



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**DIFERENCIAS CRANEALES ENTRE EL
ECOTIPO COSTERO Y OCEÁNICO DEL DELFÍN
NARIZ DE BOTELLA (*Tursiops truncatus*) DEL
PACÍFICO NOROESTE MEXICANO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

EN

MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

MARÍA ALEJANDRA ROSA ESTEVES PONTE

LA PAZ, B.C.S., JULIO DEL 2018



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

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 01 del mes de Junio del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

DIRFERENCIAS CRANEALES ENTRE EL ECOTIPO COSTERO Y OCEÁNICO DEL DELFÍN NARIZ DE BOTELLA (Tursiops truncatus) DEL PACÍFICO NOROESTE MEXICANO

Presentada por el alumno:

ESTEVEZ PONTE MARÍA ALEJANDRA ROSA
Apellido paterno materno nombre(s)
Con registro: B 1 6 0 7 6 7

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

Signature of Dr. Francisco Javier García Rodríguez
DR. FRANCISCO JAVIER GARCÍA RODRÍGUEZ
Director de Tesis

Signature of Dr. David Auriol Gamboa
DR. DAVID AURIOLES GAMBOA
2º. Director de Tesis

Signature of Dr. Sergio Francisco Martínez Díaz
DR. SERGIO FRANCISCO MARTÍNEZ DÍAZ

Signature of Dra. Claudia Janétl Hernández Camacho
DRA. CLAUDIA JANÉTL HERNÁNDEZ CAMACHO

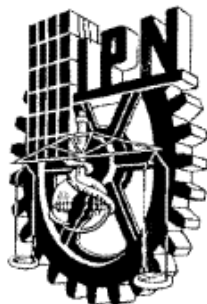
Signature of Dr. Héctor Villalobos Ortiz
DR. HÉCTOR VILLALOBOS ORTIZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Signature of Dr. Sergio Hernández Trujillo
DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 18 del mes de Junio del año 2018

El (la) que suscribe BM. MARÍA ALEJANDRA ROSA ESTEVES PONTE Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B160767 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. FRANCISCO JAVIER GARCÍA RODRÍGUEZ Y DR. DAVID AURIOLES GAMBOA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"DIFERENCIAS CRANEALES ENTRE EL ECOTIPO COSTERO Y OCEÁNICO DEL DELFÍN

NARIZ DE BOTELLA (*Tursiops truncatus*) DEL PACÍFICO NOROESTE MEXICANO"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: proyectodelphinus@gmail.com - fj_gr@yahoo.com- dgambo@ipn.mx

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


BM. MARÍA ALEJANDRA ROSA ESTEVES PONTE

Nombre y firma del alumno

DEDICATORIA

ALEJANDRÍA...mi princesa, para ti otro logro más mi "LITTLE SAMURAI". Gracias hija por ser mi compañera de vida, mi agua de mar azulita, vamos por más juntas, sabiendo que de tu mano el camino es el adecuado, con pasos seguro y certeros (BEBO).

Siempre he dicho que mi vida está dedicada a ti ARNALDO..., otro logro más, para ti, papito. TE AMO, solo puedo dar las gracias por ser mi luz, mi guía y mi maestro más allá de la vida.

KENNY... mi reina de la casa, mi mamita, UNBREAKABLE, contigo todo, porque siempre para mi serás la mujer de mi vida, esa que con una mirada y un beso me dice dónde y cómo debo seguir. GRACIAS MAMÁ.

MONINO amado, ALEJANDRO... MASTER, "BE WATER", así lo hice, gracias mi hermano amado, siempre con la palabra justa, para hacerme fuerte, noble, justa... y así un día lo hice otra vez. De tu mano y lo que falta, orgullosa de ser parte de ti.

GIANKI Y AITOR... mi princesa y mi príncipe lo más bonito de su tía, para ustedes mis logros, los amo mares.

LELA (LUISA ELENA Y ABY) mis matriarcas, el refugio, el amor, la sabiduría y pilares de mi vida.

MAITE (gordita) tanto que agradecerte, a lo largo de todos los años como familia has sabido ser consecuente y un apoyo en todo momento.

HILDA, MADRY y ANY (mis mamochitas del alma) siempre juntas. Gracias por el amor de familia, el soporte y el amor para poder lograrlo.

CORITA... María Carolina mi hermana, esa amiga hermana que siempre está en el momento justo y en el momento indicado sin importar la distancia.

MI NEGRO (Pablo González) el amor incondicional y por hacerme una mujer cada día más fuerte y capaz.

MÉXICO... por permitirnos tener la oportunidad de salir adelante con oportunidades de vida... GRACIAS.

VENEZUELA...GRACIAS... porque ser de ti, me da el ímpetu de lograr lo inalcanzable, "Llevo tu luz y tu aroma en mi piel...", "Yo soy tuya de tus venas, de la línea en tu silueta..."

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a:

-El Centro Interdisciplinarios de Ciencias Marinas (CICIMAR), así como al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por permitirme cursar mi maestría y apoyarme para la culminación de esta.

-Los programas de becas Conacyt (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) y BEIFI (IPN) por el soporte económico durante este proceso de estudio.

-Mi comité tutorial conformado por los Dr. Francisco Javier García Rodríguez, Dr. David Auriol Gamboa Camacho, Dr. Héctor Villalobos Ortiz, Dr. Sergio Francisco Martínez Díaz y la Dra. Claudia Janetl Hernández Camacho, por su dedicación, orientación y apoyo durante toda mi maestría.

-Las Instituciones y colecciones que brindaron su apoyo en la revisión del material utilizado en este estudio: Colección Osteológica del Laboratorio de Ecología de Pinnípedos "Burney J. Le Boeuf", del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), Museo de la Ballena de La Paz, B.C.S. (Francisco Gómez), Museo de Historia Natural de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, México (UABCS) (Dr. Gerardo Barba), Colección de cráneos de cetáceos de la Estación Biológica de Pichilingue (UABCS) (Jorge Urbán, Sergio Martínez e Hiram Rosales)

-Maestro en Ciencias Gustavo de la Cruz Agüero por su dedicación y tiempo para atenderme cuando así lo requería.

-Mis compañeras y amigas por su apoyo, consejos, ayuda en todo y cuanto necesite: Alma Vianney Barajas, Lili Pelayo, Tania Nohemi Calderón y Martha Patricia Rosas, María Lourdes Pineda (Luly) y Beatriz Samartín.

INDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
GLOSARIO	viii
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Justificación.....	6
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Objetivos.....	7
2. ÁREA DE ESTUDIO	9
3. METODOLOGÍA	8
3.1 Obtención de cráneos.....	8
3.2 Asignación de ecotipos.....	9
3.3 Análisis morfométrico.....	11
3.3.1 Distancias lineales.....	11
3.3.2 Morfometría geométrica.....	14
4. RESULTADOS	17
4.1 Asignación del ecotipo por isótopos estables.....	17
4.2 Distancias lineales.....	19
4.3 Morfometría geométrica.....	26

4.3.1	Vista dorsal.....	26
4.3.2	Vista ventral.....	29
4.3.3	Vista lateral.....	32
5.	DISCUSIÓN.....	36
5.1	Determinación del hábitat principal con respecto al $\delta^{13}\text{C}$	36
5.2	Diferencias relacionadas con la talla del cráneo.....	38
5.3	Diferencias relacionadas con la forma del cráneo.....	39
6.	CONCLUSIONES.....	42
7.	REFERENCIAS.....	43
8.	ANEXO	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de procedencia de 17 cráneos de <i>Tursiops truncatus</i>	9
Figura 2. Hueso del proceso zigomático del cráneo de <i>Tursiops truncatus</i> del Pacífico noroeste mexicano.....	10
Figura 3. Distancias lineales en la vista dorsal del cráneo de delfines nariz de botella Pacífico noroeste mexicano	12
Figura 4. Distancias lineales en la vista ventral del cráneo de delfines nariz de botella Pacífico noroeste mexicano	12
Figura 5. Distancias lineales en la vista lateral del cráneo de delfines nariz de botella Pacífico noroeste mexicano	13
Figura 6. Vista dorsal del cráneo de <i>Tursiops truncatus</i> del Pacífico noroeste mexicano.....	14
Figura 7. Vista ventral del cráneo de <i>Tursiops. truncatus</i> del Pacífico noroeste mexicano.....	15
Figura 8. Vista lateral del cráneo de <i>Tursiops truncatus</i> del Pacífico noroeste mexicano.....	15
Figura 9. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de 17 ejemplares de acuerdo con las áreas de recepción de varamientos de <i>Tursiops truncatus</i> del Pacífico noroeste mexicano.....	17

Figura 10. Comparación isotópica de los valores del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de *Tursiops truncatus* de acuerdo con el ecotipo (costero y oceánico) del Pacífico noroeste mexicano..... 18

Figura 11. Análisis de Componentes Principales de los valores isotópicos del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los ecotipos costero y oceánico de *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 19

Figura 12. Análisis de componentes principales de las 26 distancias lineales de los ecotipos costero y oceánico de *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 20

Figura 13. Análisis de Variables canónicas a partir de las distancias lineales de los cráneos de *Tursiops truncatus* (ecotipo costero y oceánico) del Pacífico noroeste mexicano..... 24

Figura 14. Análisis de componentes principales de la vista dorsal de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *Tursiops truncatus*, con respecto a los dos primeros componentes..... 26

Figura 15. Gradilla de deformación del primer componente de la vista dorsal de las regiones craneales en *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 27

Figura 16. Análisis de variables canónicas de la vista dorsal de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 28

Figura 17. Gradilla de deformación de la vista dorsal de las regiones craneales con respecto al primer canónico en *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 28

Figura 18. Análisis de componentes principales de la vista ventral de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 29

Figura 19. Gradilla de deformación de la vista ventral de las regiones craneales de mayor variación en *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 30

Figura 20. Análisis de variables canónicas de la vista ventral de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *Tursiops. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 31

Figura 21. Gradilla de deformación de la vista ventral de las regiones craneales con respecto al primer canónico en *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 31

Figura 22. Análisis de componentes principales de la vista lateral de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 32

Figura 23. Gradilla de deformación de la vista lateral de las regiones craneales de mayor variación en *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 33

Figura 24. Análisis de variables canónicas de la vista lateral de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano..... 34

Figura 25. Gradilla de deformación de la vista lateral de las regiones craneales con respecto al primer canónico en *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano.....

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de componentes principales donde se observan los loadings y correlaciones para el componente 1 y componente 2, de los ecotipos costero y oceánico de <i>Tursiops truncatus</i> del Pacífico noroeste mexicano.....	22
Tabla 2. Correlaciones con respecto a las distancias lineales para el canónico 1 de los ecotipos costero y oceánico de <i>Tursiops truncatus</i> del Pacífico noroeste mexicano	25

GLOSARIO

Análisis Procrustes Generalizado. Es un método conformado por un conjunto de herramientas matemáticas de mínimos cuadrados para estimar directamente y realizar transformaciones de semejanza simultáneas entre los puntos de coordenadas de un modelo matricial hasta su ajuste máximo, a partir de variables cartesianas de puntos anatómicos (homólogos). No se requiere información geométrica previa entre los diferentes objetos componentes del modelo.

Centroide. Es el centro geométrico de un objeto que responde únicamente a la forma. Es la raíz cuadrada de la suma de las distancias cuadradas de todos los puntos respecto a su centro de gravedad.

Cráneo. Conjunto de huesos que están organizados en forma de una bóveda en su parte superior y posterior, por delante de ellos se dispone otro grupo de huesos en forma de macizo que dan forma a la cara. Sirve de protección al cerebro, el cerebelo y el bulbo raquídeo.

Craneología. Ciencia que estudia la descripción y medidas de los caracteres craneales.

Delphinidae. Familia de cetáceos odontocetos (con dientes) que comprenden 34 especies. Miden aproximadamente entre 2 y 9 metros de largo, con el cuerpo fusiforme y la cabeza de gran tamaño, el hocico alargado y un orificio nasal en la parte superior de la cabeza.

Dimorfismo sexual. Son las variaciones en la fisonomía externa, como forma, coloración o tamaño, ornamentación, y órganos de ofensa y defensa, así como órganos reproductivos entre machos y hembras de una misma especie. Se presenta en la mayoría de las especies, en mayor o menor grado, ya que es muy variable.

Distancia Procrustes. Es el valor que se obtiene cuando ya no existen cambios en los valores de la suma de cuadrados residual, resultando minimizada la medida de ajuste natural.

Distancia de Mahalanobis. Es una medida de distancia introducida por Mahalanobis en 1936, la cual es una forma de determinar la similitud entre dos variables aleatorias multidimensionales tomando en cuenta la correlación entre las variables aleatorias.

Ecotipo. Subpoblación que puede diferenciarse genéticamente y en términos morfológicos y fisiológicos, restringida a un espacio específico a un ambiente particular o a un ecosistema definido, con límites de tolerancia particulares a los factores ambientales locales.

Especie. Grupo de organismos con características semejantes capaces de entrecruzarse y de producir descendencia fértil y las cuales están aisladas genéticamente de otras poblaciones.

Forma. En término geométrico es una propiedad geométrica de un objeto y que no toma en cuenta la escala, rotación y traslación. Es una descripción geométrica de la parte del espacio ocupado por el objeto, según lo determinado por su límite exterior y sin tener en cuenta su ubicación y orientación en el espacio. En términos biológicos puede ser un conjunto de rasgos característicos de un organismo que determinan su adaptación al medio en que vive.

Gradilla de deformación. La gradilla o placa de deformación muestra los cambios en la forma. La placa puede deformarse de dos maneras: utilizando una grilla en su superficie y expandiéndose o contrayéndose, o cualquier otro resultado en el que las líneas de la grilla mantengan su paralelismo, estamos en presencia de deformación uniforme, mientras que, si la deformación ocurre en zonas localizadas de la forma en estudio, las líneas pierden su paralelismo, lo que se denomina deformación no uniforme. Las formas biológicas normalmente presentan ambos tipos de deformación. Los números que describen los cambios morfológicos corresponden a los valores principales de la matriz de energía de torsión.

Género politípico. Se refiere a un género con varias especies.

Isótopo. Átomos de un mismo elemento que tiene igual número atómico (protones) en el núcleo con diferente masa atómica (neutrones).

Isótopos estables. Isótopo que no es radioactivo, que no experimenta de forma espontánea decaimiento radiactivo. Un elemento químico tiene uno o varios isótopos, de los cuales todos, algunos, o ninguno, pueden ser isótopos estables.

$\delta^{13}\text{C}$. Relación isotópica de $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ expresada en partes por mil sobre un estándar (Peer Dee Belemnite).

$\delta^{15}\text{N}$. Relación isotópica de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ expresadas en partes por mil sobre un estándar (Nitrógeno atmosférico)

Morfología. Rama de la biología que se ocupa del estudio y descripción de la forma, color y estructura de los seres vivos y de su evolución, con respecto a su apariencia externa y aspectos internos como huesos y órganos.

Morfometría. Análisis cuantitativo del tamaño y forma de órganos y otras partes del cuerpo. Se utiliza en organismos para la determinación de mutaciones, cambios en el proceso de desarrollo, covarianzas de los factores ambientales, estimación de parámetros genético-cuantitativos, cuantificación de carácter de significancia evolutiva y en la detección de cambios en el organismo, todos estos aspectos relacionado con la forma específicamente.

Morfometría por distancias lineales. Es una herramienta morfométrica que combina el empleo de medidas lineales entre puntos anatómicos con técnicas estadísticas uni y multivariadas para el análisis de las diferencias de tamaño y de forma.

Morfometría geométrica. Herramienta cuantitativa que se emplea en el análisis de la forma, donde se extrae toda la información geométrica que resulta de retirar los efectos de la talla, posición, escala y rotación de un objeto.

Población. Grupo de organismos de una misma especie que habitan en una zona geográfica específica en un tiempo determinado, que además tienen descendencia fértil.

Puntos homólogos. Son puntos anatómicos o geoméricamente iguales entre estructuras, los cuales se encuentran en todos los organismos a analizar. Tienen un origen ancestral común.

Taxonomía. Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de clasificación, generalmente científica, para la ordenación jerárquica y sistemática de los grupos de animales y plantas, desde las más genéricas, como reino o clase, a las más específicas, como género y especie.

Talla. Dimensión o tamaño de un organismo. Puede atender a distintas características: peso, longitud, envergadura, etc.

Variable canónica. Es aquella que contiene las cargas canónicas que reflejan la varianza que la variable observada comparte con el valor teórico canónico. Se extrae de una matriz tantas funciones como variables. Cada función describe una cantidad menor de variación, por ejemplo, la primera función describirá la mayor parte de ella, después se computará otra función en la varianza residual, y así sucesivamente.

Varianza. Es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a la media de una distribución estadística.

RESUMEN

La presencia de dos ecotipos (costero y oceánico) del delfín nariz de botella puede estar relacionado con las características del medio ambiente. Estos ecotipos han sido descritos con base en estudios de morfología corporal, genética, comportamiento y alimentación en el Pacífico Mexicano. Sin embargo, no existen registros publicados sobre las diferencias en la morfología craneal. El objetivo del presente estudio fue revisar las características morfométricas del cráneo de *Tursiops truncatus* del Pacífico Noroeste de México, para detectar variaciones intraespecíficas usando morfometría lineal y geométrica. Se utilizaron 47 cráneos provenientes de distintas colecciones científicas: Colección Osteológica del Laboratorio de Ecología de Pinnípedos “Burney J. Le Boeuf”, del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) ($n=20$), Museo de la Ballena de La Paz, Baja California Sur, México ($n=10$), Museo de Historia Natural de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, México (UABCS) ($n=11$) y Colección de cráneos de cetáceos de la Estación Biológica de Pichilingue (UABCS) ($n=6$). Se identificaron 24 ejemplares costeros y 16 oceánicos a partir del análisis de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). Considerando 27 medidas lineales, el análisis de variables canónicas indicó diferencias significativas entre los delfines costeros y oceánicos (lambda de Wilks=0.06, $p=0.03$). La diferenciación entre los ecotipos estuvo determinada principalmente por las siguientes variables: conteo dentario maxilar, longitud de las narinas internas, longitud de los pterigoides, longitud de la fila dentaria maxilar, ancho de las narinas internas, longitud del ramus, longitud del rostro y la longitud de las narinas externas. Considerando 141 fotografías obtenidas de tres planos (dorsal, ventral y lateral) del cráneo, el análisis de morfometría geométrica mediante el empleo de variables canónicas también indicó diferencias significativas entre los delfines costeros y oceánicos (lambda de Wilks= 0.22, $p=0.03$ para la vista dorsal; lambda de Wilks= 0.28, $p=0.04$, para la vista ventral; lambda de Wilks=0.17, $p=0.03$ para la vista lateral). Las regiones craneales que mostraron mayor variación fueron las siguientes: para la vista dorsal (punta anterior hacia la muesca maxilar, proceso antero-orbital, proceso post-orbital, borde inferior a lo largo de los huesos frontales, punto medio de la sutura del hueso nasal,

intersección del hueso frontal- sutura frontal-interparietal y borde posterior de la curvatura del hueso parietal), para la ventral (la punta del hueso preorbital, los extremos superiores del proceso zigomático, los extremos inferiores del proceso zigomático, los extremos de la fosa temporal y los bordes superior de las narinas internas) y para la lateral (proceso antero-orbital, proceso pre-orbital, proceso post-orbital, extremo inferior y superior de la fosa temporal, extremo inferior y superior del proceso zigomático, base del cóndilo occipital, extremo de la curvatura del cóndilo occipital, extremo superior del cóndilo occipital, extremo de la curvatura inferior y superior de la fosa temporal, extremo inferior del hueso frontal y la intersección hueso frontal- sutura frontal-interparietal). Estas diferencias craneales entre ambos ecotipos de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano muestran una asociación con el aparato alimentario y patrón de buceo, lo cual es definido por las áreas donde se distribuyen.

