



Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios
Profesionales Iztacala

DESCRIPCION OSTEOLÓGICA DE LA ALETA
PECTORAL DE LA VAQUITA
PHOCOENA SINUS (CETACEA: PHOCOENIDAE)

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
JOEL GABRIEL ORTEGA ORTIZ

México, D. F.

1993



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.

A mis padres, por su apoyo incondicional. Mis logros siempre serán suyos.

A todas aquellas personas que confían en mí y me han apoyado en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Bernardo Villa Ramírez, quien me permitió formar parte de su equipo de investigación y dirigió el presente trabajo.

Al Biól. Jorge R. Gersenowies por su destacada asesoría y colaboración en el trabajo de laboratorio, así como por la corrección del trabajo escrito.

Al Biól. Alberto Delgado por su cooperación, ayuda y sobre todo por su amistad.

A la Biól. Mónica González por su cooperación y revisión del trabajo.

Agradezco también el apoyo y comprensión de los compañeros del Laboratorio de Anatomía Animal Comparada de la E.N.E.P. Iztacala: Maestro Jaime K. Gómez, Elena Escatel y Héctor Montes.

Al M. en C. Lorenzo Rojas y al Dr. Abel Franco por las facilidades para obtener las radiografías de los ejemplares de la UABC Ensenada.

A los Biólogos Antonio Cisneros y Mario Cárdenas por sus valiosos comentarios y observaciones.

Al Dr. Fernando Cervantes curador de la Colección Mastozoológica del Instituto de Biología, por las facilidades otorgadas para el desarrollo del trabajo.

A mis compañeros del Instituto de Biología: Alejandro Sánchez, Mario Peralta, Elizabeth Castillo y Reyna García.

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCION	
I.1. Aspectos biológicos de la especie	2
I.2. La aleta pectoral en cetáceos	6
ANTECEDENTES	10
OBJETIVOS	21
MATERIAL Y METODO	22
RESULTADOS	27
DISCUSION	34
CONCLUSION	41
REFERENCIAS	42

LISTA DE FIGURAS

1. Area de distribución de <i>Phocoena sinus</i> .	4
2. Ejemplos de apéndices de tetrápodos transformados en aletas.	9
3. Aleta pectoral de <i>Phocoena phocoena</i>	12
4. Aleta pectoral de <i>Phocoena spinipinnis</i>	13
5. Contorno de la aletas pectorales de <i>Phocoena sinus</i> , <i>P. spinipinnis</i> y <i>P. phocoena</i>	14
6. Aleta pectoral de un feto de Beluga, <i>Delphinapterus leucas</i>	16
7. Aleta pectoral de un feto de Tonina, <i>Tursiops truncatus</i>	17
8. Aleta pectoral del delfín común, <i>Delphinus delphis</i>	19
9. Aleta pectoral del delfín del Amazonas, <i>Inea geoffrensis</i>	20
10. Elementos óseos de la aleta pectoral izquierda del ejemplar IBUNAM 4048 de vaquita <i>Phocoena sinus</i>	31
11. Tendones de la aleta pectoral de vaquita <i>Phocoena sinus</i>	32
12. Elementos del carpo de la aleta pectoral derecha del ejemplar IBUNAM 33935	36

LISTA DE TABLAS

1. Ejemplares de <i>Phocoena sinus</i> revisados	23
2. Medidas en milímetros de las aletas pectorales de los ejemplares estudiados.	33

RESUMEN

Se realizó la descripción osteológica de la aleta pectoral de *Phocoena sinus*, analizando el material correspondiente a 16 ejemplares preparado con cuatro diferentes técnicas: radiografía, disección, limpieza con derméstidos y tinción con rojo de Alizarina "S" y transparentación.

La aleta pectoral de *P. sinus* presenta dos diferencias importantes con respecto al esquema general de los odontocetos: solamente posee tres elementos osificados en el carpo y existe una nueva serie falángica, que se origina en el proceso postaxial del tercer metacarpiano y se prolonga en dirección distal.

El número de elementos osificados (falanges) presentes en la nueva serie es variable, y en algunos casos se observó tendón asociado a ellos.

La adaptación hecha de la técnica de tinción con rojo de Alizarina "S" y transparentación resultó ser la más efectiva para la observación de los elementos óseos y su arreglo.

INTRODUCCION

I.1. Aspectos biológicos de la especie.

La marsopa del Golfo de California *Phocoena sinus*, es una especie endémica de cuya biología se conoce poco en la actualidad. La especie fue descrita en 1958 por Norris y McFarland en base a un cráneo recolectado por el primero al norte de San Felipe, Baja California, México en 1950. Este cráneo fue designado como ejemplar tipo; dos cráneos más, encontrados hacia 1951 en la misma localidad fueron designados como paratipos (Magatagan *et al.* 1984).

P. sinus, conocida vulgarmente como "Vaquita", "Cochito", "Cochinito" o "Duende", es el representante más pequeño dentro del orden de los cetáceos, puesto que su longitud total varía de 1.37 a 1.53 m en adultos, con un peso de 36 a 45 Kg (Magatagan *et al., op. cit.*).

La mayoría los nacimientos de esta especie parece tener lugar de febrero a marzo, y la talla de los fetos próximos a nacer y neonatos es de 70 a 75 cm. La mayor edad determinada para un individuo de esta especie corresponde a una hembra de 25 años (Hohn, *et al.*, 1993).

Norris y McFarland (*op. cit.*) mencionan que la vaquita se distribuye en la parte más norteña del Golfo de California, y que probablemente evolucionó a partir de una población ancestral de *Phocoena spinipinnis* que migró hacia el norte y quedó atrapada en el Golfo durante una de las últimas glaciaciones del Pleistoceno, coincidiendo con los trabajos de otros autores como Barnes (1985)

y Rosel (1992).

Se considera que la distribución primitiva de *P. sinus* abarcaba un área más extensa hacia la parte sur del Golfo de California (Villa, 1976). Sin embargo, los avistamientos recientes se han hecho solamente en la parte norte, frente a San Felipe, B.C. y El Golfo de Santa Clara, Son., lo cual parece indicar que esta especie posee la menor área de distribución entre todas las especies de cetáceos (Figura 1)(Brownell, 1983; Silber, 1990; Silber y Norris, 1991).

Silber y Norris (*op. cit.*) plantean que la vaquita ocupa durante todo en año la parte norte del Golfo de California, aunque no se descarta que su área de distribución original era mayor y probablemente es ocupada en una menor proporción actualmente.

Además de la reducción en su área de distribución, la población de la vaquita ha sido afectada fuertemente por la actividad pesquera en su hábitat, particularmente por las pesquerías de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) y diversas especies de tiburón, en las cuales se utilizan redes agalleras con luz de malla mayor a 7 pulgadas, en donde las vaquitas son susceptibles de enmallarse y morir ahogadas (Brownell, *op. cit.*; Villa, *op. cit.*).

Otros factores que pueden estar afectando la población de esta especie, debido a que disminuyen la disponibilidad de especies presa, son: la pérdida de los nutrientes y agua aportados por el río Colorado a causa de la construcción de varias presas, y la alteración del hábitat por la aportación de sustancias tóxicas como pesticidas, herbicidas y desechos

