



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Análisis en la variación del quiridio del
delfín nariz de botella (*Tursiops
truncatus*) (Cetacea: Odontocetii)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A:

Paulina Montserrat Serrano Espinosa

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Jorge Ricardo Gersenowies Rodríguez

2015

Los Reyes Iztacala, Naucalpan, Estado de México



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"La ciencia sirve para darnos una idea de cuán vasta es nuestra ignorancia" "

Robert de Lamennais

Dedicada a mi madre por su apoyo
incondicional en cada momento

Flor Espinosa ☾

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por su apoyo incondicional, su guía, su comprensión y ser mi mayor pilar; junto con el resto de mi familia.

Al Dr. Jorge Gersenowies Rodríguez, por su apoyo para concluir esta tesis, sus enseñanzas y consejos; a mis sinodales, el Mtro. José Samuel Meraz Martínez, el Mtro. Mario Cárdenas León, el Mtro. José Ariel Olvera Ramos y el Biol. Hugo Castro, por sus correcciones sobre el texto de esta tesis; al Dr. Alberto Delgado Estrella y el Biol. Arturo Romero Tenorio por recolectar las aletas utilizadas. A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM, por mi formación profesional y las experiencias adquiridas durante este periodo.

A todos mis compañeros por las risas, consejos y tiempo compartido; a los amigos que se quedaron en el camino me enseñaron mucho, a los que aún continúan por sus porras para terminar este proyecto. A todos uds mis amigos, MUCHAS GRACIAS.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	6
JUSTIFICACIÓN	18
HIPOTESIS	19
OBJETIVOS	20
MÉTODO	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47

RESUMEN

El quiridio es la extremidad básica de los tetrápodos, el cual está descrito como pentadactilar; este se divide en tres segmentos, el estilopodio, el zeugopodio y el autopodio. En el caso de los cetáceos el quiridio se modificó a nivel pectoral, el más conocido es el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*).

Se realizó la técnica de transparentación para las aletas, con la cual se logró observar y contar el número de elementos presentes en cada una. Siendo comparadas entre ellas, se reporta que no son simétricas en el número de sus elementos óseos, no se observaron variaciones en el estilopodio ni el zeugopodio, estas fueron exclusivas del autopodio siendo en las falanges el mayor porcentaje de variación. Basado en la prueba de t de Student se mostró que hay valores significativos en el IV dígito para ambos lados de la aleta, del lado izquierdo esto es solo para el III dígito.

Palabras clave: Quiridio; Delfín nariz de botella; Variación, Dígitos, Cetáceos,

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los biólogos y paleontólogos han descubierto una gran cantidad de taxa que revelan las etapas de la evolución de diferentes grupos destacando las aves, ballenas, ranas, salamandras y artrópodos, a estos descubrimientos se le han unidos los estudios basados en el genoma, la embriología y el desarrollo, que pese a no poder proporcionar predicciones de todas formas extintas, son un apoyo para la comprensión de los procesos y mecanismos que provocaron estos cambios evolutivos observados (Pierettia *et al.*, 2015). El análisis morfológico es una de las vertientes que generalmente tienden a ser olvidadas en dichos estudios, siendo las descripciones realizadas una fuente rica en datos filogenéticos.

Dentro de los datos que nos permiten conocer la filogenia de los vertebrados tenemos que los peces agnatos experimentaron una extensa radiación en el periodo Silúrico (Carroll, 1988; Janvier, 1996), dando a lugar a los vertebrados mandibulados y con dos conjuntos de apéndices pares el pectoral y el pélvico (Forey y Janvier, 1993; Coates, 1994). La ausencia de agnatos modernos con aletas pares restringe el análisis filogenéticos solo a gnatostomos, en el registro fósil encontramos varios tipos de ostracodermos con pliegues laterales parecidos a aletas pectorales debido a su ubicación a lo largo del eje cefálico-caudal del cuerpo. Entre dichas estructuras caben destacar los pliegues pectorales de los telodontos; las espinas y pliegues laterales de anaspidos y las extensiones pectorales del dermocaparazón cefálico de osteostraceos (Carroll, 1988; Coates, 1994; Janvier 1996).

El problema del origen de los apéndices pares, ha sido de notable interés en uno de los intentos por determinar la historia evolutiva de los vertebrados, de esta forma durante el siglo XIX se propusieron dos teorías para explicar el origen de los apéndices pares, ambas surgidas de la escuela de Jena. Estas teorías están basadas en estudios de anatomía comparada, embriología y el registro fósil. La teoría del arco branquial propuesta por Gegenbaur, quien considera que las aletas pectorales representan una modificación de un arco branquial posterior, siendo el origen de las aletas pélvicas resultado de una subsiguiente transposición posterior; y la teoría del pliegue de la aleta

propuesta por Balfour, la cual considera que las aletas pares se derivaron de los pliegues laterales pares las cuales creía que corrían a lo largo de la longitud ventral y lateral del cuerpo de un hipotético vertebrado ancestral (Figura 1) (Coates, 1994)

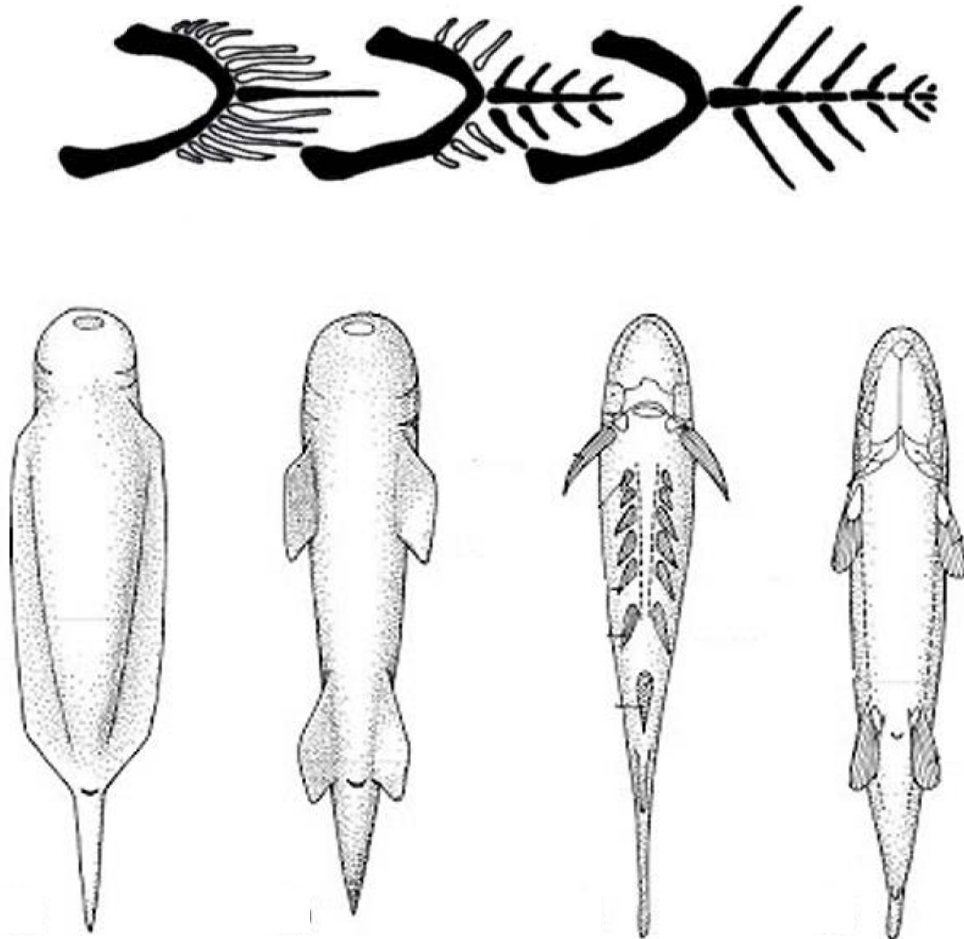


Figura 1. Secuencia superior teoría del arco branquial propuesta por Gegenbaur, secuencia inferior teoría del pliegue de aleta propuesta por Balfour (Kardong, 2002)

Actualmente se cree que los mecanismos moleculares implicados en el crecimiento de la extremidad están determinados por los genes Hox, en particular la familia T-box. Siendo apoyada está por líneas de investigación que postulan (Chapman *et al.*, 1996; Gibson-Brown *et al.*, 1996):

- 1) los patrones de expresión se encuentran a lo largo del eje anteroposterior del cuerpo y determinan solamente las morfologías de estructuras axiales.

2) en especies con morfologías axiales diferentes, cambia el patrón de expresión de los genes Hox.

Los genes T-box codifican una familia de factores de transcripción que comparten el mismo dominio que los genes clásicos del ratón *Brachyury* (Bollag *et al.*, 1994). Los estudios realizados en el ratón sugieren que estos genes pueden tener un papel importante en el desarrollo (Chapman *et al.* 1996) son cuatro, Tbx2-Tbx5, los que se han encontrado que son expresados en el desarrollo de las extremidades (Figura 2) (Gibson-Brown *et al.* 1996).

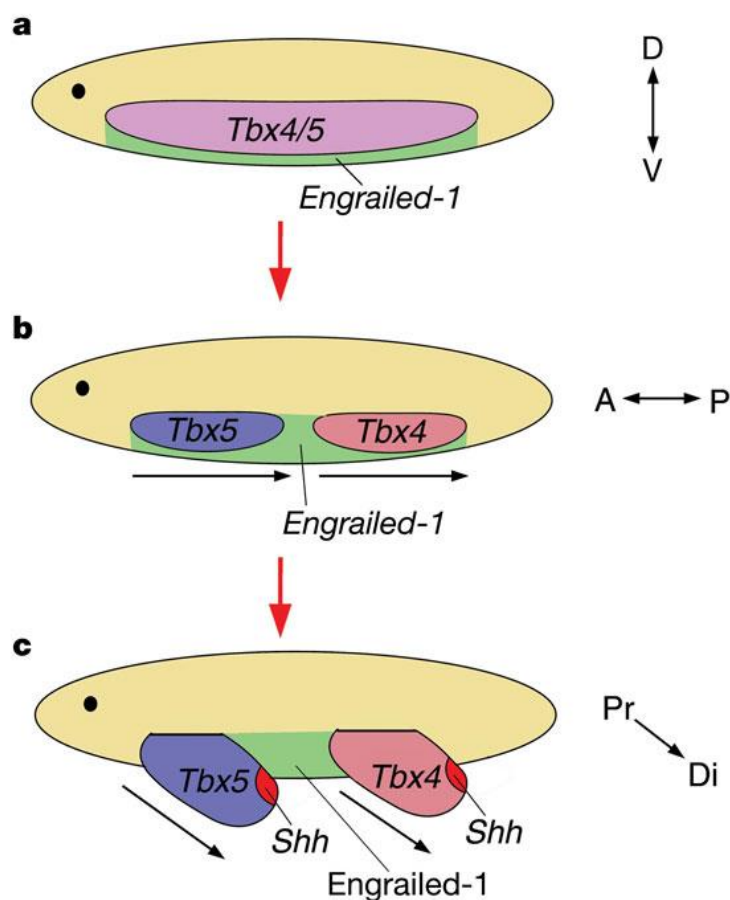


Figura 2. Origen de las aletas pares de acuerdo a la expresión de los genes Tbx 4/5 (Chapman *et al.*, 1996; Gibson-Brown *et al.*, 1996)

Estos genes han ayudado a la comprensión de la evolución de la extremidad en los vertebrados, Agulnik y sus colaboradores (1996) esquematizan un modelo de un gen ancestral de donde derivan los cuatro genes T-box, este experimentó una duplicación conjuntamente, para producir un conglomerado de

dos genes estrechamente emparentados. En una posterior separación de vertebrados e invertebrados, el conglomerado se duplicó en masa y, dos copias resultantes se dispersaron en dos diferentes ubicaciones cromosomales, dando el arreglo en el genoma actual de los gnatostomos.