ABSTRACT

The presence of two ecotypes (coastal and oceanic) of the bottlenose dolphin may be related to the characteristics of the environment. These ecotypes have been described based on studies of body morphology, genetics, behavior and feeding in the Mexican Pacific. However, there are not researchs on differences in cranial morphology. The objective of the present study was to review the morphometric characteristics of the skull of *Tursiops truncatus* from the Pacific Northwest of Mexico, to detect intraspecific variations using lineal and geometric morphometry. We used 47 skulls from different scientific collections: Osteological Collection of the Pinnipeds Ecology Laboratory "Burney J. Le Boeuf", from Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) (n = 20), Museo de la Ballena de La Paz, Baja California Sur, Mexico (n = 10), Museo de Historia Natural de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, Mexico (UABCS) (n = 11) and Collection of cetacean skulls of the Pichilingue Biological Station (UABCS) (n = 6). We identified 24 coastal and 16 offshore bottlenose dolphins from the stable isotope analysis ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). Considering 27 lineal measures, the analysis of canonical variables indicated significant differences between the coastal and oceanic dolphins (Wilks lambda = 0.06, p = 0.03). The differentiation between the ecotypes was determined mainly by the following variables: maxillary dental count, length of the internal nares, length of the pterigoids, length of the maxillary dental row, width of the internal nares, length of the ramus, length of the face and the length of the external nostrils. Considering 141 photographs obtained from three planes (dorsal, ventral and lateral) of the skull, the analysis of geometric morphometry using canonical variables also indicated significant differences between the coastal and oceanic dolphins (Wilks lambda = 0.22, p = 0.03 for the dorsal view, lambda of Wilks = 0.28, p = 0.04, for the ventral view, lambda of Wilks = 0.17, p = 0.03 for the lateral view). The craneal regions that showed the greatest variation were the following: for the dorsal view (anterior tip towards the maxillary notch, antero-orbital process, post-orbital process, inferior border along the frontal bones, midpoint of the bone suture nasal, intersection of the frontal bone- frontal-interparietal suture and posterior edge of the curvature of the parietal bone), for the ventral (the tip of the preorbital bone, the

upper ends of the zygomatic process, the lower ends of the zygomatic process, the ends of the temporal fossa and the superior borders of the internal nostrils) and for the lateral (anterior-orbital process, pre-orbital process, post-orbital process, lower and upper end of the temporal fossa, lower and upper end of the zygomatic process, base of the occipital condyle, end of the curvature of the occipital condyle, upper end of the occipital condyle, end of the inferior and superior curvature of the temporal fossa, extreme or inferior of the frontal bone and the intersection of frontal bone- frontal-interparietal suture). These cranial differences between both ecotypes of *T. truncatus* from the Pacific Northwest Mexican show an association with the alimentary apparatus and diving pattern, which is defined by the areas where they are distributed.

1. INTRODUCCIÓN

El delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) (Montagu, 1821) presenta una distribución cosmopolita, desde el Mar Mediterráneo hasta los océanos Atlántico y Pacífico, a excepción de las zonas polares. Esta amplia distribución favorece su alto nivel de polimorfismo, por lo que en ocasiones se hace difícil su estudio taxonómico (Parés-Casanova & Bravi, 2014). *Tursiops* es un género politípico, ya que en el pasado fue dividido aproximadamente en 20 especies (Hershkovitz, 1966).

La taxonomía del delfín nariz de botella en el Pacífico Oriental Norte ha sido controvertida y ha tenido diferentes cambios en su nomenclatura: *Tursiops gillii* (Dall, 1873); *Tursiops nuuanu* (Andrews, 1911) y *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821). Actualmente la única especie reconocida para esta región del Pacífico es *Tursiops truncatus* (Walker, 1981; Hersh & Odell, 1990; Mead & Potter, 1995; Gao *et al.*, 1995). Otras dos especies de este género, *Tursiops aduncus* (Ehrenberg, 1832) (Hemprich & Ehrenberg, 1832) y *Tursiops australis* (Charlton-Robb, 2011), son reconocidas para el Pacífico Occidental y el Océano Índico. Ambas especies han sido determinadas mediante estudios moleculares (Ross & Cockcroft, 1990; Wilson & Reeder, 1993; LeDuc *et al.*, 1999, Wang *et al.*, 2000, Charlton *et al.*, 2011) y difieren en coloración, dimensión del cuerpo y estructura craneal (Walker, 1981; Ross & Cockcroft, 1990).

En el delfín nariz de botella se reconoce la existencia de dos ecotipos: uno costero y otro oceánico (Marcín, 1997; Segura *et al.*; 2006; Díaz-Gamboa *et al.*, 2017). El ecotipo puede ser definido como un grupo de organismos que puede diferenciarse genéticamente y en términos morfológicos y fisiológicos, restringido a un espacio geográfico específico, a un ambiente particular o a un ecosistema definido, con límites de tolerancia particulares a los factores ambientales locales. La importancia radica en que las especies no son estáticas, ya que deben adaptarse al medio en el que viven, e incluso algunas llegan a modificarlo de tal modo que resultan más resistentes a los efectos de los parámetros ambientales tales como: humedad, temperatura y precipitación. Las especies que habitan grandes

extensiones geográficas desarrollan ecotipos o subpoblaciones localmente adaptadas que presentan límites de tolerancia a las condiciones de cada lugar (Turris, 1946; González & Rojas, 2014).

Los dos ecotipos del delfín nariz de botella presentan diferencias en cuanto al tamaño corporal, tamaño y forma de las aletas dorsales y pectorales, forma y tamaño del cráneo, patrón de coloración, tipos de parásitos y valores hematológicos. Estas diferencias aparentemente están relacionadas con las características del medio en el que habitan (Walker, 1981, Mead & Potter, 1995; Hoelzel *et al.*, 1998; Sellas *et al.*, 2005; Perrin *et al.*, 2011).

La determinación del ecotipo a partir de individuos muertos varados puede ser inferida a través del análisis de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y el $\delta^{15}\text{N}$). Esta inferencia es soportada de la siguiente manera: el delfín nariz de botella ha sido catalogado como un depredador oportunista (Norris & Prescott, 1961; Shane *et al.*, 1986; Barros, 1990), por ello la valoración de la señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ y el $\delta^{15}\text{N}$ proporcionan información respectivamente acerca del área de alimentación y del tipo de presa que consume. Estudios realizados sobre ecología trófica de estos ecotipos han indicado que la distribución de los delfines está relacionada con el movimiento y distribución de sus presas. El ecotipo de hábitos oceánicos se mueven grandes distancias en busca del alimento mientras que el ecotipo de hábitos costeros pueden capturar a sus presas en áreas cercanas a las costas donde hay mayor disponibilidad en un tiempo prolongado (Wells, 1980; Evans, 1987; Ross & Cockcroft, 1990; Barros, 1990).

La cuantificación de las diferencias entre los ecotipos de *Tusiops truncatus*, puede ser obtenida a partir de análisis de la morfometría craneal. Éste permite observar caracteres específicos y adaptativos y detectar variaciones intra e inter-específicas (González, 2002). Los cetáceos han adquirido marcadas modificaciones en huesos y en el cráneo que los distingue de los otros mamíferos marinos. La proyección alargada del esplacnocráneo, la compresión del neurocráneo y la ubicación de los orificios nasales en el vértice craneal, tipifican a los cetáceos como

orden (Barnes, 1990). El estudio de la talla y forma del cráneo permite generar información cuantitativa y cualitativa crucial para determinar la presencia y el grado de dimorfismo sexual, variación ontogenética e individual, así como la variación geográfica dentro y diferencias entre poblaciones (Perrin, 1975).

En el presente estudio se definieron los ecotipos costeros y oceánicos del delfín nariz de botella del Pacífico noroeste mexicano a partir del análisis de isotopos estables y se analizaron sus diferencias craneales empleando herramientas morfométricas basadas en distancias lineales y configuraciones geométricas.

1.1 Antecedentes

Los estudios sobre los ecotipos (costero y oceánico) del delfín nariz de botella han sido enfocados a aspectos sobre su comportamiento, ecología trófica (Díaz Gamboa, 2009; Díaz Gamboa *et al.*, 2017), genética (Sellas *et al.*, 2005; Segura *et al.*, 2006, Segura *et al.*, 2018) parasitología, hematología (Duffield *et al.*, 1983; Hersh & Duffield, 1990) y morfología (corporal y craneal) (Perrin *et al.*, 2011).

La descripción morfológica del cráneo del delfín nariz de botella del Mar Adriático, fue determinada con base en el dimorfismo de sus poblaciones, en las características distintivas craneales para cada una de éstas, y en las diferencias entre especies de *Tursiops* (*Tursiops truncatus*, *Tursiops aduncus* y *Tursiops australis*). Duras *et al.* (2014), estimaron que los ejemplares machos de *Tursiops truncatus* eran significativamente más grandes que las hembras considerando la presencia de una caja craneana más ancha hacia la región orbital y dientes más largos. Al comparar los cráneos con las otras especies de *Tursiops*, estos autores encontraron que *Tursiops aduncus* presenta una longitud cóndilo basal (longitud a lo largo del cráneo) menor y mayor número de dientes que *Tursiops truncatus*, con diferencias marcadas en casi todas las distancias lineales con respecto a *Tursiops australis* sp. exceptuando el ancho de la base del rostro. Por otra parte, Charlton *et al.*, 2011, refirió que *Tursiops australis* con respecto a *Tursiops truncatus* presenta

un cráneo y rostro más corto, y un mayor número de dientes. Es importante señalar que estos autores pudieron confirmar la regla de Bergmann (Bergmann, 1847), la cual se refiere a que los organismos que se distribuyen en áreas de temperaturas más frías presentan longitudes mayores (lo que es proporcional con el tamaño del cráneo) que aquellos que se distribuyen en zonas templadas o cálidas.

Estudios basados en análisis de morfometría geométrica de cráneos de *Tursiops truncatus*, *Delphinus delphis* y *Stenella coeruleoalba* indicaron diferencias interespecíficas. *Tursiops truncatus*, presenta una marcada separación evolutiva de *D. delphis* y *S. coeruleoalba*. Estos resultados coinciden con resultados de estudios genéticos realizados previamente (Amaral *et al.*, 2009; Amaral *et al.*, 2012)

Turner & Worthy (2003) realizaron un estudio empleando distancias lineales en cráneos de individuos adultos y juveniles de *Tursiops truncatus* procedentes del Florida, Texas y Golfo de México. Estos autores determinaron que existen diferencias craneales entre juveniles y adultos; excepto en el ancho de las narinas internas, la proyección de las premaxilas sobre las maxilas y la distancia de los huesos nasales hacia la cresta supraoccipital. Los adultos procedentes de Texas presentaron dimorfismo sexual como resultado de las diferencias en el ancho de la base del rostro, ancho en la mitad del rostro, proyección de las maxilas, longitud del proceso anterorbital (hueso del lacrimal) y ancho de las narinas internas. No se encontró dimorfismo sexual en los cráneos procedentes de Florida. Se encontraron diferencias significativas entre las hembras de ambas regiones (Florida y Texas) con respecto a las siguientes medidas: ancho de las premaxilas en la mitad del rostro, ancho de las narinas internas, ancho de la fosa temporal, ancho de la fosa post-temporal, proyección de las maxilas, distancia de los nasales y la cresta supraoccipital, longitud del proceso anterorbital (hueso del lacrimal) y ancho del cóndilo mandibular. Los autores concluyeron que las diferencias craneales de estos delfines del Golfo de México son consecuencia de la ontogenia, el sexo y la ubicación geográfica de las poblaciones.

Van Waerebeek *et al.* (2017), realizaron una revisión sinóptica de *T. truncatus* empleando las características craneales de los ecotipos costero y oceánico procedentes de aguas de Colombia, Ecuador, Perú y Chile con el fin de dilucidar la incertidumbre filogenética de ambas poblaciones. Estos autores indican que estos dos ecotipos se pueden distinguir a partir de siete caracteres craneales no métricos (separación de los cóndilos occipitales, el desarrollo de los huesos pterigoideos, la porción externa del hueso periótico de las bulas timpánicas) y métricos (ancho del diente, longitud del proceso anteorbital, y el ancho máximo del palatino). Estos autores identificaron dos grupos del ecotipo oceánico y tres del ecotipo costero: Colombia-Ecuador, Perú-Chile (ecotipo oceánico) y Ecuador, Perú y Chile (ecotipo costero).

Walker (1981) fue el primero en estimar las diferencias craneológicas entre los ecotipos del delfín nariz de botella para el Pacífico Mexicano; definió como ecotipo oceánico a los ejemplares capturados *in situ* y como costero a todos los varados en las costas de California y Golfo de California. Las diferencias encontradas entre ambos ecotipos fueron asociadas al ancho de los dientes, al tamaño de los cóndilos mandibulares y forma del rostro (más estrecho y delgado en el ecotipo oceánico que en costero). Estas evidencias demuestran diferencias entre los ejemplares costeros de California y Golfo de California, caso contrario en los ejemplares oceánicos, los cuales exhiben características craneales similares. Otro aspecto que resalta en este estudio es que los ejemplares de hábitos oceánicos presentaron un tamaño más grande que el de hábitos costeros a partir de la longitud del cráneo y el fusionamiento de los huesos premaxilares.

En el Pacífico norte, particularmente en aguas de California, Perrin *et al.* (2011) estudiaron dos poblaciones de *T. truncatus*. Para determinar el ecotipo al que pertenecía cada individuo, consideraron la distancia estimada entre la línea de costa y la ubicación de la captura: ecotipo costero < 1km y ecotipo oceánico >1 km. Los resultados de este estudio indicaron la presencia de dimorfismo sexual y diferencias entre las poblaciones costeras y oceánicas. Por ejemplo, las costeras presentaron dientes más largos y anchos, menor número de dientes en la fila dentaria, rostro

más robusto, mayor longitud del cóndilo mandibular y mayor longitud de la fosa temporal. Estas diferencias fueron asociadas al tipo de presa que consumen las poblaciones costeras, la cuales podrían ser de mayor tamaño y presentar consistencia más dura con respecto a las consumidas por la población oceánica, cuya dieta consiste en presas más pequeñas, principalmente cefalópodos (Díaz-Gamboa, 2009; Perrin *et al.*, 2011).

Actualmente, el conocimiento de las características craneales, considerando las variaciones entre los dos ecotipos de *T. truncatus* en el noroeste mexicano, es escaso (Walker, 1981). Los análisis genéticos de estos dos ecotipos para esta área geográfica han sugerido cierto aislamiento reproductivo y una menor diversidad genética para el ecotipo oceánico (Lowther *et al.*, 2005; Rojo Rojo, 2005; Segura *et al.*, 2006; Segura *et al.*, 2018).

El presente estudio pretende contribuir al conocimiento de la morfometría craneal de esta especie para tener una mejor comprensión de la diversidad biológica y el reconocimiento de stocks fenotípicos para Pacífico mexicano.

1.2 Justificación

El delfín nariz de botella presenta altos niveles de polimorfismos fenotípicos. Los ecotipos descritos han sido identificados con base en estudios morfológicos, genéticos, de comportamiento y hábitat, incluyendo tipos de presas consumidas (Marcín, 1997; Segura *et al.*; 2006; Díaz-Gamboa *et al.*, 2017). Actualmente, el conocimiento de las características craneales en *T. truncatus* en el Pacífico noroeste mexicano es escasa. La importancia del análisis de la forma del cráneo radica en entender cómo ciertos rasgos fenotípicos pueden estar relacionados con los factores bióticos y abióticos recientes e históricos que han promovido la existencia de ecotipos o poblaciones dentro de una misma especie (Vía, 2002). La revisión detallada de las características morfométricas del cráneo de *T. truncatus* del Pacífico noroeste de mexicano, aporta información esencial para una mejor comprensión de las variaciones intraespecíficas asociadas a la existencia de dos

ecotipos (costero y oceánico) de delfines nariz de botella. Esta especie exhibe una alta variación morfológica en todo su rango de distribución (Jefferson *et al.*, 1993, Rice 1998) y actualmente, la información disponible está enfocada principalmente a estudios de dimorfismo sexual, siendo escasos los trabajos dirigidos a detectar caracteres craneales que distingan los ecotipos (costero y oceánico).

1.3 Hipótesis

Los ecotipos costeros y oceánicos del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) de Pacífico noroeste mexicano presentan diferencias en la talla y la forma del cráneo.

1.4 Objetivos

General:

Estimar las diferencias morfométricas de los cráneos de los ecotipos costero y oceánico de delfines nariz de botella (*Tursiops truncatus*) del Pacífico noroeste mexicano.

Específicos:

1. Definir hábitat costero y oceánico de los delfines nariz de botella a través del isótopo estable $\delta^{13}\text{C}$.
2. Comparar y cuantificar las variaciones craneales de cada ecotipo de delfines nariz de botella a través de distancias.
3. Comparar y cuantificar las variaciones craneales de cada ecotipo de los delfines nariz de botella a través de morfometría geométrica.

1. ÁREA DE ESTUDIO

La línea de costa del Pacífico mexicano tiene aproximadamente 7,146 km de longitud, que, en conjunto con las 200 millas náuticas de la Zona Económica Exclusiva, abarca más de 2.3 millones de km² de extensión marina. Se divide en tres regiones: Pacífico Noroeste (Costa occidental de la Península de Baja California), Golfo de California (porción interna de la Península hasta Cabo San Lucas y la porción continental de los estados de Sonora, Sinaloa, Nayarit y norte de Jalisco) y Pacífico Tropical (desde Cabo Corrientes, Jalisco, hasta Chiapas) (Álvarez-Borrego, 2002). El fondo marino es muy variable. La máxima profundidad llega a 6,000 m en la Fosa de Tehuantepec frente a las Costas de Chiapas y Oaxaca. Más del 80% de sus aguas sobrepasan los 2,000 metros (Trasviña *et al.*, 1999).

2. METODOLOGÍA

3.1 Obtención de cráneos

Se utilizaron 47 cráneos de *T. truncatus* provenientes de distintas colecciones científicas: Colección Osteológica del Laboratorio de Ecología de Pinnípedos "Burney J. Le Boeuf", del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) ($n=20$), Museo de la Ballena de La Paz, B.C.S. ($n=10$), Museo de Historia Natural de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, México (UABCS) ($n=11$), Colección de cráneos de cetáceos de la Estación Biológica de Pichilingue (UABCS) ($n=6$). De éstos, sólo 17 cráneos contaban con información sobre su procedencia: Norte del Golfo de California, Bahía de la Paz, Bahía Magdalena y La Tunas (Figura 1).