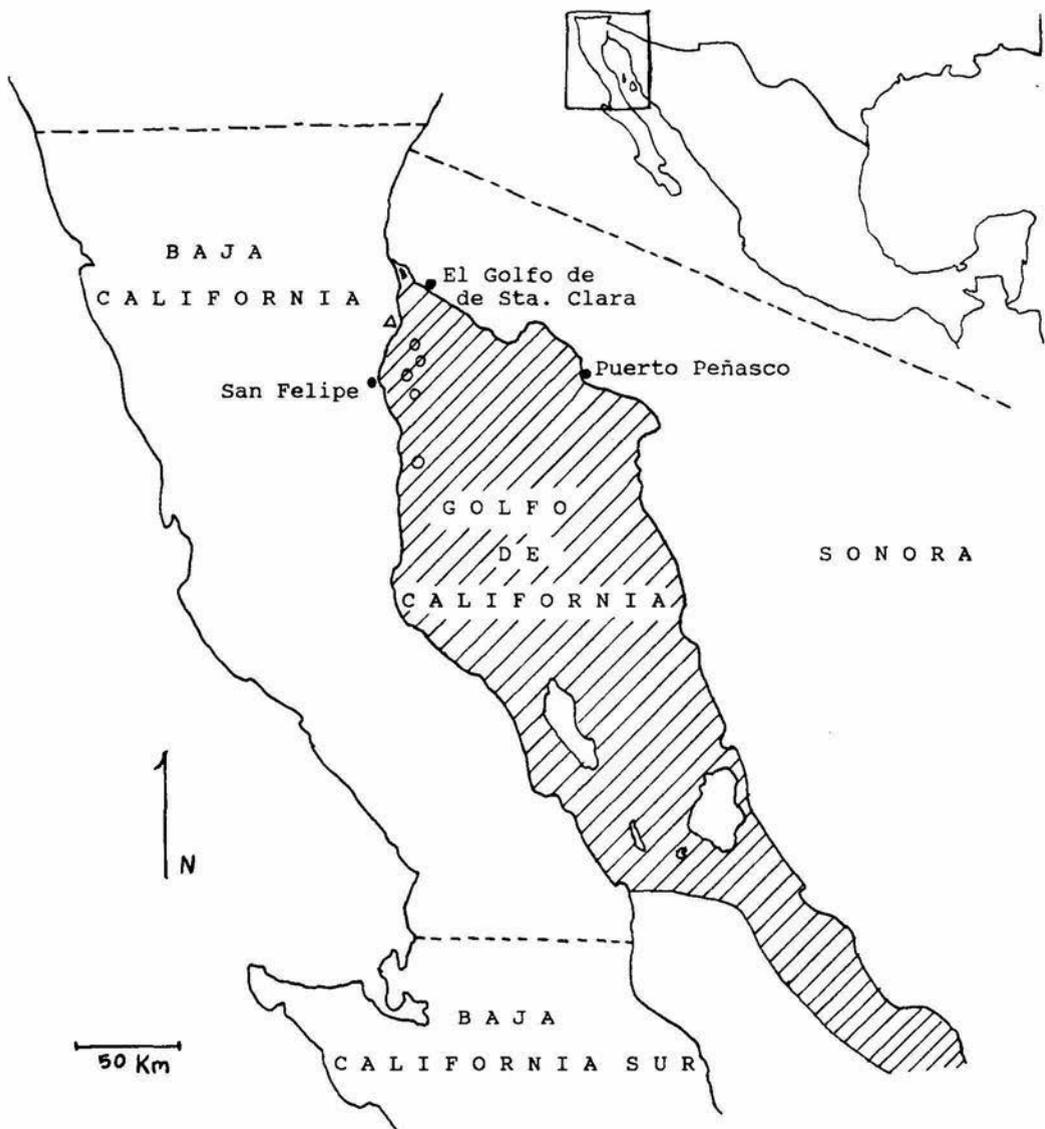


Figura 1. El área sombreada indica la distribución original de *Phocoena sinus* (Según Villa-R, 1976).
 ▲ Localidad tipo
 ○ Avistamientos recientes

industriales (Fleisher *et al.*, 1991; Villa-Ramírez, en prensa).

Rosel (*op. cit.*) determinó la variabilidad genética existente en la especie a partir de una secuencia de ADN mitocondrial, encontrando que es muy baja. Esto constituye otro factor que dificulta la recuperación de la población.

En 1978 la vaquita fue colocada, como especie en peligro de extinción, en el Libro Rojo de la International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. En ese mismo año, el Dr. Villa la colocó en la Lista de Especies Mexicanas de Vertebrados Silvestres Raras o en Peligro de Extinción. Desde 1979 se encuentra en la lista del apéndice I de la Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES)(Villa-Ramírez, en prensa).

I.2. La aleta pectoral en Cetáceos

Las extremidades anteriores de los mamíferos se encuentran por lo general altamente especializadas. El plan fundamental, a partir del cual se derivan todas las especializaciones, comprende una parte proximal (estilópodo) integrada por el húmero, el que se articula con la cintura pectoral a través la fosa glenoidea. El segundo segmento (zeugópodo) está compuesto por el radio y la ulna, dos huesos paralelos que en muchos casos se fusionan. La parte distal (autópodo) es muy compleja, comprende los carpianos, que por lo general son nueve pequeños elementos óseos separados, aunque en algunos organismos puede existir fusión entre estos. En el autópodo, los mamíferos ancestrales tenían cinco dígitos y la fórmula falángica era 2-3-3-3-3, condición que se observa en muchas formas actuales (Pirlot, 1976; Romer y Parsons, 1977; Weichert y Presch, 1981).

La pérdida de dígitos, así como la pérdida o fusión de carpianos, es mucho más común que el aumento en el número de elementos, aunque la polifalanga y la polidactilia son características comunes en los grupos de vertebrados acuáticos (Carroll, 1988).

En los cetáceos las extremidades anteriores han sufrido grandes modificaciones en el curso de su evolución, pasando del modelo de sus ancestros terrestres, hasta formar en la actualidad las aletas pectorales.

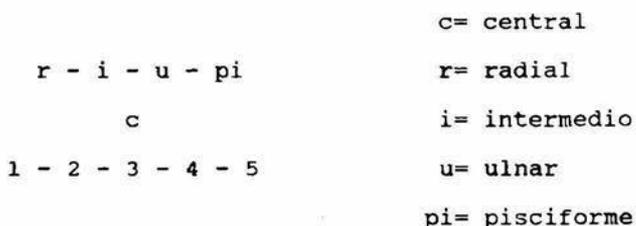
Es probable que en primera instancia la aleta pectoral fuera una pala natatoria relativamente más grande de lo que se presenta

en los cetáceos actuales. En la medida en que la propulsión fue asumida en mayor grado por la aleta caudal, las pectorales se volvieron relativamente menores y retuvieron solamente las funciones de guiar y estabilizar tal como las aletas pectorales de los peces (Burfield y Cantab, 1920).

La adaptación anatómica de dichas aletas, para la vida en el mar, incluyó la adquisición de una forma hidrodinámica, cambios en la arquitectura y número de huesos, reducción en el número de músculos, utilización de tendones como ligamentos, uniones cartilagosas y restricción del movimiento en las articulaciones, incremento en la densidad de los tejidos conectivo subcutáneo, interóseo e interdigital. Presentan, además, sistemas de contracorriente en la circulación de las aletas, lo cual es una estrategia para la termorregulación (Felts, 1966).

El esqueleto de éstas extremidades presenta características distintivas para el orden Cetacea: la aleta funciona como una unidad, la movilidad individual de los elementos óseos está sustancialmente reducida y la única articulación que presenta movimiento es la húmero-escapular. Se presenta un acortamiento de los elementos proximales y un alargamiento de los distales. La cabeza del húmero no presenta tuberosidades y se extiende hasta la diáfisis, no presenta cresta deltopectoral. La superficie articular distal del húmero presenta dos grandes facetas que forman entre ellas un ángulo de 150° . El radio y la ulna son paralelos en plano frontal y aplanados dorsoventralmente. El número de carpales es reducido (de cinco

a seis) y se presenta de manera diferente en los odontocetos con una mano pentadáctila, que en los misticetos que presentan una mano reducida. Los primeros poseen un carpo con el siguiente esquema:



1-5 carpales distales

En los odontocetos existe una reducción en el número de los carpales distales estos elementos se fusionan entre sí o con los elementos proximales del carpo, e inclusive se ha propuesto que se fusionan en ciertas ocasiones con algunos metacarpianos.

Se observa la presencia de hiperfalangia, siendo el número de falanges por dígito característico para cada especie (Leboucq, 1889; Eales, 1954; Grassé, 1967; Romer y Parsons, *op. cit.*; Felts, *op. cit.*).

La transformación del miembro anterior en pala natatoria presenta una gran convergencia evolutiva entre los cetáceos y los reptiles acuáticos de la era secundaria (plesiosaurios e ictiosaurios), que también se originaron a partir de ancestros terrestres (Burfield y Cantab, *op. cit.*; Pirlot, *op. cit.*; Romer, 1959; Romer y Parsons, *op. cit.*). En los Ictiosaurios y Plesiosaurios se observa hiperfalangia y en los primeros se presenta, además, una gran variación en el número de dedos, puede haber desde tres

hasta ocho líneas longitudinales de falanges en forma de disco
(Figura 2)(Romer y Parsons, *op. cit.*).