Las extremidades de los tetrápodos son generalmente descritas como pentadáctilas, condición conocida como quiridio, pero al considerar el registro fósil y las variaciones de las taxas existentes, los apéndices con cinco dedos no es primitivo, ni fijo. Los tetrápodos basales del Devónico, poseían apéndices de seis o más dedos, y la evidencia está a favor de que el ancestro de los amniotas poseían un patrón básico de seis dedos (Coates & Clack, 1990).

La extremidad básica de los tetrápodos es el quiridio, la cual hace referencia exclusivamente a una extremidad par pentadactilar (Villar, 1979; Nadal, 2001). El quiridio se diferencia desde el punto de vista anatómico en tres segmentos, el estilopodio, zeugopodio y autopodio (Kardong, 2002).

El estilopodio es la región proximal al cuerpo, se encuentra conformado por un solo elemento, el húmero en la extremidad pectoral y el fémur en la pélvica. Al zeugopodio lo componen dos huesos que van en paralelo, en la parte pectoral están la ulna y el radio, mientras que en la pélvica se presentan la fibula y la tibia. La porción distal es el autopodio, que se encuentra compuesto por una gran cantidad de huesos, pudiéndose a su vez dividir en los elementos que constituyen el carpo, metacarpo y las falanges en las manos, mientras que en los pies dichas divisiones corresponden al tarso, metatarso y las falanges (Kardong, 2002).

En el caso de los cetáceos las aletas son quiridios modificados que solo se presentan a nivel pectoral, pero su estructura posee el mismo patrón en sus elementos óseos que se observa en el miembro pectoral de diferentes vertebrados mandibulados como son la tortuga, cocodrilo, caballo, murciélago, topo, humano, etc. aunque las funciones que desarrollan sean diferentes, un caso clásico de plasticidad fenotípica (Kardong, 2002).

ANTECEDENTES

Descripción de delfín

Dentro de los cetáceos uno de los más conocidos es el delfín nariz de botella o tonina (Figura 3) cuya clasificación es, de acuerdo a Wilson y Reeder 2005.

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Subfilo: Vertebrados

Clase: Mammalia

Subclase: Eutheria

Orden: Cetacea

Suborden: Odontoceti

Familia: Delphinidae

Género: *Tursiops*

Especie: *Tursiops truncatus* (Montagu 1821)



Figura 3. *Tursiops truncatus*

El *Tursiops truncatus* conocido como delfín nariz de botella, delfín mular, tursión o tonina, se reconoce por su cuerpo robusto y de tamaño medio. La piel es suave y sin pelo; su coloración es muy variable, en general el dorso es de color gris oscuro, aunque también los hay negros, parduscos, de tronco gris purpura, gris acero y gris pizarra. Estos tonos tienen cambios a un gris claro en los costados y en el vientre son de coloración rosada. Su respiración es a través de narinas externas las cuales migraron a una posición dorsal en la cabeza y esta abertura recibe el nombre de espiráculo o respiráculo y solo es una en delfines (Ceballos, 2005).

Habitan en áreas costeras y oceánicas de mares tropicales, subtropicales y templados de todo el mundo. El género es común en aguas costeras y oceánicas mexicanas en el Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe mexicano.

En el Pacífico mexicano la población de hábitos costeros se distribuyen en toda la costa incluyendo el Golfo de California. La forma oceánica habita en los mares templados del norte y tiene su límite sur en la isla Guadalupe. La otra población habita en la costa oeste de Baja California hasta Bahía Magdalena y el interior del Golfo de California (Figura 4) (Ceballos, 2005).

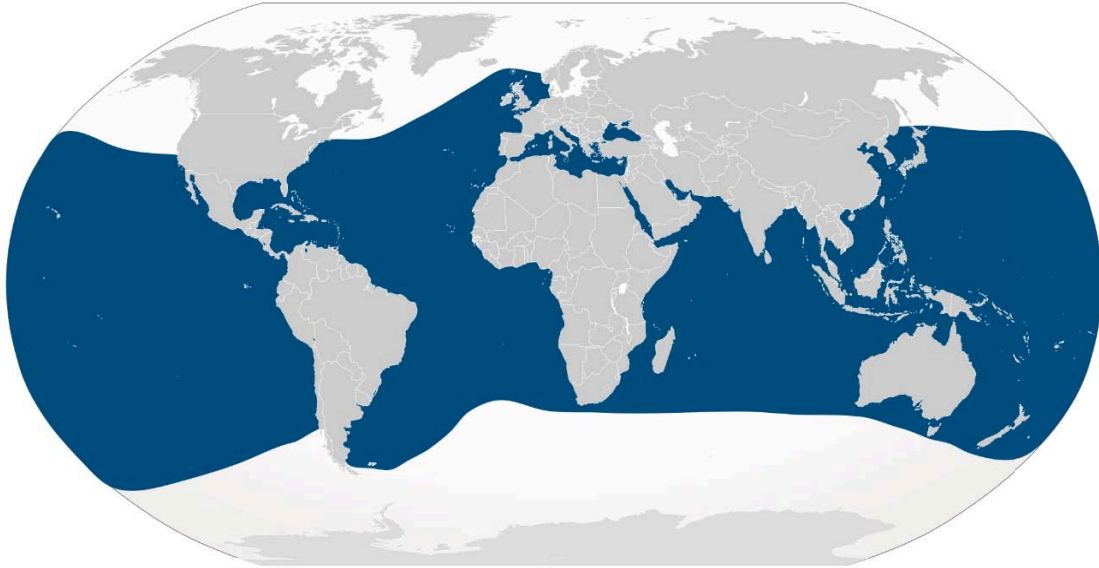


Figura 4. Mapa de distribución de la especie

El delfín nariz de botella *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) es una de las especies con el mayor número de publicaciones ya que son considerados por muchos autores como los cetáceos más conocidos y estudiados en el mundo (Tolley, 1995).

El delfín nariz de botella es una especie cosmopolita cuya morfología varía en las diferentes zonas. El estudio de su morfología, esqueleto y pruebas genéticas han mostrado que hay al menos dos especies, probablemente habiendo más, el delfín nariz de botella común –*Tursiops truncatus*– y el delfín nariz de botella del Indo-Pacífico –*T. aduncus* (Parson *et al.*, 2013).

Los estudios morfométricos en el delfín nariz de botella se han realizado por diferentes autores del mundo tomando por lo general animales muertos procedentes de varamientos, víctimas de redes de pesca y haciendo estudio por lo general de cráneos (Blanco-Olaechea, 2000). A pesar de haber realizado varios estudios de morfometría se aplica lo referido por Read y colaboradores

(1993) “Muchos de los rasgos biológicos de los delfines nariz de botella, quedan por ser descritos”.

Miembro Pectoral del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*)

Escápula

La escápula tiene forma de abanico en el delfín nariz de botella (Figura 5) lo cual es un carácter típico de los odontocetos. El coracoides es alargado y robusto; el cual se extiende anteriormente desde el extremo distal de la superficie medial de la escápula corriendo paralelo al eje axial del cuerpo. El acromion es mucho mayor al coracoides y corre paralelo a este. También es robusto y plano. Su superficie proyecta lateral al coracoides constituyendo una extensión de la superficie lateral de la escápula (Leatherwood y Reeves, 2012).

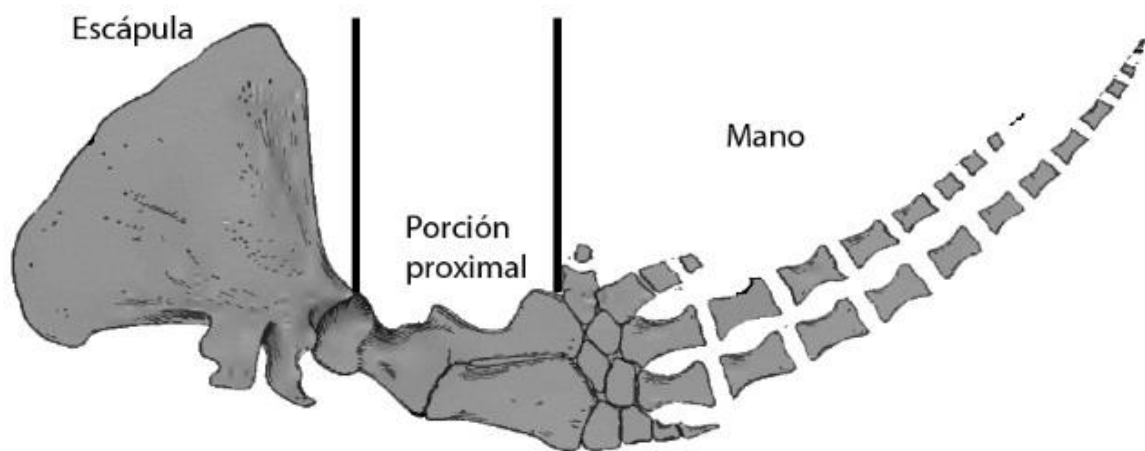


Figura 5. Anatomía esquelética del miembro pectoral de cetáceo (según Howell, 1930).

La fosa supraespinoso está muy reducida, siendo una ranura en el borde anterior de la lámina. La "espina" de la escápula está en el extremo anterior de la lámina escapular; Klima y colaboradores (1980) describieron a la escápula de *T. truncatus* sin espina. La membrana interósea entre el coracoides y el margen anterior de la lámina produce efectivamente una fosa supraespinosa funcional donde se inserta el músculo supraespinoso. La región infraespinosa está constituida por casi toda la lámina de la escápula.

La escápula se coloca sobre las costillas y los músculos costales, en una ubicación similar a la de los mamíferos terrestres. La fosa glenoidea y la cabeza del húmero están aproximadamente en línea con el presternum, como en muchos mamíferos terrestres (Evans y de Lahunta, 1980). El cuello corto de los cetáceos hace que parezca que la cintura pectoral este colocada directamente detrás del cráneo.

Porción proximal del miembro pectoral

El húmero es relativamente corto y muy robusto (Figura 5). La cabeza (casi en su totalidad epífisis) del húmero se orienta dorsomedialmente. Aparentemente no existe movimiento relativo entre la ulna, el radio, y el húmero y a que los huesos de las aletas están incrustados en una matriz cartilaginosa y rodeada por una gruesa vaina fibrosa.

Tabla 1. Formula de las falanges del delfín nariz de botella (Datos tomados de Leatherwood y Reeves, 2012)

Especimen	N° de falanges por dígito					
	I	II	III	IV	V	Carpos
USNM #484992	0	7	5	3	1	6
USNM #504109	0	7	5	3	0	6
USNM #504123	0	8	6	3	1	5
USNM #504273	1	8	6	3	2	5
USNM #504315	0	7	5	3	1	5
USNM #504326	0	7	5	3	1	5
USNM #504348	0	6	5	2	0	4
USNM #504501	0	7	5	3	1	5
USNM #540121	0	7	5	3	1	5
USNM #550855	0	7	5	2	1	5
USNM #550858	0	7	5	2	0	5
van Beneden and Gervais (1868-1879)	2	8	7	3	2	5

Kiikenthal (1889)	0	8	6	2	2	5
Felts (1966)	2	6	4	3	2	5

National Museum of Natural History, Washington - USNM

La diáfisis humeral no posee medula ósea (Felts, 1966) y es casi tan ancha como larga. Las superficies planas de la epífisis distal del húmero se articulan en las epífisis proximales del radio, relativamente grande y la ulna, de tamaño pequeño; no hay una articulación en bisagra como la que se presenta en otros mamíferos. Los procesos proximales del húmero, tales como el tubérculo mayor y tubérculo menor, son más parecidos que los procesos discretos de otros mamíferos; Klima y colaboradores (1980) se refieren a estos como un tubérculo común.

Hay un distintivo proceso olecranon en la ulna proximal. El radio se encuentra en el borde anterior de la aleta; es sustancialmente mayor que el cúbito. La ulna se encuentra a lo largo del borde posterior de la aleta. El margen entre la radio y la ulna está casi en línea recta, mientras que la superficie anterior del radio es convexa y la superficie posterior de la ulna es cóncava (Leatherwood y Reeves, 2012).