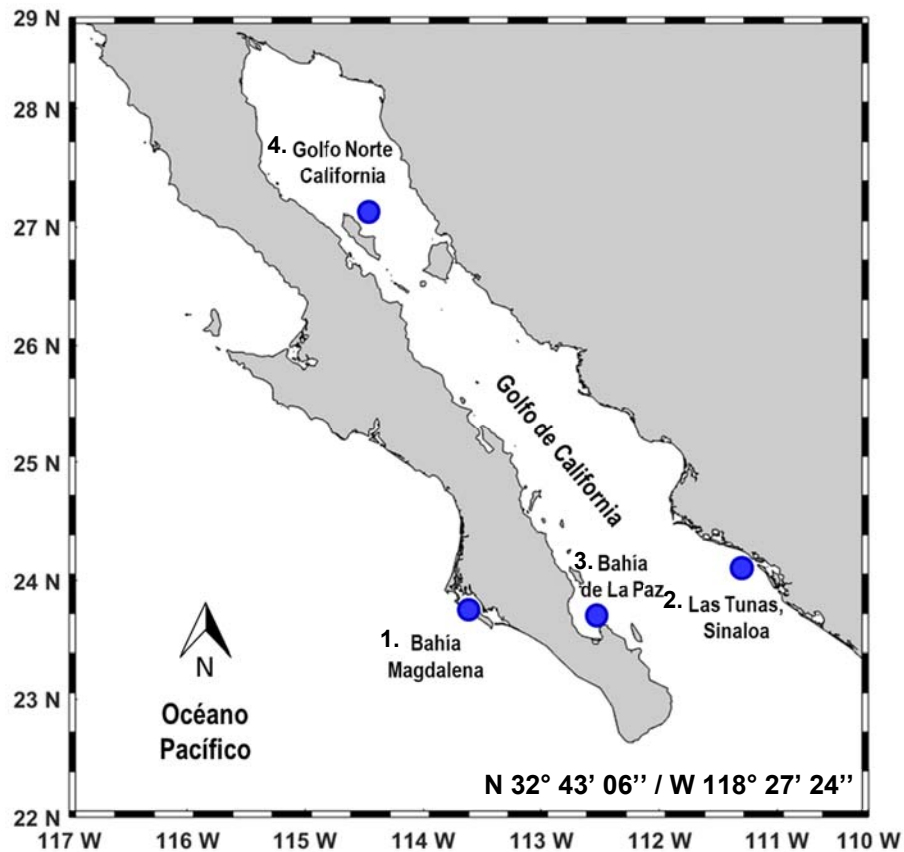


Figura 1. Zonas de procedencia de 17 cráneos de *Tursiops truncatus*. Bahía Magdalena, Las Tunas, Bahía de La Paz y Norte del Golfo de California.

3.2 Asignación de ecotipos

La asignación de los ecotipos se realizó con base en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ debido a que proporciona información acerca de las áreas de alimentación: hábitats costeros u oceánicos (Auriolés *et al.*, 2013; Díaz-Gamboa *et al.*, 2017, Segura *et al.*, 2018). Se analizaron las señales isotópicas de 46 cráneos. El procedimiento para la obtención de las señales isotópicas consistió en tomar un fragmento del hueso derecho del proceso zigomático de cada cráneo. Posteriormente, se raspó el fragmento del hueso, para extraer polvillo, el cual fue colocado en viales debidamente rotulados. La muestra extraída se puso en placas de Petri para la remoción del tejido orgánico con HCl al 0.5% hasta dejarse secar. Las muestras fueron colocadas en cápsulas de estaño, para determinar su peso, el cual osciló

entre 0.8 y 1.2 mg. Finalmente se colocaron en los viales y fueron enviadas para su lectura al Center for Stable Isotopes of New México University (CSI), para su lectura.

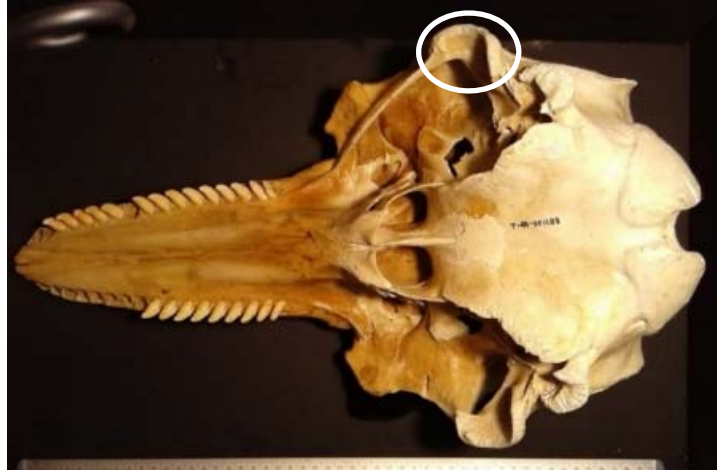


Figura 2. Hueso del proceso zigomático del cráneo de *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano.

Debido a que los cráneos tienen procedencia geográfica distinta, se evaluó si ésta tenía influencia sobre los valores isotópicos obtenidos. Esta evaluación fue basada en los 17 cráneos para los cuales se tenía la información del sitio de varamiento. Una vez determinado que no había diferencias del $\delta^{13}\text{C}$ entre las áreas de procedencia a partir de un ANOVA, se organizaron los datos en dos grupos, uno costero y otro oceánico, tomando como referencia los rangos de valores para cada ecotipo reportados para el Golfo de California por Díaz-Gamboa (2009), Díaz.Gamboa *et al.* (2017) y Segura *et al.* (2018). Finalmente se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), para explorar la principal fuente de variación a partir de los valores del $\delta^{13}\text{C}$ y del $\delta^{15}\text{N}$. El ACP fue basado en la información obtenida de 40 de los 46 cráneos, debido a que en tres no se pudo detectar la señal isotópica y en tres la señal estuvo extremadamente empobrecida de tal manera que los valores pudieron haber estado sesgados. Sin embargo, estos últimos tres cráneos fueron considerados como ecotipos oceánicos y tomados en cuenta para los análisis morfométricos.

3.3 Análisis morfométrico

Se tomaron en cuenta para ambos análisis morfométricos (distancias lineales y morfometría geométrica) tres vistas del cráneo: dorsal, ventral y lateral (Figura 3,4 y 5)

3.3.1 Distancias lineales

Se estimaron 26 medidas lineales por triplicado partir de 32 de los 43 cráneos. Posteriormente, se obtuvo la media de cada medida. Los 11 cráneos restantes no fueron considerados para este análisis debido a que presentaron daños que impidieron registrar sus medidas. Las distancias fueron basadas en el estudio de Perrin *et al.* (2011) para delfines nariz de botella costeros y oceánicos en aguas de California. Para tomar las medidas, se utilizaron reglas de 30 y 50 cm, así como un vernier marca Truper de 0- 150 mm.

Aunque el conteo dentario (CDMX) es variable merística, se incluyó en el presente estudio para estimar: la media (X), desviación estándar (S) y rango mínimo y máximo para cada ecotipo, ya que es considerado un carácter distintivo para separar grupo (Walker, 1981; Perrin *et al.*, 2011). Se ubicó cada diente a lo largo de la fila dentaria y cuando faltaba alguno, se tomaba en cuenta el alvéolo. La cuenta dentaria se realizó en el lado izquierdo donde el recuento dentario es mayor para esta especie (Figura 4).

Se realizó un análisis multivariado empleando Análisis de componentes principales (ACP), con 26 distancias lineales con la matriz de varianza-covarianza, para detectar grupos sin una organización *a priori* y definir las variables que mejor explicaban la varianza de los datos, así como las que mejor se correlacionaban. Posteriormente, se llevó a cabo un Análisis de variables canónicas con 27 variables, con la intención de cuantificar la diferenciación entre los dos ecotipos integrados de acuerdo con los valores del $\delta^{13}C$. En este análisis se incluyó el conteo dentario maxilar. La significancia estadística entre estos grupos se basó en la Lambda de Wilks (λ) (< 1 , mayor diferencia existe entre los grupos) (Cuadras, 2007) y en el valor de significancia $p < 0.05$, obtenidos en el software Statistica 8.0 (StatSoft Inc., USA).

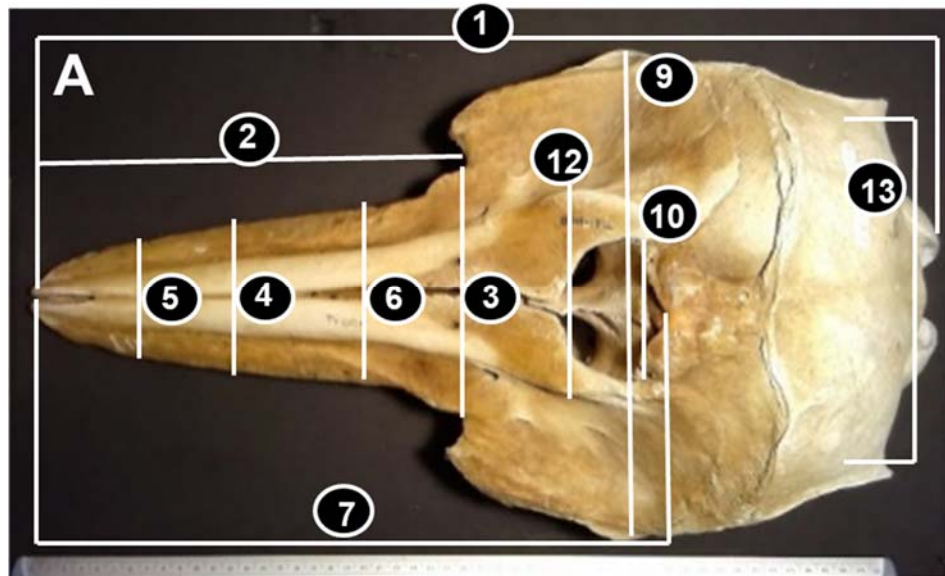


Figura 3. Distancias lineales en la vista dorsal del cráneo de delfines nariz de botella del Pacífico noroeste mexicano. 1. Longitud cóndilo basal (LCB), 2. Longitud rostro (LR), 3. Ancho base del rostro ABR), 4. Ancho base del rostro 1/2 (ABR 1/2), 5. Ancho base del rostro 3/4 (ABR 3/4), 6. Ancho premaxilas 1/2 (APMAX 1/2), 7. Longitud narinas externas (LRNEX), 9. Ancho postorbital (APOSTO), 10. Ancho narinas externas (ANEX), 12. Ancho premaxilas (PREMX) y 13. Ancho parietales (PARI).

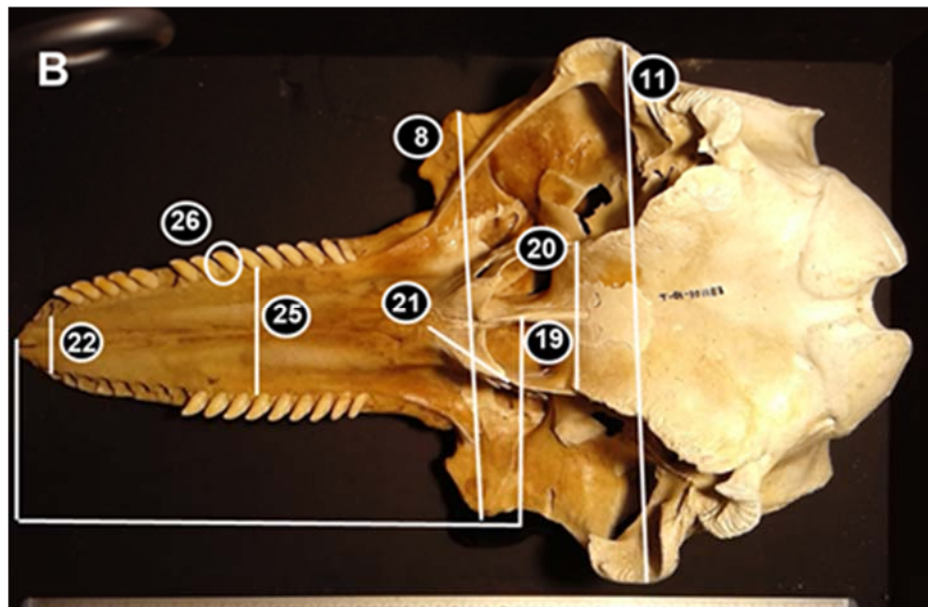


Figura 4. Distancias lineales en la vista ventral del cráneo de delfines nariz de botella del Pacífico noroeste mexicano. 8. Ancho preorbital (PREO), 11. Ancho zigomático (AZ), 19. Longitud narinas internas (LRNI), 20. Ancho narinas internas (ARI), 21. Longitud pterigoides (LPTE), 22. Ancho mínimo palatino (AMPAL), 25. Ancho del *ramus* (ARA), 26. Diámetro del diente mitad de la fila dentaria (DDF).

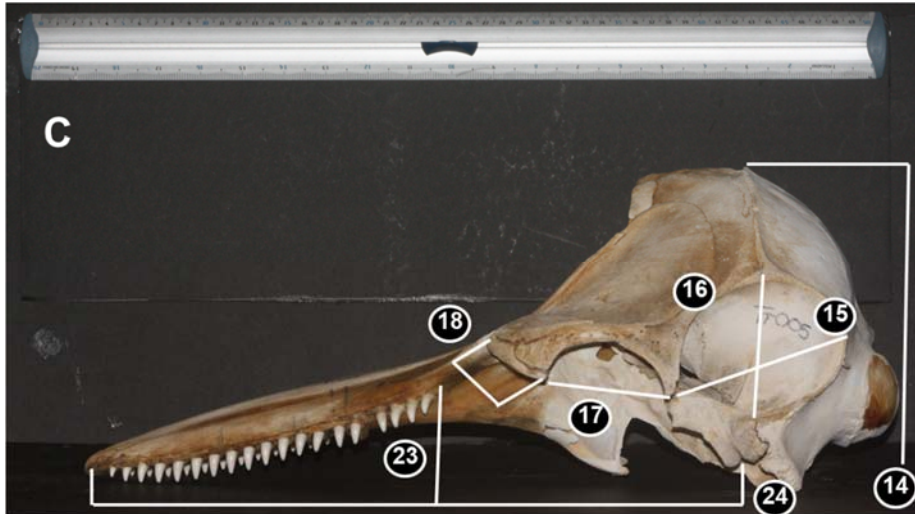


Figura 5. Distancias lineales en la vista lateral del cráneo de delfines nariz de botella del Pacífico noroeste mexicano. **14.** Altura caja craneana (AC), **15.** Longitud fosa temporal (LFT), **16.** Ancho fosa temporal (AFT), **17.** Longitud orbital (LO), **18.** Longitud anterorbital (LAO), **23.** Longitud fila dentaria maxilar (LFDMAX) y **24.** Longitud del ramus (LRA).

3.1.2 Morfometría geométrica

Para este análisis, se tomaron fotografías de tres planos del cráneo. Para las vistas dorsal y ventral se utilizaron 42 cráneos (24 costeros y 18 oceánicos) mientras que para la vista lateral 43 (24 costeros y 19 oceánicos). No fue posible obtener datos de la vista dorsal y ventral de un cráneo debido que se encontró dañado.

La captura fotográfica de las vistas dorsal y ventral se realizó mediante una cámara Ipevo® HD y la vista lateral con una Cannon EOS Réflex digital con trípode, con el fin de mantener todas las tomas en la misma posición. El registro de marcas o puntos homólogos (landmarks), se llevó cabo empleando el programa TPSDig (Rohlf, 2004).

Los puntos homólogos representan sitios anatómicos que tienen un origen ancestral común. El número de marcas registrados fue el siguiente: Vista dorsal (15 puntos) (Figura 6), Vista ventral (13 puntos) (Figura 7) y Vista lateral (15 puntos) (Figura 8).

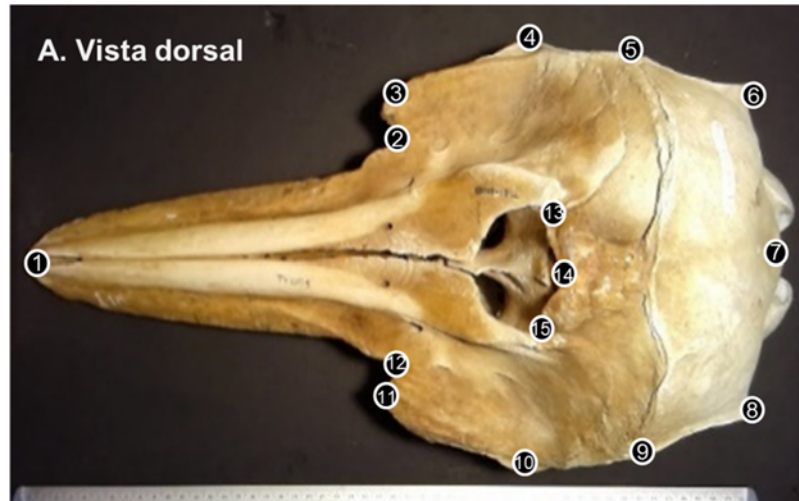


Figura 6. Vista dorsal del cráneo de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano con la ubicación de 15 puntos homólogos: **1**. Punta del rostro. **2 y 12**. Punta anterior hacia la muesca maxilar. **3 y 11**. Proceso antero-orbital. **4 y 10**. Proceso post-orbital. **5 y 9**. Intersección hueso frontal- sutura frontal-interparietal. **6 y 8**. Puntos hacia xtremo posterior de la curvatura del hueso parietal. **7**. Punto hacia el extremo posterior del borde del hueso supraoccipital. **13 y 15**. Bordes inferiores a lo largo de los huesos frontales. **14**. Punto medio de la sutura del hueso nasal.

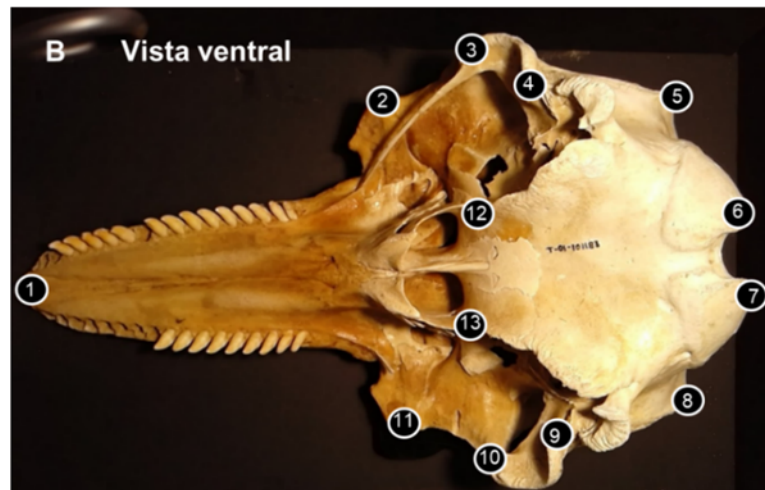


Figura 7. Vista ventral del cráneo de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano con la ubicación de 13 puntos homólogos: **1**. Punta del rostro. **2 y 11**. Puntos hacia la punta del hueso preorbital. **3 y 10**. Puntos hacia el extremo superior del proceso del zigomático. **4 y 9**. Puntos hacia el extremo inferior del proceso del zigomático. **5 y 8**. Puntos extremos de la fosa temporal. **6 y 7**. Puntos hacia el extremo lateral del cóndilo occipital. **12 y 13**. Puntos hacia los bordes superiores de las narinas interna.

