

CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN EL TEJIDO CARDÍACO, HEPÁTICO Y RENAL DE LA VAQUITA *PHOCOENA SINUS* (MAMMALIA: PHOCOENIDAE)

BERNARDO VILLA-R*

FEDERICO PÁEZ-OSUNA**

HÉCTOR PÉREZ-CÓRTEZ M.*

RESUMEN

Se determinó la concentración de nueve metales pesados en muestras del corazón, riñones e hígado de un ejemplar de *Phocoena sinus* que habita las aguas del alto golfo de California. El intervalo de concentración para cada metal en los tres tipos de tejido fueron en ug/g (peso seco): Cd, 0.2-0.3; Cu, 11.7-55.5; Ni, <0.4-0.7; Zn, 71-102; Mn, 1.5-10.7; Fe, 440-1113. Los valores para el Co, Cr y Pb todos estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica utilizada. Respecto a los elementos que se pudieron detectar con la excepción del cadmio, los demás (Cu, Mn, Fe y Zn) mostraron niveles de concentración mayores en el tejido hepático.

Palabras clave: vaquita, *Phocoena sinus*, concentración de metales pesados, corazón, riñones, hígado.

ABSTRACT

Samples of heart, kidney and liver from one specimen of the cetacean *Phocoena sinus* that inhabit the waters of the upper Gulf of California, were analysed for nine heavy metals. The range of concentrations in the three types of tissue, in ug/g (dry weight), were: Cd, 0.2-0.3; Cu, 11.7-55.5; Ni, <0.4-0.7; Zn, 71-102; Mn, 1.5-10.7; Fe, 440-1113. All values for Co, Cr and Pb were below the limits of detection. With the exception of Cadmium, the other metals (Cu, Mn, Fe and Zn) showed, higher levels of concentration in the liver tissue.

Key words: vaquita, *Phocoena sinus*, concentration of heavy metals, heart, kidney, liver.

* Laboratorio de Mastozoología, Instituto de Biología, UNAM. Apartado postal 70-153, 04510 México, D.F.

** Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Estación Mazatlán. Apartado postal 811, Mazatlán 82240, Sin. México.

INTRODUCCIÓN

Las concentraciones elevadas de ciertos organoclorados y metales pesados han sido asociadas con alteraciones reproductivas e incremento en la mortalidad de mamíferos marinos (De Lang *et al.*, 1973).

La epidemia de 1988 originada por el virus *Phocine distemper* PDV (Kennedy *et al.*, 1989) produjo una mortandad masiva de más de 17 000 focas *Phoca vitulina* en los alrededores de Europa (Hardwood y Grenfell, 1990). De alguna manera, se ha hecho notar que la severidad de este fenómeno se presentó como consecuencia de la contaminación del mar del Norte, y que las elevadas concentraciones de contaminantes en los tejidos de las focas provocaron una cierta debilidad de sus defensas a tal epidemia (Law *et al.*, 1991). Sin embargo, este tipo de interpretaciones está sujeta a debates en la literatura científica (Harwood y Grenfell, 1990; Lavigne y Schmitz, 1990). La vaquita, *Phocoena sinus*, es un cetáceo del que se desconocen la mayoría de los aspectos de su biología y ecología. Este mamífero marino fue descrito hace poco más de 30 años (Norris y McFarland, 1958) y debido al bajo número de avistamientos se ha considerado como un especie amenazada o en peligro de extinción (Villa, 1976, 1978; Brownell, 1983, 1986). Sin que a la fecha existan evidencias definitivas, se han señalado varias posibles causas de lo anterior (Aguayo *et al.*, 1986), como son, entre otras: la mortalidad incidental en algunas pesquerías, provocada por sustancias tóxicas que contienen residuos organoclorados o metales pesados (Guardado, 1975). En esta investigación en particular, se presentan los resultados analíticos, con objeto de establecer las concentraciones de nueve metales pesados en tres diferentes órganos de este mamífero marino. Así, este trabajo constituye una contribución importante al conocimiento de los factores que podrían influir en la mortalidad de la vaquita en el norte del golfo de California.