Mano

Los cetáceos son únicos entre los mamíferos porque presentan hiperfalangia, es decir, que tienen más falanges que el número típico de mamíferos (Howell, 1930). En el delfín nariz de botella el pollex (dedo I) por lo general tiene una sola falange (MI), pero en ocasiones hay dos. El dígito más largo suele ser el segundo. Las fórmulas de las falanges (que incluyen muchas veces a los metacarpianos, pero muchos cetólogos los excluyen en estas fórmulas; Flower, 1885, and Eales, 1950) los datos de varios especímenes de la USNM (National Museum of Natural History, Washington) se muestran en la Tabla 1. El hueso pisiforme (sesamoideo) se encuentra ocasionalmente en la región entre el quinto dígito y la ulna.

Por lo general hay cinco carpos (Tabla1). En la fila proximal hay tres: el radial (escafoides o naviculare), intermedio (lunar o semilunare) y ulnar (cuneiforme o piramidal). En algunos especímenes viejos puede haber osificaciones

secundarias en el radial o en el ulnar (Tabla1). La fila distal del carpo tiene dos huesos: el magnum (capitatum, C3) y el unciforme (hamatum). El unciforme se considera que es la fusión del cuarto (C4) y quinto (C5) carpiano. Hay una cierta ambigüedad con carpianos distales C1 y C2-uno de ellos fusiona con M1 al comienzo del desarrollo, mientras que el otro está ausente (Eales, 1954).

Puede haber epífisis asociadas con la mayoría de las falanges proximales de los primeros cuatro dígitos. Los dígitos II (índice) y III (medio) comúnmente tienen epífisis en ambos extremos de las falanges proximales (incluyendo los metacarpianos); el número de falanges (en estos dos dígitos) que tienen epífisis aumenta con la edad. El dígito I (pollex) y IV (anular) tienen epífisis proximales en sus metacarpianos (M1 y M4) en algunos ejemplares. No se ha encontrado epífisis en el dígito V (meñique) (Leatherwood y Reeves, 2012).

Técnica de tinción

Hollister en 1932 realizó modificaciones de antiguas técnicas de transparentación para el estudio del esqueleto; esta consiste en fijar los organismos en alcohol etílico al 70%, para ser sumergidos después en una solución de rojo de alizarina al 2%, seguido de hidróxido de potasio (KOH) al 4% y dejar reposar por un tiempo, la diafanización se realiza en una solución pura de KOH y glicerina al 40%

En 1936 Davies y Gore utilizaron la técnica de Schultze, modificada por Beebe y Hollister para el estudio anatómico de pequeños vertebrados, trabajando con saurios y anfibio fijando los tejidos con alcohol al 95%

William en 1941 emplea la técnica de rojo de alizarina S y azul de toluidina en *Urodela*, observando que la fijación al 10% de formol reducía la maceración del KOH.

Charles y Eleanor Noback en 1944, transparentan fetos humanos tiñendo el esqueleto óseo con rojo de alizarina S y con KOH maceraron la musculatura para poder observar con mayor claridad la estructura ósea.

En 1972 Love y Vickers utilizaron azul de metileno para la tinción de cartílago en fetos de rata observando que este se teñía con precisión.

Wassersug en 1976 trabajó con renacuajos, utilizó la solución de azul de alciano para la tinción del cartílago, obteniendo resultados superiores a los obtenidos con azul de toluidina

Dingerkus y Uher en 1977 usan diferentes vertebrados, donde usan la tripsina para digerir musculatura, manteniendo las tinciones de azul de alciano y rojo de alizarina S; recomendando esto para el estudio de cartílago.

En 1983 Kelly y Bryden aceleraron el proceso usado por Dingerkus y Uhler mediante la incubación a 37°C; usando como fijador una solución formol-ácido acético-alcohol, este ayuda a acelerar el proceso de transparentación.

En 2009 Cortés y sus colaboradores utilizaron la técnica de doble tinción con transparentación a roedores y murciélagos adultos para su uso en diferentes etapas del desarrollo y en anatomía comparada.

Quiridio en cetáceos

En 2000 Ortega y sus colaboradores reportaron en la aleta de la vaquita marina *Phocoena sinus* polidactilia, mediante la técnica de transparentación descrita por Hollister, encontraron otra falange entre la III y IV, más cercana a la III observándose en todos los organismos examinados. Ellos sugieren para la especie una nueva fórmula que es I-1, II-7-8, III-6-7, IV-0-3, V-3-4, VI-1; donde el nuevo dígito corresponde al IV.

Richardson y Oelschäger en 2002, trabajaron con embriones del delfín manchado tropical (*Stenella attenuata*), se tiñó el cartílago de la aleta con azul de alciano, este solo podía ser visto con iluminación a campo oscuro. Estimaron y asignaron una etapa al tiempo de gestación de acuerdo a Sterba y sus colaboradores; vieron el desarrollo de las falanges según su etapa, encontrando que el desarrollo de las falanges en los dígitos II y III continúa después de que la mayoría de los huesos ya se han formado.

Dawson en 2003 realizó un estudio para ver la osificación de la aleta en la marsopa *Phocoena phocoena*, al hacer radiografías a los organismo; describió brevemente a los metacarpos, observó el número de las falanges y registrando

una nueva fórmula para las mismas; siendo I-0-2, II-5-7, III-5-6, IV-2-3. V-0-2, demostrando hiperfalangia en el II y III dígito.

En 2007 Cooper y sus colaboradores realizaron un estudio donde integraron a especies tanto de Mysticetos como de Odontocetos, haciéndose radiografías y disecciones. Se registraron el número de falanges para cada dígito, cada suborden presentó un patrón diferente en la reducción o aumento de las falanges. El I tuvo una reducción de las falanges, en Odontocetos el II y III presentan el mayor número, mientras que en Mysticetos es el III y IV. Algunos Odontocetos presentan hiperfalangia en el IV aunque la mayoría presentan el estado plesiomórfico de tres, muchos redujeron sus falanges en el V dígito excepto la beluga (*Delphina pterusleucas*), el cachalote pigmeo (*Kogia breviceps*) y el delfín del Ganges o shushuk (*Platanista gangetica*). La mayoría de los Mysticetos presentan el número cercano a la condición plesiomórfica en el V que son III.

Watson y sus colaboradores (2008) realizaron un estudio comparativo de la morfología específica de los huesos del carpo y dedos de dos ejemplares de la ballena nariz de botella tropical *Indopacetus pacificus* donde confirmaron genéticamente que era una pareja madre-cría. Pudieron describir un raro caso de la malformación congénita, polidactilia, en el espécimen inmaduro. Para analizar sus datos elaboraron la siguiente tabla 2 en donde resumieron los resultados de distintos investigadores:

Tabla 2. Fórmulas de falange de zífidos representativas					
Especie	Dedos				
	I	II	III	IV	V
<i>Tasmacetus shepherdi</i>	0	4	3	2	1
	0	4	4	4	1
<i>Ziphius cavirostris</i>	1	5	5	4	2
<i>Hyperoodon planifrons</i>	1	6	5	4	2
<i>Indopacetus pacificus</i>	0	6	5-6	4	3
	0	5	5	4	3
<i>Mesoplodon bidens</i>	0	6	5	4	2
	0	5	4	3	2
<i>Mesoplodon densirostris</i>	1	4	4	3	1
	1	3	4	3	2
<i>Berardius arnuxii</i>	1	6	5	4	3

Encontraron polidactilia con seis falanges ubicado entre el II y III dígito la cual se vio por medio de una radiografía, posteriormente fue examinada realizándose una disección donde se vio que este dígito tenía un pequeño tendón corriendo axialmente sobre la superficie dorsal y ventral, al igual que en los demás dígitos.

Cooper y Dawson en 2009 señalan que las extremidades anteriores de los cetáceos son únicos entre los mamíferos por la presencia de hiperfalángia en sus dedos, estando toda la extremidad encerrada en una aleta del tejido blando que funciona durante la natación, y si bien la morfología típica de los dedos de cetáceos ha sido bien documentado por estudios anatómicos detallados, en ellos poco se analizan las anomalías. Para ello realizan un amplio estudio taxonómico de las anomalías digitales de cetáceos. Utilizando radiografías del miembro anterior de las colecciones de museos calcularon la prevalencia y la morfología de las alteraciones digitales de cetáceos. Los resultados encontrados lo resumieron en la siguiente tabla:

Tabla 3. Prevalencia de anomalías digitales en taxones odontocetos con muestras de gran tamaño			
Especie	n	Porcentaje con anomalías digitales	Porcentaje con morfologías degenerativas
<i>Delphinus delphis</i>	67	10%	0%
<i>Lagenorhynchus acutus</i>	43	2%	0%
<i>Stenobreda nensis</i>	16	12%	25%
<i>Stenellacoeruleo alba</i>	22	13%	0%
<i>Tursiops truncatus</i>	76	1%	0%

Dentro de sus resultados encontraron que en el 11% (n = 255) de las ballenas dentadas aparece algún tipo de osificación aberrante: la mayoría de estos casos muestra una fusión de elementos dentro de un solo radio digital,

mientras que los casos que presentan cifras ramificados eran raros. Una pequeña muestra de las radiografías de ballenas barbadas ($n = 6$) contenía el único caso documentado de polidactilia en una ballena gris. Por otra parte, algunos ejemplares Balaenoptera muestran elementos osificados dentro de los espacios interdigitales que carecían de apego a los dígitos y carpos adyacentes. Además, se especuló sobre el papel que varios genes pueden haber desempeñado en la creación de anomalías digitales de cetáceos.

Lucić y colaboradores (2009) examinaron las diferencias de las características osteodensitométricas de las aletas de dos especies de delfines que son morfológicamente muy similares, pero que viven en diferentes entornos. Para ello obtuvieron las aletas pectorales de 24 especímenes de cetáceos odontocetos que representaban a dos géneros, 12 delfines nariz de botella (*Tursiops truncatus*) y 12 delfines listados (*Stenella coeruleoalba*). Tomaron las medidas morfométricas del cuerpo y las propiedades osteodensitométricas (BMC, contenido mineral óseo y BMD densidad del mineral óseo) utilizando el método DEXA. Los parámetros osteodensitométricos en el área examinada se correlacionaron positivamente con las propiedades morfométricas de la aleta, sobre todo con la longitud del cráneo a la aleta. La correlación de los parámetros ancho de la aleta con los valores osteodensitométricos, es diferente entre las especies de delfines examinados. Conforme el tamaño del cuerpo es más grande y más fuerte el esqueleto, el delfín nariz de botella tiene valores más altos de osteodensitometría que el delfín listado. Esto sugiere que el delfín nariz de botella, al poseer una mayor actividad corporal asociada con un aumento muscular y de la densidad mineral ósea presenta una mayor actividad muscular en la extremidad anterior que la que presenta el delfín listado.

Lucić y colaboradores (2015) investigaron y compararon las características morfométricas de las aletas de delfín *Tursiops truncatus* machos y hembras de diferentes edades. Para ello utilizaron exclusivamente las aletas derechas de 64 especímenes (36 machos y 28 hembras), con un rango de edad entre 6 meses y 28 años. Dos índices numéricos fueron utilizados con el fin de establecer la relación numérica entre las medidas exteriores de la aleta y la longitud total del cuerpo de cada espécimen. Utilizaron dos índices para

establecer si había una relación entre la longitud total y el tamaño de la aleta, estos fueron:

- Índice de las mediciones de las aletas (IXF)

$$IXF = \{(CrFL + CaFL) / 2\} \times GFW$$

- Índice de las mediciones de las aletas en relación con la longitud total del cuerpo (IxBL)

$$IXBL = \{(CrFL + CaFL) / 2\} \times GFW / TBL$$

Donde:

CrFL - Longitud cráneo-aleta craneal (distancia desde la base del cráneo en la parte anterior de la aleta).

GFW - ancho mayor de aleta.

