 2004, Sanino <i>et al.</i> 2007, MacLeod <i>et al.</i> 2006). En el Pacífico Suroeste, un reporte en las costas de Nueva Zelanda (Baker <i>et al.</i> 1999).....	15
<b>Figura 2.</b> Proyección comparativa de los factores de clasificación 1 y 2 de los: a) Análisis De Componentes Principales y b) Análisis Discriminante. Símbolos, ○ <i>I. pacíficus</i> ; □ <i>M. densirostris</i> ; ◇ <i>M. grayi</i> ; △ <i>M. hectori</i> ; ● <i>M. layardii</i> ; ■ <i>M. perrini</i> ; ◆ <i>M. peruvianus</i> .....	29
<b>Figura 3.</b> EL alineamiento de 150 pares de bases de la región control del ADNmt de dos individuos clasificados mediante MC como <i>M. peruvianos</i> y su homología significativa del 100 % (Blast Identidades 100%, e=0.0000, asteriscos) con la secuencia de un individuo de la especie colectado en Newport CA. EUA.....	34
<b>Figura 4.</b> Relación entre la localidad, factor 1 de CP, y estadio de desarrollo d los especímenes analizados de <i>M. peruvianus</i> . Las abreviaturas, PJ Prejuven, AJ= Adulto joven, MJ= Macho joven, MAJ= Macho Adult Joven.....	36
<b>Figura 5.</b> Comparación entre los factores 1 y 2 del análisis de componentes principales de los especímenes de <i>M. peruvianus</i> (Localidad: ▲ México, △ Perú, □ Nueva Zelanda). Proyecciones: A) Ensayo 1, sin grupo externo; B) Ensayo 2, con grupo externo ( <i>I. pacíficus</i> , ✱ Ip).....	38
<b>Figura 6.</b> Comparación entre los factores 1 y 2 del análisis discriminante de los especímenes de <i>M. peruvianus</i> (Localidad: ▲ México, △ Perú, □ Nueva Zelanda). Proyecciones: A) Ensayo 1, sin grupo externo; B) Ensayo 2, con grupo externo ( <i>I. pacíficus</i> , ✱ Ip).....	40
<b>Figura 7.</b> Firmas del δ15N y δ13C obtenidos del colágeno óseo de cráneos de <i>M. peruvianus</i> colectados en dos regiones distintas, Pacífico Mexicano (A) y aguas de Perú (B), con base a la distribución latitudinal de colecta de los especímenes (ordenados en dos secciones de aprox. 4 grados, acorde al sitio más septentrional y meridional).....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

## PÁGINA

<b>Tabla 1.</b> Acervo de especímenes de <i>M. peruvianus</i> .....	<b>13</b>
<b>Tabla 2.</b> Lista de medidas utilizadas para diferenciar el sexo y madurez de los 20 mesoplodontes menores analizados (varados en México n=10, Perú n=9 y Nueva Zelanda n=1).....	<b>24</b>
<b>Tabla 3.</b> Distancias de Mahalanobis Intergrupar.....	<b>30</b>
<b>Tabla 4.</b> Coeficientes de Clasificación para cada especie analizada, dada la función matemática: $Y_j = a + b_1x_{1j} + b_2x_{2j} + b_3x_{3j} + b_4x_{4j} + \dots + b_mx_{mj}$ , donde $x_1 \dots x_n$ es el valor de cada una de las 12 medidas craneales señaladas por el AD.....	<b>31</b>
<b>Tabla 5.</b> Especímenes mesoplodontes (hallados varados en el Pacífico Mexicano e identificados como pertenecientes al género <i>Mesoplodon</i> ), cuyas medidas craneales se usaron para probar los modelos de función de clasificación (MCs).....	<b>32</b>
<b>Tabla 6.</b> Asignación taxonómica de cada cráneo analizado. Las sumatorias son resultados obtenidos a partir de la sustitución de los valores de medidas craneales en de cada espécimen, en los modelos de función de clasificación obtenidos. Las sumatorias resaltadas en negrita, son las que representan el valor más alto (indicativo del taxa al que se asignó cada cráneo analizado).....	<b>33</b>
<b>Tabla 7.</b> Distancias de Mahalanobis por grupo, con base a 32 medidas examinadas de <i>M. peruvianus</i> , n, representa el numero de especímenes utilizados.....	<b>41</b>
<b>Tabla 8.</b> Distancias de Mahalanobis por grupo, con base a 33 medidas examinadas de <i>M. peruvianus</i> y otra especie incluida en el análisis ( <i>I. pacíficus</i> ); n, representa el numero de especímenes utilizados.....	<b>41</b>
<b>Tabla 9.</b> Análisis discriminante del contenido de firmas isotópicas de carbono y nitrógeno de muestras de cráneos de <i>M. peruvianus</i> colectados en 2 zonas: Pacífico Mexicano – Perú. Los números en negrita y cursiva denotan que la firma de <b><i>N15</i></b> contribuye a discriminar a los 2 grupos significativamente. Nota: No se incluyeron en el análisis los valores isotópicos anómalos de un ejemplar de Perú (Fig. 7).....	<b>44</b>

<b>Tabla 10.</b> Análisis discriminante en el que se remueve el efecto de las firmas de N15, apreciándose que las firmas de <b>C13</b> , contribuyen a discriminar las muestras de cráneos de <i>M. peruvianus</i> colectados entre 2 zonas: Pacífico Norte Mexicano – Perú (Fig. 7).....	<b>44</b>
<b>Tabla 11.</b> Distancias de Mahalanobis entre los grupos del Pacífico Mexicano y Perú, con base a las firmas isotópicas de N15 y C13 y una medida craneal (Longitud Cóndilo Basal), examinadas en <i>M. peruvianus</i> , n representa el número de especímenes utilizados....	<b>45</b>
<b>Tabla 12.</b> Clasificación por Probabilidad, con base a las Distancias de Mahalanobis para cada caso.....	<b>45</b>

## RESUMEN

El presente, es el primer esfuerzo dirigido a evaluar la identidad poblacional del mesoplodonte menor (*Mesoplodon peruvianus*) en el Pacífico Oriental. Para ello se analizó la muestra más grande de especímenes de la especie estudiada hasta ahora, para verificar si las agregaciones de individuos del Pacífico Mexicano y Perú son poblaciones distintas; pues es aparente que los individuos de la especie se congregan en cuencas profundas sugiriendo que existen dos poblaciones (México y Perú). Por ello, se hipotetizó la divergencia morfológica y trófica de los individuos de ambas agregaciones. Para corroborar lo anterior, primero se generaron Modelos multivariantes de clasificación para segregar individuos de *M. peruvianus* de otras especies de *Mesoplodon*, pues el reconocer especies es clave para definir unidades biológicas operativas. Así, se analizó la variación morfológica entre *M. peruvianus* y especies afines para entender la relación entre fenotipo funcional y hábitat. Mediante análisis multivariados de Componentes Principales (ACP) y Discriminante AD) se generaron siete modelos de clasificación, uno para cada una de seis especies de *Mesoplodon* y uno más para un taxón hermano (*Indopacetus pacificus*). Con estos, se identificó con precisión nueve ejemplares de *M. peruvianus*, acorde a una verificación molecular de asignación de especies. Hecho lo anterior, se analizó con estadística multivariada la divergencia craneal entre mesoplodontes menores del Pacífico Mexicano y Perú, hallando evidencia que indica que las agregaciones analizadas son poblaciones distintas, dada la divergencia de las medidas craneales de 20 especímenes (10 de México, 9 de Perú y uno de Nueva Zelanda). Morfológicamente los especímenes colectados en el Pacífico Mexicano son significativamente distintos a los colectados en el litoral Peruano y aunque el morfoespacio craneal pueda depender de la ontogenia y sexo, en este caso el área geográfica la predice con preponderancia. Los análisis estadísticos multivariados de otros marcadores utilizados para evaluar la subdivisión poblacional de vertebrados (firmas isotópicas de C13 y N15), mostraron que los especímenes del Pacífico Mexicano y aguas de Perú ocupan ambientes tróficos divergentes, consistentes con dos poblaciones distintas. Las diferencias en las firmas de C13 y N15, son debidas a diferencias generadas en la base de la cadena trófica de los ecosistemas que ocupa cada agregación (México y Perú), y a diferencias en la fisiología de los grupos analizados, pues por ahora no se conoce a detalle sus presas y por lo tanto su ecología trófica. Así, es evidente que existen al menos dos poblaciones de la especie en el Pacífico Oriental.

## SUMMARY

This is the First effort aimed to assess the population identity of the lesser Mesoplodont (*Mesoplodon peruvianus*) at the Eastern Pacific. To achieve the latter, the largest sample of individuals of the species analyzed to date was studied to verify if aggregations of individuals at the Mexican Pacific and Peru are distinct populations, since individuals of the species apparently congregate in deep basins that suggest the existence of two populations (México and Peru). In consequence, the morphological, genetic and trophic divergence between individuals of both aggregations was hypothesized. To verify the latter, first multivariate classification models were generated to segregate individuals belonging to *M. peruvianus* from those of other species, since recognizing species is crucial to define biological operational units. Thus, the morphological variation between *M. peruvianus* and sister mesoplodont taxa were analyzed to better understand the relationship between functional phenotype and habitat. Through Principal Component (CAP) and Discriminant (AD) multivariate analyses seven classification models were generated, one per each of six *Mesoplodon* species and one more for its sister taxa (*Indopacetus pacificus*). Using the latter, nine individuals were robustly identified as *M. peruvianus*, according to a molecular species assignment analysis. Given the latter, the cranial divergence between lesser mesoplodonts from the Mexican Pacific and Peru, was analyzed using multivariate statistic techniques that evidenced that both analyzed aggregations were distinct populations, given the divergent cranial measurements among 20 specimens (10 from the Mexican Pacific, 9 from Peru, and one from New Zealand). Thus, specimens collected at the Mexican Pacific were significantly distinct from those collected in the Peru littoral, and though the cranial morphospace cranial may depend on the ontogeny and sex of the individual, in this case the geographic area predicted such variable with preponderance. Unfortunately such conclusion couldn't be supported by the analyses of mitochondrial sequences from specimens collected at the Mexican Pacific and Peru, since the isolation of such marc adores from very small bone samples proved to be problematic. Nevertheless, multivariate statistical analyses of other markers that are widely uses to assess the subdivision of vertebrate populations (C13 and N15 isotopic signatures), showed that specimens collected at the Mexican Pacific and Peru occupied divergent trophic environments, and consistent with two distinct populations. Differences between C13 and N15 signatures were due to differences generated at the base of the trophic chain of the ecosystem occupied by each lesser mesoplodont aggregation (México and Peru), and to physiological differences between both groups, since detailed knowledge on their prey items is not available to better assess their trophic ecology. Thus, it is evident the existence of two populations of the species in the Eastern Pacific

## 1. INTRODUCCIÓN

La familia Ziphiidae (zífidos, zifios o ballenas picudas) presenta características únicas respecto del resto de cetáceos. Este grupo se separó de otros linajes del Suborden Odontoceti ca. 20 millones de años (Berta y Sumich 1999). Los zífidos, se agrupan en seis géneros (*Berardius*, *Hyperoodon*, *Indopacetus*, *Mesoplodon*, *Tasmacetus*, *Ziphius*) y 21 especies descritas (Dalebout *et al.* 2004), y constituyen el segundo grupo más diverso del orden Cetácea después de la familia Delphinidae (Leatherwood *et al.* 1983, Urbán y Pérez-Cortés 2000, Dalebout *et al.* 2004). En comparación con otros delfínidos y la mayoría de mysticetos, la distribución oceánica de los zífidos, sus hábitos de buceo (alcanzan profundidades de 800 a 1450 m, y hasta 80 min. en inmersión), conducta esquiva, semejanza interespecífica y escasez de ejemplares colectados; ha dificultado estudiar su estructura poblacional, abundancia, taxonomía, dieta, comportamiento, variación morfológica y ecología, determinando que sean los cetáceos menos conocidos (Mead 1989, Urbán y Pérez-Cortés 2000, Dalebout *et al.* 2008).

### 1.1. Características generales del género *Mesoplodon*

Entre los cetáceos, los mesoplodontes llamados comúnmente ballenas picudas o dentadas (Rice, 1988), presentan un solo par de dientes en la

mandíbula. En machos adultos de *M. densirostris*, *M. ginkgodens*, *M. europaeus* y *M. peruvianus* los dientes que emergen de las encías sobresalen a partir de elevaciones óseas arqueadas (Varona 1985, Dalebout *et al.* 2008). Solo *Indopacetus*, carece de tales prominencias óseas y los dientes permanecen embebidos en la encía (Dalebout *et al.* 2003).

El cuerpo de los mesoplodontes es fusiforme, tienen un rostro alargado, su aleta dorsal es pequeña y está situada al final del segundo tercio posterior del cuerpo (característica de la familia). Además sus aletas pectorales son pequeñas y la aleta caudal es ancha y sus lóbulos no se separan por una escotadura. (Hall 1981, Leatherwood *et al.* 1982). La longitud reportada de la especie más pequeña (*M. peruvianus*) es de 3.4 a 4.0 metros y la de mayor talla (*M. layardii*) mide entre 4.55 y 6.25 metros (Carwardine 1995, MacLeod *et al.* 2006).

Los mesoplodontes tienen hábitos predominantemente pelágicos y se distribuyen en cuencas profundas o en la cercanía de estas, donde realizan buceos prolongados y profundos (MacLeod *et al.* 2003).

La morfología externa es muy semejante entre especies, mismas que presentan rasgos distintivos, como el patrón de coloración, tamaño y ubicación de los dientes, cuyo desarrollo en general es un carácter sexual secundario sinapomórfico (Mead 1989a, Dalebout *et al.* 2008). Los machos presentan

competencia intra-sexual, y se producen heridas con los dientes, las que al cicatrizar les diferencian de las hembras (Dalebout *et al.* 2008). Se creó que las hembras utilizan los dientes solo para alimentarse (Heyning y Mead 1996). En ejemplares adultos de ciertas especies, se observa un marcado dimorfismo sexual en la región craneal (e.g. *M. europaeus* y *M. peruvianus*, Varona 1985, Auriolles y Urbán 1993).

Estos cambios en los caracteres morfológicos distintivos entre sexos y etapas de desarrollo o madurez (e.g. aquellos de los dientes y región del vómer), se relacionan a procesos ontogénicos y selección sexual (Norman y Mead 2001, Dalebout *et al.* 2008, Cozzi *et al.* 2010).

Gran parte del conocimiento biológico y ecológico sobre los mesoplodontes se ha generado analizando animales capturados incidentalmente en redes de pesca o cazados durante las temporadas de captura de ballenas, y también a partir de las necropsias de cadáveres de animales varados, de los que se obtienen las osamentas que albergan las colecciones museográficas (Dalebout *et al.* 1998). Estas colecciones han permitido conocer mejor a los mesoplodontes usando diversos métodos dirigidos a estimar la proporción de sexos y resolver la clasificación y sistemática de poblaciones y organismos varados (Dalebout *et al.* 1998, 2002 y 2004).

## 1.2. Diversidad, distribución y abundancia de mesoplodontes

A lo largo de los años, los registros de avistamientos en cruceros científicos han permitido conocer mejor la distribución de las distintas especies de mesoplodontes. Sin embargo, a pesar de algunas estimaciones de abundancia total para el género, aún no se conoce el número de ejemplares que conforman las distintas poblaciones de cada especie (MacLeod *et al.* 2006, Dalebout *et al.* 2007). Actualmente se conocen 14 especies de *Mesoplodon* (Dalebout *et al.* 2008). La distribución geográfica del género se ha determinado mediante avistamientos y registros de varamientos.

Se han registrado al menos 10 especies en el hemisferio Sur (*M. europaeus*, *M. ginkgodens*, *M. bidens*, *M. carlhubbsi*, *M. stejnegeri*, *M. densirostris*, *M. mirus*, *M. perrini* y *M. peruvianus*) y 9 en el hemisferio Norte (*M. bowdoini*, *M. grayi*, *M. hectori*, *M. traversii*, *M. layardii*, *M. europaeus*, *M. ginkgodens*, *M. densirostris*, *M. mirus*, y *M. peruvianus*). Una sola especie es considerada cosmopolita: *M. densirostris* (Michel y Van Bree 1976, Baker y Van Helden 1999, MacLeod *et al.* 2006). Los registros de distribución de *M. mirus* en distintas regiones de los hemisferios Norte y Sur (MacLeod *et al.* 2006), contrastada contra su divergencia molecular, indica dos poblaciones separadas y probablemente subespecies o especies con mutaciones homoplásicas relacionadas a especiación alopátrica (Dalebout *et al.* 2007).

Gerrodette y Palacios (1996) reportan avistamientos de 67,149 zífidos en todo el Pacífico Mexicano, considerando los avistamientos de *M. densirostris*, "*Mesoplodon sp A*", *Z. cavirostris*, *B. bairdii* y otros identificados a nivel de familia. Así mismo, calcularon la abundancia del género *Ziphius* en conjunto con mesoplodontes no identificados a nivel de especie, en 13,104 individuos en el Golfo de California. Más adelante, Ferguson y Barlow (1999), estimaron un total de 32,678 especímenes del género *Mesoplodon* en el Pacífico Oriental, donde los zífidos más observados fueron *M. peruvianus* y *M. densirostris* (Pittman y Lynn 2001). Barlow *et al.* (2006), calcularon un total de 59,475 mesoplodontes con una densidad de 0.3 a 1.3 individuos por cada 1000 km<sup>2</sup> en el Pacífico Norte. También, Ferguson *et al.* (2006) reportan una densidad de 2.96 individuos por cada 1000 km<sup>2</sup> en el Pacífico Oriental Tropical.

Sin embargo, no se ha determinado cuantos ejemplares hay por cada especie en el mundo, pero se creó que la abundancia es baja (Dalebout *et al.* 2008).

## **2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

La mayor parte de los estudios sobre zífidos se han enfocado a registrar, describir e identificar a cada especie, con fines taxonómicos y en algunos casos,

para conocer la ecología y relaciones evolutivas que existen entre los taxa (Moore 1963 y 1968, Kasuya 1986, Dalebout *et al.* 2008).

La aplicación de paquetes computacionales y tecnología basada en la biología, ha permitido revisar la sistemática de esta familia, mediante la comparación de datos genotípicos, fenotípicos y ecológicos de taxa, para corregir y reagruparlos, además de actualizar las características morfológicas diagnósticas de la mayoría de las especies (Henshaw *et al.* 1997, Dalebout *et al.* 2002). Sin embargo, pocas investigaciones han combinado los métodos de clasificación convencionales (e.g. criterios morfológicos) y técnicas moleculares (marcadores genéticos e isotópicos) para identificar especies y poblaciones de zífidos (Cappozzo *et al.* 2005, Dalebout *et al.* 2005, Laporta *et al.* 2005). Investigaciones más recientes basadas en revisiones y descripciones taxonómicas y análisis de ADN, han permitido hacer comparaciones morfológicas y genéticas entre los integrantes del género, incluyendo a *M. peruvianus*, reconociendo varios grupos de especies emparentadas: *M. carlhubbsi* y *M. bowdoini*; *M. stejnegeri* y *M. densirostris*; *M. peruvianus* y *M. perrini*; y *M. mirus* y *M. europaeus*. Por lo menos en tres de estos grupos, la divergencia en la forma de los dientes y la distribución simpátrica sugiere que la selección sexual sobre los colmillos de los machos probablemente jugó un papel importante en la radiación de este grupo de mamíferos.

Las reconstrucciones filogenéticas han revelado que a partir de un ancestro común, las formas derivadas de los caninos han evolucionado de manera independiente, confirmando la monofilia del género (Dalebout *et al.* 2008).

A la fecha, han aumentado los estudios para evaluar la variabilidad genética de las poblaciones de estos cetáceos con el fin de clasificarles o identificar sus poblaciones. Dalebout *et al.* (2007) con base al análisis de secuencias mitocondriales (región control y citocromo b) de 4 a 6 ejemplares, identificaron dos distintas poblaciones de *M. mirus* (Hemisferio Sur y Norte del Atlántico). También, presentaron evidencia sobre nuevas especies o subespecies o stocks al examinar genéticamente varios ejemplares de *M. ginkgodens*, encontrando especímenes en el centro del Pacífico Tropical que son divergentes de aquellos distribuidos en Japón, Taiwán y Estados Unidos de América. Con un mayor número de muestras e individuos y mediante una comparación de secuencias de la región control del ADN mitocondrial, Dalebout *et al.* (2005) describieron la estructura filogeográfica mundial de *Z. cavirostris* presentando pruebas de que la especie muestra aislamiento marcado en cuatro cuencas oceánicas, entre las que el Mar Mediterráneo muestra mayor diferenciación.