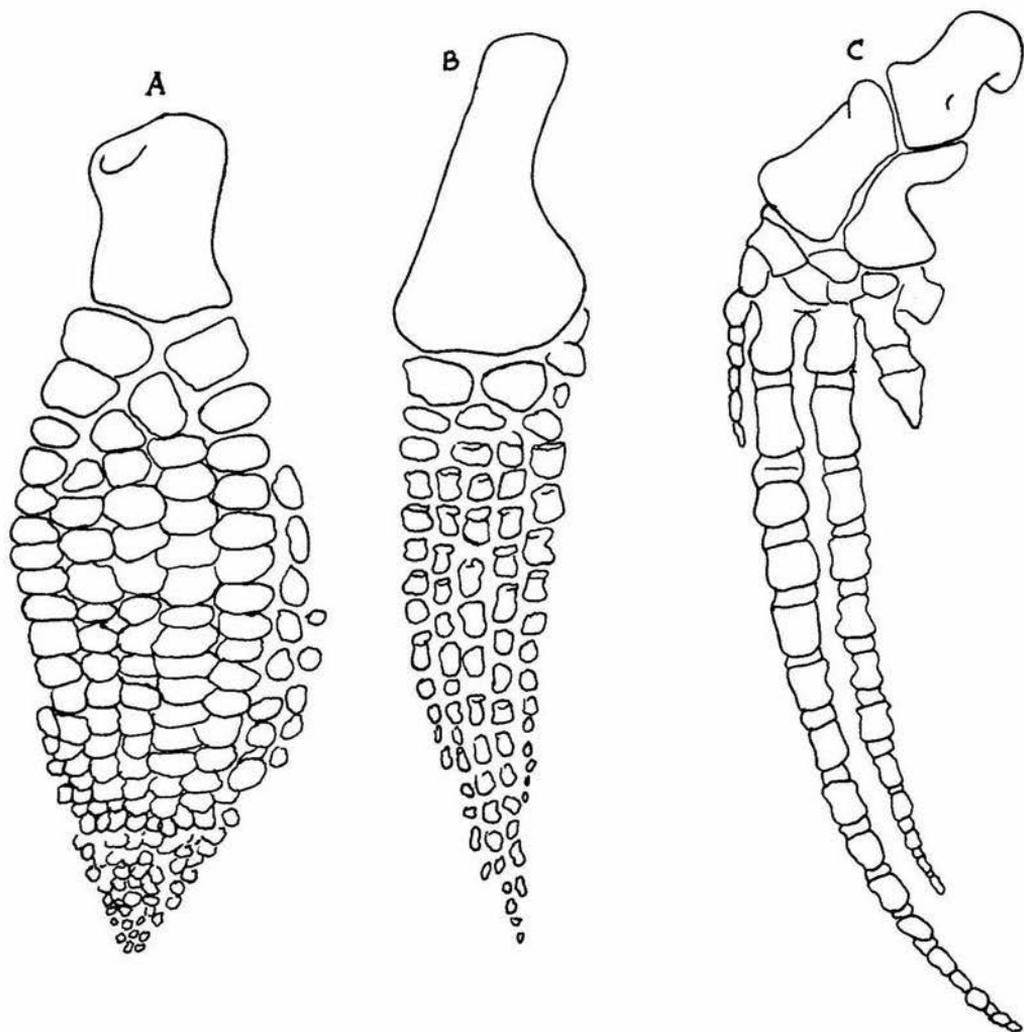


Figura 2. Ejemplos de apéndices de tetrápodos transformados en aletas. Aletas pectorales de A, Ictiosaurio; B, Plesiosaurio; C, Ballena (Tomado de Romer y Parsons, 1977).

ANTECEDENTES

Las modificaciones del miembro pentadáctilo que condujeron a la formación de la aleta pectoral en los cetáceos, han sido objeto de investigaciones por parte de muchos anatomistas del siglo pasado y principios del presente. Sin embargo, los intentos de homologar los elementos del carpo han presentado muchas dificultades, siendo erróneos en algunos casos, debido a que en los esqueletos de adultos no se observan claramente las uniones cuando se secan y, en la disección y limpieza manual, es frecuente la pérdida de elementos óseos y del arreglo original. Además, en los cetáceos existe comunmente variación entre individuos de la misma especie, e inclusive entre la aleta derecha e izquierda del mismo animal (Eales, *op. cit.*).

En el trabajo de Eales (*op. cit.*) se hace una síntesis de gran parte de los trabajos de finales del siglo XIX y principios del XX, en la cual se encuentran las descripciones de la osteología de Narval (*Monodon monoceros*), Beluga (*Delphinapterus leucas*), Marsopa común (*Phocoena phocoena*) y ballena piloto (*Globiocephala macrorhynchus*). Cabe destacar que en dicho trabajo se utilizó la transparentación por deshidratación, de aletas de fetos y la radiografía de aletas de organismos adultos. Estas técnicas permiten una mejor apreciación de los elementos óseos y su organización.

Con respecto a la familia Phocoenidae, concretamente al género *Phocoena*, se ha hecho la descripción de la aleta pectoral de *Phocoena phocoena* y *Phocoena spinipinnis*.

En 1889, Leboucq describe cinco huesos en el carpo de *P. phocoena*, los cuales corresponden proximalmente al radial, intermedio, ulnar y pisciforme; distalmente se observan el carpiano 2 y otro hueso formado por la fusión de los carpianos 3 y 4. El carpiano 1 y el metacarpiano 1 se encuentran fusionados formando un carpo-metacarpiano (Figura 3). La fórmula falángica es 2-9-8-5-3 en un feto y 2-7-7-3-2 en un adulto. Eales (*op. cit.*) en su descripción de la mano de un joven de esta misma especie coincide con lo anterior, a excepción de que él nombra los carpales distales como *magnum* (c3) y *unciforme* (c4+c5), y no menciona la fusión del carpiano 1 y el metacarpiano 1. La fórmula falángica que registra es 2-8-7-4-3. Weber (1888), menciona una fórmula falángica de 1-8-8-4-1, para un feto de esta especie y 2-7-7-4-2, para un adulto. El arreglo de los huesos del carpo que el menciona es: radial, intermedio, ulnar, c1 y c2.

Por lo que respecta a *P. spinipinnis*, Crovetto y Lemaitre (1991) informan la presencia de cinco huesos en el carpo, correspondientes al radial, intercalar (intermedio), ulnar, y dos carpales distales. La fórmula falángica para esta especie es 1-6-6-3-0, sin embargo, en ella no se cuentan los metacarpianos (como sucede en la mayoría de los trabajos de este tipo) y además, debido a que la descripción fue hecha a partir de una radiografía, es probable que se hayan omitido algunos elementos (Figura 4). Brownell y Praderi (1984) notifican una fórmula falángica de 2-8-7-4-2, para esta misma especie.

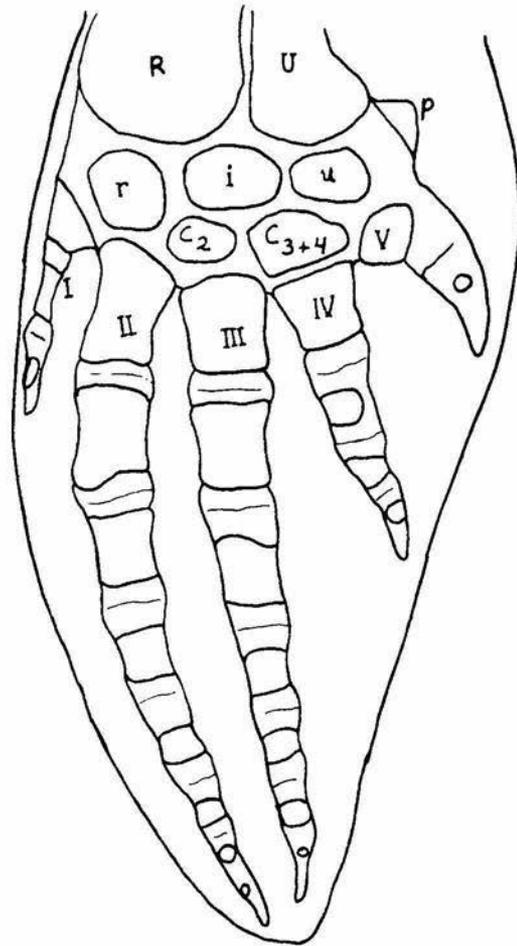


Figura 3. Aleta pectoral de *Phocoena phocoena*, según Leboucq (1889).
 R=radio, U=ulna, r=radial, i=intermedio, u=ulnar, p=pisciforme, I-V=metacarpianos.



Figura 4. Aleta pectoral de *Phocoena spinipinnis*, según Crovetto y Lemaitre (1991). El esquema fue hecho a partir de una radiografía, por tanto, algunos elementos no osificados pueden haber sido omitidos.

Las aletas pectorales de la vaquita *Phocoena sinus* son proporcionalmente más grandes que las de las otras especies del género y tienen el borde posterior más cóncavo (Figura 5) (Noble y Fraser, 1971; Brownell, 1983). Silber y Norris (1991) relacionan este mayor tamaño de las aletas con las necesidades de intercambio de calor, debido a que *P. sinus* ocupa la parte norte del Golfo de California durante todo el año y está sujeta a elevadas temperaturas (hasta 32°C) en el agua, particularmente en el verano y otoño. Las extremidades de esta especie son grandes en relación con su masa, y representan importantes superficies de intercambio para la termorregulación.

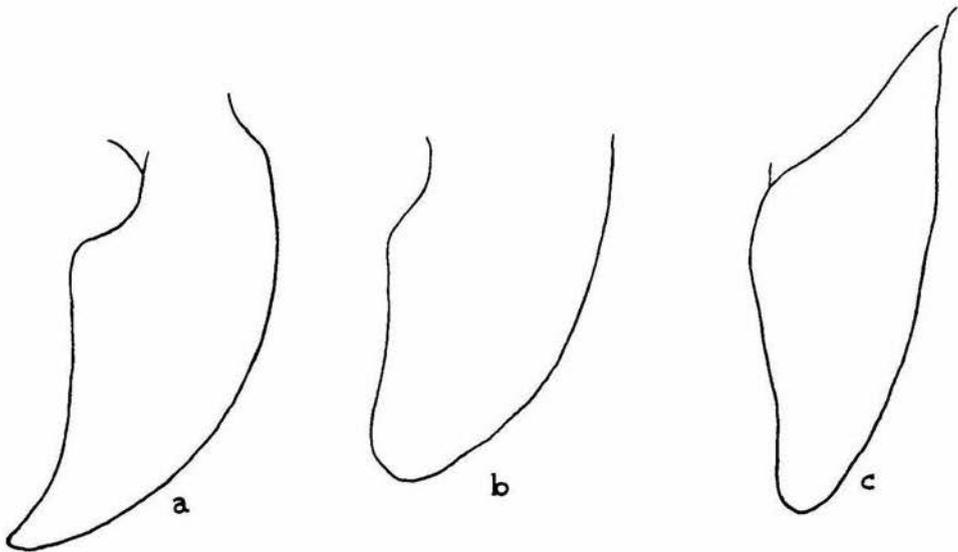


Figura 5. Contorno de la aletas pectorales de (a) *Phocoena sinus*, (b) *P. spinipinnis*, (c) *P. phocoena* (Modificado de Noble y Fraser, 1971). Las aletas pectorales de vaquita *P. sinus* tienen una forma más cóncava y son proporcionalmente mayores que las de las otras dos especies del género.