CaFL - longitud a la aleta caudal (distancia desde la aleta caudal a la parte anterior de la aleta).

TBL - longitud total del cuerpo (distancia desde la punta de la mandíbula superior a la parte inferior de la incisura medial de la cola).

Todos los datos fueron analizados mediante un programa de estadística estándar "Statistica para Windows 9.0". Los animales fueron divididos según el sexo y clasificaron en el rango de edad de 6 meses a 28 años. Las correlaciones fueron evaluados entre el índice de mediación de las aletas (IXF) y el índice de las mediciones de las aletas con la longitud total del cuerpo (IxBL) con los parámetros morfométricos (la longitud del cuerpo, las dimensiones de las aletas pectorales, el peso y la edad de los delfines). Al comparar estos índices en los delfines de diferentes edades, se observaron variaciones notables en las dimensiones de las aletas durante el crecimiento total del cuerpo. En los delfines nariz de botella, ambos índices están muy correlacionados con la longitud del cuerpo del animal. El valor medio del índice de las mediciones de aletas y la longitud total del cuerpo (IxBL) fue algo mayor

en los delfines hembras. También se observó que los índices de aletas están muy correlacionados con la edad del animal. Los datos sugieren que las aletas crecen hasta el décimo año, después de lo cual no cambia sustancialmente hasta alcanzar los 25 años. Después de esa edad el tamaño aletas comienza a disminuir.

JUSTIFICACIÓN

La importancia de estudiar las aletas de estos cetáceos se debe a que estas poseen características en común con el ancestro terrestre, como lo es la estructura de los huesos en la mano que se ha mantenido a través del tiempo desde su divergencia. Se han realizado estudios previos para los cetáceos observándose algunas variantes en el autopodio, el presente trabajo contribuirá al registro de las variantes presentadas en el quiridio en el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) y de esta forma proporcionar información para la comprensión de la estructura morfológica de la aleta pectoral en dicha especie.

HIPOTESIS

Debido a que los delfines son mamíferos, se espera que posean el mismo patrón básico en la estructura del quiridio, encontrándose diferencia sobre todo en el autopodio en donde se ha reportado variaciones de sus elementos que se correlacionan con adaptaciones a condiciones ambientales específicas.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la variación que presentan los quirridios del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*).

Objetivos particulares

Obtener preparaciones de los quirridios del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*).

Describir y determinar las variaciones de los elementos presentes en los quirridios del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*).

Comparar los resultados obtenidos con los reportados por diferentes autores.

MÉTODO

Se obtuvieron 12 pares de aletas de delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) que fueron prestadas para su estudio por el Dr. Alberto Delgado Estrella y el Biol. Arturo Romero Tenorio, las cuales posteriormente fueron devueltas y actualmente se encuentran a resguardo en la colección de cetáceos en el Instituto Vía Delphis del parque Xcaret localizado en Quintana Roo, México.

Las aletas fueron desolladas y posteriormente se fijaron en formol al 4% neutralizado con borato de sodio por un mínimo de 24 hrs, lavándose posteriormente con abundante agua para quitar el exceso de formol.

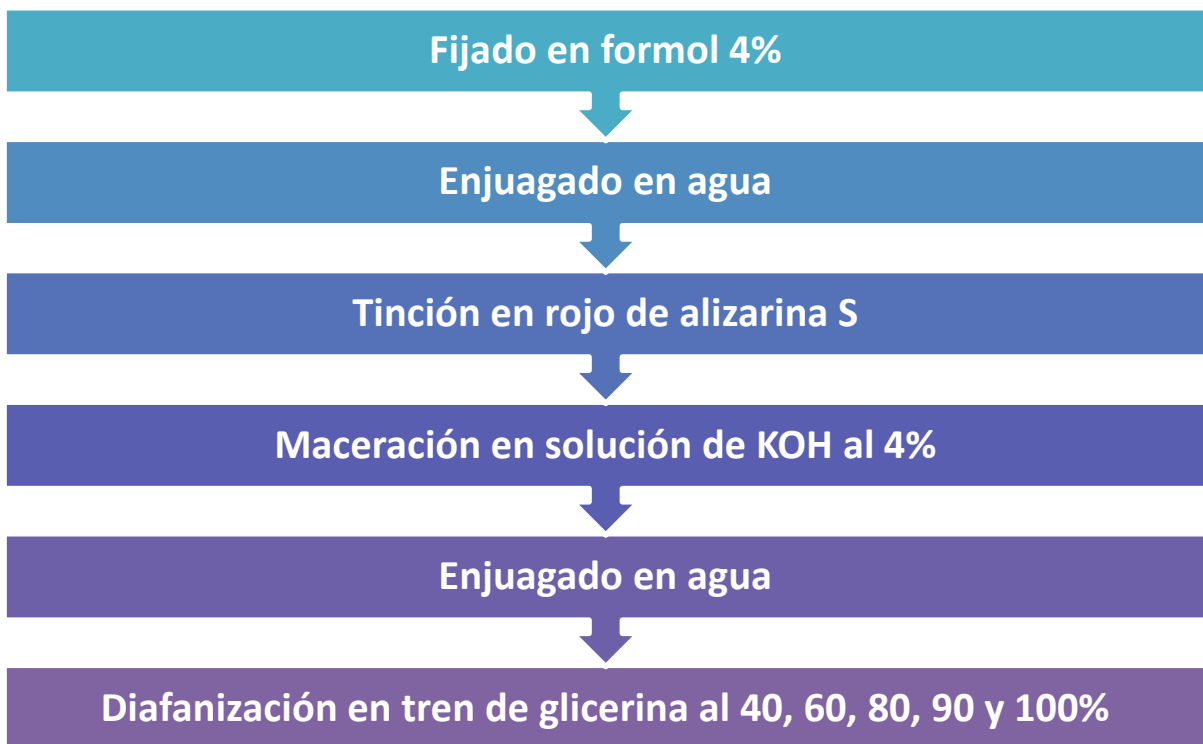


Diagrama 1.- Ruta crítica del procedimiento utilizado para la preparación de las aletas

Se realizó la transparentación de las aletas mediante la técnica de Hollister modificada por Gersenowies la cual ha sido utilizada con anterioridad en el estudio de la vaquita marina *Phocoena simus* (Ortega, *et al.*, 2000), y que se considera específica para cetáceos. Esta consiste en sumergir a la aleta en una solución de rojo de alizarina S al 1% en hidróxido de potasio (KOH) al 4% por una semana (Diagrama 1).

Después de la tinción las aletas fueron trasladadas a una solución de KOH al 4%, hasta alcanzarse un grado de digestión aceptable, durante el proceso se eliminó con tijeras y bisturí el exceso de tejido saponificado y se cambiaba la solución de KOH. Cuando los especímenes alcanzaron un grado de translucidez aceptable, es decir, cuando se observaba en el negatoscopio, se lavaron con abundante agua corriente y se procedió a la diafanización pasándolos por un tren de glicerina de diferentes concentraciones (40, 60, 80, 90 y 100%, 48 hrs. en cada solución) para su almacenamiento final en glicerina pura en un recipiente de plástico (Diagrama 1).

Posteriormente se fotografiaron con una cámara Canon Rebel T4i y se contaron los elementos considerando cuatro porciones, la primera está conformada por la ulna y el radio; la segunda por los carpos, la tercera hace referencia a los metacarpos y la última formada por las falanges, posteriormente se analizaron las aletas considerando la proporción de elementos comunes para cada segmento (figura 6).

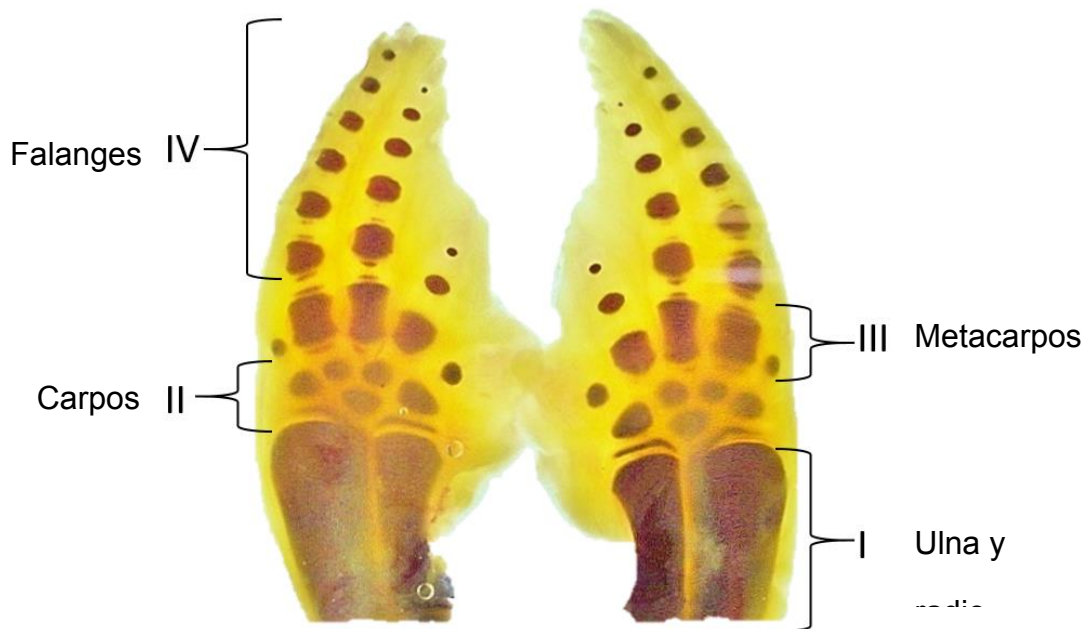


Figura 6. Aletas transparentadas en donde se señalan las cuatro porciones consideradas.

Se identificaron los cuatro segmentos, y posteriormente se llevó a cabo el conteo de los diferentes elementos, vaciando los datos en una hoja de cálculo utilizando el programa Excel 2007 ® Microsoft, utilizándolos para los posteriores cálculos. Los elementos identificados fueron descritos de acuerdo a la nomenclatura de Leatherwood y Reeves (Figura 7)

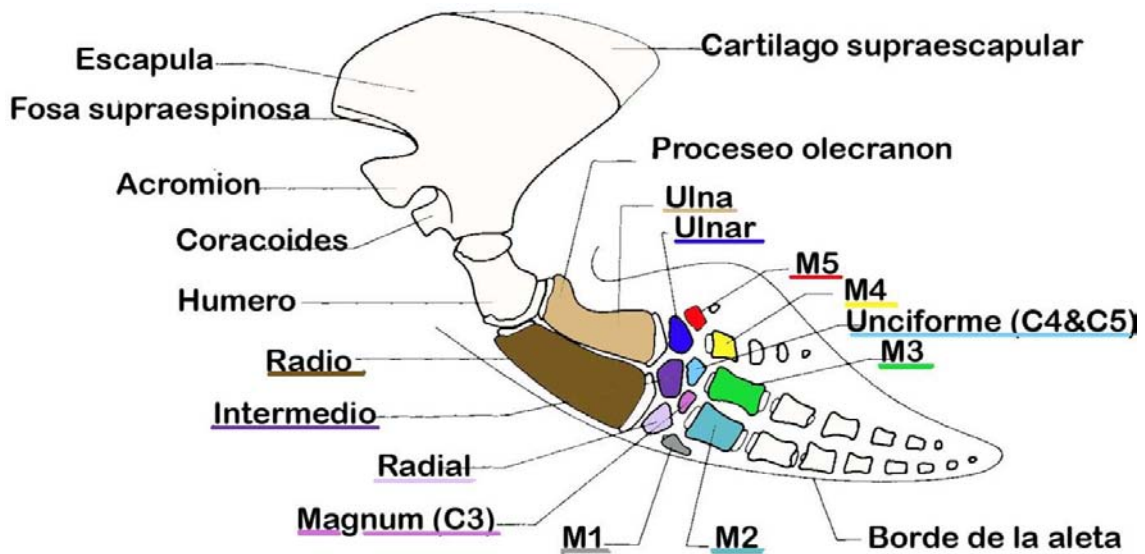


Figura 7. Nombre de los huesos de acuerdo con Leatherwood y Reeves (2012)

Con dichos resultados se obtuvieron el porcentaje de presencia de cada elemento, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de presencia} = \frac{\# \text{ de presentes} \times 100}{\# \text{ de individuos totales}}$$

Con estos resultados se construyeron los esquemas del quiridio en donde se indicaban el porcentaje de variación de los elementos tanto para los resultados obtenidos en el presente estudio como para los reportados por diferentes autores. Los resultados obtenidos se compararon con los reportados por diferentes autores. En el caso de Leatherwood y Reeves (2012), quienes reportaron el total del número de sus organismos a pesar de que no distinguen entre los miembros izquierdo y derecho se obtuvieron los porcentajes de presencia de cada elemento, en base a sus datos.