Además, sus resultados indicaron que el flujo genético matrilineal es bajo. De manera similar, se analizaron las dos poblaciones *H. ampullatus* del Océano Atlántico Noroeste, encontrándose diferenciación regional y bajos niveles de

diversidad genética. La evidencia indicó que estas concentraciones de ballenas nariz de botella deben ser consideradas como stocks independientes para propósitos de manejo (Dalebout *et al.* 2006).

Además, se han utilizado datos isotópicos para analizar la composición de la dieta y el nivel trófico que ocupan los zífidos, en el Océano Atlántico. El análisis comparativo de estos datos con referencia a su distribución geográfica, ha verificado la segregación poblacional de algunas especies de zífidos asociada a la latitud (Hooker *et al.* 2001, MacLeod 2005).

En el Pacífico Mexicano y Golfo de México, los estudios sobre zífidos han sido dirigidos en su mayoría, a identificar especies a través de avistamientos y varamientos, registrando datos de distribución, riqueza y diversidad (Gerrodette y Palacios 1996, Fleischer 2000, Salinas y Ladrón de Guevara 1995). Entre los primeros registros de mesoplodontes, hace poco más de dos décadas, en el Pacífico Mexicano se observaron especímenes sin identificar a nivel de especie (Pitman *et al.* 1987). En el Golfo de California y Pacífico Noroeste, se reconoció la presencia de *M. peruvianus* (Salinas y Bourillón 1988, Urbán y Auriolés 1992), y se describió el dimorfismo sexual en dos cráneos de la especie (Auriolés y Urban 1993). Recientemente, Guzmán (2006) evaluó el poder de la morfometría numérica, para identificar cráneos de mesoplodontes a nivel de especie, aplicando estadística multivariante y corroborando con secuencias de ADN mitocondrial de la

región control. Así, corroboró la identidad de dos cráneos *M. peruvianus* colectados en costas mexicanas, mediante el uso de modelos matemáticos para la clasificación de especies.

## **2.1. Estado actual del conocimiento de *Mesoplodon peruvianus***

El descubrimiento del mesoplodonte menor data de 1976 cuando se encontró un cráneo varado en las playas de la caleta de San Andrés, Perú, que fue asignado al género *Mesoplodon* (Reyes *et al.* 1991).

Posteriormente, diez ejemplares colectados entre 1985 y 1989 en las costas peruanas se utilizaron en la descripción morfológica de la especie, estos cráneos incluían un neonato hembra (159 cm), dos hembras inmaduras (248, 322 cm), dos jóvenes machos (271, 326 cm), un macho adulto (holotipo, 372 cm) y cuatro ejemplares inmaduros (de 286 cm, 327 cm, 356 cm, y longitud indeterminada, respectivamente) de los que no se reconoció su sexo.

Externamente, *M. peruvianus* tiene un cuerpo alargado y comprimido lateralmente, que alcanza su máxima circunferencia entre la axila y la aleta dorsal. La cabeza presenta una pequeña protuberancia adelante del orificio nasal, el rostro es corto y pronunciado, y la línea de la boca se dirige hacia arriba cerca de

la comisura (Reyes *et al.* 1991, Urbán y Auriolés *et al.* 1992, Carwardine 2000, Reyes 2009).

La especie presenta dos surcos gulares bien desarrollados dispuestos en forma de “V” en la parte ventral. La aleta dorsal es triangular y con la punta redondeada. El borde de la aleta dorsal es ligeramente convexo en la parte anterior y cóncavo el extremo posterior (Reyes *et al.* 1991, Urbán y Auriolés *et al.* 1992, Carwardine 2000, Reyes 2009). Además, sus aletas pectorales tienen extremos truncados y se acomodan en depresiones a los lados del cuerpo y su aleta caudal carece de escotadura media. La coloración del cuerpo en los machos adultos es gris oscuro, con manchas y cicatrices lineales distintivas de color blanco, que se incrementan hacia el pedúnculo caudal. En las hembras y juveniles el dorso y costados son de color gris que se aclara hacia la zona ventral (Reyes *et al.* 1991, Urbán y Auriolés *et al.* 1992, Carwardine 2000, Reyes 2009).

La longitud del cuerpo, en ejemplares maduros va de 3.4 a 4.15 metros y las crías miden alrededor de 1.5 metros (Carwardine 1995, Guzmán 2006). Los machos adultos, presentan un par de excrecencias maxilares (característica única de la especie) y prominencias óseas de donde emergen los dientes (Auriolés y Urbán 1993, Sanino *et al.* 2007). De acuerdo a la longitud total del cuerpo se han descrito las siguientes proporciones morfométricas estandarizadas para *M. peruvianus*: Extremo anterior (punta del hocico) al ojo 12.9%; extremo anterior al

orificio nasal, 12.6%; extremo anterior a la punta de la aleta dorsal, 63.9%; extremo anterior a la inserción anterior de la aleta pectoral, 22.9%; extremo anterior al ombligo, 47.6%; extremo anterior al ano, 74.3%; máxima circunferencia, 59.5%; altura de la aleta dorsal, 4.1%; máxima anchura de la aleta pectoral, 3.9%; envergadura de la aleta caudal, 24% (Reyes *et al.* 1991). El ancho zigomático varía entre 24.3 a 28.0 cm. La fórmula vertebral es C7, T9, L10 (11), Ca20 = 47 (48). Presenta 10 pares de costillas, las primeras siete articuladas con el esternón (Reyes *et al.* 1991). El diente de los machos mide de 3.1 a 6.5 cm de largo y 1.4 a 2.1 cm de ancho, se encuentra ubicados entre 1.2 a 4.0 cm posterior a la sínfisis mandibular (Reyes *et al.* 1991, Auriolos y Urbán 1993, Baker y Van Helden 1999).

Esta especie puede formar grupos de 2 a 6 animales que pueden bucear de 15 a 37 min. y permanecer en superficie de 40 seg. a 4 min. después de emerger (Barlow *et al.* 1997). Su dieta comprende peces mesopelágicos y bentónicos (Reyes *et al.* 1991, Reyes 2009). Al reconocerse las características de *M. peruvianus*, se inició el registro sistemático de sus varamientos en otras zonas: Entre 1988 y 1989 en la región central del Golfo de California (San Carlos, Son. México) se colectaron restos de un ejemplar, que más tarde se identificaron como un macho adulto de la especie (Vidal *et al.* 1993). Lo anterior, evidenció la amplia distribución latitudinal del mesoplodonte menor, que más tarde se confirmó, al colectarse un macho y una hembra adultos en Bahía de La Paz, B.C.S. México, en 1990 (Urbán y Auriolos 1992). En 1995, se encontró un cráneo con impactos de

proyectil al norte de Chile, que se identificó como un macho adulto (Sanino *et al.* 2007) y en 1998 se registró la distribución mas norteña de la especie correspondiendo un animal varado en California, E.U.A. (Dalebout *et al.* 2004). En 1991, se halló varado un macho adulto en el Pacífico Suroeste, en las costas de Nueva Zelanda, representando un registro muy alejado del área de distribución conocida para *M. peruvianus* (Baker *et al.* 1999).

En resumen, el repertorio de osamentas recolectadas y resguardadas en colecciones museográficas o institucionales comprende 26 cráneos (Tabla 1) e incluye: 14 registros del Pacífico Sureste (Perú-Chile); 11 Registros del Pacífico Noreste (USA-México); 1 registro en el Pacífico Suroeste (Nueva Zelanda).

Tabla 1. Acervo de especímenes de *M. peruvianus*.

# Cráneos	Lugar de Resguardo	País de Colecta	Referencias
4	Museo Nacional de Historia Natural en Washington, D.C. USA. <b>USNM</b> .	Estados Unidos	Reyes <i>et al.</i> 1991. Dalebout <i>et al.</i> 2004.
1	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guavmas <b>ITESM</b>	Perú México	Vidal <i>et al.</i> 1993.
3	Museo de Historia Natural, Universidad Autónoma de Baja California <b>MHNIABCS</b>	México	Urbán y Auriolos 1992.
4	Laboratorio de Ecología de Pinípedos "Burney J. Le Boeuff", Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas <b>CICIMAR</b> .	México	Este estudio. Urbán y Auriolos 1992.
1	Centro Región de Investigaciones Pesqueras. La Paz, B.C.S. <b>CRIP</b> .	México	Este estudio.
1	Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas. <b>ITeBB</b> .	México	Marín <i>et al.</i> 2002.
4	Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <b>MHNIINMSM</b>	Perú	Reyes <i>et al.</i> 1991. Este estudio.
2	Áreas Costeras y Recursos Marinos. <b>ACOREMA</b> .	Perú	Reyes <i>et al.</i> 1991. Este estudio.
1	Centre for Marine Mammals Research – Leviathan.	Chile	Sanino <i>et al.</i> 2007
1	Museo Nacional de Historia Natural, Santiago Chile.	Perú	Reyes <i>et al.</i> 1991.
1	Nationaal Natuurhistorisch Museum, Leiden. Holanda.	Perú	Comentarios Personales
1	Institut Royal de Sciences Naturelles de Belgique, Bruselas. Bélgica.	Perú	Julio Cesar Reyes Reyes <i>et al.</i> 1991.
1	Museo Oceanográfico. La Rochelle. Francia	Perú	Reyes <i>et al.</i> 1991.
1	Museum of New Zealand Te Papa Tongarewa, Wellington. <b>MNZ</b> .	Nueva Zelanda	Baker <i>et al.</i> 1999.

En cuanto a los avistamientos confirmados de individuos de la especie, estos son escasos. Varios avistamientos registrados en las regiones donde se distribuye *M. peruvianus*, han sido referidos como *M. sp A* (Pitman *et al.* 1987, Urban y Auriolles 1992, Jefferson *et al.* 1993, Mangels y Gerrodette 1994, Barlow *et al.* 1997, Urbán y Pérez-Cortés 2000, Moncada 2007), debido al patrón de pigmentación divergente de estos organismos respecto al de *M. peruvianus* (Pitman *et al.* 1987). Así, avistamientos previos de machos adultos con una banda ancha color crema entre el orificio nasal y la aleta dorsal y de hembras adultas y jóvenes de ambos sexos que la tienen grisácea, se asignaron a *M. peruvianus* (Pitman *et al.* 2001). Aún así, considerando toda la información recopilada de la especie, indica que su abundancia es baja en el área de su distribución (MacLeod *et al.* 2006, Cárdenas 2008).

*M. peruvianus*, se lista en el Apéndice II de la Convención Internacional sobre el Comercio de Especies de Flora y Fauna Silvestre (CITES) (Klinowska 1991); La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) la incluye en una categoría con Datos Insuficientes (Libro Rojo IUCN 1996) y en México se encuentra sujeta a Protección especial (Pr) bajo la Norma NOM-059-SEMARNAT.

Recapitulando, gran parte de la información sobre *M. peruvianus* son registros de varamientos y avistamientos, que sugieren que la especie presenta una distribución discreta en cuencas oceánicas profundas (Fig. 1).

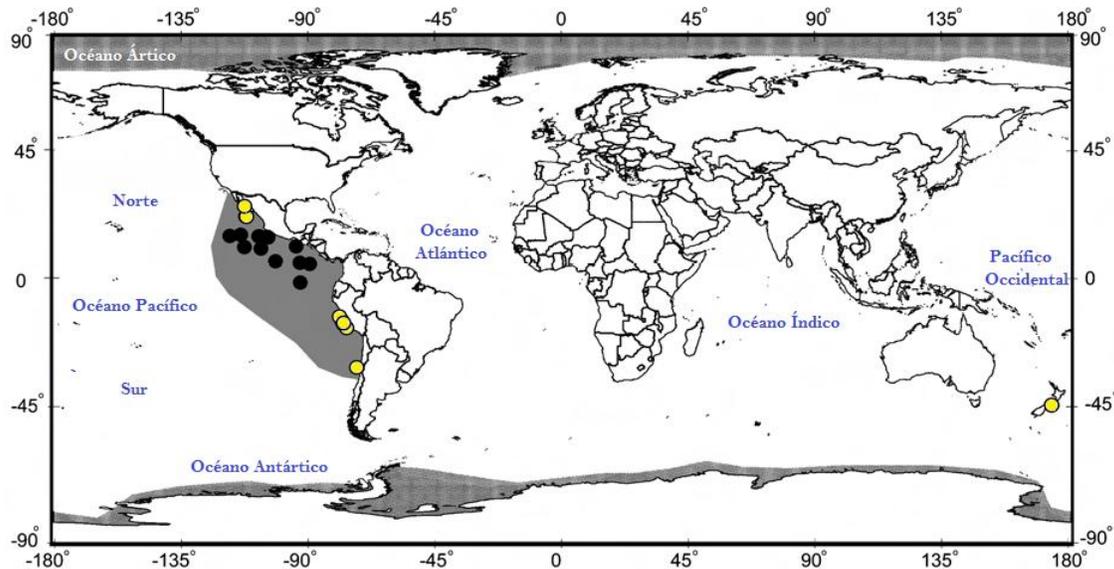


Figura 1. Mapa del área de distribución de *M. peruvianus* (MacLeod *et al.* 2006), acorde a avistamientos (círculos negros) y varamientos (círculos amarillos). En el Pacífico Oriental, desde el Norte de Chile hasta California USA (Reyes *et al.* 1991, Urbán y Aurióles 1992, Vidal *et al.* 1993, Dalebout *et al.* 2004, Sanino *et al.* 2007, MacLeod *et al.* 2006). En el Pacífico Suroeste, un reporte en las costas de Nueva Zelanda (Baker *et al.* 1999).

## **2.2. Craneometría y marcadores génicos e isotópicos: su aplicación en el análisis de estructura poblacional**

En el contexto descrito, los algoritmos de la taxonomía numérica y análisis de marcadores génicos e isotópicos son herramientas idóneas para identificar con precisión especímenes a nivel específico (e.g. De Marinis 1995, Turner y Worthy 2003, Dalebout *et al.* 2005, 2006, 2008, Szteren y Aurióles 2011). En consecuencia, el presente estudio buscó verificar si *M. peruvianus*, presenta una población estructurada (dividida) en el Pacífico Oriental, con base al reconocimiento de diferencias morfológicas, genéticas y tróficas de entre individuos de la especie colectados en distintos sitios geográficos (Pacífico Noreste y Pacífico Sureste).

## **3. HIPÓTESIS**

HO: En el Pacífico Oriental, la distribución de *M. peruvianus* es continua entre el Pacífico Mexicano y aguas de Perú, acorde a su morfología, genética y ecología trófica homogéneas.

HA: En el Pacífico Oriental, la distribución de *M. peruvianus*, discreta y coincidente con cuencas oceánicas profundas, sugiere que existen dos poblaciones, una en el Pacífico Mexicano y otra en aguas de Perú, cuyo aislamiento se refleja en su divergencia morfológica, genética y trófica.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. General

Determinar, con base a la divergencia morfológica, genética y trófica entre individuos de *M. peruvianus* del Pacífico Mexicano y de las aguas de Perú, si hay la existencia de dos poblaciones discretas de la especie *M. peruvianus* en el Pacífico Oriental.

### 4.2. Objetivos específicos

- Establecer un modelo de clasificación morfológica para identificar especímenes de *M. peruvianus*
- Valorar si la morfológica craneal de especímenes de *M. peruvianus* colectados en el Pacífico Mexicano es divergente de la de especímenes colectados en las costas de Perú, evidenciando dos poblaciones distintas en el Pacífico Oriental.
- Evaluar si la frecuencia y divergencia de secuencias de la región control mitocondrial de especímenes de *M. peruvianus* colectados en el Pacífico Mexicano, son divergentes de las de especímenes colectados en las costas de Perú, evidenciando poblaciones distintas.

- Determinar si las firmas isotópicas de carbono y nitrógeno, de especímenes de *M. peruvianus* colectados en el Pacífico Mexicano divergen de aquellas de especímenes colectados en las costas de Perú, indicando que los organismos han permanecido en nichos tróficos distintos que apoyen su aislamiento poblacional.

## 5. MÉTODOS

### 5.1. Generales: descripción del área de estudio

Dada la distribución de los ejemplares analizados, el área de estudio abarca el Pacífico Oriental (MacLeod *et al.* 2006). El Océano Pacífico es la cuenca oceánica más antigua, más grande (por arriba de los 155 millones de km<sup>2</sup>) y más profunda del mundo (11034 m). Se extiende desde los límites de los continentes America, Asia y Australia a las dorsales oceánicas y trincheras del Pacífico Occidental, Pacífico Oriental y Pacífico Meridional. En estas zonas de subducción, hay fosas oceánicas de 200 a 8069 m profundidad, de gran inestabilidad sísmica y volcánica, dando el nombre de "Anillo de Fuego" a la zona circumpacífica. Esto, y ca. 30.000 islas y montañas sumergidas forman barreras de relieve y suelo submarino heterogéneo (Lebow y Garrison 1985). La circulación del aire forma dos importantes zonas anticiclónicas en el Océano Pacífico. La dinámica de los vientos y corrientes marinas, desplazan las masas de agua calidas y frías circundantes en dos direcciones, en sentido a las manecillas del reloj (dos sistemas: Pacífico

Norte, California y Japón y contracorriente Surecuatorial) y viceversa (tres sistemas: corrientes de Alaska y Subártica; contracorriente Norecuatorial y corrientes de Perú, del Pacífico Sur y de Australia del Este) a excepción de la corriente del Niño, cuyo flujo irregular, choca con la corriente peruana, este último sistema se caracteriza por tener altas temperaturas (Lebow y Garrison 1985).

Así, en el Pacífico Oriental se encuentran aguas profundas y productivas, donde aparentemente, con base a la distribución de especímenes varados analizados y avistamientos registrados (MacLeod *et al.* 2006), y hábitos de *M. peruvianus* (Reyes *et al.* 1991, Barlow *et al.* 1997), la especie podría tener una distribución poblacional continua: desde la trinchera de Aleutianas, en Alaska; extendiéndose al sur hasta las Fosas del Río de California, la Fosa del Pescador y Cuenca de Guaymas (ca. 2010 m de profundidad) en el Golfo de California; abarcando también la trinchera Mesoamericana (desde Cabo Corrientes-Jalisco México a Panamá) que incluye las fosas de Cedros, Manzanillo, Petalco, Acapulco y la Tehuantepec, y alcanzando las Islas Galápagos; y la trinchera Perú-Chile conocida también como la Fosa de Atacama o Nazca (Lebow y Garrison 1985).

## 5.2. Métodos dirigidos por objetivo:

### **5.2.1. Para establecer un modelo de clasificación morfológica para identificar**

**especímenes de *M. peruvianus***: Se compiló una base de datos que incluye las medidas craneales pertenecientes a 31 cráneos distribuidos entre siete especies de los géneros *Mesoplodon* e *Indopacetus* (Anexo I y II, Moore 1963). Un mínimo de 20 medidas (Anexo II, Moore 1963, Reyes *et al.* 1991) se registraron para cada uno de los especímenes incluidos en el análisis, recopilándose a través de informes publicados o midiendo cráneos de distintas colecciones museográficas. Los datos compilados se analizaron aplicando métodos de estadística multivariante: Primero se elaboró una matriz correlacionando las mediciones de cada uno de 31 cráneos analizados mediante un análisis de componentes principales (ACP), para identificar las principales diferencias entre los grupos (especies) multivariantes y detectar las medidas que explican la mayor parte de la variación fenotípica entre las especies. Los componentes principales (CP) son estimaciones de combinaciones lineales de los datos, por lo que la primer CP, explica el mayor porcentaje obtenido de la varianza fenotípica total, seguida de una segunda, tercera (y así sucesivamente) - CP, hasta que se explica la variación total. Así, cada una de las medidas originales se asocia a un CP a través de un vector propio, cuyo valor absoluto determina la importancia de los rasgos del CP. Teniendo en cuenta un sistema de p-Variables, el CP se explica por la expresión  $CP_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ij}X_j$ , con  $i = 1, 2, \dots, n$  CP,  $j = 1, 2, \dots, p$

variables originales, donde  $a_{ij}$  es el componente del vector de coeficientes de la transformación lineal, y  $X_j$  es la variable original (Johnson y Wichern 1998).