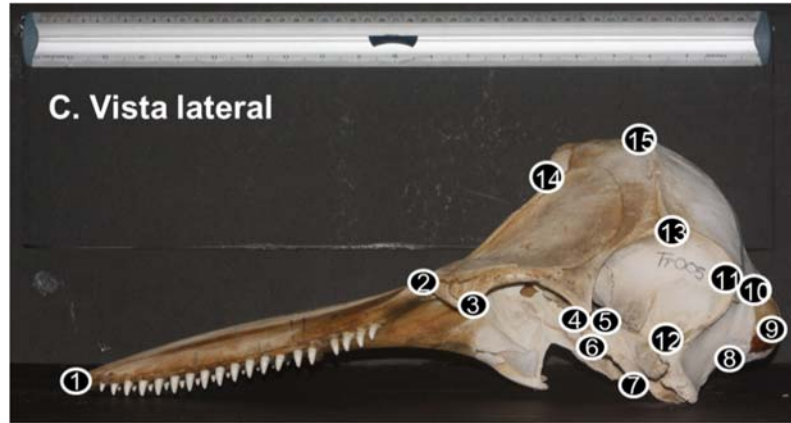


Figura 8. Vista ventral del cráneo de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano con la ubicación de 15 puntos homólogos: **1.** Punta del rostro. **2.** Proceso antero-orbital. **3.** Proceso pre-orbital. **4.** Proceso post-orbital. **5.** Punto hacia el extremo inferior de la fosa temporal. **6.** Punto hacia el extremo superior del proceso zigomático. **7.** Punto hacia el extremo inferior del proceso zigomático. **8.** Punto hacia la base del cóndilo occipital. **9.** Punto hacia el extremo de la curvatura del cóndilo occipital. **10.** Punto hacia el extremo superior del cóndilo occipital. **11.** Punto hacia el extremo distal de la fosa temporal. **12.** Punto hacia el extremo de la curvatura inferior de la fosa temporal. **13.** Punto hacia el extremo de la curvatura superior de la fosa temporal. **14.** Punto hacia el extremo inferior del hueso frontal. **15.** Intersección hueso frontal-sutura frontal-interparietal.

Una vez ubicados los puntos homólogos, las coordenadas (X, Y) fueron obtenidas a partir de la digitalización de todas las marcas, las cuales fueron transformadas a nuevas coordenadas (X, Y) mediante el método de superposición de Procrustes Generalizado (Dryden & Mardia, 1998). Estas coordenadas definen una estructura en el espacio multidimensional donde es removida la variación en tamaño, posición y orientación. De esta manera las diferencias remanentes corresponderán a variaciones de la forma (Klingenberg *et al.*, 2010). El ajuste Procrustes fue llevado a cabo con el programa CoorGen8Win (Sheets, 2014).

Las variaciones morfométricas fueron exploradas mediante un análisis de componentes principales (ACP) con la intención detectar un patrón de diferenciación entre los individuos sin distinguir *a priori* los grupos. Posteriormente se realizó un análisis de variables canónicas (AVC), con el fin de encontrar el conjunto de ejes (o combinación lineal de variables) que maximizaron la varianza entre dos o más grupos. Las diferencias estadísticas de los grupos fueron

comparadas mediante el valor de Lambda de Wilks (λ). Estos análisis fueron realizados en los programas PCA8Win y CVA8Win (Sheets, 2014) y MorphoJ 1.06d (Klingenberg, 2011), en los cuales se utilizaron gradillas de deformación para representar gráficamente las deformaciones morfométricas generadas a partir de las variaciones entre los dos grupos de delfines nariz de botella.

Finalmente se estimaron las distancias de Mahalanobis y se generó una matriz de asignación correcta para los ecotipos costero y oceánico. La utilidad de las distancias de Mahalanobis radica en la determinación de las similitudes entre dos variables aleatorias multidimensionales tomando en cuenta la correlación entre ellas. Se basa tanto en la media como en la varianza de las variables predictoras, utilizando la covarianza entre las variables (Portillo & Plata, 2008).

4. RESULTADOS

4.1 Asignación del ecotipo por Isótopos estables

Los resultados obtenidos de las razones isotópicas de 17 ejemplares de *T. truncatus* sugieren que no hay diferencias ($F= 2.38$, $p= 0.13$) de las mismas, entre las áreas de varamientos (Bahía Magdalena, Sinaloa, Bahía de La Paz, Norte del Golfo de California) (Figura 9). Considerando lo anterior, se asignaron los ecotipos con base en los valores del $\delta^{13}\text{C}$ para costero (-14.61‰ a -13.84‰) y para oceánico (-15.8‰ a -15.3‰) reportados por Diaz-Gamboa (2009), Auriolles *et al.* (2013) y Díaz-Gamboa *et al.*, (2017) y con base en el trabajo de Segura *et al.*, 2018, para oceánicos $> -15\text{‰}$ y para costeros $< -15\text{‰}$. En el presente estudio se designaron los valores encontrados entre -15.1‰ y -10.9‰ para los costeros y entre -20.7‰ y -15.4‰ para oceánicos.

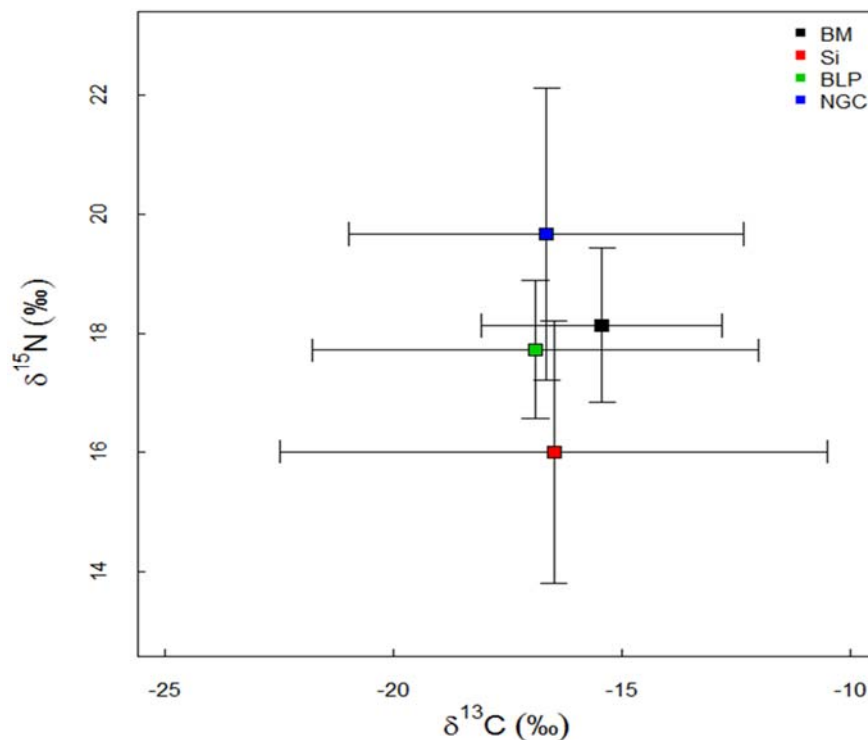


Figura 9. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de 17 ejemplares de acuerdo con las áreas de recepción de varamientos: Bahía Magdalena (BM), Sinaloa (Si), Bahía de La Paz (BLP) y Norte del Golfo de California (NGC) de los delfines nariz de botella (*T. truncatus*) del Pacífico noroeste mexicano.

Los individuos oceánicos presentaron señales de $\delta^{13}\text{C}$ más empobrecidas de -20.7‰ , que los costeros con señales de hasta -15.1‰ . Las elipses observadas en la Figura 10 y obtenidas en el paquete SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses in R) (Andrew *et al.*, 2011) demarcan el 95% de la variabilidad en cada grupo y los convex hull muestran el espacio isotópico, entendiéndose como la amplitud del nicho trófico de acuerdo con cada grupo. Los resultados obtenidos del análisis de componentes principales indicaron que el primer componente representó el 75.77 % y le segundo componente 24.44 % de la varianza, con un total de 99.9 de la varianza explica, donde la mayor variación fue explicada por los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 11). Es importante señalar que el $\delta^{15}\text{N}$, se tomó en cuenta en este análisis solo con el fin de confirmar la importancia de ambas variables isotópicas para explicar el peso de cada una con respecto a la varianza total.

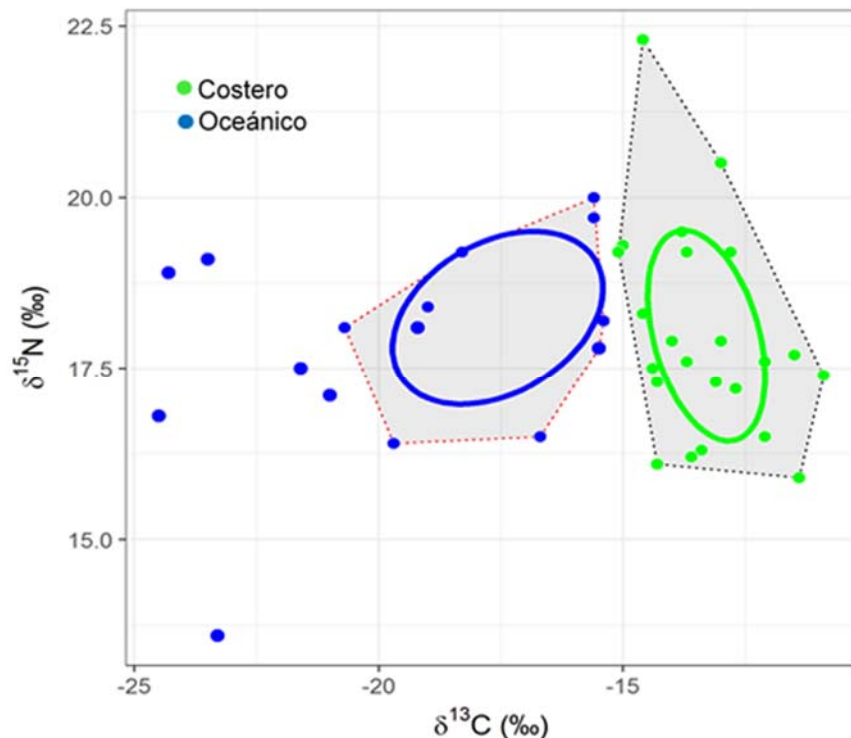


Figura 10. Comparación isotópica de los valores del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de *T. truncatus* de acuerdo con el ecotipo (costero y oceánico) del Pacífico noroeste mexicano. Se excluyeron para esta estimación seis valores isotópicos empobrecidos (< -20), fuera del rango estimado para el ecotipo oceánico.

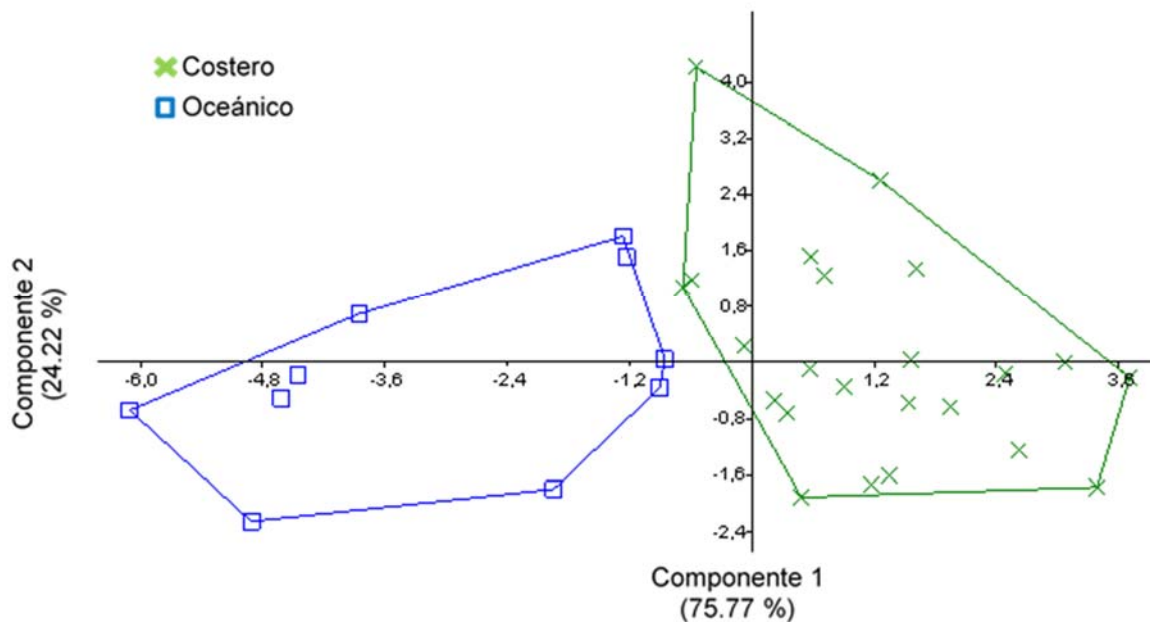


Figura 11. Análisis de Componentes Principales de los valores isotópicos del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los ecotipos costero y oceánico de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano.

Distancias lineales

El análisis de componentes principales de las 26 distancias lineales, indica una mayor variabilidad de los delfines del ecotipo costero con respecto a los oceánicos. Los dos primeros componentes principales explicaron el 79.13 %: el primer componente explicó el 68.82 % y el segundo el 10.31%. Es importante resaltar que no se observan dos grupos diferenciados, sino un traslape del ecotipo oceánico dentro del ecotipo costero (Figura 12).

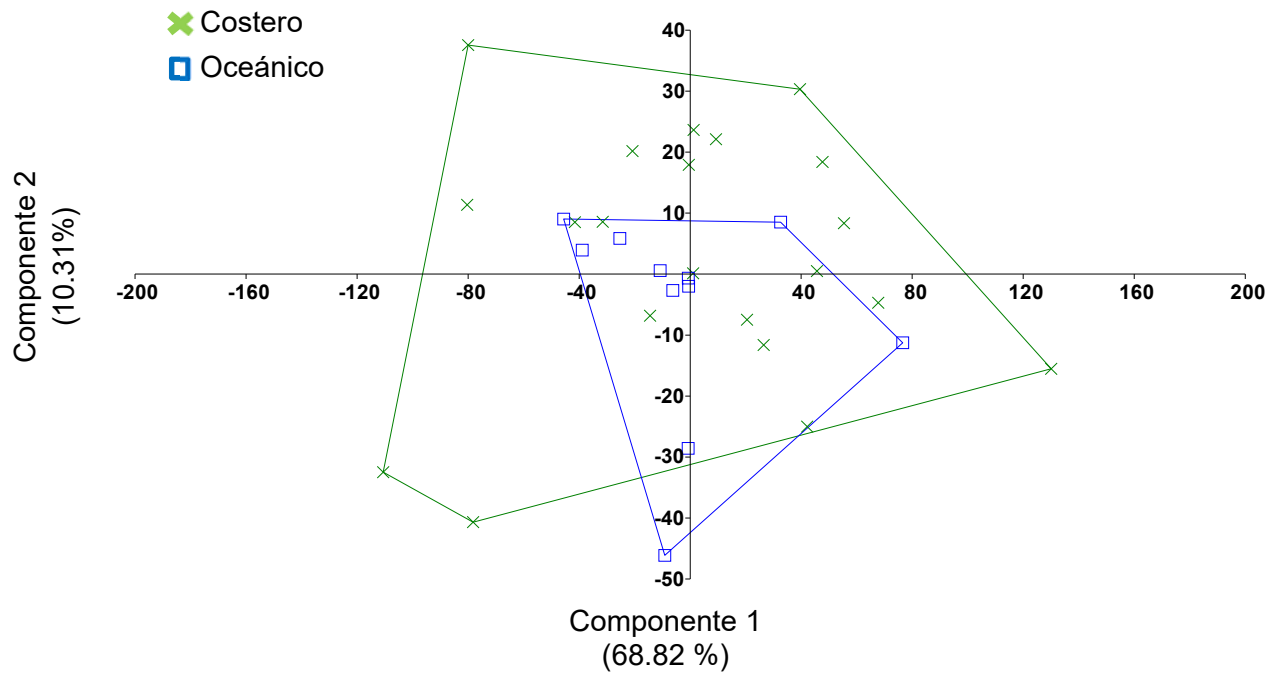


Figura 12. Análisis de componentes principales de las 26 distancias lineales de los ecotipos costero y oceánico de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano.

En la Tabla 1 se muestran los loadings y correlaciones obtenidas con base en la matriz de varianza-covarianza. Es importante destacar que la variabilidad del ecotipo costero es mayor con respecto al oceánico, en términos de intervalos con respecto a las distancias lineales.

Las estructuras óseas obtenidas en distancias lineales que mejor explican la variabilidad de los datos, de acuerdo con los loadings fueron: Componente 1 (longitud cóndilo basal (LCB), longitud del ramus (LRA), longitud de las narinas externas (LRNEX), longitud de las narinas internas (LRNI), longitud del rostro (LR), longitud de la fila dentaria maxilar (LFDMX) y ancho del post-orbital (APOSTO)) y para el componente 2 (ancho del proceso zigomático (AZ), ancho del post-orbital (APOSTO), ancho del preorbital (PREO), longitud de los pterigoides (LPTE), longitud de la fila dentaria maxilar (LFDMX), longitud de las narinas internas (LRNI) y altura de la caja craneana (AC)).

Posteriormente se muestran las distancias lineales con las correlaciones más altas en la matriz de varianza-covarianza, donde el criterio utilizado es aquellos valores próximos a 1 (mayor correlación de acuerdo a los componentes, por lo que se tomaron 7 valores reflejados en ambos componentes: Componente 1 (longitud cóndilo nasal (LCB), longitud del ramus (LRA), longitud de las narinas externas (LRNEX), longitud del rostro (LR), longitud de las narinas internas (LRNI), ancho de las premaxilas (PREMX) y longitud de la fila dentaria maxilar (LFDMX) y el Componente 2 (ancho del proceso zigomático, AZ), ancho de las narinas internas (ANI), ancho del post-orbital(APOSTO), ancho del preorbital(PREO), longitud de los pterigoides (LPTE), longitud del antero-orbital (LAO) y altura de la caja craneana (AC).

Es importante destacar que todas las distancias lineales anteriormente descritas tienen correspondencia los valores más altos de los loadings como las correlaciones, exceptuando los valores como: el ancho de las premaxilas (PREMX) para el componente 1 y el ancho de las narinas internas (ANI) para el componente 2, donde los loadings con respecto a estas medidas no reflejan valores altos, sin embargo en este caso estas distancias se correlacionan de manera marcada con la varianza de los componentes, en ocasiones suele suceder, que aunque sus loadings no sean altos, pueden exhibir una mejor correlación, la cual define la cercanía de las variable con la varianza de cada componente.

Tabla 1. Análisis de componentes principales donde se observan los loadings (matriz de varianza-covarianza) y correlaciones para el componente 1 y componente 2, de los ecotipos costero y oceánico de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano.