Para comparar los resultados se utilizó una prueba de “t” para proporciones, la cual tuvo la siguiente estructura (Sokal y Rohlf, 1987):

Hipótesis:

Bilaterales

Ho: Las proporciones encontradas son iguales a las reportadas por Leatherwood y Reeves (2012).

Ha: Las proporciones encontradas son diferentes a las reportadas por Leatherwood y Reeves (2012).

Unilaterales

Ho: Las proporciones encontradas no son menores a las reportadas por Leatherwood y Reeves (2012).

Ha: Las proporciones encontradas son menores a las reportadas por Leatherwood y Reeves (2012).

Estadístico de prueba:

$$t_{\text{observada}} = \frac{P_{\text{obtenida}} - P_{\text{Leatherwood y Reeves (2012)}}}{\sqrt{\frac{P_{\text{obtenida}}Q_{\text{obtenida}}}{n_{\text{obtenida}}} + \frac{P_{\text{Leatherwood y Reeves (2012)}}Q_{\text{Leatherwood y Reeves (2012)}}}{n_{\text{Leatherwood y Reeves (2012)}}}}$$

Con grados de libertad g.l.= $n_{\text{obtenida}} + n_{\text{Leatherwood y Reeves (2012)}} - 2$

Las proporciones se calcularon las proporciones:

$$P_{\text{obtenida}} = \frac{a_{\text{elemento presente}}}{n_{\text{elementos totales}}} \quad Q_{\text{obtenida}} = 1 - P_{\text{obtenida}}$$

$$P_{\text{Leatherwood y Reeves (2012)}} = \frac{a_{\text{elemento presente Leatherwood y Reeves (2012)}}}{n_{\text{elementos totales Leatherwood y Reeves (2012)}}}$$

$$Q_{\text{Leatherwood y Reeves (2012)}} = 1 - P_{\text{Leatherwood y Reeves (2012)}}$$

Regla de decisión:

Bilateral:

$$-t_{0.05} \leq t_{\text{observada}} \leq t_{0.05} \Rightarrow H_0$$

$$t_{\text{observada}} < -t_{0.05}, \text{ o } t_{\text{observada}} > t_{0.05} \Rightarrow H_a$$

Unilateral

$$t_{\text{observada}} \geq -t_{0.05} \Rightarrow H_0$$

$$t_{\text{observada}} < -t_{0.05} \Rightarrow H_a$$

Los resultados se resumieron en una tabla para su posterior discusión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 12 pares de aletas de delfín nariz de botella transparentadas, las cuales presentaron las siguientes características:

Par de Aletas #1



Figura 8. Vista dorsal del par de aletas # 1.

Descripción general del par de aletas # 1		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Ulna con una ligera curvatura, radio más ancho con forma rectangular. En la parte distal se observan los cartílagos en crecimiento	Ulna con una ligera curvatura, radio más ancho en la porción distal. En la parte distal se observan los cartílagos de crecimiento
Carpales	Radial de forma cuadrada, Intermedio triangular, ulnar triangular,	Radial triangular Intermedio triangular, ulnar ovalado, magnum y unciforme circulares
Metacarpos	M1 forma de vibrio, M2 cuadrada, M3 rectangular, M4 pentagono, M5 circular	M1 vibrio, M2 cuadrada, M3 rectangular, M4 pentagonal, M5 circular
Falanges	Varían las formas y el número M1-0, M2-7, M3-5, M4-2 y M5-0	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-5, M4-2 y M5-1

Par de Aletas #2



Figura 9. Vista dorsal del par de aletas # 2.

Descripción general del par de aletas # 2		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Ulna curvada ligeramente, radio más ancho. En la parte distal se observan los cartílagos de crecimiento.	Ulna curvada ligeramente, radio más ancho.
Carpales	Radial y ulnar de forma ovoide, intermedio triangular, magnum y unciforme circulares	Radial y ulnar de forma ovoide, intermedio triangular, magnum y unciforme circulares
Metacarpos	M1 vibrio, M2 cuadrado, M3 rectangular, M4 pentagonal, M5 circular	M1 triangular, M2 cuadrado, M3 rectangular, M4 pentagonal, M5 circular
Falanges	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-5, M4-3 y M5-1	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-5, M4-3 y M5-1

Par de Aletas #3



Figura 10. Vista ventral del par de aletas #3

Descripción general del par de aletas # 3		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Ulna curvada, radio ligera curvatura	Ulna con una ligera curvatura, radio ligeramente más ancho en la parte distal
Carpales	Radial de forma cuadrada, intermedio triangular, ulnar acuminado, magnum circular, unciforme ovalado	Radial de forma circular, intermedio circular, ulnar acuminado, magnum y unciforme circulares
Metacarpos	M1 ovalado, M2, M3 rectangulares M4 pentagonal, M5 circular	M1 ovalado, M2, M3 rectangulares M4 pentagonal, M5 circular
Falanges	Varían las formas y el número: M1-0, M2-6, M3-4, M4-2 y M5-0	Varían las formas y el número: M1-0, M2-6, M3-5, M4-2 y M5-0

Par de Aletas #4



Figura 11. Vista ventral del par de aletas #4

Descripción general del par de aletas # 4		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Radio y ulna ligeramente curvos	Radio y ulna ligeramente curvos
Carpales	Radial ligeramente triangular, intermedio triangular, ulnar ovoide, magnum y unciforme circulares	Radial, magnum y unciforme circulares, intermedio triangular, ulnar ovoide
Metacarpos	M1 forma triangular, M2, M3, M4 rectangulares, M5 circular	M1 forma de gota, M2, M3 rectangular, M4 de forma redondeada cerca de los metacarpos, M5 circular
Falanges	Varían las formas y el número: M1-0, M2-6, M3-5, M4-2 y M5-1	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-5, M4-2 y M5-0

Par de Aletas #5



Figura 12. Vista dorsal del par de aletas # 5.

Descripción general del par de aletas # 5		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Radio y ulna ligeramente curvos	Radio y ulna ligeramente curvos
Carpales	Radial, intermedio y unciforme circulares, ulnar apenas es visible una línea	Radial, intermedio y unciforme circular, ulnar una línea y magnum visible un punto
Metacarpos	M2, M3, rectangular, M4 ovalado, M5 circular	M2, M3, rectangular, M4 ovalado, M5 circular
Falanges	Varían las formas y el número: M2-6, M3-5, M4-2 y M5-0	Varían las formas y el número: M2-4, M3-5, M4-2 y M5-0

Par de Aletas #6



Figura 13. Vista dorsal de la aleta derecha #6.

Descripción general del par de aletas # 6		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Radio y ulna ligeramente curvos	Radio y ulna ligeramente curvos
Carpales	Ulnar triangular; radial, unciforme, intermedio y magnum circulares	Ulnar ligeramente triangular, radial, unciforme, intermedio y magnum circulares
Metacarpos	M1 triangular, M2 y M3 rectangular, M4 cuadrangular, M5 ovalada	M1 triangular, M2 y M3 rectangular, M4 cuadrangular, M5 ovalada
Falanges	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-6, M4-3 y M5-1	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-6, M4-3 y M5-2

Par de Aletas #7



Figura 14. Vista dorsal de la aleta izquierda #7

Descripción general del par de aletas # 7		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Radio y ulna ligeramente curvos	Radio y ulna ligeramente curvos
Carpales	Todos presentes	Todos presentes
Metacarpos	Todos presentes	Todos presentes
Falanges	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-6, M4-2 y M5-0	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-6, M4-3 y M5-1

Par de Aletas #8

Este par de aletas se caracteriza por presentar la mayor osificación

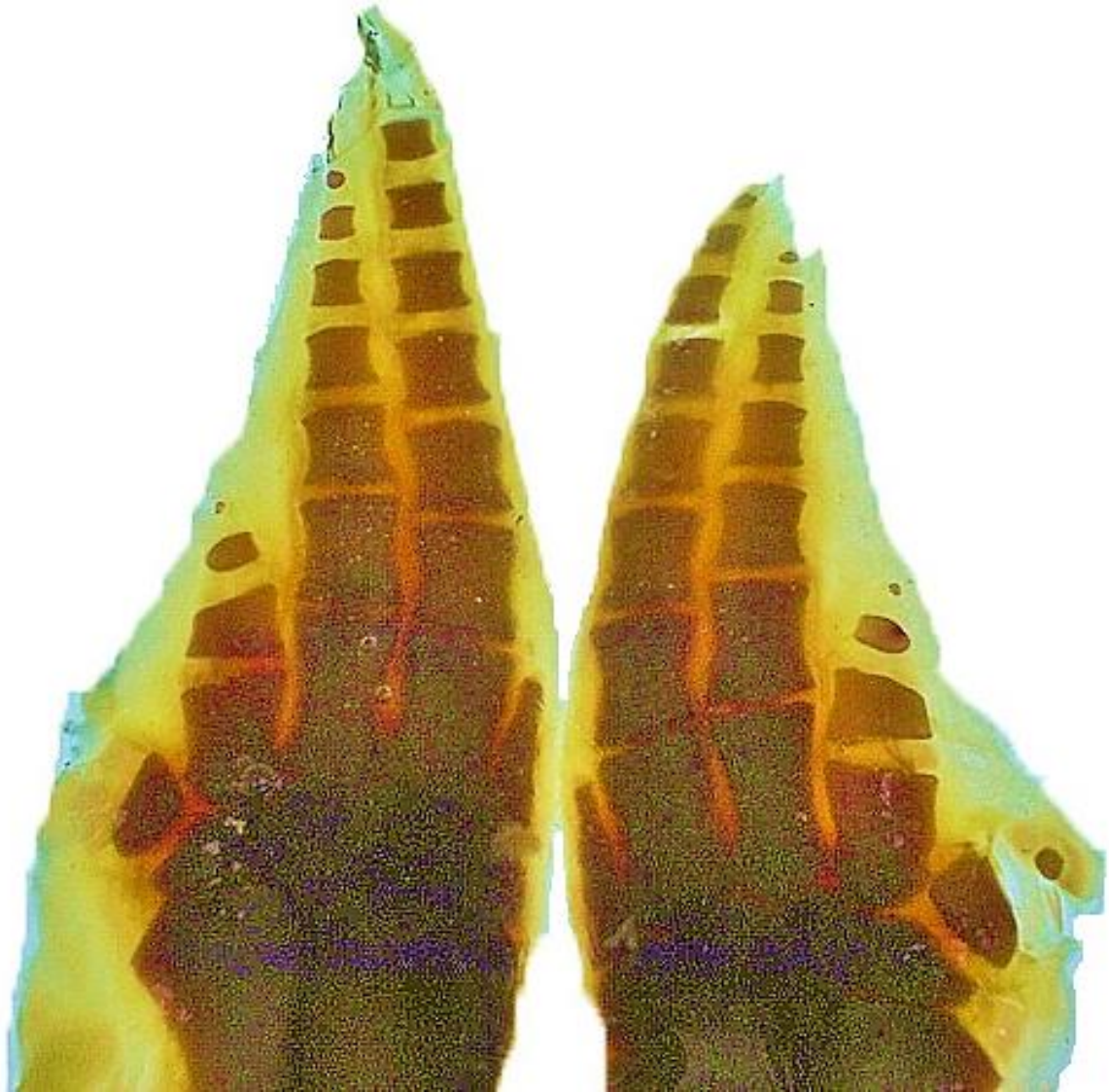


Figura 15. Vista ventral del par de aletas #8.