El criterio adoptado para seleccionar los CPs fue un porcentaje de entre 85% y 90% del total de la varianza explicada. Los ACPs, señalaron que un mínimo de doce medidas craneales explican la mayor parte de la variación fenotípica entre las 31 muestras analizadas (Anexo III). Estas medidas, que se localizan fuera del área del rostro (la que es muy susceptible a daños que dificultan las mediciones), se seleccionaron para desarrollar un análisis discriminante (AD) y generar siete modelos de clasificación (MC: funciones matemáticas) uno para cada especie analizada. Los MCs obtenidos, se utilizaron para asignar a una determinada especie a nueve cráneos de mesoplodontes, de acuerdo a sus medidas craneales (Anexo IV). Estos cráneos pertenecen a animales que se encontraron varados en Bahía de La Paz, Baja California Sur (B.C.S.), Isla Magdalena, B.C.S., Bahía de Banderas, Nayarit, Mazatlán, Sinaloa y Guaymas, Sonora. De ellos, cuatro cráneos ya habían sido identificados previamente como *M. peruvianus* (Urbán y Aurióles 1992, Vidal *et al.* 1993, Urbán *et al.* 1997, Marin *et al.* 2002). De estos cráneos, por lo menos ocho presentaron fracturas en la zona rostral, pero estaban suficientemente conservados para registrar las doce medidas que explicaban la mayor parte de la varianza (Anexo III y IV).

Cada espécimen no identificado, fue asignado a una especie mediante la sustitución de sus medidas (n = 12, Anexo IV) en cada uno de los siete MCs, identificando el MC con el valor más alto, (que indicó la especie a la que pertenece el espécimen). Todos los análisis se realizaron utilizando el software Statistica 7.0.

Se buscó verificar el poder de los MCs obtenidos, corroborando la asignación específica de 2 de los 9 especímenes de prueba (BPF e DAG IM, ver resultados Tabla 6), analizando la homología de sus secuencias control del ADN mitocondrial. Para ello, se obtuvieron muestras de cartílago y piel de cada espécimen y se preservaron en etanol al 70% a -40°C. El ADN genómico total se extrajo de estas muestras siguiendo un protocolo estándar (Aljanabi y Martínez 1997), y se usó para amplificar un fragmento diagnóstico de 212 pares de bases (pb) de la región de control mitocondrial de cetáceos, a través de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), con los cebadores: *DL3* 5'-TGGCCGCTCCATTAGATCACGAG C-3' y *H00034* 5'-TACCAAATGTATGAAACCTCAG-3' (Rosel 1992). Las reacciones de PCR se realizaron mediante la adición de 2.5 microlitros (µl) de cada cebador oligonucleótido (10 mM) a una solución conteniendo 20 mM Tris-HCl pH 8.3, 100 mM KCl, 3,5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.4 mM de cada dNTP, 1 u. de Taq polimerasa, y de 50 a 100 ng de ADN template a un vol. total de 25 µl. El Termociclado se realizó en un Techne Genius programado con los siguientes perfiles de temperatura: 3 min. a 94° C, seguido de 35 ciclos comprendiendo: extensión a 30 seg. a 92° C; seguida de anillamiento por 30 seg. a 52° C, seguido

por extensión a 30 seg. a 74 ° C por ciclo, seguida de una extensión final de 6 min. a 72° C. Los productos de PCR obtenidos fueron secuenciados de forma automática en ambas direcciones (MACROGEN, Inc. Corea del Sur). Los contiguos nucleotídicos de las secuencias ADNmt (F: forward y R: reverse) de cada organismo se reconstruyeron con el software ChromasPro 1,32. Las secuencias consenso resultantes, se utilizaron para asignar a cada individuo a su especie correspondiente contrastando su homología con aquella de secuencias del Banco de Genes Mundial (Genbank) utilizando el software BLASTn (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>).

**5.2.2. Para evaluar si la morfológica craneal de especímenes de *M. peruvianus* colectados en el Pacífico Mexicano es divergente de la de especímenes colectados en las costas de Perú, evidenciando poblaciones distintas:** Se compiló una base de datos con las medidas craneales de 20 mesoplodontes menores varados en México (n=10), Perú (n=9) y Nueva Zelanda (n=1), incluyendo cinco cráneos de *I. pacificus* como grupo externo de referencia (Anexo I). Previamente, la madurez física y el sexo de los organismos analizados, se determinó con criterios previamente descritos (Tabla 2, Moore 1963 y 1968, Perrin 1975, Mead *et al.* 1982, Varona 1985, Reyes *et al.* 1991, Aurióles y Urbán 1993).

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesopiodon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

Tabla 2. Lista de medidas utilizadas para diferenciar el sexo y madurez de los 20 mesoplodontes menores analizados (varados en México n=10, Perú n=9 y Nueva Zelanda n=1).

Carácter diagnóstico	Clasificación		Sexo
	Madurez		
	♂	♀	
Longitud condilobasal	C-J-A	C-J-A	
Amplitud craneal (proceso zigomático escamoso)	C-J-A	C-J-A	
Altura del Cráneo	C-J-A	C-J-A	
Anchura máxima de la cresta premaxilar	PJ-J-A	PJ-J-A	
Fusión de los huesos maxilar y premaxilar	C-PJ-J	C-PJ-J	
Tamaño del diente	C-PJ-J	C-PJ-J	AM
Amplitud máxima del nasal sobre el vertex	J-A	J-A	J, A
Relleno de la cavidad pulpar del diente	J-A	J-A	
Prominencia ósea en la mandíbula, de donde el diente emerge	AJ-AM		AM
Par de excrecencias maxilares	AJ-AM		AM
Cavidad mesorostral rellena por el vómer	AJ-AM		AM

**C:** Cría, **PJ:** Pre-Joven, **J:** Joven, **A:** Adulto, **AJ:** Adulto Joven, **AM:** Adulto Maduro, los guiones (-) denotan comparación.

Como se describe en la sección anterior (5.2.1.), se registró un mínimo de 40 medidas (Moore 1963) de cada uno de los especímenes analizados, partiendo de informes o midiendo cráneos de colecciones museográficas (Anexo II). Las medidas de cada uno de los 25 cráneos referidos, se examinaron utilizando estadística multivariada: ACP y AD, para evaluar si la variación fenotípica de *M. peruvianus* en el Sur y Norte del Pacífico Oriental, es lo suficientemente divergente como para evidenciar la existencia de dos poblaciones distintas.

**5.2.3. Para Evaluar si la frecuencia y divergencia de secuencias de la región control mitocondrial de especímenes de *M. peruvianus* colectados en el Pacífico Mexicano es divergente de la de especímenes colectados en las costas de Perú y evidenciar poblaciones distintas:**

Se planteó extraer ADN y amplificar secuencias de la región control mitocondrial, a partir de muestras de 200 a 500 mg de hueso pulverizado, obtenidas de especímenes de colecciones museográficas, usando una broca y un taladro (Dremel) y siguiendo técnicas estandarizadas (Höss y Pääbo 1993, Pichler *et al.* 2001, Dalebout *et al.* 2003, Ye *et al.* 2004). Así, se taladró el espécimen para obtener hueso pulverizado de la cavidad interna de cráneos y vértebras pertenecientes a catorce mesoplodontes menores (colecciones de México, n=8: DAG-IM, DAG-160, OD-026, JUR Mogote, 053, BB, DAG-M, DAG-BLP; colecciones de Perú, n=6, 1146, 708, 709, JCR-A0033, JCR-1924, JCR-270, Anexo V). Modificando ligeramente protocolos descritos (Höss y Pääbo 1993, Aljanabi y Martínez 1997, Ye *et al.* 2004), adicionando 10 ul de proteinasa k, y digestión por 3 días a 55°C (con agitación cada 6 o 12 horas), se obtuvo una alícuota de ADN de cada individuo, que se utilizó junto con secuencias cebadoras descritas previamente (D1p10-L, 5'-CCACAGTACTATGTCCGTATT-3' Baker *et al.* 1993, D1p4-H, 5'-GCGGGWTRYTG RTTTCACG -3', Dalebout *et al.* 2003); para amplificar vía PCR ca. 280 pb de la región control mitocondrial. Las reacciones de PCR se realizaron adicionando de a 1 a 2.5 microlitros (µl) de cada cebador oligonucleótido (10 mM) a una solución conteniendo 20 mM Tris-HCl pH 8.3, 100 mM KCl, 3,5 mM MgCl<sub>2</sub>,

0.4 mM de cada dNTP, 1 u. de Taq polimerasa, 1 a 5 ul de ADN templete, y 1 mg/ml de albúmina de suero bovino (*BSA*) para un volumen total de 12.5 a 25  $\mu$ l. El Termociclado se realizó con un termociclador Techne Genius programado con los siguientes perfiles de temperatura: desnaturalización por 6 min. a 94°C, seguido de 35 ciclos comprendiendo: desnaturalización por 45 seg. a 92°C, seguido de anillamiento por 60 seg. a 47°C como mínimo y máximo 55°C, y seguida por extensión a 60 seg. a 74°C por ciclo, y finalizando con una extensión final por 6 min. a 72°C. La presencia de productos de PCR se verificó por electroforesis en geles de agarosa (1%) con 3ul de bromuro de etidio (10 mg/ml) en relación a un marcador de masa y peso molecular. Los productos de PCR se visualizaron utilizando un transluminador provisto de una cámara digital, con las que se fotodocumentaron los productos obtenidos. Si bien la extracción de ADN a partir de las muestras de hueso pulverizado resultó exitosa, la amplificación de la región control mitocondrial resultó ser muy problemática e impidió se alcanzara este objetivo.

**5.2.4. Para evaluar si las firmas isotópicas de Carbono y Nitrógeno, de especímenes de *M. peruvianus* colectados en el Pacífico Mexicano divergen de aquellas de especímenes colectados en las costas de Perú, evidenciando que los organismos han permanecido en nichos tróficos distintos y por tanto su aislamiento poblacional:** Se obtuvo una alícuota de 100mg de cada muestra de hueso pulverizado que se extrajo de la parte interna de cóndilos occipitales

para los análisis de ADN (catorce alícuotas). Cada alícuota se usó para extraer del colágeno los isótopos estables  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ . Para esto, los fragmentos de hueso fueron limpiados y desmineralizados suavemente en 0.5N ácido clorhídrico (HCl) de 12 a 14 h a 5°C. El material resultante fue tratado en varias ocasiones con una mezcla de cloroformo/metanol/agua (2:1:0.8) para remover lípidos y ser liofilizado (Laboratorio de Ecología de Pinnípedos, CICIMAR). El colágeno seco y preservado en viales sellados, se envió para su procesamiento de laboratorio al Departamento de Ciencias Geológicas y Ambientales de la Universidad de Stanford (por Dr. David Aurióles-Gamboa del CICIMAR). Con los valores isotópicos obtenidos y respectivamente, dos y tres medidas craneales (**ACTCO**: Amplitud Craneal a Través de los Centros Orbitales y **LC**: Longitud Cóndilo Basal y **AC**: Altura del Cráneo) se realizó un análisis multivariado discriminante para explorar la distribución de estas firmas isotópicas en el Pacífico Oriental, usando el programa software Statistica 7.0.

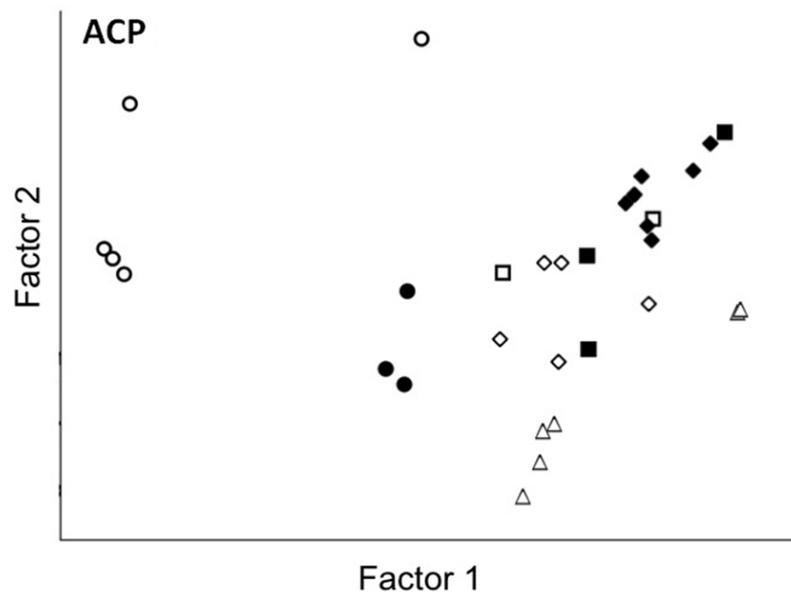
## **6. RESULTADOS.**

### **6.1. Modelo de clasificación morfológica, para identificar especímenes de *M. peruvianus***

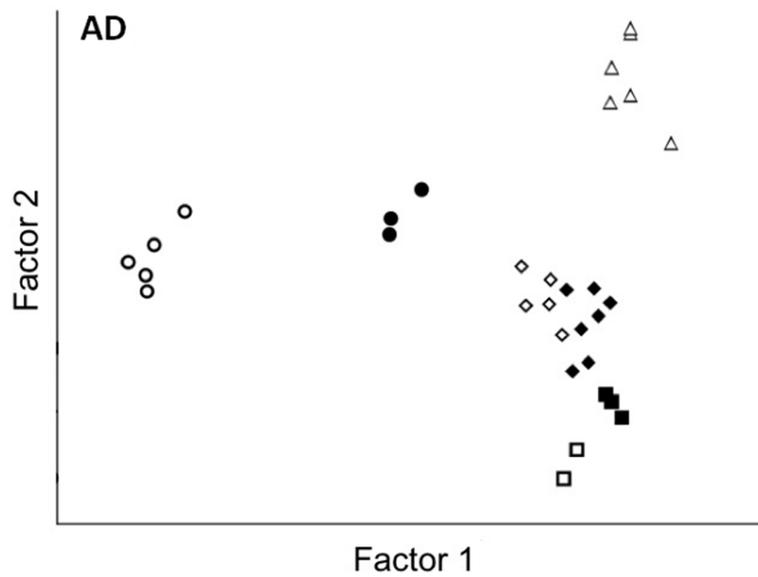
*Variación intraespecífica del género Mesoplodon.*- Las Mediciones craneales de 31 cráneos pertenecientes a dos géneros (*Mesoplodon* e *Indopacetus*) fueron compiladas a partir de reportes publicados y registrando medidas de ejemplares

localizados en colecciones (Anexo I): cinco *I. pacíficus*; dos *M. densirostris*; cinco *M. grayi*; seis *M. hectori*; tres *M. layardi*; tres *M. perrini*; y siete *M. peruvianus*. A partir de 46 mediciones diagnósticas descritas por Moore (1963), aquellas correspondientes a la zona rostral fueron excluidas del análisis, ya que en la mayoría de los reportes y publicaciones estas medidas no fueron registradas consistentemente y porque la mayoría de cráneos de este análisis presentaron fracturas rostrales. Así, primero mediante ACP se analizaron las 20 medidas craneales para todos los especímenes muestreados, sin que estos se asignaran *a priori* a una determinada especie. El ACP de estas medidas, mostró las variables correlacionadas y los dos primeros componentes, que explicaron 86,68 % de la varianza fenotípica total (Anexo III: sección a). En un segundo ACP, se seleccionaron 12 medidas que fueron más significativas al mostrar 87.89 % de la varianza acumulativa (Anexo III: sección b).

*Variación interespecífica del género Mesoplodon.*- La varianza fenotípica total de las 20 medidas craneales referidas (Anexo III: sección a) fue suficiente para aglomerar (ACP) y asignar correctamente todos los especímenes analizados (100% individuos) a sus especies correspondientes mediante el AD (Fig. 2 a y b, Lambda de Wilks: .0000057, aprox.  $F(72,76) = 8.730309$ ,  $p < .0000$ ).



A



B

Figura 2. Proyección comparativa de los factores de clasificación 1 y 2 de los: a) Análisis De Componentes Principales y b) Análisis Discriminante.

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplodon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

Símbolos, ○ *I. pacíficus*; □ *M. densirostris*; ◇ *M. grayi*; △ *M. hectori*; ● *M. layardii*; ■ *M. perrini*; ◆ *M. peruvianus*.

Las distancias de Mahalanobis obtenidas son consistentes con una divergencia fenotípica alta entre los especímenes de cada especie (Tabla 3). Por lo tanto, los resultados del AD se usaron para generar siete modelos de clasificación MC (funciones matemáticas de clasificación, Tabla 4), uno para cada una de las especies de zífidos analizados con base en las 12 mediciones craneales referidas por el estadístico de prueba.

Tabla 3. Distancias de Mahalanobis Intergrupales.

	<b>Ip</b>	<b>Md</b>	<b>Mgr</b>	<b>Mhe</b>	<b>Mla</b>	<b>Mperr</b>	<b>Mperu</b>
<b><i>I. pacíficus</i></b>	<b>0.0000</b>						
<b><i>M. densirostris</i></b>	608.0788	<b>0.0000</b>					
<b><i>M. grayi</i></b>	495.6660	47.9275	<b>0.0000</b>				
<b><i>M. hectori</i></b>	756.5814	164.1674	84.0470	<b>0.0000</b>			
<b><i>M. layardii</i></b>	239.7952	206.8251	106.0660	224.2522	<b>0.0000</b>		
<b><i>M. perrini</i></b>	702.6753	29.6964	47.8608	111.3281	203.8767	<b>0.0000</b>	
<b><i>M. peruvianus</i></b>	610.5529	52.5004	32.5864	74.2209	158.0947	25.0308	<b>0.0000</b>

**Ip:** *I. pacíficus*; **Md:** *M. densirostris*; **Mgr:** *M. grayi*; **Mhe:** *M. hectori*; **Mla:** *M. layardii*; **Mperr:** *M. perrini*; **Mperu:** *M. peruvianus*.

Tabla 4. Coeficientes de Clasificación para cada especie analizada, dada la función matemática:  $Y_j = a + b_1x_1j + b_2x_2j + b_3x_3j + b_4x_4j + \dots + b_mx_mj$ , donde  $x_1 \dots x_n$  es el valor de cada una de las 12 medidas craneales señaladas por el AD.

Especie (Y <sub>j</sub> )	Constante (a)	LMNDS V (b1)	LSN (b2)	ACTPPF (b3)	AMCO (b4)	LMCO (b5)	AMNSV (b6)	AMCPS (b7)	AEHP (b8)	AC (b9)	AFT (b10)	DMEFMP (b11)	DMEFP (b12)
Ip	-1125.56	-0.85	1.00	-2.61	13.58	10.28	12.18	5.72	2.01	-2.62	-9.34	1.52	-8.00
Md	-295.222	-0.562	0.856	-1.450	6.956	4.241	5.054	3.538	1.890	-1.117	-4.864	-0.218	-4.358
Mgr	-345.868	-0.108	0.628	-1.380	7.052	6.533	6.535	2.958	1.376	-1.614	-5.351	0.841	-3.710
Mhe	-276.332	0.119	0.079	-1.000	4.674	7.792	7.242	1.490	0.13	-1.512	-4.826	2.132	-1.100
Mla	-599.697	-0.144	0.913	-1.884	9.798	7.775	8.540	3.685	1.580	-1.981	-7.454	2.205	-5.960
Mperr	-249.029	-0.505	1.129	-1.233	6.425	4.669	4.793	2.868	1.356	-1.217	-4.815	0.530	-4.048
Mperu	-276.846	-0.453	0.548	-1.163	6.725	5.558	5.969	2.353	1.038	-1.419	-4.654	0.921	-3.629

Longitud máxima del nasal derecho sobre el vertex: **LMNDSV**; Longitud de la sutura nasal: **LSN**; Amplitud craneal a través del proceso post-orbital frontal: **ACTPPF**; Anchura máxima de los cóndilos occipitales: **AMCO**; Longitud máxima del cóndilo occipital derecho: **LMCO**; Amplitud máxima de los nasales sobre el vertex: **AMNSV**; Anchura máxima de la cresta premaxilar en el synvertex: **AMCPS**; Anchura entre las hendiduras pterigoidales: **AEHP**; Altura del Cráneo: **AC**; Anchura máxima de la fosa temporal: **AFT**; Distancia mínima entre el foramen maxilar principal: **DMEFMP**; Distancia mínima entre el foramen premaxilar: **DMEFP**.

*Asignación de especies vía modelos de clasificación.*- Los MCs obtenidos fueron usados para identificar los 9 especímenes colectados en diferentes localidades del Pacífico Mexicano descritos en la Tabla 5, acorde a su craneometría (Anexo IV).