Distancias lineales Variables	Componente 1		Componente 2	
	Loadings	Correlación	Loadings	Correlación
LCB	0.46	0.98	- 0.08	- 0.06
LR	0.26	0.90	-0.18	- 0.24
ABR	0.10	0.73	0.12	0.33
AR1/2	0.09	0.72	0.13	0.40
AR 3/4	0.09	0.76	0.10	0.30
APMX1/2	0.04	0.45	0.07	0.27
LRNEX	0.38	0.95	- 0.15	- 0.15
PREO	0.18	0.76	0.38	0.54
APOSTO	0.22	0.79	0.41	0.56
NEX	0.06	0.69	0.03	0,12
AZ	0.11	0.43	0.44	0.68
PREMX	0.10	0.84	0.00	0.00
PARI	0.09	0.35	0.01	0.02
AC	0,14	0.75	0.20	0.43
LFT	0.11	0.70	0.06	0.14
AFT	0.04	0.39	0.12	0.40
LO	0.05	0.69	0.04	0.24
LAO	0.06	0.60	0.13	0.47
LRNI	0.36	0.89	0.21	- 0.20
ANI	0.03	0.30	0.18	0.67
LPTE	0.00	0.01	0.38	0.54
AMPAL	0.05	0.52	- 0.05	- 0.20
LFDMAX	0.25	0.84	0.30	- 0.40
LRA	0.41	0.98	- 0.02	- 0.02
ARA	0.10	0.77	0.07	0.21
DDMF	0.01	0.49	- 0.02	- 0.29

Los números resaltados en negritas exhiben los loadings y correlaciones con mayor valor para el componente 1 y componente 2.

El conteo dentario maxilar (CDMAX), como variable estimada de manera independiente a las demás variables medibles en distancias lineales, reflejó diferencias en cuanto a las medias, desviación estándar y rangos mínimos y máximos. Los delfines costeros reflejaron una media (X) = 22 dientes, desviación estándar (S)= 1.54, con un rango mínimo= 18 dientes y un rango máximo= 25 dientes, a diferencia de los delfines oceánicos que presentaron una media= 23 dientes, con una desviación estándar= 1.32, con un rango mínimo= 20 y un rango máximo= 25. Los resultados demuestran que los delfines costeros son los responsables de la mayor variación para diferenciar los dos ecotipos de acuerdo con esta variable, lo que se ve reflejado en la desviación estándar, así como en un intervalo más amplio en los rangos mínimo y máximo, con respecto a los delfines oceánicos, sin embargo, el ecotipo oceánico presenta un mayor número de dientes.

Los resultados obtenidos del Análisis de variables canónicas indican diferencias significativas (Lambda de Wilks= 0.061, p = 0.01; Figura 13). Las medidas que presentaron mayor correlación con la variable canónica fueron: conteo dentario maxilar (CDMAX), longitud de las narinas internas (LRNI), (longitud de los pterigoides (LPTE), longitud de la fila dentaria maxilar (LFDMAX), ancho de las narinas internas (ANI), longitud del ramus (LRA), longitud del rostro (LR) y longitud de las narinas externas (LRNEX) (Tabla 2).

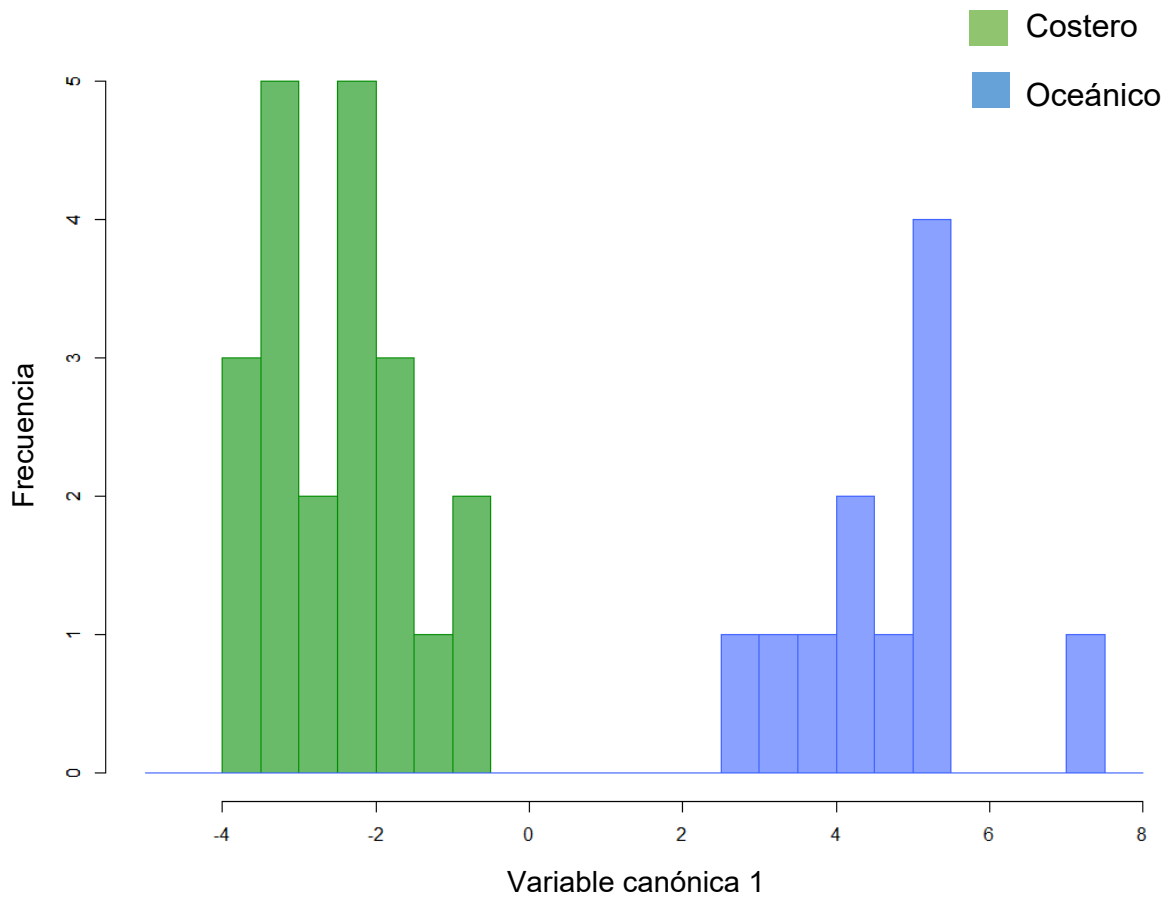


Figura 13. Análisis de Variables canónicas a partir de las distancias lineales de los cráneos de *T. truncatus* (ecotipo costero y oceánico) del Pacífico noroeste mexicano.

Tabla 2. Correlaciones con respecto a las distancias lineales para el canónico 1 de los ecotipos (costero y oceánico) de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano.

Distancias lineales	Canónico 1
Variables	Correlaciones
LCB	-0,02
LR	0,01
ABR	-0,03
AR12	-0,09
AR34	-0,07
APMX12	-0,06
LRNEX	0,00
PREO	-0,05
POSTO	-0,04
NEX	-0,05
AZ	-0,03
PREMX	-0,02
PARI	-0,01
AC	-0,07
LFT	-0,03
AFT	-0,10
LO	-0,07
LAO	-0,02
LRNI	0,03
ANI	0,01
LPTE	0,02
AMPAL	-0,04
LFDMAX	0,02
LRA	0,01
ARA	-0,07
DDMF	-0,05
CDMAX	0,10

Los números resaltados en negritas exhiben las correlaciones con mayor valor en el primer canónico.

4.2 Morfometría geométrica

4.3.1 Vista dorsal

El Análisis de Componentes principales indicó una varianza explicada del 67.08% a partir de cuatro primeros componentes: CP1 (26.20%), CP2 (18.29%), CP3 (13.72%) y CP4 (8.87%) (Figura 14). Sin embargo, se tomó en cuenta solo el primer componente con el mayor porcentaje para definir las regiones craneales con mayor variabilidad las cuales fueron: punta anterior hacia la muesca maxilar, proceso antero-orbital, proceso post-orbital, borde inferior a lo largo de los huesos frontales y punto medio de la sutura del hueso nasal (Figura 15).

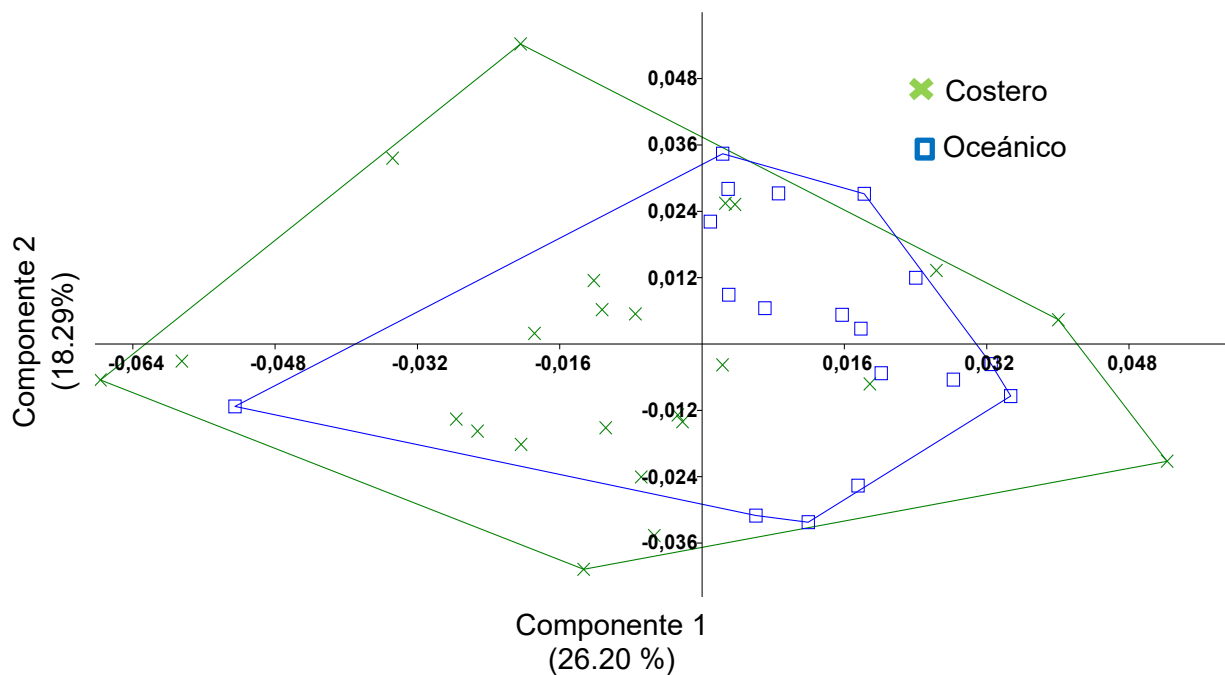


Figura 14. Análisis de componentes principales de la vista dorsal de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *T. truncatus*, con respecto a los dos primeros componentes.

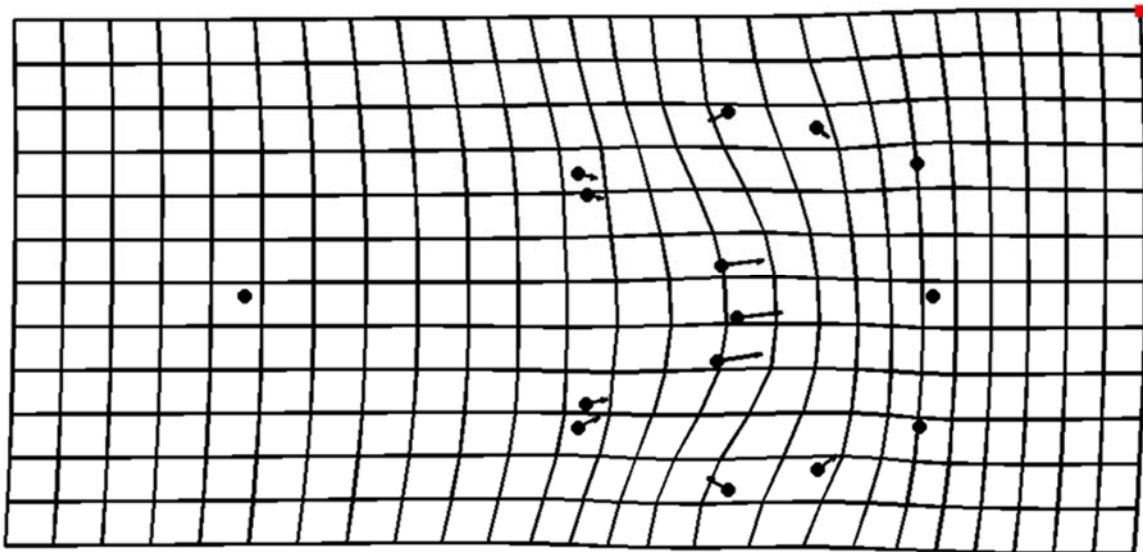


Figura 15. Gradilla de deformación del primer componente de la vista dorsal de las regiones craneales en *T. trucantus* del Pacífico noroeste mexicano. Los vectores de mayor longitud exhiben las modificaciones del cráneo con respecto a cada ecotipo.

El análisis de variables canónicas soportó diferencias significativas entre los grupos (Lambda de Wilk's (λ) = 0.22, p = 0.03, Figura 16). La distancia de Mahalanobis estimada fue de 14.74 y la matriz de asignación de los ejemplares de acuerdo con cada ecotipo fue del 100%.

Las regiones craneales que permitieron diferenciar a los dos ecotipos estuvieron asociadas con: punta anterior hacia la muesca maxilar, proceso antero-orbital, proceso post-orbital, borde inferior a lo largo de los huesos frontales, punto medio de la sutura del hueso nasal, intersección del hueso frontal- sutura frontal-interparietal y borde posterior de la curvatura del hueso parietal. Los vectores con mayor longitud mostrados en la Figura 17 reflejan dichas variaciones.

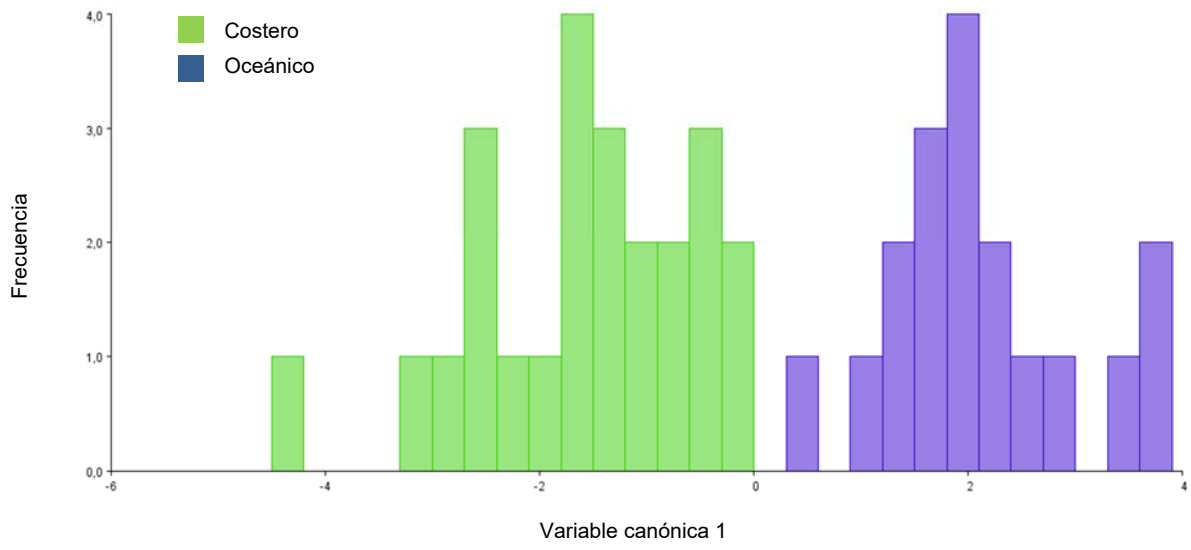


Figura 16. Análisis de variables canónicas de la vista dorsal de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano, con respecto a la primera variable canónica.

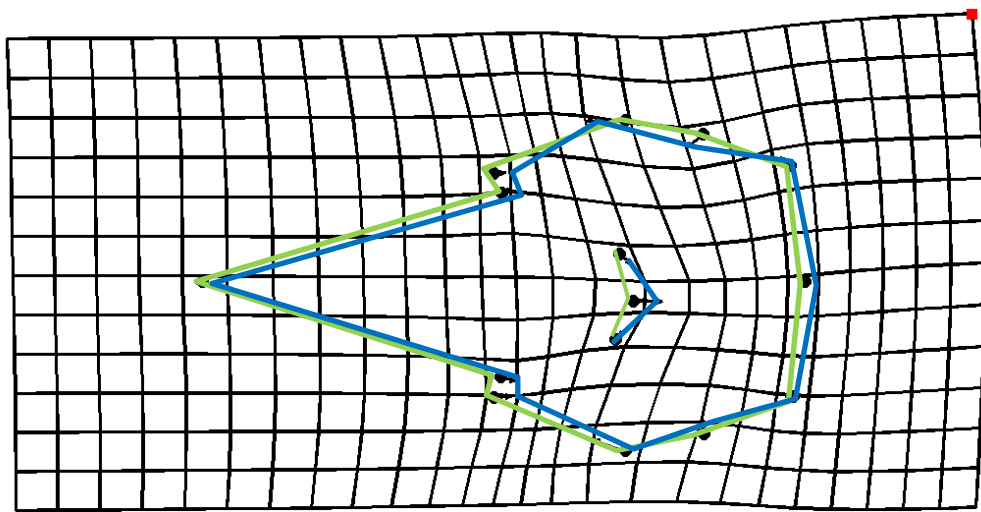


Figura 17. Gradilla de deformación de la vista dorsal de las regiones craneales con respecto al primer canónico en *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano, donde se exhibe las modificaciones del cráneo con respecto al ecotipo. Línea verde: ecotipo costero. Línea azul: ecotipo oceánico.

4.3.2 Vista ventral

El Análisis de Componentes Principales indicó una varianza explicada del 70.96 % a partir de cuatro primeros componentes: CP1 (30.03%), CP2 (16.73%) (Figura 19), CP3 (14.50%) y CP4 (9.68%) (Figura 18). Es importante señalar que solo se tomó en cuenta el primer componente con el mayor porcentaje para definir las regiones craneales de mayor variabilidad que fueron: punta del hueso preorbital, extremos superiores del proceso zigomático, extremos inferiores del proceso zigomático, extremo de la fosa temporal, extremo lateral del cóndilo occipital y bordes superiores de las narinas internas (Figura 19).