Descripción general del par de aletas #8		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Radio más ancho en la parte distal y ulna ligeramente curva	Radio más ancho en la parte distal y ulna ligeramente curva
Carpales	Radial y ulnar triangulares, intermedio romboide, magnum y unciforme cuadrados	Radial y ulnar triangulares, intermedio romboide, magnum y unciforme cuadrados
Metacarpos	M1 triangular, M2, M3 rectangulares, M4 cóncavo cerca de los carpales, M5 triangular	M1 triangular, M2, M3 rectangulares, M4 cóncavo cerca de los carpales, M5 rectangular
Falanges	Varía el número: M1-0, M2-7, M3-6, M4-2 y M5-1	Varía el número: M1-0, M2-6, M3-6, M4-3 y M5-0

Par de Aletas #9



Figura 16. Vista ventral de la aleta derecha #9.

Descripción general del par de aletas #9		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Radio y ulna ligeramente curvos	Radio y ulna ligeramente curvos
Carpales	Todos presentes	Todos presentes
Metacarpos	Todos presentes	Todos presentes
Falanges	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-6, M4-2 y M5-1	Varían las formas y el número: M1-0, M2-7, M3-5, M4-3 y M5-0

Par de Aletas #10



Figura 17. Vista dorsal del par de aletas #10.

Descripción general del par de aletas #10		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Radio y ulna ligeramente curvos, y se observan sus cartílagos de crecimiento	Radio y ulna ligeramente curvos y se observan sus cartílagos de crecimiento
Carpales	Radial, magnum y unciforme circulares, intermedio ovalado, ulnar ovoide	Radial, magnum y unciforme circulares, intermedio ovalado, ulnar ovoide
Metacarpos	M1 ovalado, M2 cuadrado, M3 rectangular, M4 pentagonal, M5 circular	M1 circular, M2 cuadrado, M3 rectangular, M4 pentagonal, M5 circular
Falanges	Varían las formas y el número: M1-0, M2-6, M3-5, M4-2 y M5-0	Varían las formas y el número: M1-0, M2-6, M3-5, M4-2 y M5-0

Par de Aletas #11

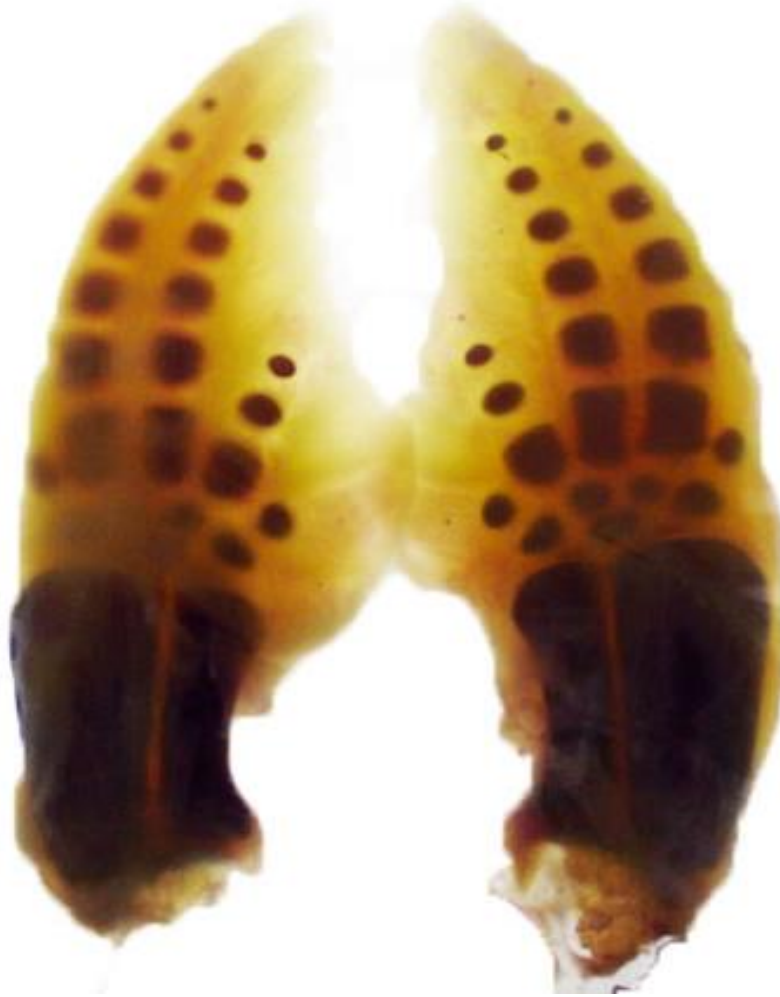


Figura18. Vista dorsal del par de aletas #11

Descripción general del par de aletas #11		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Ulna curva, radio más ancho	Ulna curva, radio más ancho
Carpales	Radial ligeramente cuadrado, intermedio triangular, ulnar ovoide, magnum y unciforme circulares	Radial circular, intermedio triangular, ulnar ovoide, magnum y unciforme circulares
Metacarpos	M1 triangular, M2 cuadrado, M3 rectangular, M4 pentagonal M5 circular	M1 triangular, M2 y M3 rectangular, M4 pentagonal M5 circular
Falanges	Varían las formas y el número: M1-0, M2-6, M3-5, M4-3 y M5-0	Varían las formas y el número M1-0, M2-6, M3-5, M4-2 y M5-0

Par de Aletas #12



Figura 19. Vista dorsal del par de Aletas #12

Descripción general del par de aletas #12		
	IZQUIERDA	DERECHA
Radio y Ulna	Ligeramente arqueadas el radio y la ulna	Ligeramente arqueadas el radio y la ulna
Carpales	Radial circular, intermedio triangular, ulnar, magnum y unciforme circular	Radial circular, intermedio ovalado, ulnar ovoide, magnum circular y unciforme ligeramente cuadrado
Metacarpos	M1 ovalado, M2 cuadrado, M3 rectangular, M4 y M5 circular	M1 ovalado, M2 cuadrado, M3 rectangular, M4 pentagonal, M5 circular
Falanges	Varían las formas y el número: M1-0, M2-6, M3-5, M4-2 y M5-1	Varían las formas y el número: M1-0, M2-6, M3-5, M4-3 y M5-0

Se observó que en los especímenes estudiados varió ligeramente el patrón en cuanto a los elementos que constituyen las porciones en que se dividió la aleta (ver tabla 4), se halló que en algunos casos hubo una reducción de los metacarpos la cual está por consiguiente correlacionado con una disminución en el número de falanges. Aunque no se conocía la edad de los delfines podemos sugerir que algunos eran juveniles debido a que se observó cartílagos en crecimiento, por lo que inferimos que dichos elementos óseos estaban en proceso de crecimiento. Esto es semejante a lo encontrado por Cooper y colaboradores (2007) y Watson y colaboradores (2008), lo que nos permite adherirnos a la conclusiones de Lucić y sus colaboradores (2015) quienes señalan que las características de los elementos que constituyen el quiridido de *T. truncatus* cambian con la edad de los individuos.

También se observó que las aletas no son completamente simétricas en cuanto al número de sus elementos óseos, a pesar de pertenecer al mismo espécimen, todos presentan hiperfalangia, aunque es interesante que esta se limita únicamente a los dígitos II y III, los centrales; esta condición se ha reportado para los dos subórdenes de cetáceos, los Mysticetos y los Odontocetos (Fedak & Hall, 2004). Una condición semejantes fue reportada por Watson y sus colaboradores (2008) en la ballena nariz de botella tropical *Indopacetus pacificus*.

Hay que señalar que esta última condición no es rara en mamíferos, ya que se ha reportado que en los mamíferos terrestres se encuentra limitada la fórmula en cuanto a las falanges, y se ha reportado una considerable variación dentro de los Cetáceos (Nishiwaki, 1972), así como la variación asimétrica frecuente de las falanges entre las extremidades derecha e izquierda en individuos particulares (Sedmera *et al.*, 1997).

Usando el contexto evolutivo Holder (1983) examino el número de dígitos y las falanges de 145 especies de tetrápodos; de manera general el número de dígitos en mamíferos es de cinco, siendo la fórmula de 2/3/3/3/3 por dígito.

En la tabla 4 se muestra en resumen el conteo que se obtuvo de los elementos presentes en cada par de aletas

Tabla 4. Número de elementos presentes en las aletas																
	DATOS ALETAS DERECHA								DATOS ALETAS IZQUIERDA							
No. organismo				Dedos								Dedos				
	R-U	car	met	I	II	III	IV	V	R-U	car	met	I	II	III	IV	V
1	2	5	5	0	7	5	2	1	2	5	5	0	7	5	2	0
2	2	5	5	0	7	5	3	1	2	5	5	0	7	5	3	1
3	2	5	5	0	6	5	2	0	2	5	5	0	6	4	2	0
4	2	5	5	0	7	5	2	0	2	5	5	0	6	5	2	1
5	2	5	4	0	4	5	2	0	2	4	4	0	6	5	2	0
6	2	5	5	0	7	6	3	2	2	5	5	0	7	6	3	1
7	2	5	5	0	7	6	3	1	2	5	5	0	7	6	2	1
8	2	5	5	0	6	6	3	0	2	5	5	0	7	6	3	1
9	2	5	5	0	7	5	3	0	2	5	5	0	7	6	2	1
10	2	5	5	0	6	5	2	0	2	5	5	0	6	5	2	0
11	2	5	5	0	6	5	2	0	2	5	5	0	6	5	3	0
12	2	5	5	0	6	5	3	0	2	5	5	0	6	5	2	1

Las abreviaturas son R-U: radio y ulna; car: carpos; met: metacarpos

En el delfín nariz de botella el pollex por lo general solo tiene una falange (el primer metacarpo), como se observó en todos los casos, aunque hay ocasiones en las cuales se presentan dos (Leatherwood y Reeves, 2012).

El primer dígito no presentó falanges, únicamente se observaron los metacarpos, en ninguno de los dedos se presentaron centros de osificación secundarios. En los dígitos II y III se observaron hiperfalangias, que van del rango cuatro a siete falanges y entre cuatro a seis falanges respectivamente. El IV dígito presenta entre dos y tres falanges; mientras que el V dígito su rango es de cero a dos. A pesar de que en la literatura se reporta constantemente la polidactilia, en las aletas de este trabajo no se observa dicha condición.