Tabla 5. Especímenes mesoplodontes (hallados varados en el Pacífico Mexicano e identificados como pertenecientes al género *Mesoplodon*), cuyas medidas craneales se usaron para probar los modelos de función de clasificación (MCs).

<b>Identificación Preliminar</b>	<b>Claves para este análisis</b>	<b>Localización institucional de resguardo de especímenes en México.</b>	<b>Año de colecta</b>
<i>M. peruvianus</i>	Guaymas*	ITESM Campus Guaymas, Son.	1988/1989
<i>M. peruvianus</i>	DAG 160*	CICIMAR La Paz, B.C.S..	1990
<i>M. peruvianus</i>	OD-026	UABCS La Paz, B.C.S.	1995
<i>Mesoplodon</i> <i>sp.?</i>	LF-BPF (Madre)	CRIP- La Paz, B.C.S.	2001
<i>M. peruvianus</i>	DAG M	CICIMAR La Paz, B.C.S.	2001
<i>M. peruvianus</i>	BB*	ITeBB La Cruz de Huanacastle, Nay.	2002
<i>Mesoplodon</i> <i>sp.?</i>	DAG IM	CICIMAR La Paz, B.C.S.	2003
<i>M. peruvianus</i>	JUR Mogote	UABCS La Paz, B.C.S.	¿?????
<i>M. peruvianus</i>	DAG BLP (Cría)	CICIMAR La Paz, B.C.S.	2001

\*Registros reportados en la literatura: Vidal *et al.* 1993, Urban y Auriolos 1992, Marín *et al.* 2002.

Los 9 ejemplares fueron identificados como *M. peruvianus*, acorde a la sustitución de las medidas craneales de cada espécimen, en cada modelo específico de clasificación, correspondiendo a *M. peruvianus* el valor más alto entre los modelos (Tabla 6).

Tabla 6. Asignación taxonómica de cada cráneo analizado. Las sumatorias son resultados obtenidos a partir de la sustitución de los valores de medidas craneales en de cada espécimen, en los modelos de función de clasificación obtenidos. Las sumatorias resaltadas en negrita, son las que representan el valor más alto (indicativo del taxa al que se asignó cada cráneo analizado).

Ejemplar a ser asignado	Sumatorias por especie (casos)						
	<b>Ip</b>	<b>Md</b>	<b>Mgr</b>	<b>Mhe</b>	<b>Mla</b>	<b>Mperr</b>	<b>Mperu</b>
<b>Guaymas</b>	288	344	393	361	349	375	<b>394</b>
<b>DAG 160</b>	4	214	226	192	136	237	<b>253</b>
<b>OD-026</b>	-134	150	159	130	48	183	<b>186</b>
<b>LF-BPF</b>	-117	168	164	127	55	189	<b>190</b>
<b>DAG M</b>	87	231	279	291	213	267	<b>293</b>
<b>BB</b>	-67	174	195	185	100	208	<b>215</b>
<b>DAG IM</b>	7	221	235	211	131	238	<b>248</b>
<b>JUR Mogote</b>	246	339	363	312	321	358	<b>369</b>
<b>DAG BLP</b>	-181	119	123	112	6	150	<b>151</b>

**Ip:** *I. pacíficus*; **Md:** *M. densirostris*; **Mgr:** *M. grayi*; **Mhe:** *M. hectori*; **Mla:** *M. layardii*; **Mperr:** *M. perrini*; **Mperu:** *M. peruvianus*.

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplodon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

*Verificación molecular de la asignación de especies.*- La precisión de los modelos obtenidos para asignar especímenes de *Mesoplodon* a sus especies correspondientes (ver Tabla 6), fue confirmada en dos casos mediante la asignación de los especímenes LF-BPF (clave secuencia, EBAJALFBPF) y DAG IM (clave de secuencia, WBAJA159170566DAGI) mediante la comparación de homología de secuencias diagnósticas de la región control del ADN mitocondrial con secuencias similares almacenadas en la base de datos del banco de genes mundial (GenBank). Ambos individuos, sus secuencias fueron 100% homologas a las reportadas para un espécimen de *M. peruvianus* colectado en Newport Beach California (Fig.3).

	*****
EBAJALFBPF	TTARTCRCCATGCCGCGTGRACCCGCRACCCGCTTGGCRGGGATCCCTCTTCTCGCRCCGGGCCCATCRATCGTGGGGGTRGCTARTRTTGCCTTTTTRAGACRTCTGGTTCTTACTTCA
WBAJA159170566DAGI	TTARTCRCCATGCCGCGTGRACCCGCRACCCGCTTGGCRGGGATCCCTCTTCTCGCRCCGGGCCCATCRATCGTGGGGGTRGCTARTRTTGCCTTTTTRAGACRTCTGGTTCTTACTTCA
NEWPORT	TTARTCRCCATGCCGCGTGRACCCGCRACCCGCTTGGCRGGGATCCCTCTTCTCGCRCCGGGCCCATCRATCGTGGGGGTRGCTARTRTTGCCTTTTTRAGACRTCTGGTTCTTACTTCA
	*****
EBAJALFBPF	GGACCRTTTTTTRACTTRARATCGCCCACTC
WBAJA159170566DAGI	GGACCRTTTTTTRACTTRARATCGCCCACTC
NEWPORT	GGACCRTTTTTTRACTTRARATCGCCCACTC

Figura 3. EL alineamiento de 150 pares de bases de la región control del ADNmt de dos individuos clasificados mediante MC como *M. peruvianus* y su homología significativa del 100 % (Blast Identidades 100%, e=0.0000, asteriscos) con la secuencia de un individuo de la especie colectado en Newport CA. EUA (Dalebout *et al.* 2004).

## **6.2. Morfología craneal: la divergencia entre mesoplodontes menores del Pacífico Mexicano y Perú, sustenta la existencia de dos poblaciones distintas.**

*Muestra poblacional.*- Las medidas craneales de 20 especímenes de *M. peruvianus* (10 del Pacífico Mexicano, 9 de aguas Peruanas y 1 de Nueva Zelanda), fueron registradas a partir de publicaciones y midiendo ejemplares de distintas colecciones incluyendo en el análisis las medidas de cinco ejemplares de *I. pacíficus* (Dalebout *et al.* 2003) como grupo externo (Anexo V). Partiendo de 40 de las 46 medidas descritas por Moore (1963, Anexo I), 32 y 33 medidas fueron analizadas respectivamente mediante dos ACPs (el primero sin considerar grupo externo y el segundo considerando a *I. pacíficus* como grupo externo, Anexo VI). Esto, sin que los especímenes se asignaran *a priori* a una localidad geográfica de colecta determinada (México, Perú, Nueva Zelanda, Grupo externo).

Los ACPs de las medidas craneales, indicaron las variables que se correlacionan y la proporción con que dos componentes principales en cada caso, explican la varianza fenotípica total para 32 y 33 medidas: 85.99 y 95.25 % respectivamente (Apéndice VI).

La proporción de individuos maduros – inmaduros analizada entre México y Perú se muestra comparativamente entre las localidades mencionadas (Fig. 4).

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplodon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

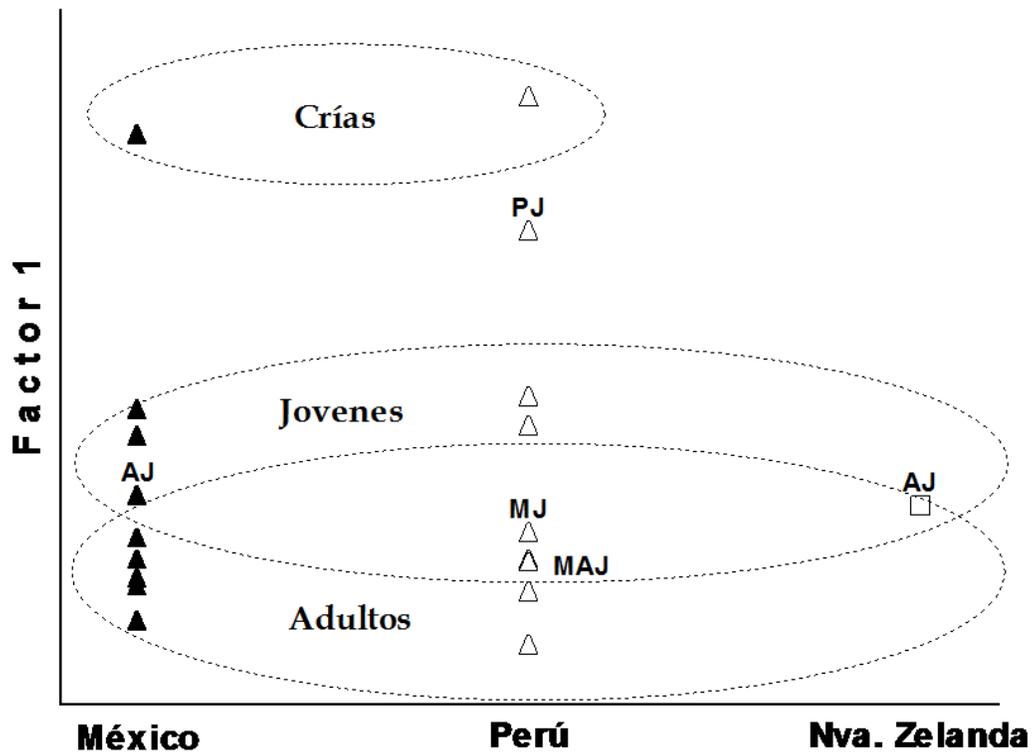


Figura 4. Relación entre la localidad, factor 1 de ACP, y estadio de desarrollo de los especímenes analizados de *M. peruvianus*. Las abreviaturas, PJ= Prejuven, AJ= Adulto joven, MJ= Macho joven, MAJ= Macho Adulto Joven.

*Variación poblacional.*- Como se menciona arriba, las cargas factoriales de la varianza acumulativa del primer y segundo componentes principales tuvieron valores negativos y altos (Anexo VI), y suman la mayor parte de la varianza distribuida en las medidas de los especímenes (Varianza de los componentes: Primer ensayo n= 32 variables, 82.64 y 3.35 %; Segundo ensayo n= 33 variables, 93.47 y 1.78 %).

La relación entre los factores 1 y 2 de las dos primeras componentes, aparentemente, muestra segregar a los especímenes provenientes del Pacífico Mexicano de los de aguas Peruanas (Fig. 5 a). Sin embargo, esto no se observó en presencia de un grupo externo, que se esperaba funcionara como atractor (para México o Perú), promoviendo su diferenciación (Fig. 5 b)

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplodon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

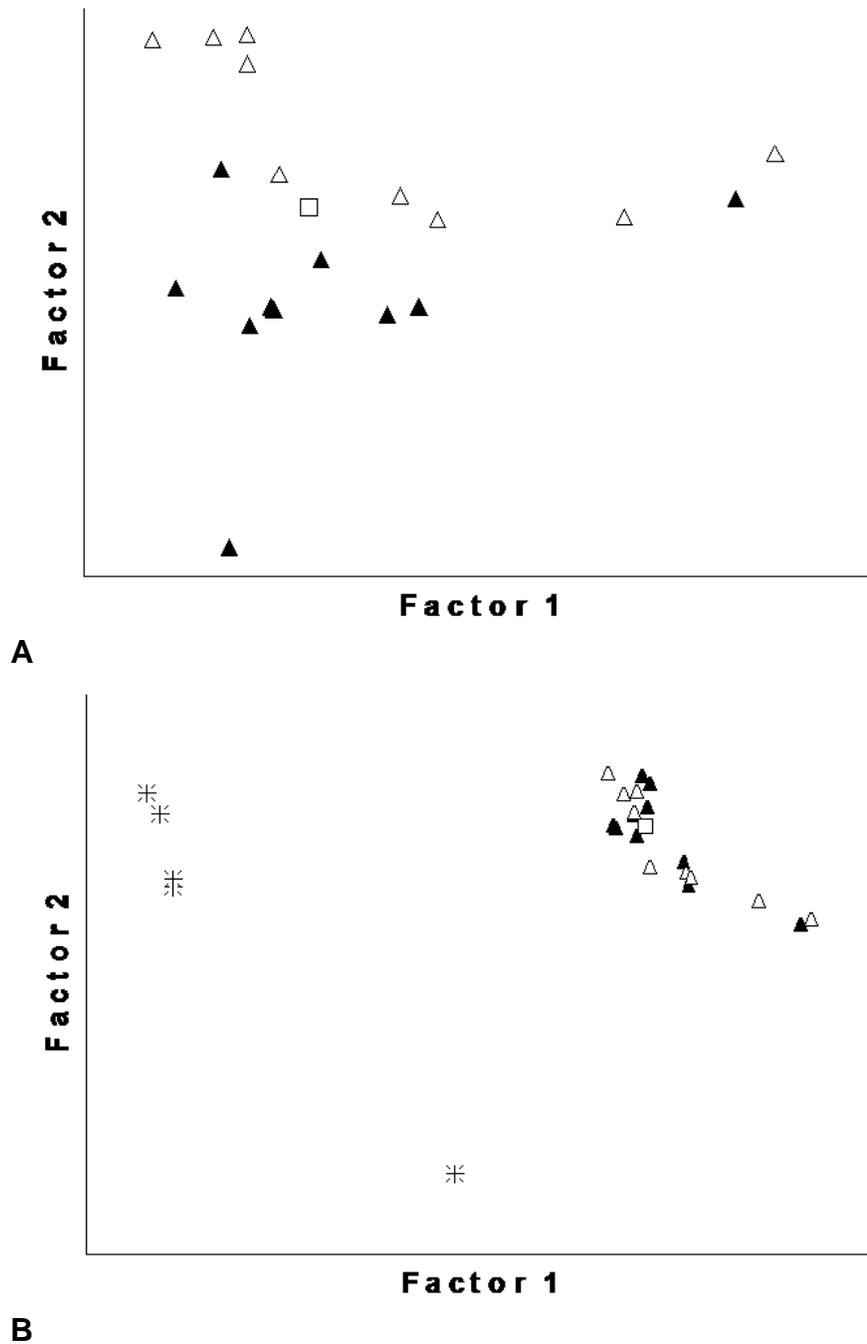


Figura 5. Comparación entre los factores 1 y 2 del análisis de componentes principales de los especímenes de *M. peruvianus* (Localidad: ▲ México, △ Perú, □ Nueva Zelanda). Proyecciones: A) Ensayo 1, sin grupo externo; B) Ensayo 2, con grupo externo (*I. pacificus*, ✱ Ip).

Buscando mejorar el poder de asignación de individuos a grupos (poblaciones) de localidades geográficas específicas, se apreció que 17 de 32 medidas (Anexo VII) y 21 de 33 medidas (Anexo IX) craneales fueron suficientes para efectuar dos análisis discriminantes distintos (el primero sin incluir a *I. pacíficus* como grupo externo y el segundo incluyéndolo), con poder de segregación para asignar a cada espécimen analizado a un grupo geográfico determinado: Pacífico Mexicano, aguas de Perú y Nueva Zelanda, lográndose clasificar correctamente al 100% individuos (apéndices VIII y X). El AD indica que los morfoespacios de cada grupo geográfico de mesoplodontes son significativamente distintos (Lambda de Wilks 000029, aprox.  $F(32,12) = 21.778$ ,  $p < .0000$ ), y sin considerar el único individuo muestral de Nueva Zelanda, confirmó la separación entre los especímenes de México y Perú, con distancias similares respecto a la del grupo externo *I. pacíficus* (Fig. 6 a y b).

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplodon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

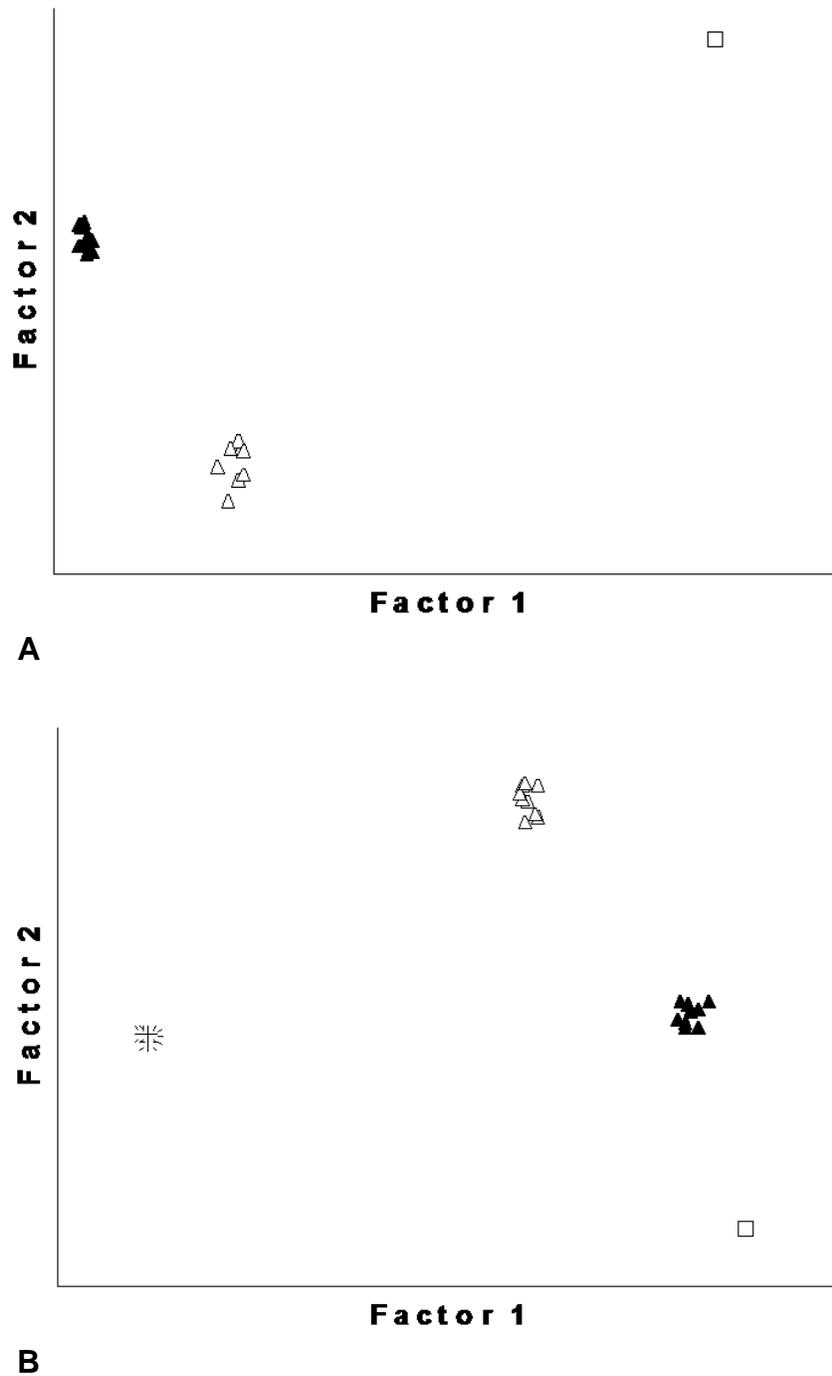


Figura 6. Comparación entre los factores 1 y 2 del análisis discriminante de los especímenes de *M. peruvianus* (Localidad: ▲ México, △ Perú, □ Nueva Zelanda). Proyecciones: A) Ensayo 1, sin grupo externo; B) Ensayo 2, con grupo externo (*I. pacificus*, ✱ Ip).

Las distancias de Mahalanobis para los AD sin y con grupo externo (Tablas 7 y 8 respectivamente), mostraron que el grado de divergencia fenotípica es suficiente para asignar individuos entre grupos de distinta proveniencia geográfica, como lo demuestran las asignaciones de cada individuo en los Anexos VIII y X.

Tabla 7. Distancias de Mahalanobis por grupo, con base a 32 medidas examinadas de *M. peruvianus*, n, representa el numero de especímenes utilizados.

	<b>México (n:10)</b>	<b>Perú (n:9)</b>	<b>N. Zelanda (n:1)</b>
<b>México</b>	<b>0,000</b>		
<b>Perú</b>	722,568	<b>0,000</b>	
<b>N. Zelanda</b>	9270,291	5978,469	<b>0,000</b>

Tabla 8. Distancias de Mahalanobis por grupo, con base a 33 medidas examinadas de *M. peruvianus* y otra especie incluida en el análisis (*I. pacíficus*); n, representa el numero de especímenes utilizados.