En la primera descripción del esqueleto postcraneal de vaquita, Noble y Fraser (*op. cit.*) solamente hacen referencia a la aleta pectoral izquierda de un ejemplar, la cual además de ser la única disponible, estaba incompleta. No mencionan el número de huesos en la primera línea de carpales, e indican que la segunda línea (distal) estaba incompleta. La fórmula falángica estimada es 2-8-7-4-2 (incluyendo los metacarpianos).

En 1984 Magatagan *et al.* realizaron una descripción del esqueleto postcraneal de tres ejemplares de vaquita, pero en lo que a las aletas pectorales se refiere, sólo se describió el número, radio y la ulna, faltando los carpianos, metacarpianos y la fórmula falángica.

Villa-Ramírez *et al.* (en prensa) manifiestan la presencia de un proceso postaxial en el tercer metacarpiano, entre el cuarto y el propio tercero, de la aleta pectoral de catorce ejemplares de *Phocoena sinus*. Dicha estructura se encuentra orientada hacia el eje longitudinal del cuerpo y se continua en dirección distal con una línea de tejido cartilaginosa. La presencia de una estructura similar sólo ha sido registrada para un feto de Beluga *Delphinapterus leucas* (Figura 6), pero en ese caso se origina a partir de la primera falange del cuarto dedo y, además, no es constante en todos los individuos de la especie (Burfield y Cantab, *op. cit.*).

Kükenthal (1890) describe una nueva disposición en la articulación del metacarpiano V con la primera falange en fetos

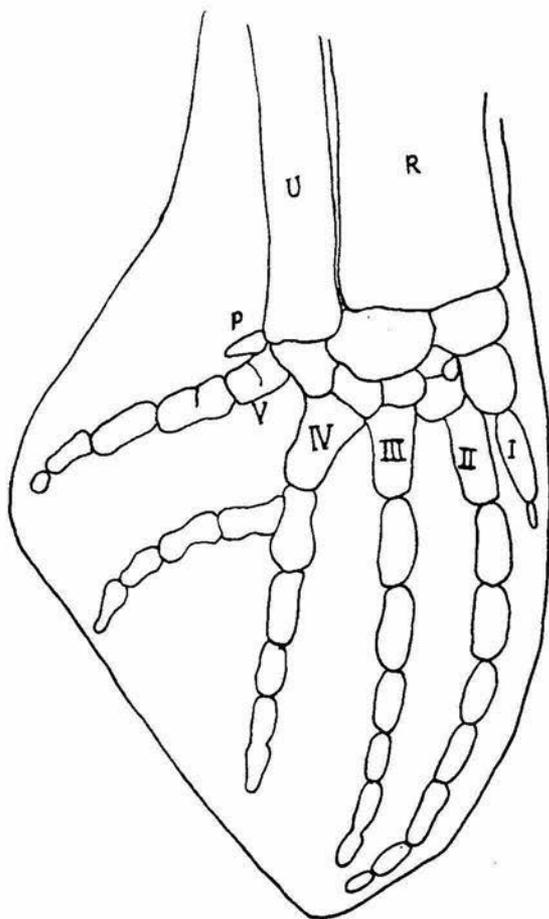


Figura 6. Aleta pectoral de un feto de Beluga, *Delphinapterus leucas*, según Burfield (1920). Nótese la ramificación que se origina en la primera falange del cuarto dígito.

de Beluga y Tursión. La línea articular no es transversal y se bifurca antes de llegar al extremo distal formando una "Y". En el caso de la Beluga, la misma disposición se observa en la siguiente falange de una manera más pronunciada, y en el extremo distal del dedo se observan, separados de este, unos nódulos triangulares que constituyen los rudimentos de una nueva serie falángica formada por fisión del quinto dedo (Figura 7).

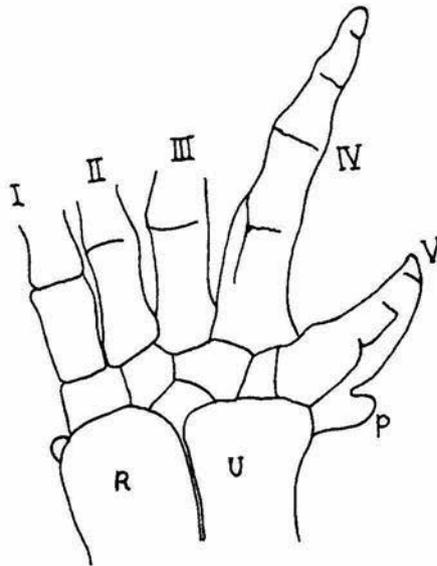


Figura 7. Aleta pectoral de un feto de Tonina, *Tursiops truncatus*, según Kükenthal (1889). Se aprecia la fusión longitudinal de la primera falange del cuarto dedo y las dos primeras falanges del quinto.

Leboucq (*op. cit.*) describe una división similar en el quinto dígito de un feto de delfín común *Delphinus delphis*. Además observa este mismo tipo de división longitudinal en la tercera falange del cuarto dedo, y argumenta que se produce por una tendencia a un dobléz en el sentido longitudinal de ciertos dedos de los cetáceos (Figura 8).

Symington describió en 1906 la presencia de una división parcial longitudinal en el quinto dígito de un odontoceto, como una tendencia al aumento en el número de dedos (Polidactilia). Sin embargo, la especie del ejemplar en el que realizó sus observaciones no pudo ser determinada.

Leisewitz (1921) publicó un informe detallado de un caso de polidactilia en un delfín denominado *Delphinus amazonicus*, que corresponde en la actual clasificación a *Inea geoffrensis*. Esta observación fue constatada en 1973 por VanBree y Trebbau, y consiste en la presencia de un sexto dedo, formado por fisión del quinto, en algunos individuos de la especie (Figura 9). Dichos autores mencionan que las aletas pectorales de *I. geoffrensis* son más anchas en comparación con las de otras especies de la familia Delphinidae, y se preguntan si la estructura observada es una aberración o si debe ser considerada como el primer paso hacia la especialización.

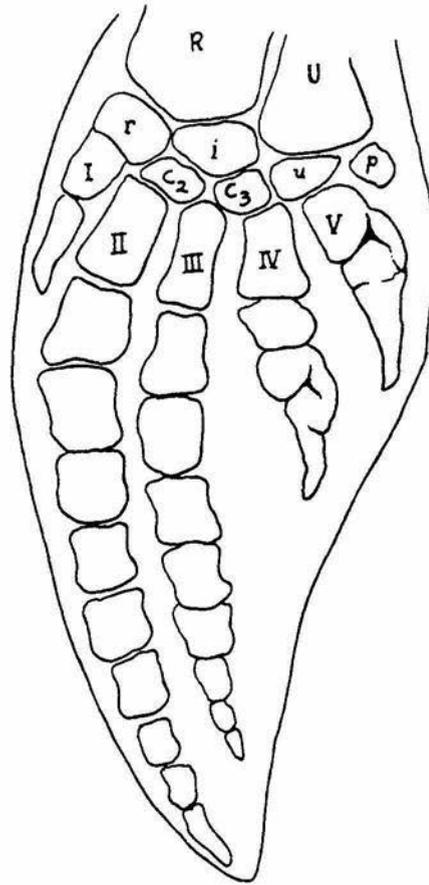


Figura 8. Aleta pectoral de delfín común *Delphinus delphis*, según Leboucq (1889). Se aprecia la división longitudinal en algunas falanges de los dedos cuarto y quinto.

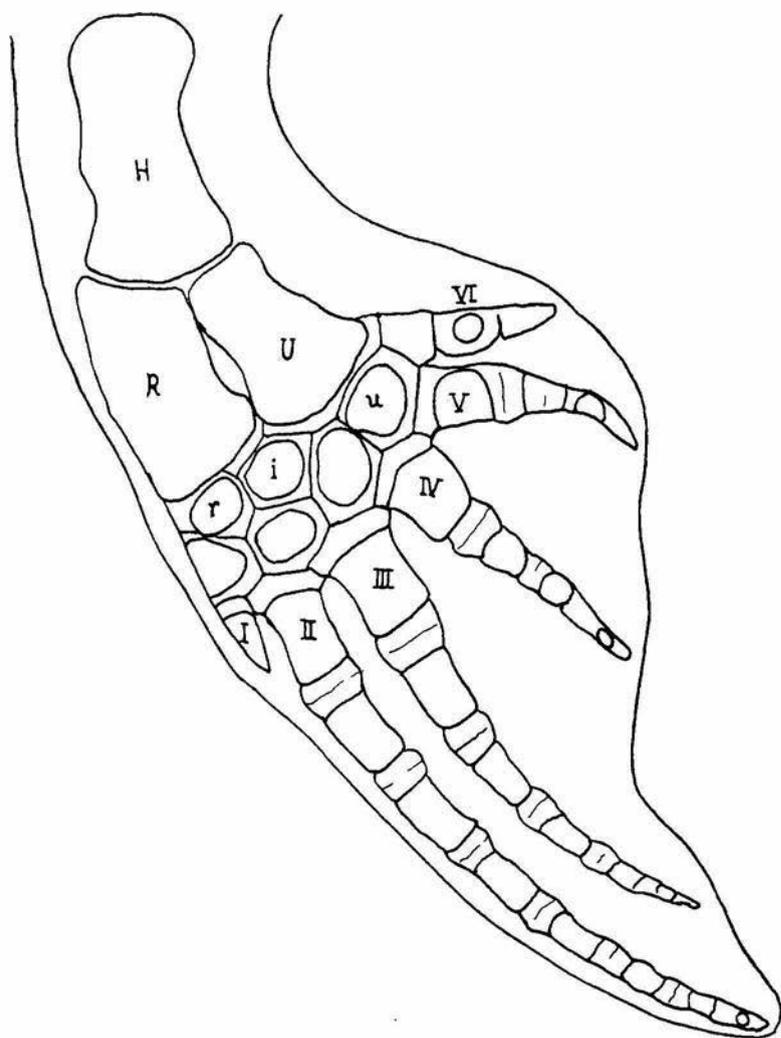


Figura 9. Aleta pectoral de delfín del Amazonas, *Inea geoffrensis*, según Van Bree y Trebbau (1973). Nótese la división longitudinal del quinto dígito. La fórmula falángica es 1-8-6-4-4-2.

OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo fue realizar la descripción de los elementos óseos y tendones de la aleta pectoral de la Vaquita *Phocoena sinus*. Para ello se plantearon los siguientes objetivos particulares:

-Adaptar la técnica de tinción con Rojo de Alizarina "S" y transparentación para utilizarla en la aleta pectoral de *P. sinus*.

-Hacer la descripción de los tendones en la aleta pectoral de *P. sinus*.

-Describir la anatomía ósea de la aleta pectoral de *P. sinus* mediante el empleo de diferentes técnicas para la apreciación de los elementos óseos y su arreglo espacial.

-Comparar los resultados obtenidos con las diferentes técnicas empleadas (radiografía, transparentación, disección y limpieza con derméstidos).

MATERIAL Y METODO

Para la realización del presente trabajo se utilizaron los ejemplares de *Phocoena sinus* depositados en las colecciones del Instituto de Biología, U.N.A.M., Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Guaymas, Universidad Autónoma de Baja California (Tabla 1).

Los organismos de dichas colecciones han sido recuperados en las costas de Sonora, en la Parte Norte del Golfo de California, y proceden de la captura incidental en las redes agalleras de los pescadores de la región.

Se utilizaron cuatro diferentes técnicas para la observación de los elementos óseos de las aletas pectorales: radiografía, transparentación y tinción con rojo de Alizarina "S", disección y limpieza con derméstidos.

Se tomaron placas radiográficas a los ejemplares IBUNAM 4048, IBUNAM 26555 e IBUNAM 26556 (máquina Phillips 1/2 50, 40 kilovatios de intensidad, 4 miliamperes de penetración por 0.01 segundos de exposición). Los ejemplares IBUNAM 4048 y 26556 fueron, además, transparentados mediante la aplicación de la técnica descrita por Hollister (1934), modificada por Gersenowies *et al.* (1993), a la cual se hicieron las siguientes adaptaciones:

Los ejemplares se mantuvieron congelados después de su captura y posteriormente fueron fijados en formol al 4% durante una semana, para ser conservados finalmente en alcohol etílico al 70%.

Se procedió a desprender las aletas pectorales de los ejemplares a la altura de la articulación glenoidea.

Ejemplar	Sexo	Fecha de Colecta	Long. Total	Trans	Radio	Disec	L.D.
Ensenada	H	180591	1130		X		
Ensenada	M	210391	780		X	X	
UABCS	M	060792	885				
IBUNAM 3839	M	070584					X
IBUNAM 3840	?	060584					X
IBUNAM 3947	H	140585					X
IBUNAM 3948	M	140585					X
IBUNAM 4048			1220	X	X		
IBUNAM 17057	?	200780					X
IBUNAM 19588	?	200383					X
IBUNAM 26555	H		1490		X	X	
IBUNAM 26556	H		750	X	X		
IBUNAM 33933	H	211091					X
IBUNAM 33934	H	270791	940				X
IBUNAM 33935	M	280691	1020				X
IBUNAM ?	?	280593	1030			X	X
ITESM 930528	M	280593	1280			X	

Tabla 1. Ejemplares de *Phocoena sinus* revisados, y técnicas empleadas para cada uno de ellos: Transparentación, Radiografías, Disección y Limpieza con derméstidos (M=macho, H=hembra).

utilizando para ello un bisturí.

Una vez retiradas las aletas se trasladaron para su trabajo al Laboratorio de Anatomía Animal Comparada de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, donde fueron fijadas nuevamente en formol al 4% . Transcurrida una semana las aletas se lavaron con agua por tres días para eliminar el exceso de formol. Posteriormente se quitó, con la ayuda de un bisturí, la piel, tejido interdigital y adiposo, teniendo cuidado de no dañar las estructuras esqueléticas y registrando la disposición de los tendones.

Concluida dicha operación, se sumergió a las aletas en acetona al 100% durante quince días, con la finalidad de extraer el exceso de grasa y después se lavaron durante un día en agua corriente para eliminar el exceso de acetona.

Posteriormente se sumergieron en una solución para teñir hueso constituida por:

-Rojo de Alizarina S al 0.1%	100 ml
-KOH al 4%	900 ml

En esta solución permanecieron el tiempo suficiente para que los elementos óseos fueran teñidos totalmente, lo cual varió desde una semana hasta diez días, dependiendo del tamaño de la aleta.

Las aletas se lavaron en agua durante un día y luego se transfirieron a una solución de KOH al 4% durante aproximadamente un mes. En el caso de las aletas del ejemplar IBUNAM 26556, la digestión se realizó en KOH al 2%, con la finalidad de evitar la desarticulación de los elementos óseos.

Finalmente se pasaron a un tren de glicerina del 20%, 40%, 60%, 80%, 90% y 100% una semana en cada solución.

Para la descripción se tomaron como referencia los trabajos existentes de anatomía de la aleta pectoral de cetáceos de Leboucq (1888 y 1889), Eales (1954), Noble y Fraser (1971).

El material preparado por éste método se incluyó en resina poliéster para su conservación y reingreso a la Colección Mastozoológica del Instituto de Biología, U.N.A.M.

Durante la salida al campo del proyecto "Biología y distribución de la Vaquita *Phocoena sinus*, una especie endémica amenazada de extinción", que se realizó en el mes de Mayo de 1993, fue posible realizar observaciones de dos ejemplares varados de vaquita. Uno de estos ejemplares fue colectado por personal del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guaymas, depositándose en la colección de esa institución con el número de catálogo ITESM 930528. El otro ejemplar fue colectado por personal del Instituto de Biología y se incorporó a la colección Mastozoológica de este Instituto. En el caso de este último ejemplar, una de las aletas se encontraba en avanzado estado de descomposición y se limpió en el dermestario. La otra aleta, que no se encontraba tan deteriorada se fijó en solución Keiller y fué disectada en el Laboratorio de Anatomía de la ENEP Iztacala.

También en dicha salida, en Mayo de 1993, se tomaron radiografías (máquina General Electric Monitol/15, 42 Kilovattios de intensidad, 15 miliamperes de penetración por 0.01 segundos

de exposición) a las aletas pectorales de dos ejemplares, un neonato y un joven, que se encuentran depositados en el Laboratorio de Vertebrados de la Universidad Autónoma de Baja California. Posteriormente se realizó la disección de la aleta pectoral izquierda del neonato.

Se revisó también el material osteológico correspondiente a 10 individuos de *P. sinus* depositado en la Colección Mastozoológica del Instituto de Biología, UNAM. La limpieza del material en dicha colección se realizó con derméstidos.

RESULTADOS

Se revisó un total de 16 ejemplares de *Phocoena sinus*, cuyas aletas fueron o habían sido preparadas con diferentes técnicas para el estudio de sus elementos óseos: tinción con rojo de alizarina S, radiografías, disección y limpieza con derméstidos. También se obtuvieron las medidas de otro ejemplar que se encuentra en la Universidad Autónoma de Baja California Sur (Tabla 1).

Del análisis de este material se obtuvo la siguiente descripción:

En términos generales la aleta pectoral de la vaquita es un quiridio muy modificado y adaptado al medio marino, pudiéndose distinguir sus porciones típicas de la siguiente manera:

El húmero es corto, presentando una gran cabeza articular ligeramente alargada en dirección dorsoventral, lo cual parece indicar una gran movilidad de la aleta en el plano sagital. La cabeza del húmero está formada por la epífisis, la cual se encuentra unida a la diáfisis por una sincondrosis. Esta última, que forma la mayor parte del húmero, con forma circular en corte transversal de la región proximal, haciéndose más aplanado dorsoventralmente a medida que se prolonga en dirección distal. En vista dorsal presenta una fosa en posición anteroproximal, y un surco irregular de poca profundidad en el borde anterodistal.

En su región distal, el húmero se encuentra articulado con elementos óseos paralelos aplanados dorsoventralmente; el mayor de ellos, situado anteriormente, corresponde al radio y el posterior a la ulna.

El radio es un hueso corto con forma trapezoidal. En vista dorsal presenta una pequeña fosa circular en su porción posteromedial. La ulna es más reducida y da la apariencia de ser más alargada. En su porción proximal se observa un alargado proceso sigmoide. En la parte distal, que carece de tuberosidades, se halla la apófisis estiloide.

Ventralmente se observa un surco alargado en la porción anterior del radio, también se observa otro surco en la región anteroproximal de la ulna.

La porción de mayor superficie de ambos huesos es la de la zona articular con las porciones del carpo.