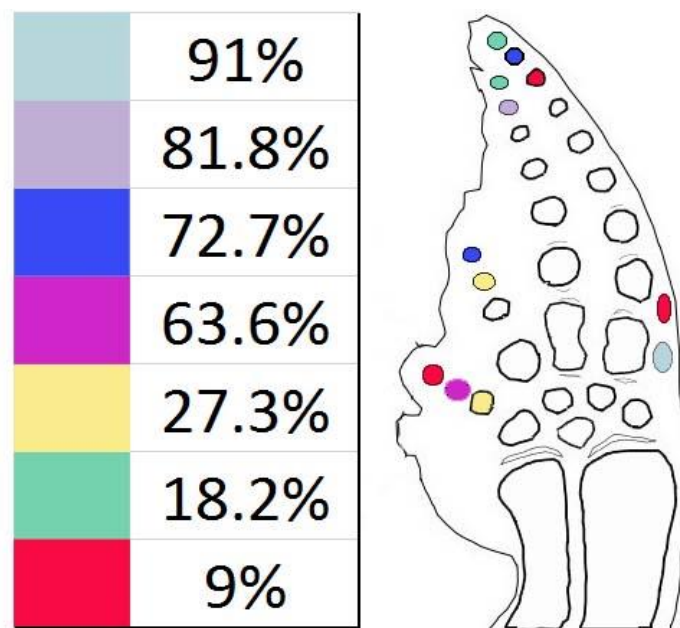


Figura 20. Variación del quiridio basado en los resultados de Leatherwood y Reeves (2012)

Los resultados obtenidos en el presente trabajo se compararon con el estudio de Leatherwood y Reeves, los resultados que ellos mostraron también fueron expresados en porcentajes (Figura 20). Se mostró que, en el estilopodio y zeugopodio no se observaron variaciones. La figura 21 muestra las variaciones observadas, se identifican los porcentajes de cambio mediante diferentes colores. Y se registraron que el 8.3% no presentó el M1; en ningún caso se observaron falanges. En el segundo dígito ambos lados presentan un máximo de siete falanges, el cual es representado con el 50%, esto coincide con lo reportado ya que se encuentra un 72.7% con siete. En el tercero las cinco falanges son las que predominan con el 75% del lado derecho, el otro 25% es

de seis, y el 58.3% del izquierdo aunque en este se observó cuatro (8.3%) y seis (33.3%), coincidiendo con el 81.8% que fue previamente reportado. Para el cuarto dígito son dos y tres falanges en ambos lados, la segunda con un 66.67% del izquierdo y un 50% del derecho, son el mismo máximo con lo reportado con la diferencia de que ellos obtienen un 72.7% para el tercero y el 27.3% para el segundo. El quinto dígito presentó un 58.3% con una sola falange del lado izquierdo, mientras que del derecho se observaron hasta dos siendo el predominante una sola falange con el 25%, Leatherwood y Reeves (2012) reportaron un 63.6% y un 9.1% a los organismos con una y dos falanges respectivamente. Estas variaciones son altas cuando se comparan los resultados Cooper y Dawson (2009) utilizando una muestra de 76 especímenes que encuentra una variación en *T. truncatus* del 1%, esto puede atribuirse a que solo utilizaron medidas lineales de los individuos y de la aleta como un todo, no considerando los elementos individuales.

Variaciones observadas en los quirridios

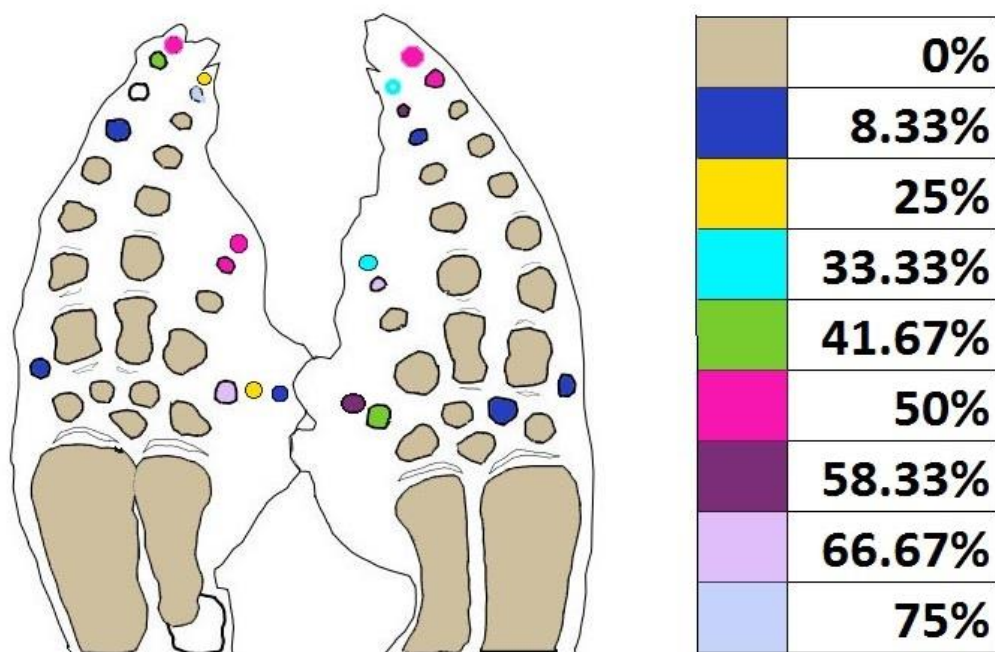


Figura 21. Se muestra la variación en los quirridios, respectivamente son las extremidades izquierda y derecha

En la tabla 5 se concentran los resultados presentados por diferentes autores y los encontrados en el presente trabajo. Los autores Feedak y Hall (2004), así

como Cooper y colaboradores (2007) solo presentan el número máximo y mínimo de falanges encontrados por dígito, mientras que Leatherwood y Reeves, (2012) reportan el número de falanges por dígito encontrados en especímenes individuales de la colección ubicada en el USNM (National Museum of Natural History, Washington), y de los datos reportados por van Beneden y Gervais (1868-1879), Kiikenthal (1889) y Felts (1966), lo cual nos permite compararlo a través de un análisis estadístico.

Tabla 5. Resultados del número de falanges por dígito reportados por diferentes autores						
Dedos						
I	II	III	IV	V		
1-2	7-9	5-8	2-3	1-2		Feedak y Hall, 2004
0-1	5-8	5-6	2-4	0-2		Cooper <i>et al.</i> 2007
0-1	6-8	5-6	2-3	0-1		Leatherwood y Reeves, 2012
DERECHA						
I	II	III	IV	V		
0	4-7	5-6	2-3	0-2		
IZQUIERDA						
I	II	III	IV	V		
0	5-6	4-6	2-3	0-1		

A diferencia de los otros autores, en este trabajo se distinguen las aletas izquierda y derecha. Leatherwood y Reeves (2012) consideran que la primera falange solo presenta el pollex refiriéndose al primer metacarpo aunque rara vez presenta una falange verdadera. Hay que considerar que los fósiles de *Archaeocetes*, *Ambulocetus* y *Rodhocetus* muestran la condición primitiva de los artiodáctilos de cinco dígitos, con dos falanges y una sola para el I. La mayoría de los cetáceos modernos presentan la condición de *Rodhocetus* que es un número reducido de las falanges en el dígito I (Thewissen *et al.* 1996;

Gingerich *et al.*, 2001). Indudablemente el primer dígito parece experimentar la mayor reducción del número de falanges (Cooper *et al.* 2007). Los dígitos II y III son los que poseen el mayor número de falanges, concordando con lo reportado por Feedak y Hall (2004), Cooper y colaboradores (2007) y Leatherwood y Reeves (2012). Mientras que el cuarto y quinto caen dentro del rango reportado con anterioridad; se sabe que en los Odontocetos se reduce el número de falanges en el V dígito (Cooper *et al.* 2007)

El hecho de que en algunos organismos se presentó un dedo menos siendo el primero puede deberse a que este es el último en desarrollarse según la teoría de Crumly y Sanchez-Villagra (2004) basándose en estudios previos de ontogenia; en un estudio similar pero en ranas Shubin y Alberch (1986) también reportaron que el dígito I es el último en formarse. La mayoría de los reptiles ictiopterigios marinos evolucionaron a tetradáctilos debido a la pérdida de los dígitos I o V (Cooper *et al.*, 2007). Montani (1999) propone la hipótesis del primer dedo apoyado en la secuencia de osificación de lagartijas extintas y una serie ontogenética de ictiopterigios; mientras que Caldwell (1997, 2002) basado en la osificación de los dedos de ictiosaurios fósiles, sugiere la hipótesis de que la osificación del V dígito a veces falla. La mayoría de los Mysticetos solo presentan cuatro dígitos, cada uno compuesto por cuatro metacarpos y algunas falanges (Cooper *et al.* 2007)

A continuación se muestra la variación que se observó en el número de las falanges, esta tabla se construyó para realizar la prueba de *t* de Student (Tabla 6)

Tabla 6. Variación en observada en el número de falanges

	Derecha		Izquierda		Reportado	
		Total		Total		Total
I	0	12	0	12	1	11
II	1	12	0	12	3	11
III	4	12	4	12	2	11
IV	0	12	0	12	3	11

V	1	12	0	12	1	11
----------	---	----	---	----	---	----

De la cual se obtuvieron los valores de P y Q (Tabla 7).

	Derecha		Izquierda		Reportado	
	P	Q	P	Q	P	Q
I	0	1	0	1	0,0909	0,9091
II	0,083	0,917	0	1	0,2727	0,7273
III	0,333	0,667	0,333	0,667	0,1818	0,8182
IV	0	1	0	1	0,2727	0,7273
V	0,083	0,917	0	1	0,0909	0,9091

Es notorio que los dígitos I, III y V de nuestros especímenes parecen tener las mismas proporciones que los reportados por Leatherwood y Reeves, (2012), para verificarlo, se decidió aplicar una prueba bilateral de t de Student para proporciones obteniéndose los siguientes resultados:

Aleta Derecha			
Dedo	$t_{\text{observada}}$	P	
I	-1,048809	>0.05	ns
III	0,8464377	>0.05	ns
V	-0,064306	>0.05	ns
Aleta Izquierda			
Dedo	$t_{\text{observada}}$	P	
I	-1,048809	>0.05	ns
III	0,8464377	>0.05	ns

V	-1,048809	>0.05	ns
---	-----------	-------	----

Estos resultados (Tabla 8) nos indican que las proporciones encontradas para los dígitos son las mismas que reporta Leatherwood y Reeves, (2012), hecho que nos permite concluir que en dichos dedos la variación encontrada puede ser una condición propia de la especie, hecho necesita demostrarse con estudios posteriores.

También es notoria en la tabla 7 que los dígitos II y IV de nuestros especímenes parecen tener unas proporciones menores que los reportados por Leatherwood y Reeves, (2012), para verificarlo, se decidió aplicar una prueba unilateral de t de Student para proporciones obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 9. Prueba unilateral de t de Student			
Aleta Derecha			
Dedo	$t_{\text{observada}}$	P	
II	-1,212538	>0.05	ns
IV	-2,03101	<0.05	*
Aleta Izquierda			
Dedo	$t_{\text{observada}}$	P	
II	-2,03101	>0.05	*
IV	-2,03101	<0.05	*

Esto nos indica (Tabla 9) que las proporciones encontradas para los dígitos son menores que los reportados por Leatherwood y Reeves, (2012), hecho que nos permite concluir que en dichos dedos la variación encontrada puede ser una condición local para la zona del Caribe mexicano para la especie, sin embargo no puede ser concluyente, sino que se debe tomar como evidencias que pueden ser verificadas con estudios posteriores.

Hay que señalar que los resultados obtenidos en el presente estudio no son discordantes con los reportados en los trabajos consultados, hecho que

demuestra la bondad del método de tinción y transparentación utilizados para el estudio de la aleta de cetáceos en general.

CONCLUSIONES

Las variaciones en el quiridio solo se observaron en el autopodio, específicamente en el número de falanges de los dígitos donde se observó el mayor número de estas variaciones. Una novedad no reportada es una variación asimétrica de las falanges entre las extremidades derecha e izquierda en el mismo individuo, hecho que puede ser importante ya que estaría relacionada con la variabilidad fenotípica de la especie.

Al ser los cetáceos un orden único de tetrápodos acuáticos para los que se conoce muy poco sobre el aspecto del desarrollo óseo de sus aletas, el empleo de técnicas de tinción y transparentación se muestra como una alternativa adecuada para el estudio de su anatomía ósea.

La técnica de transparentación no solo hace posible observar los elementos óseos que se presentan en el quiridio del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*).

Al ser comparados los resultados con lo reportado por los diferentes autores consultados, encontramos una congruencia.

La prueba de t de Student mostró que hay valores significativos en el IV dígito de ambos lados y solo se observa esto para el II del lado izquierdo, este resultado es importante dado que la variación asimétrica de los dígitos II y IV puede tener importancia para la descripción de poblaciones locales.

Cabe mencionar que no se encontraron anomalías como la polidactilia.