	<b>México (n:10)</b>	<b>Perú (n:9)</b>	<b>N. Zelanda (n:1)</b>	<b>Grupo externo (n:5)</b>
<b>México</b>	<b>0,000</b>			
<b>Perú</b>	815,039	<b>0,000</b>		
<b>N. Zelanda</b>	805,142	2438,879	<b>0,000</b>	
<b>Grupo externo</b>	4840,296	2827,139	6429,995	<b>0,000</b>

**6.3. La divergencia de las firmas isotópicas de Carbono y Nitrógeno, de especímenes de *M. peruvianus* colectados en el Pacífico Mexicano y aguas de Perú sustentan que los organismos han permanecido en ambientes tróficos contrastantes, consistentes con su aislamiento poblacional.**

Las firmas isotópicas de nitrógeno 15 y carbono 13, se determinaron para catorce individuos a partir del colágeno óseo de un número correspondiente de cráneos de *M. peruvianus* hallados varados en el Pacífico Mexicano y aguas de Perú (Anexos: Tabla V, el símbolo ⊙, denota los especímenes usados para este análisis). Además, considerando análisis previos de cetáceos del Pacífico Mexicano (Auriolos Gamboa, en preparación), que indican que la firma nitrógeno 15 de las crías es menor en dos unidades a la de la madre y que la de carbono 13 es dos unidades superior, con base en las firmas isotópicas de una cría (DAG-BLP) se estimaron las de su madre (LF-BLP). Así, los individuos a los que se determinaron las firmas isotópicas fueron 15 (Fig. 7). Sin embargo, apréciase que de los ejemplares analizados, la señal isotópica del nitrógeno 15 del individuo ACR-1924 fue anómala (Fig.7 B, probablemente un error de medición), por lo que se excluyó de los análisis, analizándose entonces un total de 14 individuos: nueve del Pacífico Mexicano y cinco de Perú. La Fig. 7 presenta la comparación grosso modo de los valores de las firmas de N15 y C13 entre especímenes de *M. peruvianus* de Golfo de California.

Los valores promedio de las señales isotópicas fueron: Pacífico Mexicano, mostró un valor de  $18.8470 \pm 0.242201$  para N15, y  $-16.9861 \pm 0.565576$  que corresponde al C13; y Perú, presento un valor medio de N15 de  $17.6662 \pm 0.324976$ , con  $-15.6641 \pm 1.289205$  de C13.

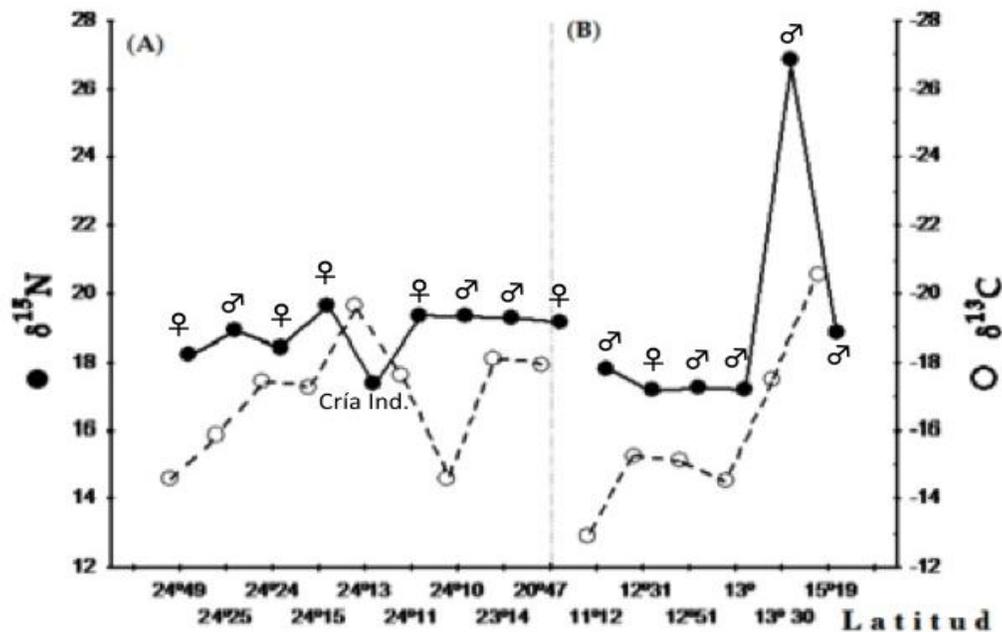


Figura 7. Firmas del  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  obtenidos del colágeno óseo de cráneos de *M. peruvianus* colectados en dos regiones distintas, Pacífico Mexicano (A) y aguas de Perú (B), con base a la distribución latitudinal de colecta de los especímenes (ordenados en dos secciones de aprox. 4 grados, acorde al sitio más septentrional y meridional).

Las tablas nueve y diez, resumen el poder discriminante de las firmas isotópicas de N15 y C13, para segregar significativamente a los especímenes de *M. peruvianus* muestreados en el Pacífico Mexicano y aguas de Perú.

Tabla 9. Análisis discriminante del contenido de firmas isotópicas de Carbono y Nitrógeno de muestras de cráneos de *M. peruvianus* colectados en 2 zonas: Pacífico Mexicano – Perú. Los números en negrita y cursiva denotan que la firma de **N15** contribuye a discriminar a los 2 grupos significativamente. Nota: No se incluyeron en el análisis los valores isotópicos anómalos de un ejemplar de Perú (Fig. 7).

Resumen: Análisis de Función Discriminante: Lambda de Wilks: .20726 aprox. **F (4,9)=8.6060 p< .0038**. Variables del Modelo: Nitrógeno15, Carbono13, Longitud Cóndilo Basal (LC), Amplitud craneal a través de los centros orbitales (ACTCO). Variables de Agrupamiento 2 Zonas: Pacífico Mexicano - Perú.

	Wilks	Parcial	F Removida	p-level	Toler.	1-Toler.
<b>N15</b>	<b>0.450114</b>	<b>0.460459</b>	<b>10.54572</b>	<b>0.010039</b>	<b>0.481750</b>	<b>0.518250</b>
<b>C13</b>	0.228037	0.908884	0.90225	0.366987	0.572522	0.427478
<b>LC</b>	<b>0.556788</b>	<b>0.372240</b>	<b>15.17796</b>	<b>0.003642</b>	<b>0.010982</b>	<b>0.989018</b>
<b>ACTCO</b>	<b>0.506741</b>	<b>0.409004</b>	<b>13.00469</b>	<b>0.005693</b>	<b>0.011261</b>	<b>0.988739</b>

Tabla 10. Análisis discriminante en el que se remueve el efecto de las firmas de N15, apreciándose que las firmas de **C13**, contribuyen a discriminar las muestras de cráneos de *M. peruvianus* colectados entre 2 zonas: Pacífico Mexicano – Perú (Fig. 7).

Resumen: Análisis de Función Discriminante Significativo, Lambda de Wilks: .39676 aprox. **F (4,10)=3.8010 p< .0395** Variables del Modelo: Carbono13, Amplitud craneal a través de los centros orbitales (ACTCO), Longitud Cóndilo Basal (LC), Altura del Cráneo (AC). Variables de Agrupamiento 2 Zonas: Pacífico Mexicano - Perú.

	Wilks	Parcial	F Removida	p-level	Toler.	1-Toler.
<b>C13</b>	<b>0.660059</b>	<b>0.601101</b>	<b>6.636144</b>	<b>0.027602</b>	<b>0.505802</b>	<b>0.494198</b>
<b>LC</b>	<b>0.705344</b>	<b>0.562508</b>	<b>7.777522</b>	<b>0.019158</b>	<b>0.014591</b>	<b>0.985409</b>
<b>ACTCO</b>	0.465215	0.852856	1.725304	0.218349	0.013447	0.986553
<b>AC</b>	0.522455	0.759418	3.167975	0.105448	0.033620	0.966380

Las distancias de Mahanalobis para los AD referidos en la Tabla 11, muestran que el grado de divergencia trófica acorde a las firmas isotópicas es grande y suficiente para asignar con alta probabilidad de éxito a los individuos

provenientes del Pacífico Mexicano y Perú como lo demuestran las asignaciones presentadas en la Tabla 12.

Tabla 11. Distancias de Mahalanobis entre los grupos del Pacífico Mexicano y Perú, con base a las firmas isotópicas de  $N^{15}$  y  $C^{13}$  y una medida craneal (Longitud Cóndilo Basal), examinadas en *M. peruvianus*, n representa el número de especímenes utilizados.

	México (n:9)	Perú (n:5)
<b>México</b>	<b>0,000</b>	
<b>Perú</b>	14,27957	<b>0,000</b>
<b>% Clasificación</b>	100	100

Tabla 12. Clasificación por Probabilidad, con base a las Distancias de Mahalanobis para cada caso.

Ejemplares de Estudios	Asignación	Probabilidad
DAG-IM	México	0.998796
DAG-160	México	0.961656
OD-026	México	0.996032
Mogote	México	0.999186
UABCS-053	México	0.999984
LF-BLP	México	1.000000
BB	México	0.994314
DAG-M	México	0.999962
DAG-BLP	México	0.986396
MHNJP-1146	PERÚ	0.999644
MHNJP-708	PERÚ	0.975405
MHNJP-709	PERÚ	0.999985
JCRA0033	PERÚ	0.993159
JCR-270	PERÚ	0.993539

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Modelo de clasificación para identificar especímenes de *M. peruvianus*:

El presente es el primer trabajo dirigido a explorar la identidad poblacional del mesoplodonte menor (*M. peruvianus*), en el Pacífico Oriental. Esta especie, y cerca de otras veinte de cetáceos más integran la familia Ziphiidae, que incluye mamíferos marinos grandes, muy poco conocidos (Dalebout *et al.* 1998). El conocimiento sobre estas especies ha aumentado mediante análisis oportunistas de animales atrapados incidentalmente o hallados muertos varados (*e.g.* Reyes *et al.* 1991), que posibilitan la recopilación del registro de información fenética y genética a partir de elementos óseos. Información, que se ha analizado con fines sistemáticos y de identificación taxonómica (Dalebout *et al.* 1998).

Tradicionalmente, los especímenes de cetáceos varados se asignan a una categoría taxonómica, atendiendo a caracteres craneales considerados diagnósticos (*e.g.* Moore 1968, Mead 1989a). Sin embargo, análisis genéticos recientes (Dalebout *et al.* 1998, 2002, 2003, Van Helden *et al.* 2002), revelan que especímenes pertenecientes a distintas especies de *Mesoplodon*, pueden ser confundidos cuando los caracteres craneales se interpretan *de facto* como diagnósticos y no se evalúan con cautela. Por ejemplo, con base en su apariencia craneal, cuatro de cinco mesoplodontes varados en el sur de California (EUA) se identificaron como ballenas picudas de Hector (*Mesoplodon hectori*) en los 1970s,

y el cráneo restante, como perteneciente a una ballena picuda de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) en 1997.

Análisis posteriores de secuencias de ADN nuclear y mitocondrial (ADNmt) de estos cinco ejemplares, indicaron que los mismos pertenecían a una especie totalmente nueva: la ballena picuda de Perrin (*Mesoplodon perrini*, Dalebout *et al.* 2002).

En otra instancia, los datos genéticos de la región control mitocondrial y citocromo B, extraídos de dos cráneos (una hembra adulta y un individuo inmaduro de sexo desconocido) recogidos en el atolón de Palmyra (5°52'N, 162°06'W) y de dos muestras de tejidos colectadas en el atolón de Tabiteuea, República de Kiribati (Pacífico tropical: 1°24'N, 173°6'E), formaron un clado monofilético con *M. ginkgodens* siendo diferentes en un solo nucleótido, pero divergieron en hasta veintiséis nucleótidos, respecto a muestras obtenidas de otros organismos que también se identificaron como *M. ginkgodens*. Lo anterior sugiere la existencia de una subespecie o especie divergente de *M. ginkgodens* (Dalebout *et al.* 2007).

En otro caso, el análisis conjunto de caracteres morfológicos y moleculares fue necesario para aclarar la taxonomía de otro taxa problemático: la ballena picuda de Longman. Este taxa ahora reconocido como *Indopacetus pacificus*, se

describió inicialmente como *Mesoplodon pacíficus*, con base a sólo dos cráneos. La morfología craneal divergente entre estos especímenes y otros mesoplodontes sugirió a Moore (1968), estos cráneos debían constituir un nuevo género (*Indopacetus*). Análisis filogenéticos de ADNmt posteriores no validan la independencia genérica de *Indopacetus*. Sin embargo, características osteológicas únicas, descritas por Moore (1968) se observan claramente en todas las muestras recogidas, apoyando que es un género independiente.

De acuerdo a lo descrito, el análisis fenético fino puede soportar identificaciones taxonómicas robustas a nivel específico. La taxonomía numérica comprende el análisis fenético fino multivariante que se enfoca en medidas (y no en los caracteres diagnósticos) con una ponderación *a priori* igual, para generar aglomeraciones a las que pertenecen individuos de la misma especie o población muestral, según la similitud del morfoespacio que ocupa el aglomeramiento (Sneath y Sokal 1973). El concepto es práctico, aplicable a la taxonomía, y de valor operativo cuando la infraestructura necesaria para realizar análisis moleculares no está disponible. Estas técnicas se utilizan cada vez con mayor frecuencia para analizar a un número cada vez mayor de conjuntos de datos morfológicos, para y estimar los intervalos de confianza de distintas aglomeraciones taxonómicas de distinta jerarquía (genero, especie, subespecie, población, e.g. Sargis 2002, Pocock y Jennings, 2006).

El poder de los análisis de taxonomía numérica llega a ser tal, que hoy día es posible discriminar entre las categorías inferiores a la específica (e.g., poblaciones, sexos y edades) a través de pruebas de asignación basadas en modelos matemáticos (De Marinis 1995, Groves, 2001, Sanvicente *et al.* 2004, Berge y Penin 2004).

Puesto que el Pacífico Mexicano concentra una gran riqueza de especies de ballenas picudas, y que se deseaba contar con un método robusto para verificar que los individuos incluidos en el análisis interpoblacional de *M. peruvianus* en el Pacífico Oriental (Pacífico Mexicano – Perú).

El primer objetivo de este trabajo fue el de generar modelos multivariados de clasificación (MCs) para asignar a ejemplares de los taxa *Mesoplodon* y *Indopacetus* a sus respectivas especies, con base en sus medidas craneales.

Al respecto, el reconocimiento de especies es crucial para definir las unidades operativas de la biología (Hull 1977) y conservar la biodiversidad (Sites y Crandall 1997). La mayoría de las evaluaciones sobre el estado de las poblaciones silvestres, se llevan a cabo evaluando la biodiversidad a nivel de especie (Myers *et al.* 2000). Por ello, el estudio de la variación morfológica entre especies afines, es esencial para entender las relaciones entre genotipo, fenotipo funcional y los hábitats.

El autor percibió que para un grupo poco conocido, pero muy diverso de ballenas picudas como *Mesoplodon*, el desarrollo de algoritmos de taxonomía numérica fue un trabajo fundamental en su utilidad para evaluar la diferenciación de la forma del cráneo entre las especies que agrupa.

Especialmente, ahora que se requiere de precisar la identificación de especies para evaluar el efecto del impacto humano en taxa protegidos (Ferreira de Siquiera *et al.* 2004), la taxonomía numérica debe complementar la identificación de especies para obtener información valiosa sobre la ecología de los cetáceos y su conservación.

Revisiones previas de la taxonomía de ballenas picudas con métodos moleculares incluyeron uno o dos representantes por taxa (*e.g.* Dalebout *et al.* 2004). El tamaño de muestra reducido caracteriza a este y anteriores estudios, pues para cada especie un escaso número de ejemplares ha sido descrito.

A pesar del poco número de especímenes de zífidos usados en los estudios genéticos reportados en la literatura, cuya principal razón, es por falta o disponibilidad de biopsias o muestras de tejido tomadas en animales en vida libre o esqueletos hallados varados en las costas, gracias al acceso de la base de datos del Banco de Genes y los paquetes computacionales construidos para los análisis moleculares, se han ido resolviendo algunas las incógnitas o

problemáticas taxonómicas que con métodos tradicionales (criterios morfológicos) no fue posible. Sin embargo, con morfometría, aquí en este estudio de análisis poblacional, se analizó el triple de organismos para cada taxa. Hasta seis ejemplares de cada una de siete especies del género *Mesoplodon* fueron evaluados para 20 medidas craneales para generar siete MCs capaces de asignar especímenes del género *Mesoplodon* a sus especies correspondientes.

Un ACP preliminar, señaló que doce medidas del cráneo tenían el mayor poder de segregación para agrupar a los individuos de la misma especie, dada su importante contribución a la varianza total (Tabla 2). Tres casos (representados por ejemplares inmaduros) mostraron patrones de segregación conflictiva señalando que el poder de los ACP se limitó a ordenar caracteres craneales cuya variación parece depender de la ontogenia (Fig. 2a).

Es probable que las distintas dimensiones del cráneo por las diferentes etapas de desarrollo (individuos inmaduros y maduros) de las especies examinadas sea la que causó la asociación problemática observada entre algunas especies, cuyas distancias morfométricas son similares (Fig. 2a). Aparte de la ontogenia, la variación en la forma del cráneo de una determinada especie de mesoplodonte podría estar influenciada por el dimorfismo sexual y origen geográfico como se ha observado en delfínidos (e.g., Turner y Worthy 2003). Es interesante que el análisis discriminante resolviera los conflictos de clasificación

pues 31 (100%) de los individuos analizados fueron clasificados correctamente (Fig. 2b y Tabla 3). Esto último puede explicarse pues el AD, segrega morfoespacios definidos por las distancias y las diferencias estadísticas entre grupos, no entre individuos. Por lo tanto, todas las muestras analizadas segregaron de acuerdo a su situación particular en el morfoespacio, señalando que en el caso de los ADs, la ontogenia y el dimorfismo sexual no contribuyen a la clasificación de las especies, lo que podría confundir entre individuos de las 7 especies analizadas mesoplodonte y la ballena picuda de Longman (Fig. 2b y Tabla 3).

El efecto nulo de dimorfismo sexual en la clasificación de los ADs, contradice informes previos sobre dimorfismo sexual entre zífidos en general y mesoplodontes en particular (por ejemplo, Besharse1971, Varona 1985, MacLeod 2006). Pero esto solo es aparente, ya que en este estudio no se tomaron medidas del rostro, donde la mayoría de caracteres dimórficos se concentran (por ejemplo, Besharse1971, Varona 1985, MacLeod 2006, Reeves *et al.* 2002, Dalebout *et al.* 2008). En otras palabras, el efecto del dimorfismo sexual se eliminó prácticamente de los análisis de este estudio.

Futuros análisis de una muestra más grande de cráneos (dada su escasez), serán necesarios para evaluar con precisión el efecto de factores tales como dimorfismo sexual, en la morfología del cráneo de mesoplodontes. Por ahora,

estos resultados apuntan que los ADs superan cualquier efecto confuso de dimorfismo sexual o la ontogenia.

Probablemente, los futuros análisis de la misma naturaleza metodológica que se realizó en este estudio, no se verán afectados en absoluto por los tamaños de muestra más grande, ya que en esta investigación las diferencias morfológicas entre taxones demostraron ser más grandes que cualquier diferencia intraespecífica. Así, siete modelos de clasificación (MC: funciones matemáticas) se derivaron, uno para cada especie (Tabla 4). El poder de los MCs se evaluó, mediante la asignación de seis cráneos de individuos aun no reportados en la literatura, previamente identificados como pertenecientes a *Mesoplodon*, a su especie correspondiente, además de corroborar la clasificación de tres ejemplares mas utilizados solo para esta prueba (Tabla 5). Esto, alimentando cada MC con las medidas del cráneo de cada muestra. En este caso, los MCs asignaron con robustez a todos y cada uno de los especímenes analizados a *Mesoplodon peruvianus* (Tabla 5).

El poder de asignación de los MCs es robusto, pues las secuencias de ADN mitocondrial obtenidas de dos individuos, demostraron ser homólogas a aquellas de *M. peruvianus* almacenadas en Genbank (Fig. 3). Prácticamente el 100% de la región de ADNmt secuenciada para estos dos especímenes coincidió la de un *M. peruvianus* previamente analizado que se halló varado en Newport CA.