En la región del carpo se presentan tres elementos óseos de forma circular que corresponden, de la parte anterior a la posterior, al radial, intermedio y ulnar. Dada la forma como se tiñieron los elementos óseos, se puede inferir que la osificación es periférica.

El pisciforme está presente pero no posee osificación.

Los cinco metacarpianos presentes, correspondientes uno a cada dedo son, al igual que todos los huesos y cartílagos de la parte distal de la aleta, aplanados dorsoventralmente. El primer metacarpiano es de forma trapezoidal, más ancho en su parte proximal y ligeramente más largo que ancho. Los metacarpianos II y III son casi del mismo tamaño, con forma rectangular, adelgazados en su porción media. El metacarpiano IV es cuadrangular y su tamaño es alrededor de la mitad del tercero. El metacarpiano V, el más pequeño de todos tiene forma semicircular.

Hay que hacer notar que el metacarpiano III, el de mayor

tamaño, presenta, en su región posteromedial, un proceso que se proyecta ligeramente en dirección posterior, formando una pequeña tuberosidad que se encuentra rodeada de cartílago y en algunas ocasiones, ese cartílago tiende a fusionarse con el cuarto metacarpiano. En algunos ejemplares (IBUNAM 4048, 26556, ITESM 930528) se observa una línea de cartílago con dirección distal que se origina en este proceso, y en la cual existe un número variable (desde 1 hasta 3) de elementos osificados.

Los metacarpianos, al igual que las falanges presentan articulaciones de tipo sincondrosis y las epífisis de estos elementos óseos son de tipo cartilaginoso.

El quinto dedo no presenta falanges osificadas, pero se reconocen dos de tipo cartilaginoso.

La fórmula falángica es de 2-8-8-(1)-5-3 (Incluyendo los metacarpianos)(Figura 10).

El tendón, en su generalidad, está formado por fibras longitudinales de color blanco brillante, lo cual le da el aspecto de una película fibrosa que cubre las caras dorsal y ventral de la aleta. Algunas de esas fibras se originan en las epífisis del húmero y otras en las epífisis del radio y la ulna, formando un tendón de doble capa que se mantiene unido hasta la porción distal del carpo, para después separarse en ramificaciones que se dirigen distalmente sobre cada uno de los dedos, hasta la porción apical de los mismos.

En el caso particular del ejemplar IBUNAM 4048, se observa en la región posterior del tercer metacarpiano, ventralmente, una ramificación de tendón que se proyecta sobre la línea del proceso axial, hasta el ápice de dicha estructura. También se

observa, dorsalmente, una ramificación de tendón sobre la línea de cartílago que se origina en el proceso axial, pero en este caso, el tendón proviene de la porción anterior del metacarpiano IV (Figura 11).

Las medidas de las aletas pectorales, en los casos en que fue posible obtenerlas, se presentan en la tabla 2.

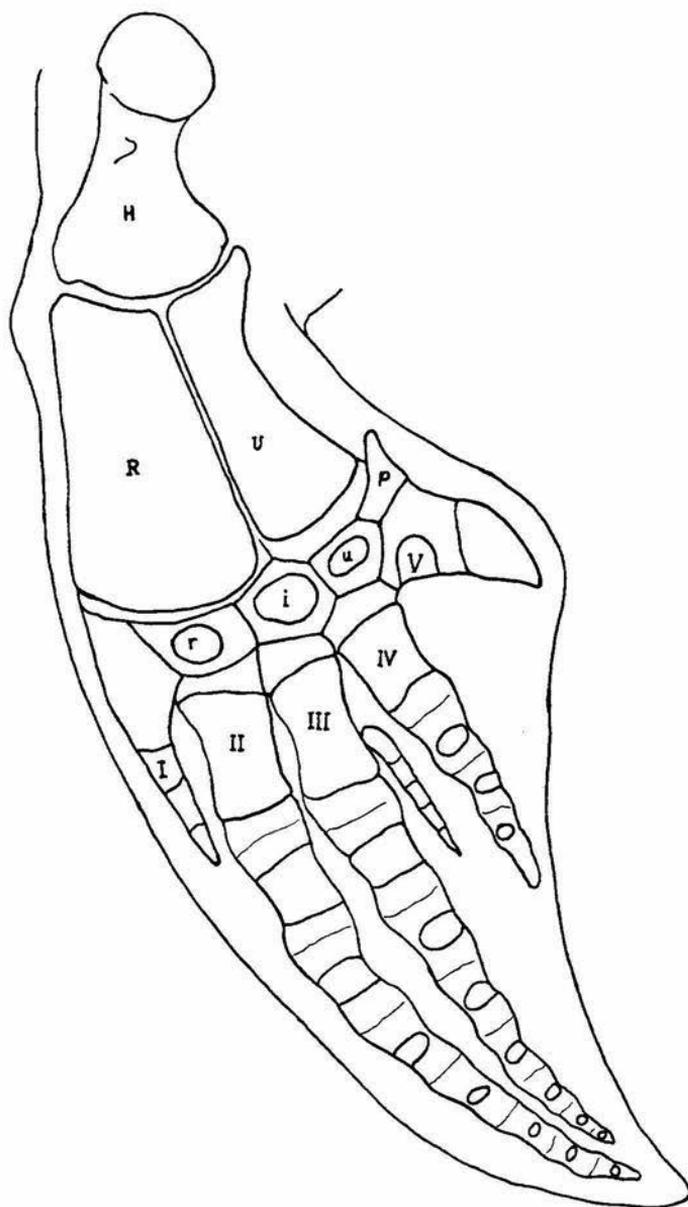


Figura 10. Elementos óseos de la aleta pectoral izquierda del ejemplar IBUNAM 4048 de Vaquita *Phocoena sinus*. H=húmero, R=rúmero, U=ulna, r=radial, i=intermedio, u=ulnar, p=pisciforme, I-V Metacarpianos. Fórmula falangea para este ejemplar (incluyendo los metacarpianos): 2-8-8-3-5-3.

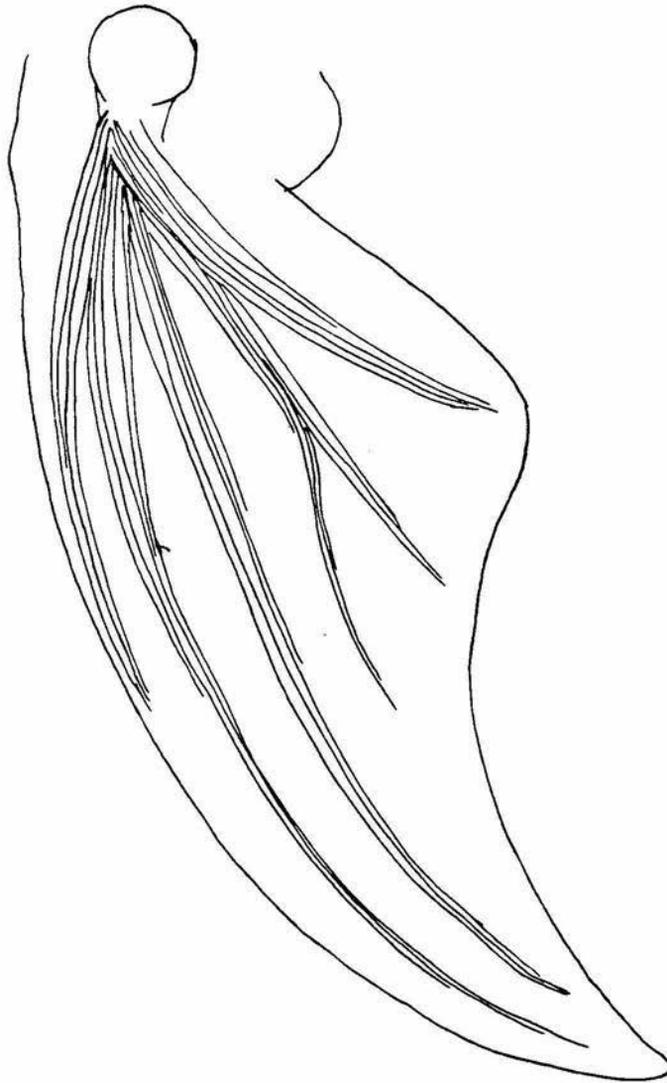


Figura 11. Tendones de la aleta pectoral de vaquita *Phocoena sinus*,
ejemplar IBUNAM 4048.

Ejemplar	Punta- Ins. Ant.	Punta- Ins. Post	Ancho Máximo	Fórmula falangea
Ensenada (Macho)	180 D	120 D	65 D	2-8-8-0-4-2 D
	180 I	120 I	65 I	2-8-7-1-4-2 I
Ensenada (Hembra)	190 D	130 D	72 D	2-8-7-0-4-2 D
	190 I	132 I	71 I	2-8-7-0-4-2 I
UABCS	180 D 192 I	136 D 146 I	68 D 69 I	
IBUNAM 3839				
IBUNAM 3840				2- - - -4-3 D
IBUNAM 3947				
IBUNAM 3948				
IBUNAM 4048	245 D	185 D	87 D	2-9-8-1-5-3 D
	240 I	183 I	86 I	2-9-8-3-5-3 I
IBUNAM 17057				
IBUNAM 19588				
IBUNAM 26555	260 D		88 D	2-8-7-1-4-2 D
	266 I		89 I	2-8-7-1-4-2 I
IBUNAM 26556	158			2-8-7-2-4-2 D
				2-8-7-2-4-2 I
IBUNAM 33933				
IBUNAM 33934	180		61	2-8-7-1-4-2 D
				2-8-7-1-4-2 I
IBUNAM 33935	158		76	2-8-7-1-4-2 D
				2-8-7-1-4-2 I
IBUNAM (280593)	200 I	150 I	70 I	2-8-8-1-4-2 D
				2-8-8-1-4-2 I
ITESM 932805				2- - -1-3-2 D
				2-8-7- -3-2 I

Tabla 2.-Medidas en milímetros de las aletas pectorales de los ejemplares estudiados, las fórmulas falangeas incluyen los metacarpianos. La letra posterior a la medida indica la aleta de la que fue tomada (D=derecha, I=izquierda).