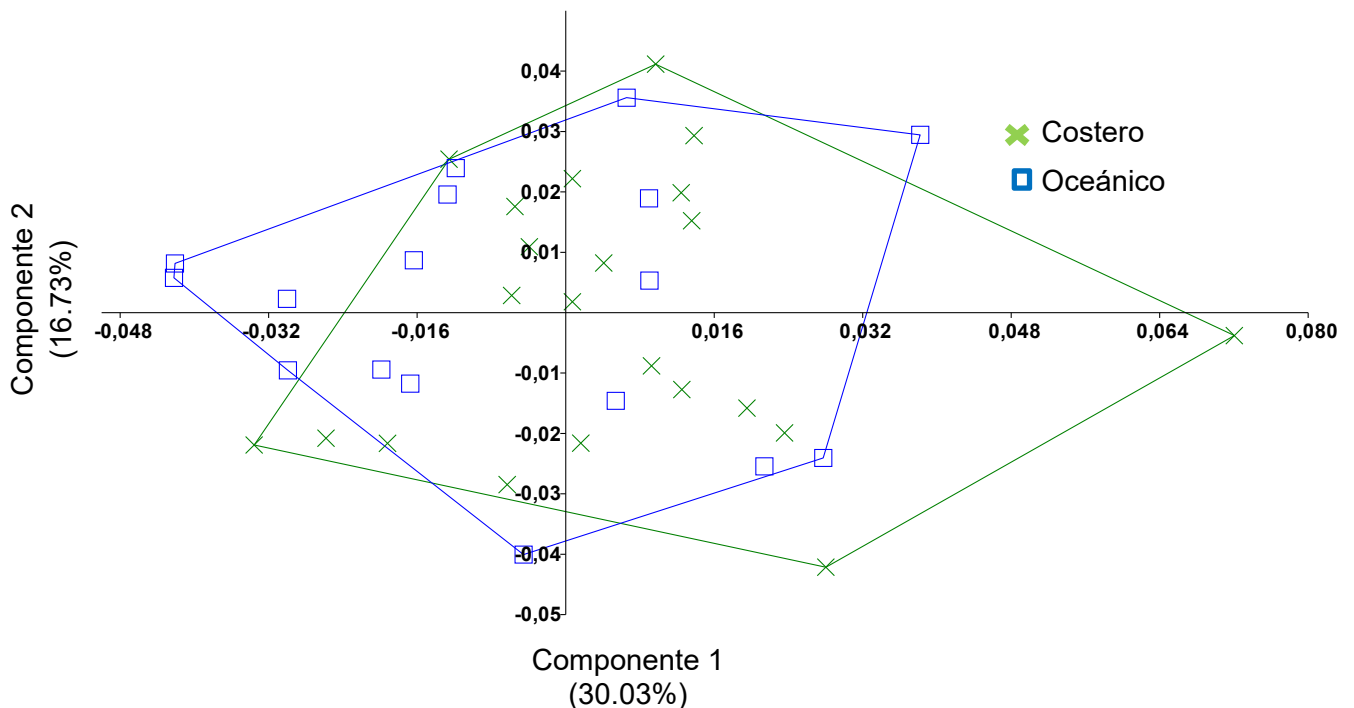


Figura 18. Análisis de componentes principales de la vista ventral de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano, con respecto a los dos primeros componentes

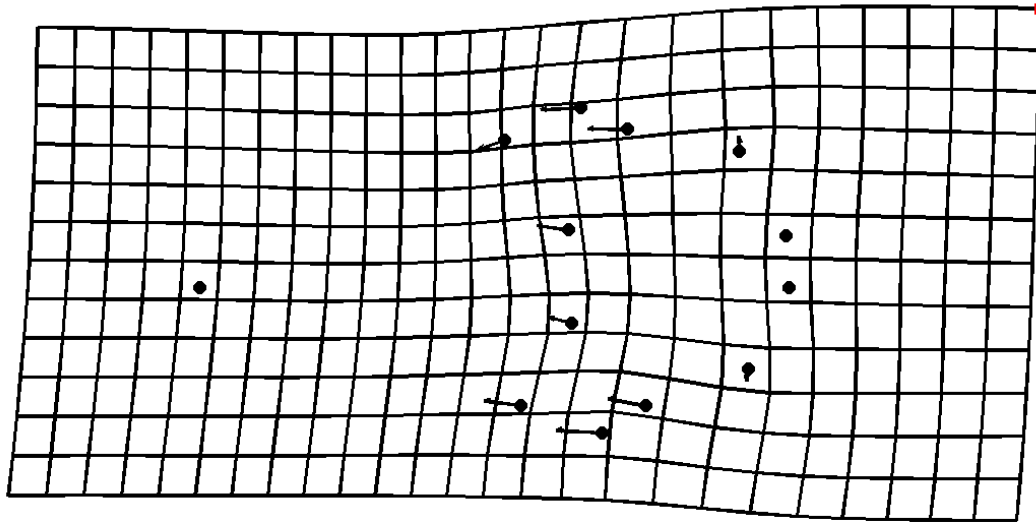


Figura 19. Gradilla de deformación de la vista ventral de las regiones craneales de mayor variación en *T. truncatus* del Pacífico mexicano donde se exhibe las modificaciones del cráneo. Los vectores de mayor longitud exhiben las modificaciones del cráneo con respecto a cada ecotipo.

El Análisis de variables canónicas soporto diferencias significativas entre los grupos (Lambda de Wilk's (λ) = 0.29, $p= 0.03$, Figura 20). La distancia estimada de Mahalanobis fue de 10.06 y la matriz de asignación de los ejemplares de acuerdo con cada ecotipo fue del 95%, lo que evidencia un ligero solape entre los ecotipos.

Las regiones craneales que permitieron diferenciar a cada grupo estuvieron asociadas con; la punta del hueso preorbital, los extremos superiores del proceso zigomático, los extremos inferiores del proceso zigomático, los extremos de la fosa temporal y los bordes superior de las narinas internas. Los vectores con mayor longitud mostrados en la Figura 21 reflejan dichas variaciones.

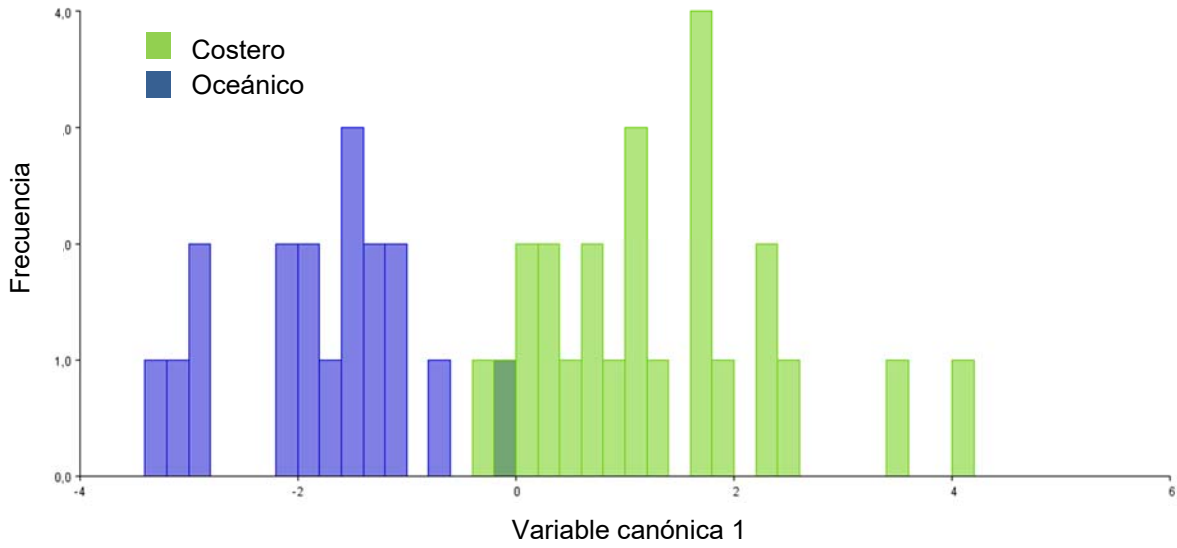


Figura 20. Análisis de variables canónicas de la vista ventral de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano, con respecto a la primera variable canónica.

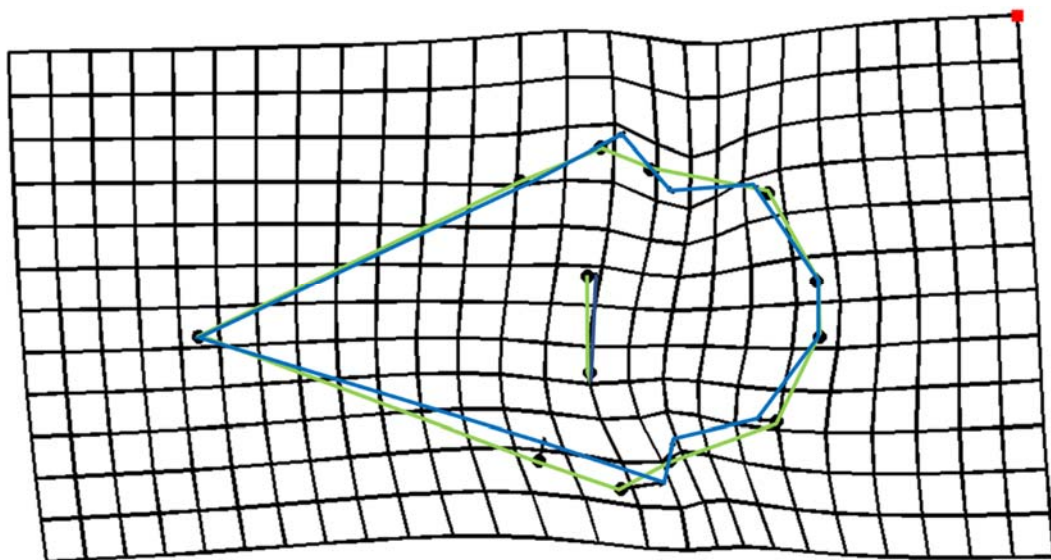


Figura 21. Gradilla de deformación de la vista ventral de las regiones craneales con respecto al primer canónico en *T. truncatus* del Pacífico mexicano donde se exhibe las modificaciones del cráneo con respecto al ecotipo Línea verde: ecotipo costero. Línea azul: ecotipo oceánico.

4.3.3. Vista lateral

El análisis de Componentes principales indicó una varianza explicada del 72.02 % a partir de cuatro primeros componentes: CP1 (32.51%), CP2 (12.63%), CP3 (12.30%), CP4 (8,35) y CP5 (6.23%) (Figura 22). Sin embargo, se tomó en cuenta solo el primer componente con el mayor porcentaje para definir las regiones craneales con mayor variabilidad las cuales fueron: proceso antero-orbital, proceso pre-orbital, proceso post-orbital, extremo inferior y superior de la fosa temporal, extremo inferior del proceso zigomático, base del cóndilo occipital, extremo de la curvatura del cóndilo occipital, extremo de la curvatura inferior y superior de la fosa temporal y la intersección del hueso frontal-sutura frontal-interparietal (Figura 23).

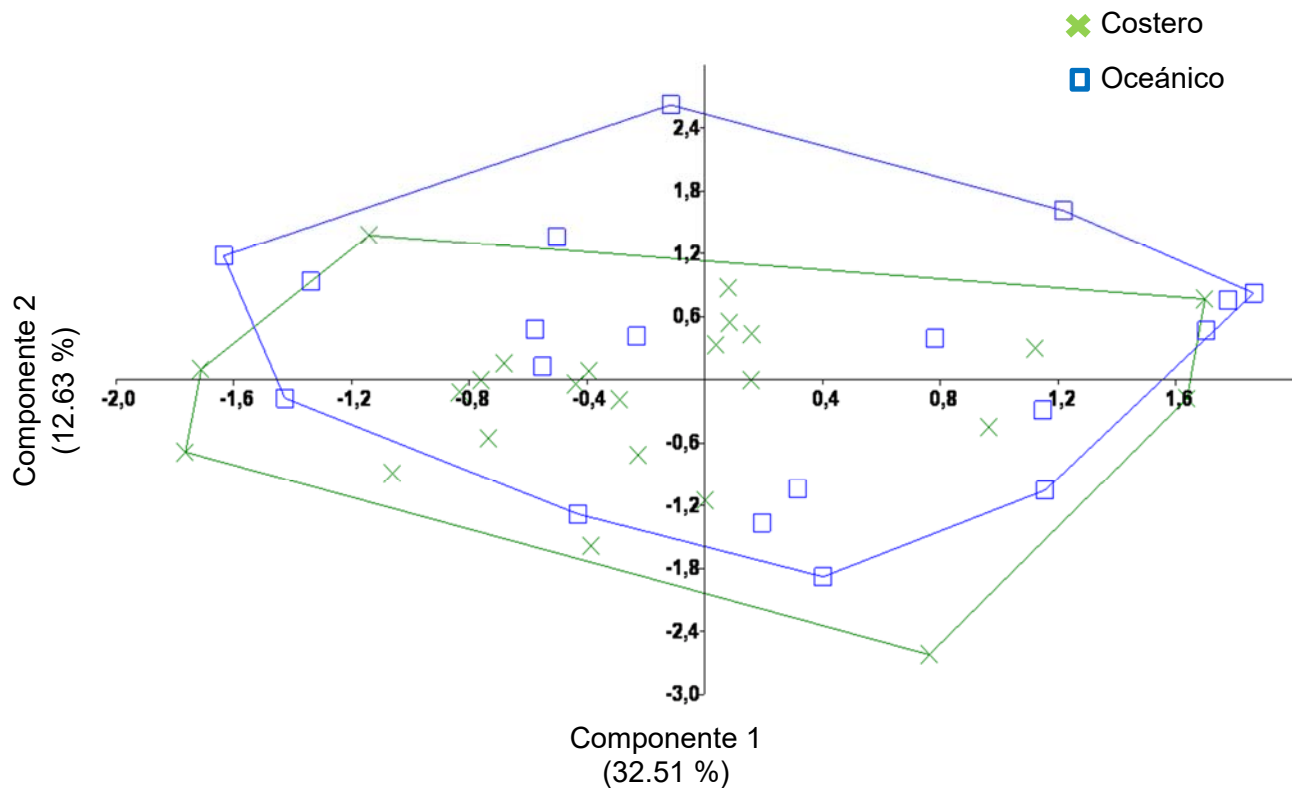


Figura 22. Análisis de componentes principales de la vista lateral de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano con respecto a los dos primeros componentes.

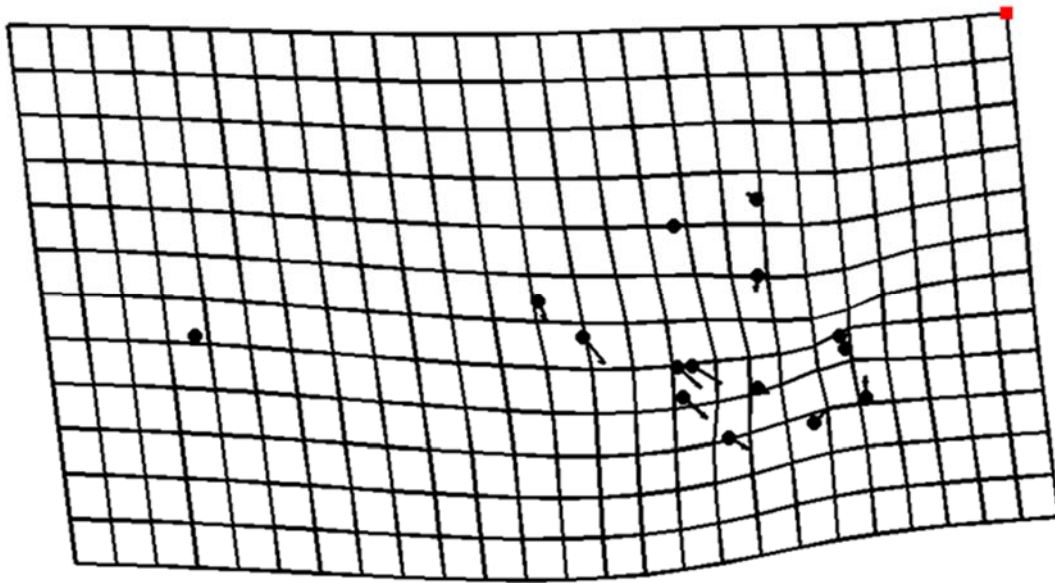


Figura 23. Gradilla de deformación de la vista lateral de las regiones craneales de mayor variación en *T. truncatus* del Pacífico mexicano donde se exhibe las modificaciones del cráneo. Los vectores de mayor longitud exhiben las modificaciones del cráneo con respecto a cada ecotipo.

El análisis de variables canónicas encontró diferencias significativas entre los grupos (Lambda de Wilk's (λ) de 0.17 con una $p= 0.003$, Figura 24). La distancia estimada de Mahalanobis fue de 8.45 y la matriz de asignación de los ejemplares de acuerdo con cada ecotipo fue del 100%.

Las regiones craneales que permitieron diferenciar a los dos ecotipos estuvieron asociados con: proceso antero-orbital, proceso pre-orbital, proceso post-orbital, extremo inferior y superior de la fosa temporal, extremo inferior y superior del proceso zigomático, base del cóndilo occipital, extremo de la curvatura del cóndilo occipital, extremo superior del cóndilo occipital, extremo de la curvatura inferior y superior de la fosa temporal, extremo inferior del hueso frontal y la intersección hueso frontal- sutura frontal-interparietal. Los vectores con mayor longitud mostrados en la Figura 25 reflejan dichas variaciones.

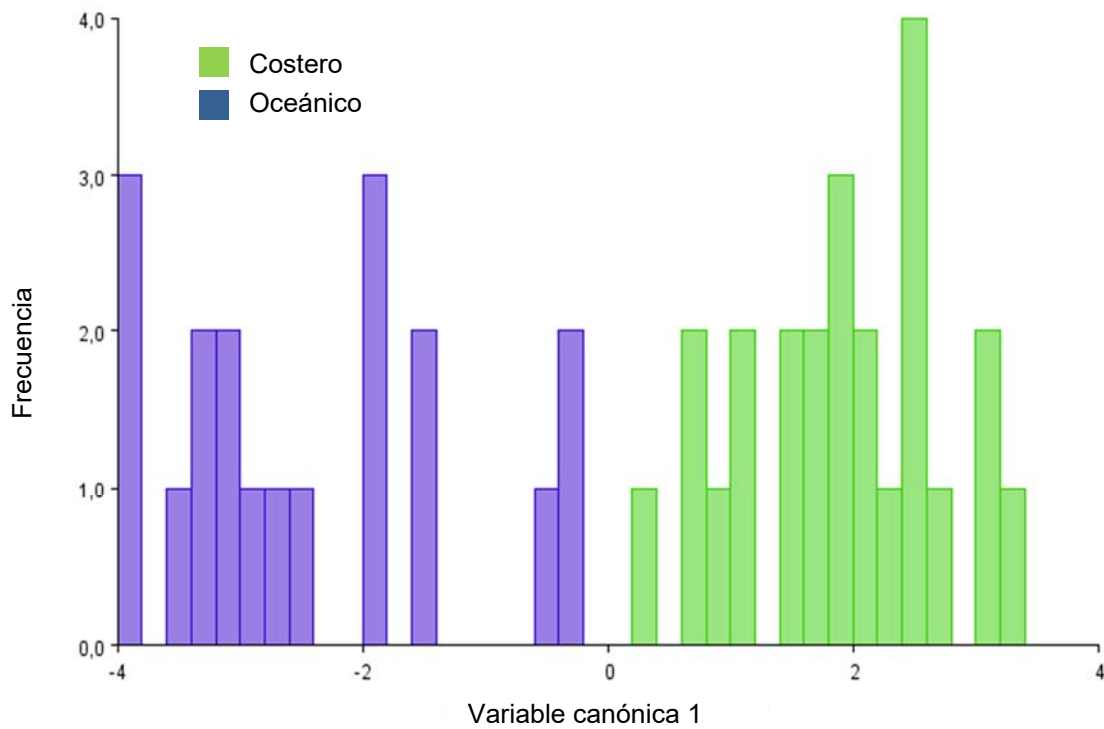


Figura 24. Análisis de variables canónicas de la vista lateral de los cráneos (ecotipo costero y oceánico) de *T. truncatus* del Pacífico noroeste mexicano, con respecto a la primera variable canónica.