En resumen, en el marco filogenético ("grupos de organismos que poseen únicamente caracteres compartidos", Baum 1992) y fenético ("un clúster en el espacio fenotípico sobre la base de la estadística multivariante", Sokal y Corvello 1970) del concepto de especie, queda demostrado que los cráneos de distintas especies de *Mesoplodon* pueden asignarse a su especie correspondiente mediante MCs.

## **7.2. La divergencia craneométrica entre mesoplodontes menores del Pacífico Mexicano y Perú, sustenta la existencia de dos poblaciones distintas:**

A diferencia de un grupo altamente diverso de cetáceos como los delfines comunes, que presentan una considerable variación morfológica relacionada a su amplia distribución geográfica (lo que ha llevado a describir varias especies y subespecies); estudios taxonómicos recientes para caracterizar poblaciones de zífidos, se restringen a ciertas localidades, o al análisis molecular de pocos especímenes (Dalebout *et al.* 2005, 2006 y 2007).

En el presente estudio, se tuvo como segundo objetivo evidenciar (en su caso) la existencia dos poblaciones de mesoplodon menor (*M. peruvianus*) en el Pacífico Occidental, analizando con estadística multivariada las medidas craneales de 20 Individuos de la especie (10 del Pacífico Mexicano, 9 de aguas Peruanas y

1 de Nueva Zelanda), incluyendo medidas de cinco ejemplares de *I. pacíficus* descritas en Dalebout *et al.* (2003) como grupo externo (Anexo V).

En consecuencia, se efectuaron dos tipos de análisis multivariados: ACP y AD, para verificar si la divergencia en el tamaño y forma del cráneo de individuos de *M. peruvianus* del Pacífico Mexicano y aguas Peruanas evidencia su separación poblacional. Estos análisis se están utilizando ya para esclarecer la estructura espacial de poblaciones de cetáceos y sustentar medidas para su conservación (e.g. Turner y Worthy 2003, Murphy *et al.* 2006). Cabe resaltar una instancia notable, en que los resultados de los análisis craneométricos multivariados correspondieron precisamente con la divergencia genética de poblaciones de tursiones en aguas europeas (Viaud Martínez *et al.* 2008).

En el presente estudio, los análisis se llevaron a cabo con datos no estandarizados. Al utilizar datos no estandarizados, el primer eje canónico refleja principalmente las variaciones en el tamaño, mientras que la forma se refleja en los ejes restantes (e.g. Murphy *et al.* 2006). Así, se usó 32 y 33 medidas descritas por Moore (1963, Anexo I), fueron analizadas respectivamente mediante dos ACPs (con y sin grupo externo) sin asignar a priori a los especímenes a una localidad geográfica determinada (México, Perú, Nueva Zelanda, Grupo externo).

En cada caso los ACPs derivaron que los dos primeros componentes

principales que se consideraron para cada ensayo (de 32 y 33 variables), explicaron la varianza acumulativa requerida de las medidas en 85.99 y 95.25 % respectivamente (Apéndice VI). En primera instancia la relación entre los factores 1 y 2 de las dos primeras componentes no segregó a los especímenes provenientes del Pacífico Mexicano de los de aguas Peruanas (Fig. 5 a), incluso en presencia del grupo externo (Fig. 5 b).

Como en otros estudios con cetáceos (*e.g.* Turner *et al.* 2003, Murphy *et al.* 2006, Viaud Martínez *et al.* 2008) en este trabajo se supuso que la variación craneométrica entre los individuos de una población determinada (Pacífico Mexicano o aguas de Perú) es dependiente de la ontogenia y ubicación geográfica de la población. Por otra parte, se debe considerar el efecto que podría tener el dimorfismo sexual de la especie. Este se identificó en los cráneos de *M. peruvianus* previamente, en una muestra muy limitada (dos especímenes de la especie) y solo a nivel de diferencias diagnósticas, no morfométricas (Aurioles y Urban 1993).

Por lo anterior, en el presente estudio se buscó mejorar el poder de asignación de individuos a grupos (poblaciones) de localidades geográficas específicas, para ello se implementaron un par de Análisis discriminantes, cada uno de los cuales identificó 17 de 32 medidas (Anexo VII) y 21 de 33 medidas (Anexo IX) craneales como suficientes para asignar con 100% de eficiencia cada

uno de los individuos a la localidad geográfica de colecta (Fig. 6 a y b). El AD indicó que los morfoespacios definidos por las medidas craneales de cada grupo geográfico de mesoplodontes son significativamente distintos (Lambda de Wilks 000029, aprox.  $F(32,12) = 21.778$ ,  $p < .0000$ ), y sin considerar el único individuo muestral de Nueva Zelanda, confirmó la separación entre los especímenes de México y Perú, con distancias similares respecto a la del grupo externo *I. pacíficus* (Fig. 6 a y b). En otras palabras, los especímenes colectados en el Pacífico Mexicano son desde le punto de vista morfológico significativamente distintos a los colectados en Perú (Fig. 6 a y b, Tablas 7 y 8).

Así, independientemente de que el morfoespacio craneal de *M. peruvianus* podría depender de la ontogenia y sexo, es evidente que la localidad geográfica es una variable predictiva preponderante (Fig. 6 a y b, Tablas 7 y 8).

Si bien, con el propósito de evaluar el efecto de la ontogenia sobre la comparación morfológica de las localidades de estudio, se corroboró las diferencias ontogenicas entre especímenes de crías, juvenes y adultos analizados de *M. peruvianus* en las poblaciones muestrales del Pacífico Mexicano, que no limito llevar a cabo el análisis. También, se verificó el resultado del dimorfismo sexual en caracteres diagnósticos previamente descritos (Aurioles y Urbán 1993), cuyas medidas se ven relacionadas.El efecto nulo del dimorfismo sexual en la eficiencia de clasificación de los ADs, puede explicarse perfectamente, pues como

se menciona en la metodología, las medidas del rostro, donde la mayoría de caracteres dimórficos se concentran (e.g. Besharse 1971, Varona 1985, MacLeod CD 2006, Dalebout *et al.* 2008), fueron excluidas en este análisis.

En conclusión, la muestra más grande de cráneos de *M. peruvianus*, analizada hasta hoy con técnicas morfométricas estadísticas multivariantes (ACPs y ADs), evidencia que los animales del Pacífico Mexicano y Perú son diferentes acorde a sus caracteres craneales. El desarrollo futuro de Modelos de Clasificación Discriminante será muy útil, para asignar individuos varados a sus poblaciones de origen, conforme se colecten organismos de otras áreas (e.g. Nueva Zelanda). La craneometría de *M. peruvianus* derivada de este trabajo se compone de valores concretos que pueden aplicarse a colecciones y ser útiles para identificar especímenes tipo de poblaciones que se describan subsecuentemente a las del Pacífico Mexicano y Perú.

### **7.3. El análisis de firmas isotópicas de N15 y C13 sustenta la divergencia poblacional entre mesoplodontes menores del Pacífico Mexicano y Perú:**

Se decidió analizar otros marcadores, que debido a la robustez de su señal son utilizados para evaluar a estructura y asilamiento de poblaciones de vertebrados. Entre estos, se encuentran la tetraciclina (e.g. Jones *et al.* 1999 y 2005), el análisis microquímico de componentes óseos (e.g. Cadrin *et al.* 2004), y

el análisis de isótopos estables (e.g. Borrel et al. 2006, Almany et al. 2007), técnica que se aplicó en este caso.

Son tres los factores principales que determinan los valores isotópicos en los depredadores (e.g. Borrel et al. 2006): La localidad de alimentación, el alimento y la fisiología (que determina el fraccionamiento de los isótopos del alimento al tejido). En este caso, al muestrear especímenes de *M. peruvianus* de distinto estadio ontogenético (acorde a la variación intrapoblacional de las dimensiones craneales), es plausible que se haya capturado al interior de cada grupo de organismos (Pacífico Mexicano y Perú) el espectro más amplio de diferencias fisiológicas entre estas dos supuestas poblaciones. Así, la diferencia significativa de las firmas de N15 y C13 entre estos dos grupos sería indicativo que estas no solo se alimentan en esta misma localidad si no que presentan adaptaciones fisiológicas correspondientes indicativas de estructura poblacional.

Dada la amplia distribución de los registros de varamientos de los especímenes de *M. peruvianus* en el Pacífico Mexicano, es evidente que la especie se distribuye un área marina heterogénea, en comparación con la región oceánica del Perú. Por ejemplo, los organismos del Golfo de California, experimentarían el efecto de surgencias periódicas a lo largo de la costa Este durante el invierno y a lo largo de la costa Oeste durante el verano (Álvarez-Borrego 1983, Lluch-Cota et al. 2007).

En contraste, los cráneos colectados, correspondientes a organismos distribuidos en aguas de Perú, habitan aguas profundas en la vecindad de un sistema que podría considerarse más homogéneo, en el sentido de que es extremadamente productivo y que incluye las corrientes de Humboldt y Cromwell (Banks 2002).

No se conocen a detalle los componentes de la dieta de *M. peruvianus*, registrándose en la misma, calamares y peces mesopelágicos. Es plausible suponer que dada las condiciones oceanográficas distintas entre el Pacífico Mexicano y aguas de Perú (Reyes *et al.* 1991), la disponibilidad y proporción de estas presas sea diferente, en correspondencia a los patrones de productividad de estas áreas. En consecuencia, el afloramiento de las aguas frías por convergencia de las corrientes marinas de distintas temperaturas, caracterizan y proveen a cada zona o ecosistema una particular productividad primaria y cadena trófica. Así, las diferencias en las concentraciones de nutrientes acumuladas en los organismos del Pacífico y Perú, en este caso, se segregaron significativamente y en correspondencia al área geográfica a los organismos analizados.

El análisis multivariante isotópico del N15 y C13, muestra diferencias a nivel local entre las regiones de estudio (Tabla 9 y 10). Al respecto, estudios oceanográficos han explicado el comportamiento del carbono en los mares, donde se ha observado una correlación entre las concentraciones de fitoplancton y la

temperatura y latitud (Goericke y Fry 1994). Las surgencias promueven los afloramientos de fitoplancton que secuestran el CO<sub>2</sub> y hacen que disminuya la concentración de CO<sub>2</sub> disuelto, lo que conduce a valores altos de C<sup>13</sup> (Rau et al. 2001, Schell *et al.* 1998). Así, la temperatura del océano cambia mucho a lo largo de las bandas meridionales, e influencia las concentraciones de CO<sub>2</sub> disuelto (que afecta el fraccionamiento de isótopos de carbón), en ambas de regiones (aguas de México y Perú). En correspondencia, las firmas isotópicas del carbono y nitrógeno obtenidas de los tejidos de los mesoplodotes, fueron distintas indicando la composición diferente del alimento consumido. Lo observado es consistente con las características de gradientes ambientales marcados (Ruttenberg *et al.* 2005).

Finalmente, se recomienda un estudio más amplio (*e.g.* que comprenda: ontogenia, marcadores genéticos, elementos traza, isótopos estables, y contenidos estomacales), para comprender mejor las diferencias entre estas dos agregaciones de *M. peruvianus* un depredador con el potencial de migrar grandes distancias en el Pacífico Oriental.

## 8. CONCLUSIONES.

- Se generaron siete modelos de clasificación craneométrica, uno para cada una de seis especies de *Mesoplodon* (*M. densirostris*, *M. grayi*, *M. hectori*, *M. layardii*, *M. perrini*, *M. peruvianus*) y uno más para un taxón hermano (*Indopacetus pacíficus*) para verificar el estado taxonómico de los especímenes de estudio identificados a priori, de la colección de México.
- Todos los especímenes de estudio puestos a prueba en la asignación taxonómica por variación craneométrica fueron clasificación como *M. peruvianus*.
- El análisis ACP y AD, a partir de las 46 medidas descritas por Moore (1963) considero 33 de las mismas, de las cuales, de 17 a 21 fueron las que mas participan en la divergencia craneal de especímenes de *Mesoplodon peruvianus* (con base a diferentes cráneos: 10 del Pacífico Mexicano, 9 de Perú y uno de Nueva Zelanda).
- Los análisis estadísticos multivariantes ACP y AD, mostraron evidencia de divergencia craneal indicando que entre las agregaciones analizadas los mesoplodontes menores del Pacífico Mexicano y Perú son poblaciones distintas.

- En el análisis estadístico AD, arrojo que las firmas isotópicas de C13 y N15 de los especímenes del Pacífico Mexicano y aguas de Perú ocupan ambientes tróficos divergentes, consistentes con dos poblaciones distintas.

Desafortunadamente, las hipótesis no se pudieron validar con el análisis de secuencias mitocondriales entre los especímenes del Pacífico Mexicano y Perú, al no haberse podido aislar estos marcadores a partir de muestras de hueso exiguas. Sin embargo, consideramos que es evidente que existen al menos dos poblaciones de la especie en el Pacífico Oriental.

## 10. LITERATURA CITADA.

**AGUAYO L. A., D. AURIOLES G., J. URBÁN R., M. SALINAS Z., O. VIDAL & L. FINDLEY.** 1988. Beaked whales in Mexican waters. Paper SC/40/SM/13 presented to the Scientific Committee of the IWC Annual Meeting, May 1988.

**AGUAYO L. A., M. SALINAS Z., L. MEDRANO, P. LADRON DE GUEVARA, V. LORAS & P. MARTÍNEZ.** 1990. Estudio de la fauna marina en las aguas de Bahía de Banderas, 1982-1990. Informe enviado al gobierno del estado de Nayarit.

**ALHEIT J. & B. PATRICIO.** 1993. Effects of Physical and Biological Changes on the Biomass Yield of the Humboldt Current Ecosystem. in Kenneth Sherman, Lewis M. Alexander, and Barry D. Gold (eds.) 1993. Large Marine Ecosystems, Stress, Mitigation, and Sustainability. American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C. ISBN:08716806X.

**ALJANABI S. M. & E. L. MARTÍNEZ.** 1997. Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques. *Nucleic Acids Research*, (22):4692-4693.

**ÁLVAREZ-BORREGO J, RR MOURIÑO-PÉREZ, JL PECH-PACHECO & G CRISTÓBAL.** 2002. Invariant recognition of polychromatic images of *Vibrio cholerae* 01. *Optical Engineering* 41:827-833.

**ÁLVAREZ-BORREGO S.** 1983. The Gulf of California. Pp. 427–449 in *Ecosystems of the world: estuaries and enclosed seas* (B. H. Ketchum, ed.). Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Netherlands.

**AURIOLES G., D. & J. URBÁN R.** 1993. Sexual dimorphism in the skull of the pygmy beaked whale (*Mesoplodon peruvianus*). *Revista de Investigación científica*, volumen 1 (No. Esp. SOMMEMA 1), UABCS. 1993.

**BAKER A. N. & A. L. VAN HELDEN.** 1999. New records of beaked whales, genus *Mesoplodon*, from New Zealand (Cetacea: Ziphiidae). *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 29:235-244.

**BAKER C. S. & S. R. PALUMBI.** 1994. Which whales are hunted? A molecular approach to monitoring whaling. *Science*, 265:1538-1539.

**BARLOW J., K. FORNEY, A. VON SAUNDER & J. URBÁN R.** 1997. A report of cetacean acoustic detection and dive interval studies (CADDIS) conducted in the southern Gulf of Baja California, 1995. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-250, 48 pp.

**BARLOW** J., R. J. BROWNELL, JR., D. P. DEMASTER, K. A. FORNEY, M. S. LOWRY, S. OSMEK, T. J. RAGEN, R. R. REEVES & R. J. SMALL. 1995b. U.S. Pacific marine mammal stock assessments. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-219, 162 pp.

**BARLOW**, J., S. L. SWARTZ, T. C. EAGLE & P. R. WADE. 1995a. U.S. marine mammal stock assessments: Guidelines for preparation, background, and a summary of the 1995 assessments. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-6, 73 pp.

**BAUM** D. 1992. Phylogenetic species concepts. *Trends in Ecology and Evolution*, 7:1–2.

**BENJAMINSEN**, T. & I. CHRISTENSEN. 1979. The natural history of the bottlenose whale, *Hyperoodon ampullatus* (Forster). In: *Behaviour of Marine Mammals* (ed. Winn HE, Olla BL), Plenum Press, New York, 143-164.

**BERGE** C. & X. PENIN. 2004. Ontogenetic allometry, heterochrony, and interspecific differences in the skull of African Apes, using tridimensional procrustes analysis. *American Journal of Physical Anthropology*, 124:124–138.

**BESHARSES** J. C. 1971. Maturity and sexual dimorphism in the skull, mandible and teeth of the beaked whale *Mesoplodon densirostris*. *Journal Mammal*, 52:297–315.

**BORRELL** A., A. AGUILAR, V. TORNERO, M. SEQUEIRA, G. FERNANDEZ & S. ALIS. 2006. Organochlorine compounds and stable isotopes indicate bottlenose dolphin subpopulation structure around the Iberian Peninsula. *Environment International*, 32(4):516-523

**BRUNNER** S. 2002. Cranial morphometrics of fur seals and sea lions (Family: Otariidae) systematics, geographic variation and growth. Thesis Doctoral. Universidad de Sydney, Australia., 245 pp.

**CAPPOZZO** H.L., M. F. NEGRI, B. MAHLER, V. V. LÍA, P. MARTÍNEZ, A. GIANGGIOBE & A. SAUBIDET. 2005. Biological data on two Hector's beaked whales, *Mesoplodon hectori*, stranded in Buenos Aires Province, Argentina. *The Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 4:113-128.

**CÁRDENAS** H., G. 2008. Distribución y hábitat de zífidos en la costa sudoccidental del Golfo de California (Cetacea: Ziphiidae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur., 74 pp.

**CARWARDINE, M.** 1995. Ballenas, delfines y mariposas. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, 256 pp.

**CARWARDINE, M.** 2000. Whales, Dolphins and Porpoises Hand Book. Dorling Kindersley Publishing, Inc. New York, 255 pp.

**DALEBOUT M. L., A. VAN HELDEN, K. VAN WAEREBEEK & C. S. BAKER.** 1998. Molecular genetic identification of southern hemisphere beaked whales (Cetacea: Ziphiidae). *Molecular Ecology*, 7:687-694.

**DALEBOUT M. L., J. G. MEAD, C. S. BAKER, A. N. BAKER & A. L. VAN HELDEN.** 2002. A new species of beaked whale *Mesoplodon perrini* sp. n. (Cetacea: Ziphiidae) discovered through phylogenetic analyses of mitochondrial DNA sequences. *Marine Mammal Science*, 18(3):577-608.

**DALEBOUT M. L., G. J. B. ROSS, C. S. BAKER, R. C. ANDERSON, P. B. BEST, V. G. COCKCROFT, H. L. HINSZ, V. PEDDEMORS & R. L. PITMAN.** 2003. Appearance, distribution and genetic distinctiveness of Longman's beaked whale, *Indopacetus pacificus*. *Marine Mammal Science*, 19:421-461.

**DALEBOUT M. L., C. S. BAKER, J. G. MEAD, V. G. COCKCROFT & T. K. YAMADA.** 2004. A Comprehensive and validated molecular taxonomy of beaked whales, family Ziphiidae. *Journal of Heredity*, 19:421-461.

**DALEBOUT M. L., K. M. ROBERTSON, A. FRANTZIS, D. ENGELHAUPT, A. A. MIGNUCCI-GIANNONI, R. J. ROSARIO-DELESTRE & C. S. BAKER.** 2005. Worldwide structure of mtDNA diversity among Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*): implications for threatened populations. *Molecular Ecology*, doi: 10.1111/j.1365-294X.2005.02676.x

**DALEBOUT M. L., D. E. RUZZANTE, H. WHITEHEAD & N. I. OIEN.** 2006. Nuclear and mitochondrial markers reveal distinctiveness of a small population of bottlenose whales (*Hyperoodon ampullatus*) in the western North Atlantic. *Molecular Ecology*, 15:3115-3129.

**DALEBOUT M. L., C.S. BAKER, D. STEEL, K M. ROBERTSON, S. J. CHIVERS, W. F. PERRIN, J.G. MEAD, R. V. GRACE & T. D. SCHOFIELD JR.** 2007. A divergent mtDNA lineage among *Mesoplodon* beaked whales: molecular evidence for a new species in the tropical Pacific?. *Marine Mammal Science*, 23(4):954-966.

**DALEBOUT M. L., D. STEEL & C. S. BAKER.** 2008. Phylogeny of the beaked whale genus *Mesoplodon* (Ziphiidae: Cetacea) revealed by nuclear introns: implications for the evolution of male tusks. *Society of Systematic Biologists*, 57(6):857-875.