DISCUSION

Se tuvo la oportunidad de revisar material osteológico de 16 ejemplares de Vaquita *Phocoena sinus*. Dado que esta especie se encuentra en peligro de extinción, y que es difícil coleccionar ejemplares, este es un buen número de especímenes. Sin embargo, no en todos los casos se pudo obtener toda la información necesaria del material revisado; en algunos los elementos óseos de las aletas pectorales estaban desarticulados y no contaban con el registro de la fórmula falángica, ni de las medidas (inserción anterior-punta, inserción posterior-punta, ancho máximo)(Tabla 2).

A pesar de la situación antes mencionada fue posible lograr una observación de los elementos óseos y su arreglo correcto, en aquellos ejemplares (diez en total) que presentaban las aletas pectorales completas o en un estado de descomposición no muy avanzado (UABC-M, UABC-H, ITESM 930528, IBUNAM 3840, 4048, 26555, 26556, 33934, 33935, (28053)).

Por otra parte el empleo de cuatro técnicas para la apreciación de los elementos óseos (transparentación, radiografía, disección y limpieza con derméstidos) permitió hacer un análisis de los resultados obtenidos con cada una de ellas para concluir en una manera más acertada.

En cuanto a la eficiencia de cada una de dichas técnicas se observó que en la disección y en la limpieza con derméstidos, a pesar de que se aprecian los elementos no osificados, algunos elementos muy pequeños se pierden, además, el arreglo espacial de los elementos no siempre es confiable, debido al efecto de la

deshidratación.

La técnica radiográfica muestra perfectamente el arreglo de los elementos osificados, pero no permite apreciar claramente los elementos cartilagosos.

La adaptación que se hizo de la técnica de transparentación resultó ser la más efectiva de las cuatro técnicas empleadas, debido a que permitió apreciar todos los elementos (oseos y cartilagosos) y su arreglo original. Este método también permite una excelente preservación del material al encapsularse en resina poliéster.

Cabe mencionar, que la técnica de tinción con Rojo de Alizarina "S" y transparentación, ha sido utilizada para estudios osteológicos en peces y pequeños vertebrados (Hollister, *op. cit.*; Conn, 1960; Dingerkus, y Uhler, 1981; Gersenowies *et al.*, *op. cit.*), pero nunca se había implementado en cetáceos. Por lo anterior, la adaptación realizada en el presente trabajo, es una aportación a las técnicas para el estudio de la osteología en este grupo.

En cuanto a la osteología de la aleta pectoral de *P. sinus*, la estructura de los elementos del estilópodo y zeugópodo no presenta grandes diferencias con el modelo descrito para otros cetáceos.

A diferencia de las anteriores, la región del autopodio presenta, en esta especie, marcadas modificaciones en el número de elementos. El carpo presenta tan sólo tres elementos osificados, correspondientes al ulnar, intermedio y radial (Figura 10). No se encuentran presentes carpales distales, al parecer esos elementos, que en cetáceos son por lo general dos

(Weber, 1888), están fusionados con los elementos proximales (Figura 12).

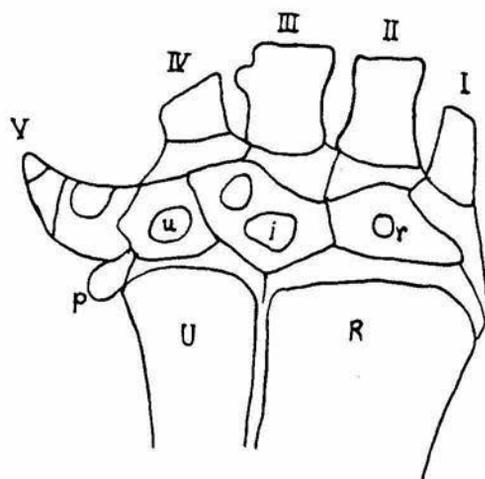


Figura 12. Elementos del carpo de la aleta pectoral derecha del ejemplar IBUNAM 39935. Se observa a dos elementos óseos (el intermedio y un carpal distal) dentro de una misma matriz de cartílago, al parecer en proceso de fusión.

El proceso postaxial presente en el tercer metacarpiano, es una estructura que no se ha descrito para ninguna otra especie y que pudo ser observada primeramente gracias a la limpieza del material con derméstidos (Villa *et al.*, en prensa).

La técnica de transparentación permitió describir la presencia de una línea de cartilago que se origina en el proceso postaxial del tercer metacarpiano y que se proyecta distalmente, así como la existencia de un número variable de elementos osificados en este cartilago. También se pudo observar que esta nueva serie falángica no se forma por fisión longitudinal del tercer dígito, como en el caso de *I. geoffrensis*.

Las observaciones de la osteología, así como la presencia de tendón sobre dicha serie falángica, en los ejemplares IBUNAM 4048 e IBUNAM (280593), muestran la tendencia a la formación de un sexto dígito en las aletas pectorales de *P. sinus*.

Las observaciones de los tendones fueron hechas solamente en cuatro ejemplares, los dos citados anteriormente y los ejemplares IBUNAM 26555 y 26556. Esto se debió a que los demás ya habían sido limpiados con derméstidos o estaban en avanzado estado de descomposición, sin embargo, sería conveniente que se revisara un mayor número de especímenes.

La variación en el número de elementos osificados (de 0 a 3) en esta nueva serie falángica, entre diferentes individuos e inclusive entre las aletas derecha e izquierda del mismo organismo, parece indicar que este carácter aún no tiene un modelo establecido, y está inmerso en un proceso evolutivo. Debido al reducido número de ejemplares disponible, no fue posible determinar si existe alguna diferencia entre el grado de desarrollo de esta estructura, entre machos y hembras. Sin embargo, se observó que la osificación de los elementos de la nueva serie falángica (y probablemente el número) aumenta con la edad.

La adquisición de un sexto dígito esta asociada con una mayor superficie en las aletas pectorales de *P. sinus*. Respecto a la función o ventajas que representaría para esta especie tener mayor superficie en las aletas pectorales, se plantean dos hipótesis:

- Ayudan al organismo en los procesos de termorregulación.
- Proporcionan al animal mayor estabilidad y maniobrabilidad.

La primera hipótesis coincide con la propuesta de Silber y Norris (1991), de que la vaquita esta en una difícil situación para mantener su temperatura constante en 37°C, esto debido a que está sujeta a temperaturas de hasta 30°C durante el verano (Atlas Nacional de México, 1990). Sin embargo, sería de esperarse que los cetáceos que viven en aguas tropicales tuvieran, como regla general, aletas proporcionalmente mayores a las de las especies que viven en las aguas polares. Esta última aseveración no ha sido probada científicamente.

La segunda hipótesis coincide con las observaciones hechas por Leisewitz (1921) de polidactilia en el delfín del Río Amazonas *Inea geoffrensis*. Ambas especies viven en aguas turbias. Esto puede hacer necesaria una gran movilidad y destreza para maniobrar en espacios cortos rápidamente. El rápido y ágil nado de la vaquita ha sido comprobado durante los avistamientos registrados para esta especie. Sin embargo, el sexto dedo del delfín del Amazonas se forma por fisión longitudinal del quinto dedo, ensanchando la aleta en la región del carpo, a diferencia de la vaquita en la cual el ensanchamiento se produce en la parte distal de la aleta, a partir de los metacarpianos.

En cuanto a la aparición de la nueva serie falángica, es necesario mencionar algunos puntos:

-La vaquita se origina a partir de la población de un ancestro común con *P. spinipinnis*, que migró hacia el Norte y quedó atrapada en el Golfo de California durante las últimas glaciaciones (Barnes, 1985).

-La población de vaquita es pequeña y se encuentra aislada (Villa-R., 1976; Brownell, 1983; Magatagan *et al.*, 1984).

-La variabilidad genética dentro de la población de vaquita es muy baja (Rosel, 1992).

-No existen estructuras similares en sus parientes más cercanos: *P. spinipinnis* y *P. phocoena* (Crovetto y Lemaitre, 1991; Leboucq, 1889).

Por todo lo anterior se puede pensar en la posibilidad de que este carácter se haya presentado como consecuencia de un proceso de deriva génica. Aunque, por otro lado, la convergencia evolutiva de la polidactilia, entre los ictiosaurios, el delfín del Amazonas y la vaquita, parece indicar que esta característica es parte del proceso de adaptación y especialización de algunos tetrápodos terrestres que colonizaron el medio marino, y lo que observamos son las condiciones ecológicas en las cuales puede ocurrir.

Es necesario hacer notar que el nuevo (sexto) dedo de aleta pectoral o mano de la vaquita aparece entre el tercero y el cuarto. Esto plantea una nueva interrogante: ¿Por qué en ese lugar?