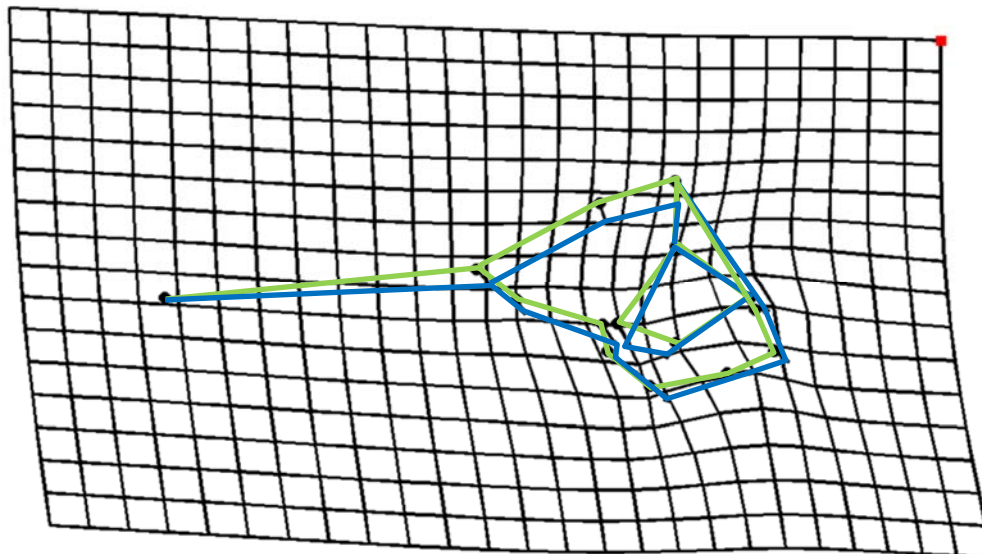


Figura 25. Gradilla de deformación de la vista lateral de las regiones craneales con respecto al primer canónico en *T. truncatus* del Pacífico mexicano donde se exhibe las modificaciones del cráneo con respecto al ecotipo. Línea verde; ecotipo costero. Línea azul: ecotipo oceánico.

De acuerdo con estos resultados se observa cómo el valor de λ para la vista lateral (0.1715) se aproxima a 0, lo que podría indicar mayor diferencia entre los grupos de acuerdo con el ecotipo de los delfines nariz de botella, tomando en cuenta que el valor más cercano a 0 indica diferencias entre grupos, caso contrario cuando este valor es cercano a 1 las diferencias son pocas entre grupos” (Badii *et al.*, 2007). De igual manera el valor de significancia para esta vista fue el mayor ($p= 0.0037$; < 0.01), con respecto a las demás, caso contrario para la distancia cuadrática de las medias de Mahalanobis fue el menor valor de las tres vistas analizadas.

5. DISCUSIÓN

Se ha documentado que los ecotipos del delfín nariz de botella del Pacífico noroeste mexicano exhiben diferencias con respecto a su dieta (Díaz Gamboa 2009; Auriolles *et al.*, 2013; Díaz-Gamboa *et al.*, 2017, Segura *et al.*, 2018) y talla del cráneo; asociadas a adaptaciones a sus hábitats de alimentación (Walker, 1981; Perrin *et al.*, 2011). En el presente estudio se encontraron diferencias craneales entre ambos ecotipos, determinadas por la talla y forma del cráneo.

5.1 Determinación del hábitat principal con respecto al $\delta^{13}\text{C}$

Los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ permitieron separar a los dos ecotipos con base en los intervalos reportados en estudios previos (Díaz-Gamboa, 2009; Auriolles *et al.*, 2013; Díaz-Gamboa, 2017; Segura *et al.*, 2018). Las señales más enriquecidas fueron asignadas al ecotipo costero, mientras que las más empobrecidas al oceánico. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en delfines nariz de botella del ecotipo costero, han sido relacionados con área de alimentación cercanas a las costas o islas; mientras que las señales isotópicas empobrecidas con áreas de alimentación en ambientes oceánicos o pelágicos (Fernández *et al.*, 2011; Auriolles *et al.*, 2013).

Los análisis de isotopos estables del C y N han permitido ampliar el conocimiento de los hábitos alimentarios en estos delfines. Se ha determinado que su dieta se basa en diferentes tipos de presas: el ecotipo costero es piscívoro y el oceánico es teutófago, aunque también consume peces en menor cantidad (Barros & Wells, 1998; Walker *et al.*, 1999; Salinas, 2005; Díaz-Gamboa, 2009; Barros *et al.*, 2010; Fernández *et al.*, 2011). Debido a lo anterior, se ha determinado que los delfines oceánicos tienen un amplio rango de distribución, lo que promueve la formación de grandes subgrupos como mecanismos de protección y para una mejor capacidad de detección de sus presas. Por otra parte, los delfines de hábitos costeros tienen un patrón de distribución más estrecho, con un comportamiento cooperativo de

alimentación y un tamaño de grupo menos numeroso (Würsig & Würsig, 1979; Leatherwood y Reeves 1982; Würsig, 1986; Castán *et al.*, 2009).

Segura *et al.* (2018), realizaron un estudio con una muestra de 281 tejidos de piel de delfines nariz de botella del Golfo de California durante los años 2008-2009, empleando isótopos estables y marcadores moleculares para evaluar, respectivamente, la ecología alimentaria y la estructura genética poblacional. Los valores isotópicos con respecto al $\delta^{13}\text{C}$ indicaron que el grupo oceánico presentó señales empobrecidas (>-15), y que el grupo costero presentó señales enriquecidas (<-15) para los delfines nariz de botella procedentes del Golfo de California. Estos intervalos coinciden con los reportados por Díaz-Gamboa (2009), Auriolés *et al.* (2013) y Díaz-Gamboa (2017), a partir de los cuales fueron asignados los ecotipos en el presente estudio. Segura *et al.* (2018), también reportaron que una población costera encontrada en el norte de la costa oeste de la Península de Baja California, exhibió una señal isotópica similar a la de las poblaciones oceánicas. Estos autores indican que esta población es genéticamente cercana a las de la costa del Sur de California y que pudiera desplazarse hasta la Bahía de Monterey, lo que ha sido comprobado con estudios de foto-identificación. Igualmente señalan que esta población del norte de la costa oeste de la Península presenta diferencias con las otras identificadas para la costa del noroeste mexicano, posiblemente como consecuencia del aprovechamiento de distintos hábitats.

De los cráneos empleados en el presente estudio sólo se cuenta con información de los sitios de varamientos de 17 ejemplares. El resto del material carece de información precisa sobre su procedencia; sin embargo, se cuenta con la certeza de que ningún cráneo procede del norte de la costa oeste de la Península de Baja California, confirmado por los encargados de los cráneos analizados (*Comunicación personal*): Dr. David Auriolés Gamboa, Biol. Francisco Gómez Díaz, Dr. Sergio Martínez Aguilar. De esta manera el intervalo de valores considerado en este estudio para establecer los dos ecotipos es consistente con los valores reportados por Segura *et al.* (2018) para los organismos procedentes del Golfo de California y el Suroeste del Pacífico noroeste mexicano.

5.2 Diferencias relacionadas con la talla del cráneo

Los resultados encontrados a partir del Análisis de Componentes Principales indican que el grupo costero presentó un intervalo más amplio que el grupo oceánico, considerando la longitud cóndilo basal como representativa de la talla. En el grupo costero se encontraron los ejemplares más pequeños y los más grandes, además la LCB y la longitud del ramus, presentaron las correlaciones más altas para el CP1. Estos resultados confirman lo reportado para California (Perrin *et al.*, 2011). La alta variabilidad encontrada en tallas del ecotipo costero podría deberse a las zonas de recepción de los varamientos. Estudios realizados con poblaciones de acuerdo con cada ecotipo de delfines nariz de botella han estimado que aproximadamente el 86% de los delfines varados son costeros (3,495 ejemplares), y el resto oceánicos (450-500 ejemplares). Esta proporción de aproximadamente 7:1 podría estar relacionado con factores como: el viento, corrientes, contaminantes (causas de muerte de los grupos costeros por acción antropogénica), descomposición que lleve al hundimiento y depredadores (Hansen, 1990; Caretta, 2009; Perrin *et al.*, 2011).

Las estructuras craneales que evidencian la mayor variabilidad en talla del ecotipo costero, corresponden a regiones craneales que están relacionadas con el patrón alimentario y el patrón de buceo; particularmente asociadas al tipo de presa y la profundidad de los hábitats. Los delfines costeros son piscívoros, y la presencia de estructuras anchas, para poder capturar y engullir efectivamente a sus presas, podría aportar una ventaja durante la alimentación. Los oceánicos, por otra parte, son principalmente teutófagos, de tal manera que no necesitan estructuras craneales robustas para capturar y engullir a sus presas y cubrir la necesidad de realizar buceos prolongados y profundos para alimentarse (Díaz-Gamboa *et al.*, 2017; Perrin *et al.*, 2011; Segura *et al.*, 2018; Hersh & Duffield, 1990). Los aspectos anteriormente referidos con respecto a la variabilidad para cada ecotipo han sido también reportados en delfines procedentes del Pacífico Norte (Walker, 1981; Perrin *et al.*, 2011) y Pacífico Sur (Van Waerebeek, 1990; Santillán, 2003).

Los resultados del Análisis de variables canónicas indicaron diferencias entre los grupos, similar a lo que ha sido reportado para otras áreas del Pacífico, donde se detectaron diferencias entre los ecotipos costero y oceánico en las siguientes variables: número, longitud y ancho de los dientes, longitud de la fosa temporal y ancho de los post-orbitales (Walker, 1981, Perrin *et al.*, 2011). Resultados similares también fueron encontrados en el Pacífico peruano, Mar Adriático, Golfo de México y Texas (Santillán 2003; Turner & Worthy 2003; Duras *et al.*, 2014). La separación de ambos grupos (ecotipo costero y oceánico) de delfines nariz de botella, en áreas del Pacífico Norte y Sur, está estrechamente relacionada con las estructuras craneales inmersas en la mecánica alimentaria.

5.3 Diferencias relacionadas con la forma del cráneo

En el presente estudio se encontró que la forma del cráneo de los dos ecotipos del delfín nariz de botella del Pacífico mexicano presenta diferencias significativas, lo que apoya los resultados obtenidos a partir de las medidas de las distancias lineales. Estas diferencias se presentaron en las siguientes regiones; punta anterior hacia la muesca maxilar, proceso antero-orbital, proceso pre-orbital proceso post-orbital, extremo inferior de la fosa temporal, extremo de la curvatura superior de la fosa temporal, extremo superior del proceso zigomático, extremo inferior del proceso zigomático, base del cóndilo occipital y extremo de la curvatura del cóndilo occipital.

Las diferencias craneales de ambos ecotipos fueron cuantificadas mediante las distancias cuadráticas de Mahalanobis. La vista lateral presentó la menor distancia entre ambos ecotipos mientras que la vista dorsal presentó la mayor distancia. De esta manera, este estudio indica que la vista dorsal contiene más información para diferenciar ambos ecotipos que las otras vistas craneales. Estos resultados son similares a lo encontrado en las especies *Tursiops truncatus*, *Delphinus delphis*, *Stenella coeruleoalba*, en el Suroeste del Atlántico Norte. Las modificaciones ocurridas en las regiones craneales sugieren que éstas son modeladas por un patrón alimentario característico asociado a un hábitat de

alimentación distinto para cada grupo, reflejadas en el tamaño de sus cráneos y el número de sus dientes (Amaral *et al.*, 2009).

Los análisis morfométricos empleados no solo han sido utilizados para reconocer diferencias entre poblaciones o ecotipos, sino también para diferenciar entre individuos de distintas etapas de desarrollo (juveniles y adultos) dentro de una misma población. Kurihara & Oda (2009) realizaron un estudio con ejemplares de delfines nariz de botella de los océanos Pacífico, Atlántico e Índico enfocado a estimar las diferencias relacionadas con la alometría del cráneo. Las principales medidas que diferenciaron ambas etapas fueron la longitud del rostro y la curvatura superior y posterior de la fosa temporal. Estas diferencias se reflejan en el crecimiento del aparato alimentario mientras el organismo crece; lo cual es atribuido a que los ejemplares maduros podrían tener un músculo temporal más grande y fuerte que les aporta mayor control en la captura de presas.

La detección de las diferencias craneales en especies polimórficas como *Tursiops truncatus* ha sido de gran utilidad para entender procesos de adaptaciones relevantes en análisis taxonómicos. Los delfines nariz de botella han sido descritos y aceptados como miembros de un clado taxonómico compuesto por los géneros *Delphinus-Stenella-Tursiops*. Sus diferencias craneales han permitido no solamente la distinción de géneros, sino la detección de grupos asociados a hábitos particulares (Amaral *et al.*, 2009; Parés- Casanova & Fabre, 2013; Guidarelli *et al.*, 2014, Parés- Casanova & Bravi, 2014). Estos aspectos distintivos y diagnósticos para cada género han sido asociados a la talla y la forma del cráneo. *Tursiops truncatus* presenta cráneos robustos, *Delphinus delphis* y *Delphinus sp.* presentan surcos palatinales, y *Stenella attenuata* y *S. longirostris* presentan rostros alargados (Perrin, 1975; Heyning & Perrin, 1994; Reeves *et al.*, 2004; Perrin *et al.*, 2011).

La existencia de dos ecotipos de delfines nariz de botella en el Pacífico noroeste mexicano y sus adaptaciones morfológicas, destinadas a explotar distintos hábitats, está asociada a las condiciones del área (costa y océano). Un ejemplo de lo anterior es el de los delfines de hábitos costeros que están presentes en Bahía de

La Paz (Segura *et al.*, 2016) y en el norte del Alto Golfo, los cuales podrían presentar una tendencia de comportamiento filopátrico en áreas confinadas. Se ha demostrado que los delfines nariz de botella costeros son propensos a formar grupos familiares altamente sociales, guardando un patrón de fidelidad a su hábitat y áreas de alimentación, lo que podría verse reflejado en sus modificaciones estructurales (Tsai & Mann, 2013), como un patrón adaptativo de las principales estructuras craneales encontradas en el presente estudio.

El conocimiento de la estructura poblacional de delfines nariz de botella en el Pacífico mexicano nos proporciona información crucial para su manejo. Perrin *et al.*, (2011) menciona que, si las poblaciones costeras de delfines nariz de botella llegasen a ser eliminadas, no podrían ser reemplazados por grupos de delfines oceánicos, por lo que la importancia de protegerlos y mantener la calidad de sus hábitats se hace esencial. Resultados recientes, basados en datos moleculares, confirman que, en el Pacífico Noroeste de México, los ecotipos costeros y oceánicos, presentan poblaciones con cierto aislamiento genético (Segura *et al.*, 2016). El análisis combinado de datos moleculares, morfométricos, isótopos estables, y parámetros demográficos permitirán tener una mejor comprensión de los aspectos biológicos de estas poblaciones y tener mejores elementos para sugerir medidas de manejo más eficientes.

8 CONCLUSIONES

- ❖ Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ definidos en el presente estudio para los delfines nariz de botella costeros fueron de -15.1‰ a -10.9‰ y para los delfines oceánicos de -20.7‰ a -15.4‰.
- ❖ El Análisis de componentes principales de las distancias lineales de los ecotipos costero y oceánico de los delfines nariz de botella del Pacífico noroeste mexicano, reflejan la mayor variabilidad en: longitud cóndilo basal (LCB), longitud del ramus (LRA), longitud narinas externas (LRNEX), longitud narinas internas (LRNI), longitud del rostro (LR), longitud de la fila dentaria maxilar (LFDMAX) y ancho del postorbital (APOSTO).
- ❖ El análisis de variables canónicas de las distancias lineales soportó que las principales diferencias entre el grupo costero y oceánico se encuentran en: conteo dentario maxilar (CDMAX), ancho de la fosa temporal (AFT), ancho del rostro $\frac{1}{2}$ (AR $\frac{1}{2}$), altura de la caja craneana (AC), ancho del ramus dentario (ARA) y longitud orbital (LO); caracterizados por ser más largos y anchos en el ecotipo costero que en el oceánico.
- ❖ El análisis de morfometría geométrica indicó que la vista lateral y dorsal presentan mayores variaciones para diferenciar los ecotipos de los delfines nariz de botella.
- ❖ Tanto la talla como la forma del cráneo mostraron diferencias entre ambos ecotipos, que pueden estar asociadas a adaptaciones evolutivas, particularmente a hábitos alimentarios.

7. REFERENCIAS

- Álvarez-Borrego, S. 2002. Physical oceanography. *A new island biogeography of the Sea of Cortes*. Oxford University Press, Oxford, 41-59.
- Amaral, A. R., Jackson, J. A., Möller, L. M., Beheregaray, L. B., & Coelho, M. M. (2012). Species tree of a recent radiation: the subfamily Delphininae (Cetacea, Mammalia). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 64(1), 243-253.
- Amaral, A.R., Coelho, M.M., Marugan-Lobon, J. & Rohlf, J.F. 2009. Cranial shape differentiation in three closely related delphinid cetacean species: Insights into evolutionary history. *Zoology* 112, 38–47 pp.
- Andrews, R. C. 1911. Description of an apparently new porpoise of the genus *Tursiops*, with remarks upon a skull of *Tursiops gillii* Dall. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 30:233–237 pp.
- Andrew L.J, Parnell, A. C., Inger R. & Bearhop, S. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R *Journal of Animal Ecology*, 80, 595-602.
- Aurioles-Gamboa, D., Rodríguez-Pérez, M. Y., Sánchez-Velasco, L., & Lavín, M. F. 2013. Habitat, trophic level, and residence of marine mammals in the Gulf of California assessed by stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 488, 275-290.
- Badii, M. H., Castillo, J.A., Aimer, K., Wong, A., & Villalpando, P. 2007. Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica (Canonical correlation analysis and scientific research). *Innovaciones de negocios*, 4(8), 405-422.
- Barnes, L. 1990. The fossil record and evolutionary relationships of the Genus *Tursiops* in: *The Bottlenose Dolphin*. Edited by S. Leatherwood and R.R. Reeves. Academic Press, San Diego. pp 2 -26.