**DE MARINIS** A. M. 1995. Craniometric variability of polecat *Mustela putorius* L. 1758 from North-Central Italy. *Hystrix*, (n.s.), 7(1-2):57-68.

**DOS REIS**, S. F. 1990. Mammalian Cranial Morphometrics: A Comparative Study of Traditional and Truss Networks. *Zool. Anz.* 224 ¾, S. 225-235.

**ESQUIVEL** M. C., M. SALINAS Z., I. FUENTES A. & A. AGUAYO L. 1993. Presencia estacional de una forma de *Mesoplodon densirostris* en la Bahía de banderas, México. In: Resúmenes XVIII reunión internacional para el estudio de los mamíferos marinos. UABCS. La Paz, B. C. S.

**FERREIRA DE SIQUEIRA** M., GRAINGER A., L. HANNAH, L. HUGHES, & *et al.* 2004. Extinction Risk From Climate Change. *Nature.* 427:145 - 148.

**FLEISCHER** L. A. 2000. Diversidad y distribución comparativa de los mamíferos marinos en México. *Revista de divulgación de investigación científica Mexicoa*, volumen 2(1):93-105.

**GROVES** C. P. 2001. *Primate Taxonomy*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press.

**GROVES** C. P., C. WESTWOOD & B. T. SHEA. 1992. Unfinished business: Mahalanobis and a clockwork orange. *Journal of Human Evolution*, 22:327-340.

**GUZMAN** S., J. A. 2006. Identificación de dos representantes de la familia Ziphiidae varadas en Bahía de Banderas, Nay., e Isla Magdalena, B. C. S., México. mediante el uso de técnicas moleculares y morfométricas. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico en Bahía de Banderas., 81 pp.

**HENSHAW** M. D., R. G. LEDUC, S. J. CHIVERS & A. E. DIZON. 1997. Identification of beaked whales (family Ziphiidae) using mtDNA sequences. *Marine Mammal Science*, 13:487-495.

**HEYNING** J. E. & J. G. MEAD. 1996. Suction feeding in beaked whales: morphological and observational evidence. *Contributions in Science*, number 464, 1-12 pp.

**HOOVER** S. K. & R. W. BAIRD. 1999a. Observations of Sowerby's beaked whales, *Mesoplodon bidens*, in the Gully, Nova Scotia. *The Canadian Field-Naturalist*, 113:273-277.

**HOOVER** S. K. & R. W. BAIRD. 1999b. Deep-diving behaviour of the northern bottlenose whale, *Hyperoodon ampullatus* (Cetacea: Ziphiidae). *Proceedings of the Royal Society of London*, 266:671-676.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>.

**HULL D. L.** 1977. The ontological status of species as evolutionary units, In Foundational Problems in the Special Sciences, R. Butts and J. Hintikka (eds), Dordrecht-Holland: D. Reidel Publishing Company, 91-102.

**INTERNATIONAL WHALING COMMISSION.** 1989. Report of the sub-committee on small cetaceans. Report of the IWC, 39:117-129.

**KASUYA T.** 1986. Distribution and behaviour of Baird's beaked whales of the Pacific coast of Japan. Scientific Reports of the Whales Research Institute, 37:61-83.

**KITCHENER A. C. & J. S. HERMAN.** 1995. Re-identification of the supposed True's beaked whale, *Mesoplodon mirus*, from Scotland. Journal of Zoology, London, 236:353-357.

**LEATHERWOOD S., R. R. REEVES & L. FOSTER.** 1983. The sierra handbook of whales and dolphins. Sierra Club Books, 302 pp.

**LEBOW R. & T. GARRISON.** 1985. Oceanus, the marine environment, Wadsworth Publishing Company; 3rd edition, 182 p.

**LLUCH-COTA S. E., E. A. ARAGÓN-NORIEGA, F. ARREGUÍN-SÁNCHEZ, D. AURIOLES-GAMBOA & et al.** 2007. The Gulf of California: review of ecosystem status and sustainability challenges. Progress in Oceanography, 73:1-26.

**MACLEOD C. D.** 2006. How big is a beaked whale? A review of body length and sexual size dimorphism in the family Ziphiidae. Journal of Cetacean Research and Management, 73:301-308.

**MARÍN V. J., H ASCENCIO E., K. J. O'HALLORAN L., F. M. VERDIN G., J. P. MENDOZA C., A. X. HERNÁNDEZ R., O. L. SANDOVAL G. & R. MONCADA C.** 2002. Proyecto Red de Varamientos del Pacífico Centro. Resumen de la XXVII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos (SOMEMMA). Ciencia, cultura y conservación, Pág. 65.

**MEAD J. G.** 1981. First records of *Mesoplodon hectori* (Ziphiidae) from the northern hemisphere and a description of the adult male. Journal of Mammalogy, 62(2):430-432.

**MEAD J. G.** 1989a. beaked whales of the genus *Mesoplodon*. In: S. H. Ridgway and R. J. Harrison (eds.): Handbook of marine mammals, Academic Press, London, 4:349-430

**MEAD** J. G. 1989b. Bottlenose whales. *Hyperoodon ampullatus* (Forster, 1770) and *Hyperoodon planifrons* Flower, 1882. In: Ridgway S. H. and Harrison R. J. (eds.): Handbook of marine mammals, Academic Press, London, 4:321-348.

**MEAD** J. G. 1989c. Shepherd's beaked whales, *Tasmacetus shepherdi* Oliver, 1937. In: Ridgway S. H. and Harrison R. J. (eds.): Handbook of marine mammals, Academic Press, London. 4:309-320.

**MEAD** J. G. 1993. The systematic importance of stomach anatomy in beaked whales. IBI Reports, 4:75-86.

**MEAD**, J. G. & A. N. BAKER. 1987. Notes on the rare beaked whale, *Mesoplodon hectori* (Gray). Journal of the Royal Society of New Zealand, 17:303-312.

**MEAD** J. G., R. V. GRACE & T. D. SCHOFIELD. 2007. A divergent mtDNA lineage among *Mesoplodon* beaked whales: molecular evidence for a new whale in the Tropical Pacific? Marine Mammal Science, 23:954-966.

**MEAD** J. G., J. E. HEYNING & R. L. BROWNELL JR. 1988. Distribution and exploitation of beaked whales in the Northern Hemisphere. Paper SC/40/SM/21 presented to the Scientific Committee of the IWC Annual Meeting, May 1988.

**MICHEL** E. & L. A. FLEISCHER. 1987. Reporte de un varamiento masivo de siete especímenes de *Berardius bairdii* (sic) (Stejneger, 1883) en la Bahía de la Paz, B. C. S. México. XII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos en México, La Paz, B. C. S.

**MONCADA** C., R. 2005. Cambio Espacio Temporal de la Estructura Comunitaria de los Cetáceos de Bahía de Banderas, Nayarit – Jalisco, México 1994 – 1996. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma De Baja California Sur., 50 pp.

**MONCADA** C., R., L. FLEISCHER, M. E. RODRÍGUEZ & S. HERNANDEZ. 1997. Distribución y Abundancia de los Cetáceos de Bahía de Banderas Nayarit-Jalisco, México, y su relación con algunos parámetros ambientales (1994-1996). Resumen de la XXII Reunión Internacional de la Sociedad de Mastozoología Marina, Nuevo Vallarta Nayarit, México.

**MOORE** J. C. 1963. Recognizing certain species of beaked whales of the Pacific Ocean. The American Midland Naturalist, 70:396-428.

**MOORE** J. C. 1968. Relationships among the living genera of beaked whales. Fieldiana Zoology, 53:209-298.

**MYERS N., R. A. MITTERMEIER, C. G. MITTERMEIER, G. A. B. DA FONSECA & J. KENT.** 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403:853-858.

**NISHIWAKI N. & H. OMURA.** 1972. Catch of Cuvier's beaked whales off Japan in recent years. *Scientific Reports of the Whales Research Institute*, 24:35-41.

**NORMAN S. A. & J. G. MEAD.** 2001. *Mesoplodon europaeus*. *Mammalian Species*, American Society of Mammalogists. 688:1-5.

**PÄÄBO S.** 1989. Ancient DNA: Extraction, characterization, molecular cloning and enzymatic amplification. *Proceedings of the National Academy of the U.S.A.*, 86:1939-1943.

**PICHLER F. B., M. L. DALEBOUT & C. S. BAKER.** 2001. Non-destructive DNA extraction from sperm whale teeth and scrimshaw. *Molecular Ecology Notes*, 1:106-109.

**PITMAN R. L., A. AGUAYO L. & J. R. URBÁN.** 1987. Observations of an unidentified beaked whale (*Mesoplodon sp.*) in the eastern tropical Pacific. *Marine Mammal Science*, 3:345-352.

**POCOCK M. J. O. & N. JENNINGS.** 2006. Use of hair tubes to survey for shrews: new methods for identification and quantification of abundance. *Mammal Review*, 36:299-308.

**REYES J. C., J. G. MEAD & K. VAN WEAREBEEK.** 1991. A new species of beaked whale *Mesoplodon peruvianus* sp. n. (Cetacea: Zhiphiidae) from Peru. *Marine Mammal Science*, 7:1-24.

**REYES J. C. & D. M. MOLINA.** 1997. Clave artificial para la identificación de cráneos de cetáceos del Pacífico Sur Este. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile*, 46:95-119.

**RICE D. W.** 1988. *Marine Mammals of the world. Systematics and Distribution*. The Society for Marine Mammalogy, Special Publication No. 4, Allen Press Inc, Lawrence, Kansas. 231 pp.

**RUTENBERG I. B., A. J. HAUPT, A. I. CHIRIBOGA, & R. R. WARNER.** 2005. Patterns, causes and consequences of regional variation in the ecology and life history of a reef fish. *Oecologia*, 145:394-403.

**SALINAS Z., M. & L. F. BOURILLÓN M.** 1988. Taxonomía, Diversidad y Distribución de los Cetáceos de la Bahía de Banderas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM., 211 pp.

**SALINAS Z., M. & P. LADRÓN DE GUEVARA.** 1995. Riqueza y Diversidad de los Mamíferos Marinos de México. Ciencia, Revista de difusión, No. especial 7. UNAM., 85-93 pp.

**SANVICENTE A. L., J. L. LÓPEZ, L. A. AGUAYO & G. L. MEDRANO.** 2004. Morphometry and sexual dimorphism of the coastal spotted dolphin, *Stenella attenuata graffmani*, from Bahía de Banderas, México. Acta Zoologica, 85:223-232.

**SARGIS E. J.** 2002. A multivariate analysis of the postcranium of tree shrews (Scandentia, Tupaiidae) and its taxonomic implications. Mammalia, 66:579–598.

**SCHNEIDER S., D. ROESSLY & L. EXCOFFIER.** 2000. ARLEQUIN v 2.0. A Software for Population Genetic Analysis. Genetic and Biometry Laboratory. University of Genove, Switzerland.

**SEHIGUCHI K., N. T. W. KLAGES, & P. B. BEST.** 1996. The Diet of the strap-toothed whales (*Mesoplodon layardii*). J. Zool. Lond., 239:453-463.

**SHAH H. C., C. P. Mortgat, A. Kiremidjian & T. C. Zsutty.** 1975. *A study for seismic risk for Nicaragua.* The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University. Stanford. Part I. Report № 11..

**SICILIANO S. & M. C. S. DE OLIVEIRA.** 2003. On the occurrence of the Arnoux's beaked whale (*Berardius arnuxii*) in Brazil. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 83:887-888.

**SITES J. W. JR., & K. A. CRANDALL.** 1997. Testing species boundaries in biodiversity studies. Cons. Biol., 11:1289-1297.

**SNEATH P. H. A. & R. R. SOKAL.** 1973. Numerical taxonomy — the principles and practice of numerical classification. (W. H. Freeman: San Francisco.)

**SOKAL R. R. & T. J. CORVELLO.** 1970. The biological species concept: A critical evaluation. Am. Nat., 104:107–123.

**SOTO J. & S. VEGA.** 1997. Primeiro registro de baleia bicuda da Gray, *Mesoplodon grayi* Haast, 1876 (Cetacea: Ziphiidae) para o Brasil, com referências osteológicas e a revisão das citações de zifídeos em águas brasileiras. Biociências, Porto Alegre, 5:69-89.

**TURNER J. P. & G. A. WORTHY.** 2003. Skull morphometry of bottlenose dolphins (*tursiops truncatus*) from the Gulf of Mexico. *Journal of Mammalogy*, 84:665–672.

**URBÁN R., J. & D. AURIOLES.** 1992. First Record of the Pygmy beaked whale *Mesoplodon Peruvianus* in the North Pacific. *Marine Mammal Science*, 8(4):420-425.

**URBÁN R., J. & M. H. PÉREZ-CORTES.** 2000. Mamíferos del noroeste de México II, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., 643-653.

**VAN HELDEN A. L., A. N. BAKER, M. L. DALEBOUT, J. C. REYES, K. VAN WAEREBEEK & C. S. BAKER.** 2002. Resurrection of *Mesoplodon traversii* (Gray, 1874), senior synonym of *M. bahamondi* Reyes, Van Waerebeek, Cárdenas and Yáñez, 1995 (Cetacea: Ziphiidae). *Marine Mammal Science*, 18(3):609-62.

**VARONA L. S.** 1985. Modificaciones ontogenicas y dimorfismo sexual en *Mesoplodon gervaisi* (Cetacea; Ziphiidae). *Carib J. Sci.*, 21:27-37.

**VIDAL O., L. T. FINDLEY & S. LEATHERWOOD.** 1993. Annotated checklist of the marine mammals of the Gulf of California. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History*, 28:1-16 pp.

**ZAVALETA L. L.** 2003. Variaciones geográficas en morfometría craneal en machos adultos de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) México. Tesis de Maestría. I.P.N.-CICIMAR., 70 pp.

## 11. ANEXOS.

### I. Relación de los cráneos, usados para establecer un modelo de clasificación morfológica.

No.	Especies	Institución de resguardo o museo	Referencia
1	<i>I. pacificus</i> (Ip)	Queensland Museum, Brisbane, Australia. <b>QM</b>	Dalebout <i>et al.</i> , 2003.
2	Ip	National Museum of Kenya, Nairobi, Kenya. <b>OM</b>	Dalebout <i>et al.</i> , 2003.
3	Ip	Natural History Museum, Zoological Section University of Florence, Italy	Dalebout <i>et al.</i> , 2003.
4	Ip	Mar. Res. Cent., Min.of Fish., Agr.and Mar.Res., Rep. of Maldives. <b>MRCFMRNA</b>	Dalebout <i>et al.</i> , 2003.
5	Ip (Juv. ♂)	Port Elizabeth Museum, South Africa. <b>PEM</b>	Dalebout <i>et al.</i> , 2003.
6	<i>M. densirostris</i> (Md)	Museum of New Zealand Te Papa Tongarewa, Wellington <b>MNZ</b>	Baker <i>et al.</i> , 1999.
7	Md (Juv. ♀)	Red de Varamientos de Yucatán A. C.	Antochiw <i>et al.</i> , 2000.
8	<i>M. grayi</i> (Mg)	Laboratório de Mamíferos Marinhos e Tartarugas Marinhas Depto. Ocean., Fundação Univ.Fed.do Rio Grande. Brazil	Pinedo <i>et al.</i> , 2001.
9	Mg	Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" <b>MACNBR</b>	Cappozzo y Negri*
10	Mg	MACNBR	Cappozzo y Negri*
11	Mg	MACNBR	Cappozzo y Negri*
12	Mg	MACNBR	Cappozzo y Negri*
13	<i>M. hectori</i> (Mh)	Estación Hidrob. de Pto. Quequén, Argentina.	Cappozzo <i>et al.</i> , 2005.
14	Mh	MACNBR	Cappozzo <i>et al.</i> , 2005.
15	Mh	MACNBR	Cappozzo y Negri*
16	Mh	MACNBR	Cappozzo y Negri*
17	Mh	MACNBR	Cappozzo y Negri*
18	Mh	MACNBR	Cappozzo y Negri*
19	<i>M. layardi</i> (MI)	MACNBR	Cappozzo y Negri*
20	MI	MACNBR	Cappozzo y Negri*
21	MI	MACNBR	Cappozzo y Negri*
22	<i>M. perrini</i> (Mperr)	National Museum of Nat.Hist., Smithsonian Institution, Washington, DC <b>USNM</b>	Dalebout <i>et al.</i> , 2002.
23	Mperr	USNM	Dalebout <i>et al.</i> , 2002.
24	Mperr (Cría)	Los Angeles County Museum of Nat. Hist., CA.	Dalebout <i>et al.</i> , 2002.
25	<i>M. peruvianus</i> (Mperu)	MNZ	Baker <i>et al.</i> , 1999.
26	Mperu	Museo de Historia Natural "Javier Prado", Lima, Perú. MHNJP, ahora <b>MHNUNMSM</b>	Reyes <i>et al.</i> , 1991.

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplodon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

27	Mperu	MHNUNMSM	Reyes <i>et al.</i> , 1991.
28	Mperu	MHNUNMSM	Reyes <i>et al.</i> , 1991.
29	Mperu	USNM	Reyes <i>et al.</i> , 1991.
30	Mperu	USNM	Reyes <i>et al.</i> , 1991.
31	Mperu	Laboratorio de Mamíferos Marinos, UABCS, La Paz. México. <b>MHNUABCS</b>	Urbán y Auriolos, 1992.
32	Mperu	Instituto Tecnológico de Monterrey, Campus Guaymas Sonora, México. <b>ITESM</b>	Vidal <i>et al.</i> , 1993.

\*Datos colectados y proporcionados por Luis Cappozzo y María Fernanda Negri.

II. Lista de mediciones, usadas por Moore (1963) y Reyes *et al.* (1991).

Nombre	Abreviatura
Longitud condilobasal	LC
Longitud del rostro	LR
Punta del rostro al margen posterior pterigoideal en su punto medio	PR-PMMP
Punta del rostro a la extensión anterior del pterigoides	PR-EAP
Punta del rostro a la extensión maxilar posterior, entre el pterigoides	PR-EMPEP
Punta del rostro extensión posterior del maxilar	PR-EPM
Punta del rostro al margen antero superior de las narinas	PR-MAN
Punta del rostro al punto anterior de la cresta premaxilar	PR-PACP
Punta del rostro a la extensión posterior de la fosa temporal	PR-EPFT
Punta del rostro a la punta lateral de la cresta premaxilar	PR-PLCP
Punta del rostro a la extensión anterior del seno pterigoideal	PR-EASP
*Longitud máxima de la fosa temporal	LMFT
*Longitud orbital en los frontales	LOF
*Longitud máxima del nasal derecho sobre el vertex	LMNDSV
*Longitud de la sutura nasal	LSN
*Amplitud craneal a través del proceso post-orbital frontal	ACTPPF
*Amplitud craneal a través del proceso zigomático escamoso	ACTPCE
*Amplitud craneal a través de los centros orbitales	ACTCO
Amplitud craneal mínima a través del margen posterior de la fosa temporal	ACMTMPFT
*Anchura máxima de los cóndilos occipitales	AMCO
*Anchura máxima del cóndilo occipital derecho	AMACO
*Longitud máxima del cóndilo occipital derecho	LMCO
*Amplitud máxima del foramen mágnum	AMFM
Amplitud craneal máxima a través del exoccipital	ACMTE
*Amplitud máxima de los nasales sobre el vertex	AMNSV
Distancia mínima entre la prominencia del synvertex	DMPS
Longitud extensión premaxilar posterior a parte posterior del nasal (sobre vertex)	LPPDNDSV
*Anchura máxima de la cresta premaxilar en el synvertex	AMCPS
Anchura mínima premaxilar (sección más angosta y opuesta a la narina superior)	AMP

Máxima amplitud premaxilar (área menos angosta y opuesta a la narina superior)	MAP
Anchura premaxilar en el punto medio del rostro	APPMR
* Anchura del rostro en el ápice de la hendidura anterorbital	ARAH
Anchura del rostro en su punto medio	ARPM
Profundidad del rostro en su punto medio	PRPM
* Anchura máxima de las narinas superior	AMNS
* Anchura entre las hendiduras pterigoidales	AEHP
* Altura del cráneo	AC
* Anchura máxima de la fosa temporal	AFT
* Distancia mínima entre el foramen maxilar principal	DMEFMP
* Distancia mínima entre el foramen premaxilar	DMEFP

Los asteriscos: medidas usadas para establecer los modelos de clasificación morfológica, para identificar especímenes de *M. peruvianus*.