El número de dedos en los tetrápodos es de cinco (a partir de los reptiles), y representa una estabilización secundaria pues

los tetrápodos del Devónico presentaban de seis a ocho dedos en cada extremidad (Coates y Clack, 1990; Cooke, 1990; Gould, 1991).

En los tetrápodos actuales que presentan polidactilia los dedos supernumerarios se presentan después del primero, en concordancia con el modelo de desarrollo embrionario de Shubin y Alberch (citado por Gould, *op. cit.*), que propone que los dedos se desarrollan empezando por el quinto y terminando con el primero. Así pues, el primer dedo es el último en formarse y el que comunmente se duplica para producir polidactilia.

Sin embargo, esto último no concuerda con los casos de polidactilia en *Inea geoffrensis* y *Phocoena sinus*. En el primer caso se presenta en el quinto y en el segundo caso en el tercer dígito.

Desafortunadamente no fue posible analizar especímenes en estado embrionario. Sólo se revisaron neonatos y crías, pero sería muy interesante poder observar el desarrollo ontogenético de la aleta pectoral de *P. sinus*. Con ello se podrían determinar los procesos de reducción (por fusión) del número de elementos del carpo, así como el desarrollo de la nueva serie falángica (Sexto dedo).

CONCLUSION

Las aletas pectorales de *Phocoena sinus* son quirridios altamente modificados para la vida en el medio acuático. Las porciones del estilópodo y zeugópodo presentan una estructura y elementos similares a las presentes en el orden Cetacea, pero la región del autopodio presenta modificaciones con respecto al número de elementos comunmente presentes en dicho orden:

-Sólo posee tres elementos óseos en el carpo: radial, intermedio y ulnar, los elementos carpales distales estan fusionados con los anteriores.

-Presenta un proceso postaxial en el tercer metacarpiano, a partir del cual se origina una nueva serie falángica que presenta un número variable de elementos osificados (Desde 0 hasta 3). Esta nueva serie falángica muestra la tendencia a la formación de un dedo supernumerario (sexto dedo) en la aleta pectoral de *P. sinus*.

La fórmula falángica (incluyendo los metacarpianos) es: 2-8-8-(0 a 3)-5-3.

-La técnica de tinción con Rojo de Alizarina "S" es muy efectiva para realizar descripciones osteológicas, debido a que permite mejores apreciaciones que las técnicas radiográficas, de disección y de limpieza con derméstidos.

REFERENCIAS

- Atlas Nacional de México. 1990. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Carta VI.9.1. Oceanografía Física.
- Barnes, L. C. 1985. Evolution, taxonomy and antitropical distributions of the porpoises (Phocoenidae, Mammalia). Marine Mammal Science 1(1): 149-165.
- Brownell, R. L. Jr. 1983. *Phocoena sinus*. Mammalian species, 198: 1-3.
- Brownell, R. L. & R. Praderi. 1984. *Phocoena spinipinnis*. Mammalian Species. 217: 1-4, 5 figs.
- Burfield, S. T. and B. A. Cantab. 1920. Note on the hand skeleton of some cetacean foetuses. Proc. Trans. Liverpool Biol. Soc., 34: 93-96.
- Carroll, R. L. 1988. Vertebrate paleontology and evolution. W. H. Freeman and Company. New York. 698 pp.
- Coates, M. I. and J. A. Clack. 1990. Polydactyly in the earliest known tetrapod limbs. Nature 347 (1): 66-69.
- Conn, H. J. 1960. Staining Procedures. The Williams and Wilkins Company. Baltimore, U.S.A.
- Cooke, J. 1990. Proper names for early fingers. Nature 347 (1): 14-15.
- Crovetto A. y C. Lemaitre. 1991. Características de un esqueleto de *Phocoena spinipinnis*, Burmeister 1865 ("Marsopa de Burmeister") de las costas de Chile y comentarios sobre la osteología del género. Rev. Biol. Mar., Valparaíso. 26 (1): 37-47.

- Dingerkus, G. and Uhler, L. D. 1981. Differential staining of bone and cartilage in cleared and stained fish using alcian blue to stain cartilage and enzymes for clearing flesh. Section of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, N.Y.
- Eales, N. B. 1954. The manus of the Narwhal, *Monodon monoceros*. Proc. Zool. Soc. Lond., Vol. 124: 201-211.
- Felts, W. J. L. 1966. Some functional and structural characteristic of cetacean flipper and flukes. In Whales, Dolphins and Porpoises. Edited by K. S. Norris. University of California Press, Berkeley and Los Angeles. p. 225-276.
- Fleisher, L. y H. Pérez-Cortéz M. 1991. Diagnósis del recurso vaquita, *Phocoena sinus*. Instituto Nacional de la Pesca.
- Gersenowies, R. J. R., M. Gonzalez, M. E. Valdez y A. Cisneros. 1993. Introducción a la Metodología de la Anatomía Animal Comparada (Un Acercamiento Teórico Práctico). 2ª edición. E.N.E.P. Iztacala, U.N.A.M., México.
- Gould, S. J. 1991. Eight (or fewer) little piggies (Why do we and most other tetrapods have five digits on each limb?). Natural History 1991 (1): 22-29.
- Grassé, P. 1967. Traité de Zoologie. Anatomie, systématique, biologie. Tome XVI, premier fascicule. p. 764-823.
- Hohn, A. A., A. J. Read, S. Fernández, O. Vidal y L. Findley. 1993. Determinación de edad, crecimiento y reproducción de la Vaquita, *Phocoena sinus*. XVIII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos, La Paz, B.C.S., 4-7 mayo 1993.

- Hollister, G. 1934. Clearing and dyeing fish for bone study. *Zoologica* 12: 89-101.
- Kükenthal, W. 1890. Über die hand der cetaceen. *Anat. Anz.*, 5: 44-52.
- Leboucq, H. 1888. Über das fingerskelett der pinnipedier und der cetaccen. *Anat. Anz.*, 3: 530-534.
- . 1889. Recherches sur la morphologie de la main chez les mammiferes marins. *Arch. de Biol.*, IX. 1889.
- Leisewitz, W. 1921. Ueber ein handskelett mit sechs fingern bei dem Amazonas-dolphin (*Inia amazonica* Martius). *Sitzungsber Gesell. Morph. Physiol. München*, 33: 1-6, 2 pls.
- Magatagan, M. D., E. H. Boyer y B. Villa-Ramírez. 1984. Revisión del estado que guarda *Phocoena sinus* Norris and McFarland y descripción de tres nuevos ejemplares. *Anales Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México*, 55, Ser. Zoología (1): 271-294.
- Noble, B. A. and F. C. Fraser. 1971. Description of a skeleton and supplementary notes on the skull of a rare porpoise *Phocoena sinus* Norris and McFarland 1958. *J. Nat. Hist.*, 1971, 5: 447-464.
- Norris, K. S. and W. N. McFarland. 1958. A new harbour porpoise of the genus *Phocoena* from the Gulf of California. *J. Mammal.* 39 (1): 22-39
- Pirlot, P. 1976. Morfología evolutiva de los cordados. Ediciones Omega. Barcelona. p. 289-298.
- Romer, A. S. 1959. The vertebrate story. Fourth edition. The university of Chicago Press. 437 pp.

- Romer, A. J. and T. S. Parsons. 1977. The vertebrate body. 5th edition. Saunders College. Philadelphia. p. 196-204.
- Rosel, P. E. 1992. Genetic population structure and systematic relationships of some small cetaceans inferred from mitochondrial DNA sequence variation. Chapter three. Ph. D. dissertation. University of California, San Diego.
- Silber, G. K. 1990. Occurrence and distribution of the Vaquita *Phocoena sinus* in the Northern Gulf of California. Fishery Bulletin 88(2): 339-346.
- Silber, G. K. and K. S. Norris. 1991. Geographic and seasonal distribution of the Vaquita, *Phocoena sinus*. Anales Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México. Ser. Zool., 62 (2): 263-268.
- Symington, M. D. 1906. Observations on the cetacean flipper, with special reference to hyperphalangism and Polydactylism. Journal of Anatomy and physiology 40: 100-109.
- Van Bree, P. J. H. y P. Trebbau. 1973. Sobre algunas anomalías del esqueleto de la tonina de agua dulce *Inea geoffrensis* (De Blainville, 1817)(Cetacea, PLatanistidae). Boletín de la Academia de las Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Año XXXIII, Tomo XXXIII No. 100: 57-63.
- Villa-Ramírez, B. 1976. Report on the status of *Phocoena sinus*, Norris and McFarland 1958, in the Gulf of California. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México. 47. Ser. Zoología (2): 203-208.
- , 1978. Especies mexicanas de vertebrados silvestres raras o en peligro de extinción. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México, 49, Serie Zoología 1: 300-320.

- . In press. Recovery plan for the vaquita
Phocoena sinus. 34 pp.
- Villa-R., B., M. A. Peralta-P., A. Delgado-E. (In Press)
Description of the third metacarpal axial process in the
pectoral fins of *Phocoena sinus*.
- Weichert, C. K. y W. Presch. 1981. Elementos de Anatomía de los
Cordados. Segunda edición. Mc Graw Hill. México. pp. 163-
172.
- Weber, M. 1888. Anatomisches über Cetaceen. 1 Über den carpus
der cetaceen. Morph. Jb. Jena. 13: 616-637.