- Barros, N. 1990. Food habits of bottlenose dolphins in the south-eastern United States. P. 309-328. En: S. Leatherwood y R.R. Reeves (Eds.). *The Bottlenose Dolphin*. Academic Press. USA. 653 pp.
- Barros, N. B., & Wells, R. S. 1998. Prey and feeding patterns of resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota Bay, Florida. *Journal of Mammalogy*, 79(3), 1045-1059.
- Barros, N. B., Ostrom, P. H., Stricker, C. A., & Wells, R. S. 2010. Stable isotopes differentiate bottlenose dolphins off west-central Florida. *Marine Mammal Science*, 26(2), 324-336.
- Bergmann, C. 1847 Ueber die Verhältnisse der Warmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. *Göttinger Studien* 3: 595- 708.
- Caretta, J. V., Forney, K. A., Lowry, M. S., Barlow, J., & Baker, J. 2009. *US Pacific marine mammal stock assessments: 2008*. US Department of Commerce NOAA Technical Memorandum. NMFS-SWFSC-434.
- Castán, L. V., Serrano, A., & Galindo, J. A. 2009. Estudio preliminar sobre la diversidad, distribución y abundancia de cetáceos en aguas profundas del Golfo de México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4), 992-999.
- Cuadras, C. M. 2007. Nuevos métodos de análisis multivariante. CMC Editions.
- Charlton-Robb, K., Gershwin, L. A., Thompson, R., Austin, J., Owen, K., & McKechnie, S. 2011. A new dolphin species, the Burrunan dolphin *Tursiops australis* sp. nov., endemic to southern Australian coastal waters. *Plos one*, 6(9), e24047.
- Dall, W. H. 1873. Description of three new species of Cetacea, from the coast of California. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 5:12–14.
- De Francesco, M. C., & Loy, A. 2016. Intra-and Interspecific Interactions as Proximate Determinants of Sexual Dimorphism and Allometric Trajectories in the Bottlenose

- Dolphin *Tursiops truncatus* (Cetacea, Odontoceti, Delphinidae). *PloS one*, 11(10), e0164287.
- Díaz -Gamboa, R. E. 2009. *Relaciones tróficas de los cetáceos teutófagos con el calamar gigante Dosidicus gigas en el Golfo de California* (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
- Díaz-Gamboa, R. E., Gendron, D., & Busquets-Vass, G. 2017. Isotopic niche width differentiation between common bottlenose dolphin ecotypes and sperm whales in the Gulf of California. *Marine Mammal Science*.
- Duffield, D. A., Ridgway, S. H., & Cornell, L. H. 1983. Hematology distinguishes coastal and offshore forms of dolphins (*Tursiops*). *Canadian Journal of Zoology*, 61(4), 930-933.
- Đuras, M., Brnić, D. D., Gomerčić, T., & Galov, A. 2014. Craniometry of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the Adriatic Sea. *Veterinarski arhiv*, 84(6), 649-666.
- Dryden, I. L., & Mardia, K. V. 1998. *Statistical shape analysis* (Vol. 4). Chichester: Wiley.
- Espinosa, H. 2004. El Pacífico Mexicano. *Ciencias*, (076).
- Evans, P. G. 1987. *The natural history of whales & dolphins*. Facts on File.
- Fernández, R., García-Tiscar, S., Santos, M. B., López, A., Martínez-Cedeira, J. A., Newton, J., & Pierce, G. J. 2011. Stable isotope analysis in two sympatric populations of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: evidence of resource partitioning? *Marine Biology*, 158(5), 1043-1055.
- Forero, M. G. 2008. Isotopos estables como integradores de la vida. *Sociedad Española de Etología*, 1.

- Fleischer, L., Moncada Cooley, R., Pérez-Cortés Moreno, H., & Polanco Ortíz, A. 1996. Análisis de la mortalidad incidental de la vaquita, *Phocoena sinus*. Historia y actualidad (Abril de 1994). *Cienc. Pesq*, 13, 78-82.
- Gao, A. L., Zhou, K. Y., & Wang, Y. M. 1995. Geographical variation in morphology of bottlenosed dolphins (*Tursiops* sp.) in Chinese waters. *Aquatic Mammals*, 21, 121-121.
- González, J. 2002. Notas Mastozoológicas II (Craneos: Morfología e medidas). divulg. mus. cienc. tecnol. -UBEA/PUCRS. Porto Alegre, (7):1-208 pp.
- González Monroy, R. M., & Rojas Martínez, A. E. 2014. La relevancia evolutiva de los ecotipos.
- Guevara-Aguirre, D., & Gallo-Reynoso, J. P. 2015. Abundancia relativa y estacionalidad de dos poblaciones de toninas (*Tursiops truncatus*) en la región de Guaymas, Sonora, Golfo de California. *Therya*, 6(2), 315-328.
- Guidarelli, G., Nicolosi, P., Fusco, G., De Francesco, M. C., & Loy, A. 2014. Morphological variation and modularity in the mandible of three Mediterranean dolphin species. *Italian journal of zoology*, 81(3), 354-367.
- Hansen, L. J. 1990. California coastal bottlenose dolphins. Pages 403–420 in S. Leatherwood, and R. R. Reeves, eds. The bottlenose dolphin. Academic Press, San Diego, CA.
- Hemprich, C., & Ehrenberg, W. 1832. Symbolae Physicae Mammalia, 2: footnote on last page of unpaginated fascicle headed *Herpestes leucurus* H. et E. Berlin, Germany, last page.
- Hershkovitz, P. 1966. Catalog of living whales. U.S. National Museum Bulletin 246:1–259 pp.
- Hersh, S. L., Odell, D. K., & Asper, E. D. 1990. Sexual dimorphism in bottlenose dolphins from the east coast of Florida. *Marine Mammal Science*, 6(4), 305-315.

- Hersh, S. L., & Duffield, D. A. 1990. Distinction between northwest Atlantic offshore and coastal bottlenose dolphins based on hemoglobin profile and morphometry. In *The bottlenose dolphin* (pp. 129-140).
- Heyning, J. E., & Perrin, W. F. 1994. Evidence for two species of common dolphins (genus *Delphinus*) from the eastern North Pacific. *Contributions in Science*.
- Hoelzel, A. R., Potter, C. W. & Best, P. B. 1998. Genetic differentiation between parapatric 'nearshore' and 'offshore' populations of the bottlenose dolphin. *Proc. R. Soc. Lond. B* 265, 1177-1183.
- Jefferson, T. A., Leatherwood, S., & Webber, M. A. 1993. *Marine mammals of the world*. Food & Agriculture Org.
- Kurihara, N., & Oda, S. I. 2009. Effects of size on the skull shape of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Mammal Study*, 34(1), 19-32.
- Klingenberg, C. P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular ecology resources*, 11(2), 353-357.
- LeDuc, R.G., Perrin, W.F & Dizon, A.E. 1999. Phylogenetic relationships among the delphinid Cetaceans based on full cytochrome b sequences - *Marine Mammal Science* 15: 619-648.
- Leatherwood, S., & Reeves, R. R. 1982. Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* and other toothed cetaceans. *Wild mammals of North America, biology, management, and economics*. John Hopkins University Press, Baltimore, MD, USA, 369-414.
- Lowther, J. L. 2006. Genetic variation of coastal and offshore bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in the eastern North Pacific Ocean. Master's thesis, University of San Diego, San Diego, CA. 126 pp.
- Marcín-Medina, R. 1997. Comportamiento del tursión (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 71 pp.

- Mead, J. G., & Potter, C.W. 1995. Recognizing two populations of the bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) off the Atlantic coast of North America morphologic and ecologic considerations. *IBI Reports (Japan)* 5:31–44.
- Montagu, G. 1821. Description of a species of Delphinus which appears to be new. *Memoirs of the Wernerian Natural Historical Society* 3:75-81.
- Norris, K. S., Prescott, J. H., Asa-Dorian, P. V., & Perkins, P. 1961. An experimental demonstration of echolocation behavior in the porpoise, *Tursiops truncatus* (Montagu). *The Biological Bulletin*, 120(2), 163-176.
- Owen, E. C., Wells, R. S., & Hofmann, S. 2002. Ranging and association patterns of paired and unpaired adult male Atlantic bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota, Florida, provide no evidence for alternative male strategies. *Canadian journal of zoology*, 80(12), 2072-2089.
- Parés-Casanova, P. M. & Fabre, L. 2013. Size and shape variability in the skull of the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821). *Anatomia, histologia, embryologia*, 42(5), 379-383.
- Parés-Casanova & Bravi, R. 2014. In book: *Dolphins: Ecology, Behavior and Conservation Strategies*, Chapter: Neurocranium Asymmetries in the Bottlenose Dolphin, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), Editors: Nova Publishers 12 pp.
- Perrin, W. F. 1975. Distribution and differentiation of populations of dolphins of the genus *Stenella* in the eastern tropical Pacific. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32(7), 1059-1067.
- Perrin, W. F., Thieleking, J. L., Walker, W. A., Archer, F. I. & Robertson, K. M. 2011. Common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in California waters: Cranial differentiation of coastal and offshore ecotypes. *Marine Mammal Science* 27:769–792.
- Portillo, M. T. E., & Plata, J. A. S. 2008. P. CH. Mahalanobis y las aplicaciones de su distancia estadística. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, (27), 13-20.

- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reeves, R. R. 2004. Report of the workshop on shortcomings of cetacean taxonomy in relation to needs of conservation and management, April 30-May 2, 2004, La Jolla, California.
- Rice, D. W. 1998. Marine mammals of the world, systematics and distribution. *Society for Marine Mammalogy Special Publication*, 4, 1-231.
- Rohlf, F.J. 2004. tpsDig. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>
- Rojo Arreola, L. C. 2005. Estructura genética y poblacional de *Tursiops truncatus* (Cetacea: delphinidae) en el Golfo de California: ¿Son las formas costera y oceánica genéticamente divergentes?.
- Ross, G. J., & Cockcroft, V. G. 1990. Comments on Australian bottlenose dolphins and the taxonomic status of *Tursiops aduncus* (Ehrenberg, 1832). *The bottlenose dolphin*, 101-128.
- Salinas, M.A. 2005. Ecología de los tursiones, *Tursiops truncatus*, en la Bahía de La Paz, B.C.S (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas) 102 pp.
- Santillán, L. 2003. Diferencias craneales entre las poblaciones costera y oceánica de *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) delfín nariz de botella en el mar peruano. *Licenciado en Biología Thesis, Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ciencias Biológicas (unpublished)*. 80pp.
- Santillán, L., Félix, F., & Haase, B. 2008. *A preliminary morphological comparison of skulls of common bottlenose dolphins Tursiops truncatus from Perú and Ecuador* (p. 14). Document SC/60/SM10 presented to the Scientific Committee, Int Whal Comm, Santiago, Chile.

- Segura, I., Rocha-Olivares, A., Flores-Ramírez, S. & Rojas-Bracho, L. 2006. Conservation implications of the genetic and ecological distinction of *Tursiops truncatus* ecotypes in the Gulf of California. *Biological Conservation* 133:336–346.
- Segura-García, I., Rojo-Arreola, L., Rocha-Olivares, A., Heckel, G., Gallo-Reynoso, J. P., & Hoelzel, R. 2018. Eco-Evolutionary processes generating diversity among bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, populations off Baja California, Mexico. *Evolutionary Biology*, 1-14.
- Sellas, A. B., Wells, R. S & Rosel, P. E. 2005. Mitochondrial and nuclear DNA analyses reveal fine scale geographic structure in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Gulf of Mexico. *Conserv. Genet.* 6: 715-728 pp.
- Shane, S. R. Wells & B. Würsig 1986. Ecology, behavior and social organization of bottlenose dolphin: A review. *Marine Mammal Science* 2(1): 34-63.
- Sheets, H. D. 2014. Morphometric software IMP 8.0. Department of Geology, SUNY at Buffalo, New York. Available at <http://www3.canisius.edu/~sheets/IMP%208.htm>.
- Trasviña, A., Lluch-Cota, D., Filonov, A.E. & Gallegos, A. 1999. Oceanografía y El Niño. Capítulo 3. En: V Magaña (ed). Los impactos de El Niño en México, pp. 69-102. UNAM, México.
- Turner, J. P., & Worthy, G. A. 2003. Skull morphometry of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the Gulf of Mexico. *Journal of Mammalogy*, 84(2), 665-672.
- Turrill, W. B. 1946. The ecotype concept. A consideration with appreciation and criticism, especially of recent trends. *New Phytologist* 45, 34–43.
- Van Waerebeek, K; Reyes, J. C.; Read, A. J. & McKinnon, J. S. 1990. Preliminary Observations of Bottlenose Dolphins from the Pacific Coast of South America. In *The Bottlenose Dolphin*. Edited by S. Leatherwood and R. Reeves. 143-154 pp.

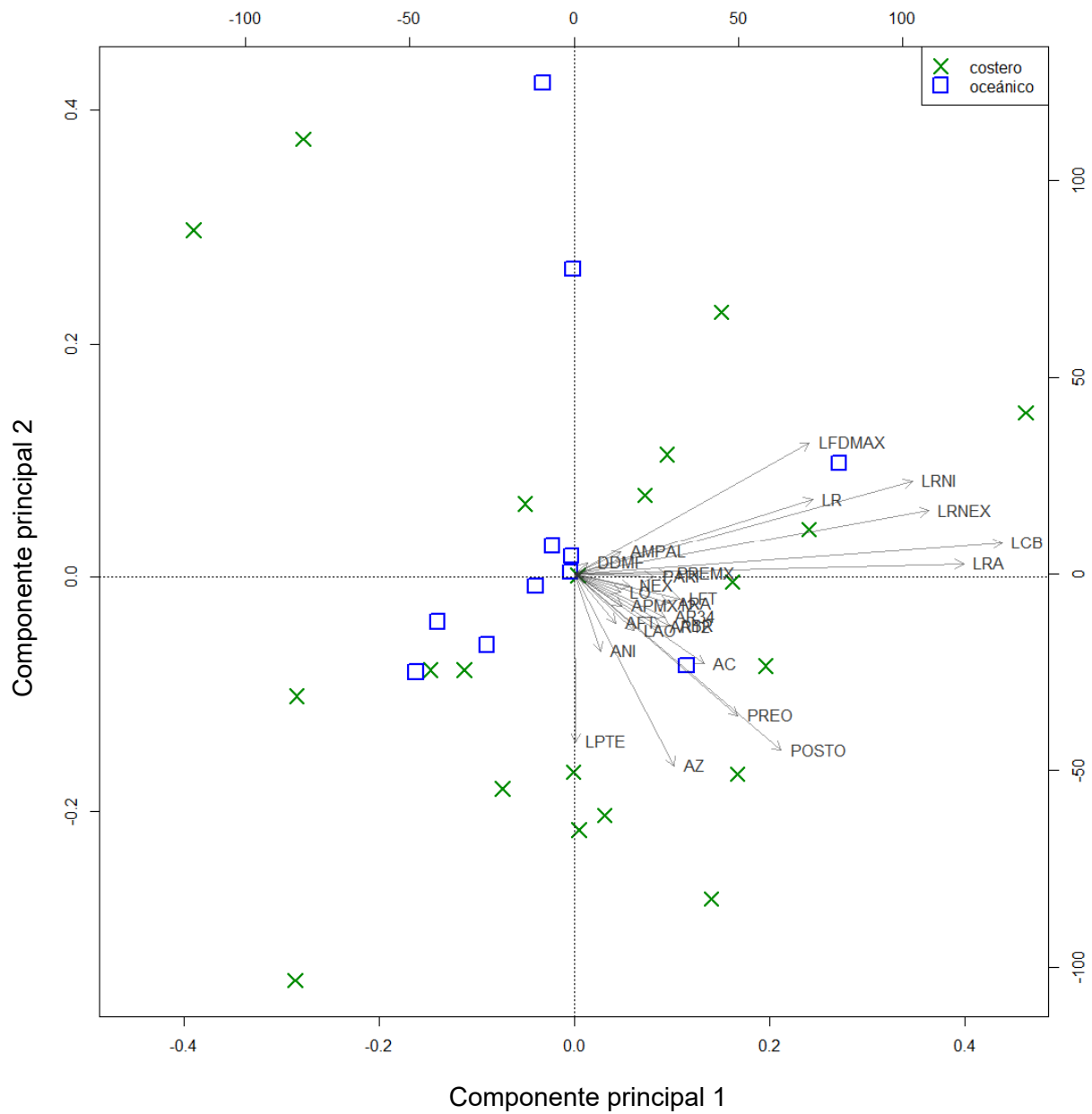
- Van Waerebeek, K., Reyes, J. C., Sanino, G. P., Félix, F., Van Bresseem, M. F., Avila, I. C. & Venegas Abad, A. 2017. Morphological variation in dorsal fins among common bottlenose dolphin populations in the Southeast Pacific Ocean.
- Via, S. 2002. Ecological genetics of speciation. *American Naturalist*. 159: S1-S7.
- Walker, W. 1981. Geographical variation in morphology and biology of bottlenose dolphins (*Tursiops*) in the Eastern North Pacific. NOAA/NMFS Southwest Fisheries Center Administrative Report. No. LJ-81-03C. USA. 21 pp.-
- Walker, J. L., Potter, C. W., & Macko, S. A. 1999. The diets of modern and historic bottlenose dolphin populations reflected through stable isotopes. *Marine Mammal Science*, 15(2), 335-350.
- Wang, J. Y., Chou, L. S., & White, B. N. 2000. Differences in the external morphology of two sympatric species of bottlenose dolphins (genus *Tursiops*) in the waters of China. *Journal of Mammalogy*, 81(4), 1157-1165.
- Wang, J. Y., & Yang, S. C. 2009. Indo-Pacific bottlenose dolphin. Pages 602–608 in W.F. Perrin, B. Würsig and J. G. M. Thewissen, eds. *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, Amsterdam, The Netherlands.
- Wells, R. S. 1980. The social ecology of inshore odontocetes. *Cetacean behavior: Mechanisms and functions*, 263-317.
- Wilson D. E., & Reeder D. M. 1993. *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Wilkinson, T., Wiken, E., Bezaury-Creel, J., Hourigan, T., Agardy, T., Herrmann, H., & Padilla, M. (2009). Ecorregiones marinas de América del Norte. *Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal*, 200.
- Würsig, B., & Würsig, M. 1979. Behavior and ecology of the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, in the South Atlantic. *Fishery Bulletin*, (2).

Würsig, B. 1986. Delphinid foraging strategies. *Dolphin cognition and behavior: A comparative approach*, 347-359.

8 ANEXO

Anexo 1. Distancias lineales tomadas en los cráneos de *Tursiops truncatus* del Pacífico Mexicano, basadas en las distancias consideradas por Perrin *et al.* 2011

Distancias lineales (Perrin <i>et al.</i>, 2011)		
1. Longitud condilo basal (LCB)	10. Ancho narinas externas (ANEX)	19. Longitud narinas internas (LRNI)
2. Longitud rostro (LR)	11. Ancho zigomático (AZ)	20. Ancho narinas internas (ARI)
3. Ancho base del rostro ABR)	12. Ancho premaxilas (APREMX)	21. Longitud pterigoides (LPTE)
4. Ancho base del rostro 1/2 (ABR 1/2)	13. Ancho parietales (APARI)	22. Ancho mínimo palatino (AMPAL)
5. Ancho base del rostro 3/4 (ABR 3/4)	14. Altura caja craneana (ACC)	23. Longitud fila dentaria maxilar (LFDMAX)
6. Ancho premaxilas 1/2 (APMAX 1/2)	15. Longitud fosa temporal (LFT)	24. Longitud del ramus (LRA)
7. Longitud narinas externas (LRNEX)	16. Ancho fosa temporal (AFT)	25. Ancho del ramus (ARA)
8. Ancho preorbital (APREO)	17. Longitud orbital (LO)	26. Diámetro del diente mitad de la fila dentaria (DD)
9. Ancho postorbital (APOSTO)	18. Longitud anterorbital (LAO)	



Anexo 2. Análisis de componentes principales del ecotipo costero y oceánico de *Tursiops truncatus* del Pacífico noroeste mexicano. El tamaño de los vectores refleja las variables con mayor peso en el componente 1 y 2 y la distancia de estos, reflejan la correlación que define la cercanía de las variables a la variabilidad de cada componente.