### III. Varianza acumulativa y coeficientes de los dos primeros componentes: para 20 y 12 medidas craneales de especímenes de *Mesoplodon e Indopacetus*.

Mediciones	a. 20 Medidas		b. 12 Medidas	
	CP1	CP2	CP1	CP2
LMFT	-0.96346	0.026381		
LOF	-0.91728	-0.113658		
LMNSV	-0.64096	-0.379706	-0.685551	-0.193710
LSN	-0.79801	-0.280652	-0.824685	-0.227264
ACTPPF	-0.98682	0.055646	-0.979341	0.073773
ACTPCE	-0.87697	0.200036		
ACTCO	-0.98489	0.062391		
AMCO	-0.96893	0.072738	-0.963130	0.096601
AMACO	-0.90998	0.058235		
LMCO	-0.96430	0.030292	0.961330	0.069698
AMFM	-0.77424	0.199351		
AMNSV	-0.90535	0.202764	-0.899693	0.267104
AMCPS	-0.96469	0.098212	-0.956291	0.134206
ARAH	-0.96686	0.099235		
AMNS	-0.94994	-0.017368		
AEHP	-0.97830	0.064619	-0.972262	0.104732
AC	-0.97463	-0.066677	-0.975276	-0.040153
AFT	-0.95269	0.090169	-0.956153	0.157416
DMEFMP	-0.92591	-0.193947	-0.936298	-0.151243
DMEFP	-0.39040	-0.806741	-0.406372	-0.866930
Autovalores	16.23821	1.099007	9.537386	1.009964
% Varianza explicada	81.19106	5.49503	79.47821	8.41636
% Varianza acumulativa	81.19106	86.68609	79.47821	87.89458

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

IV. Medidas craneales de 9 especímenes de mesoplodontes que fueron usados para probar la robustez del modelo función de clasificación, obtenido en el estudio.

Medida	Especímenes de Prueba (ver detalles en Sección 7.1, tabla 5)								
	BB	LF BPF	DAG Cría	DAG 160	DAG IM	OD-026	M- DAG	Guaymas	JUR Mogote
LMNDSV	20	23	<b>9.75</b>	8	22	23	21	<b>20</b>	21
LSN	31	26	<b>15.51</b>	20	31	32	30	42	40
ACTPPF	219	260	152	<b>255</b>	<b>265</b>	252	<b>210</b>	241	252
AMCO	82	94	<b>60</b>	100	98	92	82	97	96
LMCO	52	52	37.5	60	62	58	52	66	64
AMNSV	23	20	<b>20</b>	20	26	16	34	27	33.5
AMCPS	80	85	60	87	105	82	76	93	86
AEHP	62	71	42	68	68	68	55	<b>57</b>	75
AC	200	233	140	229	243	219	194	200	249
AFT	42	40	<b>28</b>	51	54	49.5	<b>39</b>	47	43.5
DMEFMP	59	53	38	<b>59</b>	57	57	59	<b>56</b>	56
DMEFP	29	33	16.5	31	40	<b>28</b>	30	30	24.5

Abreviaturas sobre medidas ver detalles en Anexo 1. Los valores resaltados son estimaciones, ya que estos se registraron en un área parcialmente dañada del cráneo.

V. Listado de los especímenes de *M. peruvianus* de las colecciones de México y Perú usados para el análisis poblacional comparativo (Craneométrico e Isotópico).

No.	Clave Museográfica	Sp	Long. total (mm)	Sexo y Madurez	País	Colección
1	DAG-IM⊙	Mperu	4150	HAV	Mex	CICIMAR
2	DAG-160⊙	Mperu	3400	HAM	Mex	CICIMAR
3	OD-026⊙	Mperu	??	HAM	Mex	MHNUABCS
4	JUR Mogote*⊙	Mperu	??	MAM	Mex	MHNUABCS
5	053⊙	Mperu	3300	MAM	Mex	MHNUABCS
6	Guaymas*	Mperu	¿?	MAJ	Mex	ITESM
7	LF-BLP* (Madre) ⊙	Mperu	3990	HAM	Mex	CRIP
8	BB*⊙	Mperu	2790	HJ	Mex	ITeBB
9	DAG-M⊙	Mperu	??	MJ	Mex	CICIMAR
10	DAG-BLP*⊙	Mperu	??	?C	Mex	CICIMAR
11	1146⊙	Mperu	3720	MAM	Per	MHNUNMSM
12	504332	Mperu	3560	A	Per	USNM
13	708⊙	Mperu	3270	MAJ	Per	MHNUNMSM
14	709⊙	Mperu	3260	MAJ	Per	MHNUNMSM
15	JCR-A0033*⊙	Mperu	??	MJ	Per	MHNUNMSM
16	571258	Mperu	??	J	Per	USNM
17	571257	Mperu	2860	J	Per	USNM
18	JCR-1924⊙⊙	Mperu	??	MPJ	Per	ACOREMA
19	JCR-270⊙	Mperu	1590	HC	Per	ACOREMA
20	2142	Mperu	3270	MAJ	NZ	MNZ
21	J2106**	Ip	?	MA	Aus	QM
22	7622**	Ip	?	?	Ken	OM
23	"Maldives"***	Ip	5960	HA	RM	MRCFMRNA
24	1956**	Ip	?	HAI	Som	MZUF
25	1960**	Ip	3630	MJ	SA	PEM

Mperu, *M. peruvianus*; Ip, *I. pacificus*; H, Hembra; M, Macho; C, Cría; PJ, Prejuven; J, Joven; A, Adulto; V, Viejo; Mex, México; Per, Perú; NZ, Nueva Zelanda; Aus, Australia; Ken, Kenya; RM, Republica Maldives; Som, Somalia; SA, Sur de África. Las abreviaturas de las casillas referentes a la colección, corresponden a las instituciones donde están resguardados los cráneos (ver sección 2.1, tabla 1 y Anexo I). Todos fueron usados para examinar la morfología craneal, \*Códigos provisionales: BB, Bahía de Banderas; LF-BLP, Luis Fleisher, Bahía de La Paz; DAG-BLP, David Auriolles Gamboa, Bahía de La Paz; JCR-A0033, recién donado por Julio Reyes. \*\*Citados en Dalebout *et al.* 2003. ⊙ Especímenes usados para obtener valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ , ⊙⊙ espécimen que presento un valor de  $\delta^{15}\text{N}$  distinto al patrón observado en el resto de los ejemplares utilizados para la revisión, por lo tanto quedo fuera de la comparación.

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

VI. Varianza acumulativa y coeficientes de los dos primeros componentes: para 32 y 33 medidas craneales de especímenes de *M. peruvianus* e *I. pacificus* respectivamente.

Mediciones	A. <i>M. peruvianus</i> (20 especímenes), 32 medidas.		B. <i>M. peruvianus</i> e <i>I. pacificus</i> (25 especímenes), 33 medidas.	
	CP1	CP2	CP1	CP2
LC	-0,99	0,094	-0,99	0,084
LR	-0,98	0,123	-0,99	0,092
PR-PMPP	-0,95	0,241	-0,98	0,116
PR-EAP	-0,95	0,169	-0,99	0,075
PR-EMPEP	-0,96	0,149	-0,99	0,087
PR-EPM	-0,98	0,125	-0,99	0,072
PR-MAN	-0,98	0,151	-0,98	0,152
PR-PACP	-0,93	0,081	-0,99	0,096
PR-EPFT	-0,96	0,234	-0,99	0,054
PR- PLCP	-0,98	0,149	-0,98	0,082
PR-EASP	-0,86	0,425		
LMFT	-0,75	-0,141	-0,97	-0,050
LOF	-0,89	-0,148	-0,97	0,008
LMNSV			-0,89	-0,068
LSN			-0,91	0,216
ACTPPF	-0,99	0,002	-0,99	0,035
ACTPCE	-0,98	-0,022	-0,99	0,091
ACTCO	-0,98	0,011	-0,99	0,040
ACMTMPFT	-0,81	-0,183	-0,97	-0,078
AMCO	-0,96	-0,005	-0,99	-0,007
AMACO	-0,77	-0,097	-0,93	-0,018
LMCO	-0,87	-0,149	-0,98	0,034
ACMTE	-0,95	0,053	-0,99	0,027
AMNSV			-0,87	-0,323
DMPS			-0,80	-0,457
AMCPS	-0,93	-0,048	-0,99	-0,121
AMP	-0,93	-0,004		
MAP				
APPMR	-0,76	-0,348	-0,97	-0,123
ARAHA	-0,97	-0,028	-1,00	-0,025
ARPM	-0,81	-0,465	-0,97	-0,208
PRPM	-0,78	-0,354	-0,87	0,107
AMNS	-0,85	0,021	-0,97	-0,150
AEHP	-0,95	-0,112	-0,99	-0,023
AC	-0,91	-0,221	-0,99	0,066
DMEFMP	-0,85	0,023	-0,99	0,004
DMEFP	-0,79	-0,014		
Autovalores	26,44	1,074	30,84	0,588
% Varianza explicada	82,63624	3,35683	93,46838	1,78305
% Varianza acumulativa	82,63624	85,99307	93,46838	95,25143

VII. Valores categóricos y discriminatorios de cada variable (mediciones) por grupo, análisis AD para *M. peruvianus*.

	Funciones de Clasificación			Lambda de Wilk's		
	México (p=0,5000)	Perú (p=0,4500)	N. Zelanda (p=0,0500)	Valor	F	P
<b>Intercepto</b>	-18066,0	-22939,8	-36990,5	0,097831	4,610860	0,312779
<b>LC</b>	467,5	527,0	679,9	0,143297	2,989249	0,378546
<b>LR</b>	-860,2	-976,5	-1191,1	0,125953	3,469730	0,354899
<b>PR-PMMPP</b>	128,1	145,8	193,8	0,094783	4,775210	0,307868
<b>PR-EAP</b>	-206,3	-236,5	-283,3	0,076981	5,995080	0,277455
<b>PR-EMPEP</b>	-43,9	-49,4	-100,5	0,131281	3,308637	0,362327
<b>PR-EPM</b>	-265,3	-302,0	-308,9	0,214393	1,832161	0,463026
<b>PR-MAN</b>	838,4	955,4	1213,6	0,068691	6,778968	0,262090
<b>PR-PACP</b>	-159,1	-180,3	-211,3	0,183874	2,219255	0,428805
<b>PR-EPFT</b>	122,0	140,3	122,9	0,159280	2,639122	0,399099
<b>PR- PLCP</b>	-47,0	-55,0	-177,9	0,225624	1,716075	0,474999
<b>PR-EASP</b>	-88,9	-99,4	-91,4	0,368711	0,856074	0,607216
<b>LMFT</b>	126,3	143,7	147,5	0,325189	1,037566	0,570254
<b>LOF</b>	-211,0	-241,1	-273,4	0,217130	1,802767	0,465972
<b>ACTPPF</b>	255,6	290,5	361,5	0,183842	2,219728	0,428768
<b>ACTPCE</b>	-27,1	-28,6	-55,9	0,138926	3,099045	0,372727
<b>ACTCO</b>	-493,4	-560,7	-664,3	0,146968	2,902101	0,383364
<b>ACMTMPFT</b>	78,7	89,5	92,1	0,273478	1,328303	0,522951
AMCO*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
AMACO*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
LMCO*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
ACMTE*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
AMCPS*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
AMP*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
APPMR*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
ARAHA*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
ARPM*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
PRPM*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
AMNS*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
AEHP*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
AC*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
DMEFMP*	0,0	0,0	0,0	-	-	-
DMEFP*	0,0	0,0	0,0	-	-	-

\*Variables que ya no son consideradas necesarias para discriminar (la combinación de las primeras son suficiente para la discriminación).

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplodon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

VIII. Matriz de Asignación para cada caso (n=20), análisis AD para *M. peruvianus*.

No	Casos Gpo.	Distancias de Mahalanobis			Clasificación por probabilidad			Factores	
		1 (n=10)	2 (n=9)	3 (n=1)	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1	2
1	México (1)	15,3	787,0	9402,7	1	2	3	-15,75	6,37
2	México (1)	15,3	683,6	9085,8	1	2	3	-13,99	5,56
3	México (1)	15,3	804,4	9451,6	1	2	3	-16,03	6,54
4	México (1)	15,3	657,4	9071,9	1	2	3	-13,83	4,90
5	México (1)	15,3	727,5	9280,1	1	2	3	-14,99	5,49
6	México (1)	15,3	758,9	9285,5	1	2	3	-15,14	6,37
7	México (1)	15,3	734,1	9275,2	1	2	3	-15,00	5,71
8	México (1)	15,3	768,5	9279,0	1	2	3	-15,14	6,69
9	México (1)	15,3	697,1	9268,0	1	2	3	-14,83	4,68
10	México (1)	15,3	760,2	9456,2	1	2	3	-15,88	5,21
11	Perú (2)	784,9	15,1	5972,6	2	1	3	8,27	-9,31
12	Perú (2)	750,9	15,1	6266,5	2	1	3	6,72	-10,61
13	Perú (2)	744,0	15,1	5823,3	2	1	3	8,58	-7,35
14	Perú (2)	706,5	15,1	5869,8	2	1	3	8,08	-6,84
15	Perú (2)	620,1	15,1	6369,9	2	1	3	5,21	-8,42
16	Perú (2)	765,7	15,1	5769,1	2	1	3	8,99	-7,46
17	Perú (2)	790,9	15,1	5950,2	2	1	3	8,41	-9,28
18	Perú (2)	673,4	15,1	6042,2	2	1	3	7,06	-7,32
19	Perú (2)	802,7	15,1	5878,6	2	1	3	8,82	-9,05
20	N. Zelanda (3)	9270,3	5978,5	0,0	3	2	1	80,43	18,10

IX. Valores categóricos y discriminatorios de cada variable (mediciones) por grupo, análisis AD para *M. peruvianus*, con *I. pacificus*.

	Funciones de clasificación				Lambda de Wilk's		
	México (p=0,4000)	Perú (p=0,3600)	N. Zelanda (p=0,0400)	Otro*** (p=0,2000)	Valor	F	p
Intercepto	-4294,76	-2330,53	-6394,31	-2607,05	0,296	2,38	0,366
LC	95,36	68,95	117,09	41,18	0,235	3,26	0,322
LR	-141,36	-98,10	-162,56	-34,00	0,328	2,05	0,388
PR-PMMPP	-4,69	-3,34	-5,44	-1,81	0,160	5,26	0,262
PR-EAP	24,97	16,25	31,87	20,96	0,816	0,23	0,718
PR-EMPEP	-25,24	-17,92	-34,62	-17,20	0,390	1,56	0,430
PR-EPM	80,02	52,69	92,72	25,17	0,176	4,67	0,276
PR-MAN	45,41	32,05	51,95	2,36	1,000	0,00	0,987
PR-PACP	-31,19	-22,13	-37,48	-10,01	0,283	2,54	0,357
PR-EPFT	-94,07	-61,53	-108,56	-28,20	0,090	10,16	0,194
PR-EPP- LMFT	5,01	2,49	3,11	-6,29	0,227	3,41	0,316
LMFT	-26,86	-16,95	-31,13	2,47	0,703	0,42	0,633
LOF	102,24	68,39	123,67	42,23	0,481	1,08	0,488
LMNDSV	-53,49	-33,65	-52,17	2,38	0,208	3,82	0,301
LSN	-115,87	-77,69	-140,04	-40,31	0,210	3,76	0,303
ACTPPF	66,63	44,50	76,08	22,64	0,328	2,05	0,388
ACTPCE	-42,59	-29,63	-50,48	-21,55	0,100	8,97	0,205
ACTCO	74,79	46,37	86,90	17,43	0,745	0,34	0,663
ACMTMPFT	-30,00	-19,53	-35,80	-7,52	0,134	6,47	0,238
AMCO*	-149,75	-96,65	-182,78	-53,08			
AMACO*	-28,45	-16,32	-33,78	3,25			
LMCO*	39,13	24,08	48,96	13,81			
ACMTE**	0,00	0,00	0,00	0,00			
AMNSV**	0,00	0,00	0,00	0,00			
DMPS**	0,00	0,00	0,00	0,00			
AMCPS**	0,00	0,00	0,00	0,00			
APPMR**	0,00	0,00	0,00	0,00			
ARAHA**	0,00	0,00	0,00	0,00			
ARPM**	0,00	0,00	0,00	0,00			
PRPM**	0,00	0,00	0,00	0,00			
AMNS**	0,00	0,00	0,00	0,00			
AEHP**	0,00	0,00	0,00	0,00			
AC**	0,00	0,00	0,00	0,00			
DMEFMP**	0,00	0,00	0,00	0,00			

\*Variables que son consideradas en las funciones clasificatorias pero no son incluidas por el estadístico de prueba discriminatorio, \*\*Variables que ya no son necesarias para discriminar (la combinación de las primeras son suficiente para la discriminación en los análisis), \*\*\* Grupo externo (*I. pacificus*).

POBLACIONES DEL MESOPLODONTE MENOR (*Mesoplon peruvianus*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL: UN ANÁLISIS CRANEOMÉTRICO Y DE MARCADORES GÉNICOS E ISOTÓPICOS

X. Matriz de Asignación para cada caso (n=25), análisis AD para *M. peruvianus*, con *I. pacificus*.

No.	Casos	Distancias de Mahalanobis				Clasificación por probabilidad				Factores			
		Grupo.	1 (n=10)	2 (n=9)	3 (n=1)	4 (n=5)	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	1	2	3
1	México (1)		18,90	785,88	881,31	4805,33	1	2	3	4	20,6565	-4,7969	-3,43418
2	México (1)		18,90	868,67	830,51	4999,91	1	3	2	4	22,0798	-5,4606	-3,28428
3	México (1)		18,90	824,46	743,25	4765,71	1	3	2	4	20,4834	-6,4856	-1,52027
4	México (1)		18,90	907,32	897,33	5209,04	1	3	2	4	23,5145	-4,5767	-4,61288
5	México (1)		18,90	835,47	733,34	4744,62	1	3	2	4	20,3399	-6,9044	-1,62409
6	México (1)		18,90	754,28	890,19	4707,87	1	2	3	4	19,9562	-4,7457	-3,36700
7	México (1)		18,90	836,37	848,23	4870,99	1	2	3	4	21,1477	-5,5684	-3,51284
8	México (1)		18,90	791,49	869,78	4620,63	1	2	3	4	19,3463	-6,2117	-4,05336
9	México (1)		18,90	913,35	716,36	4996,68	1	3	2	4	22,1464	-6,9286	-1,84329
10	México (1)		18,90	822,09	830,11	4871,17	1	2	3	4	21,1653	-5,3441	-2,84599
11	Perú (2)		820,03	18,67	2468,84	2832,15	2	1	4	3	0,3493	13,1574	1,04266
12	Perú (2)		769,31	18,67	2343,96	2714,33	2	1	4	3	-0,0739	11,3061	1,27558
13	Perú (2)		905,29	18,67	2599,32	2829,96	2	1	4	3	-0,3042	14,5718	1,49030
14	Perú (2)		862,48	18,67	2542,08	2769,92	2	1	4	3	-0,4196	13,4855	0,84774
15	Perú (2)		920,74	18,67	2544,23	2763,24	2	1	4	3	-0,8313	14,0361	2,93452
16	Perú (2)		728,38	18,67	2278,38	2894,17	2	1	4	3	1,5191	11,8200	1,84165
17	Perú (2)		854,09	18,67	2409,06	3042,49	2	1	4	3	1,6889	14,6570	4,38953
18	Perú (2)		739,99	18,67	2349,54	2884,73	2	1	4	3	1,3209	12,1845	0,76005
19	Perú (2)		903,06	18,67	2582,50	2881,26	2	1	4	3	0,0899	14,8216	1,96240
20	N. Zelanda (3)		805,14	2438,88	0,00	6429,99	3	1	4	2	27,9330	-	16,82591
21	Gpo. externo (4)		4768,10	2775,70	6337,11	16,80	4	3	2	1	-	47,7710	-7,5733
22	Gpo. externo (4)		4939,59	2896,76	6539,43	16,80	4	3	2	1	-	49,0162	-7,5265
23	Gpo. externo (4)		4869,11	2848,45	6463,16	16,80	4	3	2	1	-	48,5103	-7,5462
24	Gpo. externo (4)		4839,54	2848,82	6418,95	16,80	4	3	2	1	-	48,2900	-8,0451
25	Gpo. externo (4)		4869,14	2849,96	6475,32	16,80	4	3	2	1	-	48,5206	-7,5248