BIBLIOGRAFÍA

- Agulnik, S.I.; Garvey, N.; Hancock, S.; Ruvinsky, I.; Chapman, D.L.; Agulnik, I.; Bollag, R.; Papaioannou, V. & Silver, L.M. 1996. Evolution of mouse T-box genes by tandem duplication and cluster dispersion. *Genetics* 144:249-254 p
- Benke, H. 1993. Investigations on the osteology and the functional morphology of the flipper of whales and dolphins (Cetacea). *Investigationson Cetacea* 24:9–252.-Blanco, M. y Olaechae, A. 2000. Morfometría del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) en la costa norte de la zona central de Cuba. *Acuario Nacional Cuba*
- Bollag, R.J.; Siegfried, Z.; Cebra-Thomas J.; Garvey, N.; Davison, E.M. & Silver, L.M. 1994. An ancient family of embryonically exoressed mouse genes sharing a conserved protein motif with the *T* locus. *Nature Genet.* 7:383-389 p.
- Caldwell, M.V. 1997. Limb ossification patterns of the ichthyosaur *Stenopterygius*, and discussion of the proximal tarsal row of ichthyosaurs an other neodiapsid reptiles. *Zool. J. Linn. Soc.* 120:1-25
- Caldwell, M.V. 2002. From fins to limbs to fins: limb evolution in fossil marine reptiles. *Am. J. Med. Gen.* 112:236-249
- Carroll, R.L. 1998. *Vertebrate Paleontology and Evolution*. New York. W.H. Freeman
- Ceballos, G. Oliva 2005 *Los mamíferos silvestres de México* Conabio y Fondo de Cultura Económica. Hong Kong p. 466 p.
- Chapman, D.L.; Garvey, N.; Hancock, S.; Alexiou, M., Gibson-Brown, J.J.; Cebra-Thomas, J.; Bollag, R.J.; Silver, L.M.; & Papaionnou, V.E. 1996. Expression of the T-box family genes, *Tbx1-Tbx5*, during early mouse development. *Dev. Dyn.* 206:379-390 p.
- Charles, R. & Noback E. 1944. Demonstrating the osseous skeleton of human embryos and fetuses. *Stain Technology* 19:2
- Coates, M.I. 1994. The origin of vertebrate limbs. *The Evolution of Developmental Mechanisms*. Academic Press, London 169-190 p.

- Coates, M.I.; & Clack J.A. 1990. Polydactyl in the earliest known tetrapod limbs. *Nature* 347:66-69 p.
- Cooper, L. N. 2004. *Dorudon* to finbacks: Comparative anatomy and evolution of the baleen whale forelimb. Tesis de Maestría, San Diego State University, San Diego, California 135 p.
- Cooper, L.N.; Berta, A; Dawson, S.D.; & Reidenberg, J.S. 2007. Evolution of hyperphalangy and digit reduction in the cetacean manus. *The Anatomical Record*, 290:654-672
- Cooper, L. N., & Dawson, S. D. 2009. The trouble with flippers: a report on the prevalence of digital anomalies in Cetacea. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 155(3), 722-735.
- Cortés, N; Pérez, J & Hoyos, J. M. 2009. Staining procedure of cartilage and skeleton in adult bats and rodents. *International journal of Morphology* 27(4):1163-1167 p.
- Crumly, C.R. & Sanchez-Villagra, M.R. 2004. Patterns of variation in the phalangeal formulae of land tortoises (Testudinae): developmental constraint, size, and phylogenetic history. *Mol. Dev. Evol.* 302B:134-146
- Davis, D. D. & Gore, U. R. 1936. Clearing and staining skeletons of small vertebrates. *Field Museum of Natural History. Technique series No. 4*, Chicago, U.S.A. 15 p.
- Dawson, S. D. 2003. Patterns of ossification in the manus of the harbor porpoise (*Phocoena phocoena*): Hyperphalangy and delta-shaped bones. *Journal of Morphology* 258:200–206 p.
- Dingerkus, G. & Uhler, L. D. 1977. Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage. *Stain Technology* 52(4): 229-232 p.
- Eales, N. B. (1950). The skull of the foetal narwhal *Monodon monoceros*. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B*, 235:1-33.
- Eales, N. B. (1954). The manus of the narwhal, *Monodon monoceros* L. *Proc. Zool. Soc. London* 124(2):201-211
- Edel, R. K. & Winn, H.E. 1978. Observations on underwater locomotion and flipper movement of the humpback whale *Megaptera novaeangliae*. *Marine Biology* 48:279-287 p.

- ↗ Evans, H. E., & de Lahunta, A. (1980). "Miller's Guide to the Dissection of the Dog." Saunders, Philadelphia, Pennsylvania, 318 pp.
- ↗ Fedak, T.J. & Hall, B.K. 2004. Perspectives on hyperphalangy: patterns and process. *J. Anat.* 204:151-163
- ↗ Felts, W. 1966. Some functional and structural characteristics of cetacean flipper and flukes. ed. Norris Whales, Dolphins, and Porpoises. University of California Press, Berkeley 225-276 p.
- ↗ Fish, F.E. 1998. Comparative kinematics and hydrodynamics of odontocete cetaceans: Morphological and ecological correlates with swimming performance. *Journal of Experimental Biology* 201:2867-2877
- ↗ Flower, W. H. 1885. *An Introduction to the Osteology of the Mammalia* (revised with the assistance of H.Gadow), 3rd Ed. Macmillan and Co., London [reprinted by A. Asher & Co., Amsterdam (1966)]. 344 pp.
- ↗ Forey, P.L. & Janvier, P. 1993. Agnathans and the origins of jawed vertebrates. *Nature* 361:129-134 p.
- ↗ Gibson-Brown, J.J.; Agulnik, S.I.; Chapman, D.L.; Alexiou, M.; Garvey, N.; Silver, L.M. & Papaioannou, V. 1996. Evidence of a role for T-box genes in the evolution of limb morphogenesis and the specification of forelimb/hindlimb identity. *Mech. Dev.* 56:93-101 p.
- ↗ Hollister, G. 1932 Clearing and dyeing fish for bone study. *Zoologica* 12(10):89-101.
- ↗ Howell, A. B. 1930. *Aquatic Mammals. Their Adaptations to Life in the Water.* Charles C Thomas, Baltimore, Maryland. 338 pp.
- ↗ Janvier, P. 1996. *Early vertebrates.* Oxford University Press, Oxford. 408 p.
- ↗ Kardong, K.V. 2002. *Vertebrates. Comparative anatomy, function, evolution.* Washington State University p. 318-319 p.
- ↗ Kelly, W. L. & Bryden, M. M. 1983. A modified differential stain for cartilage and bone in whole mount preparations of mammalian fetuses and small vertebrates. *Stain Technology.* 588(3): 131-134 p.
- ↗ Klima, M., Oelschläger, H. A., & Wunsch, D. (1980). Morphology of the pectoral girdle in the Amazon dolphin *Inia geoffrensis* with special reference to the shoulder joint and movements of the flippers. *Sonderdruck aus Zeitschrift für Säugetierkunde* 45(5), 288-309.

- ↗ Leatherwood, S., & Reeves, R. R. (Eds.). 2012. The bottlenose dolphin. Elsevier, USA. 653 p.
- ↗ Love, A. M. & Vickers, T. H. 1972. Durable staining of cartilage in fetal rat skeleton by methylene blue. *Stain Technology* 47(1): 7-11 p.
- ↗ Lucić, H., Pišl, Z., Stoić, M., Tomić, M., Ćurković, S., Špiranec, K., & Vuković, S. (2015). Ontogenetic changes in flippers morphometrics in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Veterinarski arhiv*, 85(1), 81-93.
- ↗ Lucić, H., Vuković, S., Đuras, M., Gomerčić, T., Galov, A., Škrtić, D., & Gomerčić, H. (2009, January). Osteodensitometric differences of the flipper as indicators of muscles activity in bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) from the Adriatic sea. In International Scientific Meeting of Anatomy and Physiology Fundamentals of Medicine. Hrvatska znanstvena bibliografijai MZOS-Svibor.
- ↗ Montani, R. 1999. On the evolution and homologies of Ichthyopterygian forelimbs. *J. Vertebrate Paleontol.* 19:28-41
- ↗ Nadal, J. 2001. Vertebrados: origen organización, diversidad y biología. Ed. Omega Barcelona 184 p.
- ↗ O'Rahilly, R. & Müller. 1992. The skeletal system and the limbs. Human embryology and teratology, Wiley, New York, N.Y. 233-252 p.
- ↗ Ortega, J. G.; Villa, R.B; & Gersenowies, J.R. 2000. Polydactyly and other features of the manus of the vaquita, *Phocoena sinus*. *Marine Mammal Science* 15:277–286 p.
- ↗ Palmer, N. 1993. Bone and joints- Localized developmental disturbances. *Pathology of domestic animals Volume 1*. San Diego, CA 45-47 p.
- ↗ Parson, E.C.M., A. Bauer, D. McCafferty, M.P. Simmonds, & A.J. Wright. 2013. *An Introduction to Marine Mammal: Biology and Conservation*. Jones & Bartlett Learning 189-164 p.
- ↗ Pieretti, J.; Gehrke, R.A.; Schneider, I.; Adachi, N.; Nakamura, T. & Shubin, N.H. 2015. Organogenesis in deep time: A problem in genomics, development and paleontology. *PNAS* 112(16):4871-4876 p.

- ↗ Prentiss, C.W. 1903. Polydactylism in man and the domestic animals, with especial reference to digital variations in swine. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 40:245-314 p.
- ↗ Read, A.J.; Wells, R.S.; Hohn, A.A.; & Scott, M.D. 1993. Patterns of growth in wild bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *London Journal of Zoology* 231:107-123 p.
- ↗ Richardson, M.K & Oelschläger, H. H.A. 2002. Time, pattern, and heterochrony: a study of hyperphalangy in the dolphin embryo flipper. *Evolution and Development* 4:6 436-444 p.
- ↗ Sanchez J.A. & Berta, A. 2009. Comparative anatomy and evolution of odontocete forelimb. *Marine Mammal Science*
- ↗ Shubin, N.H. & Alberch, P.A. 1986. A morphogenetic approach to the origin and basic organization of the tetrapod limb. In: Hecht M.K., Wallace, B.; Prance, G.T. Edit. *Evolutionary Biology* Vol. 20. New York: Plenum Press 319-387 p.
- ↗ Sokal, R. R. & Rohlf, F. J (1987): *Introduction to Biostatistics*. New York: W'H Freeman and Company, 500.
- ↗ Tolley, K.A., Read, A.J.; Wells, R.S.; Urian, K.W.; Scott, M.D.; Irvine, A.B. & Hohn, A.A. 1995 Sexual dimorphisms in the wild bottle nose dolphin (*Tursiops truncatus*) from Sarasota, Florida. *Journal of Mammalogy*, 76(4): 119 p.
- ↗ Villar, A.J. 1979. *Anatomía comparada básica*. Ed. Trillas México 43, 52 p.
- ↗ Wassersug, R. J. 1976. *A procedure for differential staining of cartilage and bone in whole formalin-fixed vertebrates*. *Stain Technology*, 51(2): 131-134 p.
- ↗ Watson, A.; Kuo, T.F.; Yang, W.C.; Yao, C.J.; & Chou, L.S. 2008. Distinctive osteology of distal flipper bones of tropical bottlenose whales, *Indopacetus pacificus*, from Taiwan: Mother and calf, calf with polydactyly *Marine Mammal Science* 24(2):398-410 p.
- ↗ Watson, A.G.; Stein, L.E.; Marshall, C. & Henry G.A. 1994. Polydactyly in a bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. *Marine Mammal Science* 10:93-100 p.

- ↗ Williams, T. W. 1941. Alizarin red S and toluidine blue for differentiating or embryonic bone and cartilage. *Stain Technology*, 16 (1): 23-25 p.
- ↗ Wilson, D.E. & Reeder M.D.A. 2005. *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference*, Johns Hopkins University Press, 2,142 pp
- ↗ Woodward, B.; Winn, J. & Fish, F.E. 2006. Morphological specializations of baleen whales associated with hydrodynamic performance and ecological niche. *Journal of Morphology* 267:1284-1294 p.