La carencia de información de esta área y específicamente sobre los niveles de metales pesados en los tejidos de *Phocoena sinus*, aunado al proceso de extinción en que se encuentra este cetáceo, justifican la importancia de estos análisis. Este pequeño cetáceo endémico del golfo de California se alimenta principalmente de peces pequeños y calamares (Fitch y Brownell, 1986, Silber, 1990; Pérez-Cortés *et al.*, en prep.). La mayoría de avistamientos han sido registrados en las cercanías del puerto de San Felipe, B. C., en la parte más septentrional del golfo de California y a una distancia de la costa de entre 10 y 30 km (Silber, 1990). La mayoría de éstos avistamientos han sido en aguas con profundidades de entre 21 y 30 m.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ejemplar se recuperó, recién asfixiado, de una red totoabera en el golfo de Santa Clara, Sonora, y se transportó al Laboratorio de Mastozoología del Instituto de Biología, UNAM en la ciudad de México, donde se mantuvo en congelación hasta su disección.

Con relación al manejo del material, se utilizaron recipientes de vidrio y plástico

que fueron lavados y enjuagados con HNO_3 2M (Moody y Lindstrom, 1977); en la disección se emplearon navajas nuevas para evitar una posible contaminación de las muestras.

Las muestras de cada uno de los tejidos seleccionados se liofilizaron y molieron en morteros de teflón para asegurar su mejor homogeneización. Las muestras pulverizadas fueron digeridas con ácido nítrico destilado concentrado, añadiendo cantidades conocidas de cada uno de los metales pesados desde el inicio de la digestión, para determinar finalmente las concentraciones por el método de adición de estándares por espectrofotometría de absorción atómica a la flama (Páez-Osuna *et al.*, 1988; Páez-Osuna y Marmolejo-Rivas, 1990).

La exactitud y precisión analítica se verificó por el análisis de materiales de referencia; el cual consistió de un homogeneizado del músculo del pez aguja (*Belone belone*) MA-B3/TM (IAEA, 1988) y del mejillón *Mytilus edulis* MA-M-2/TM (IAEA, 1985). En el cuadro 1 se muestra una lista de los resultados obtenidos con la técnica que se empleó en este trabajo. Exceptuando plomo y cobalto, los demás elementos presentan valores dentro o muy cerca de los límites del intervalo de confianza establecido. El plomo y el cobalto son sobrestimados con 0.92 y 0.2 $\mu\text{g/g}$ respectivamente con esta técnica.

Cuadro 1. Resultados obtenidos a partir de los análisis de los materiales de referencia ($\mu\text{g/g}$)

Intervalo de confianza (Nivel de significancia 0.05)		Clase de resultado	Concentración encontrada (n=6) promedio
Músculo del pez aguja MA-B-3/TM.			
Cr	0.45 - 0.94	C	0.88 ± 0.21
Fe	87.3 - 107.2	A	93.8 ± 12.7
Cu	2.85 - 3.57	A	3.01 ± 0.21
Mn	2.22 - 3.03	A	2.28 ± 0.12
Pb	3.85 - 5.13	A	7.25 ± 1.20
Mejillón <i>M. edulis</i> MA-N-2/TM			
Cd	1.16 - 1.54	A	1.63 ± 0.04
Co	0.75 - 1.07	B	2.37 ± 0.10
Cr	0.95 - 1.62	B	1.23 ± 0.04
Ni	0.89 - 2.04	C	2.13 ± 0.03

Certificado con un grado de confianza satisfactorio (Clase A) o aceptable (Clase B). Valores no certificados (Clase C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los niveles de concentración en su mayoría son bajos (Cuadro 2), lo cual permite sugerir que las cantidades ingeridas son muy pequeñas, o bien, que la absorción

gastrointestinal de estos metales pesados es baja en este mamífero marino en particular. Para el caso de las determinaciones de cobalto, cromo y plomo, en los tres tipos de tejidos se obtuvieron valores por debajo del límite de detección de nuestra técnica (0.3, 1.1 y 1.8 ug/g respectivamente). En consecuencia el método que se empleó es inadecuado para definir los niveles de estos tres metales en el tejido de *P. sinus*. Respecto al níquel, solamente fue posible evaluarlo en los tejidos cardíaco y renal (Cuadro 2) siendo la diferencia solamente del orden de 0.2 ug/g entre los dos tejidos.

Cuadro 2. Concentración de metales pesados en los diferentes tejidos del cetáceo *Phocoena sinus* (ug/g) pesos seco)

	Tejido		
	Cardíaco	Renal	Hepático
Cobre	15.8	11.7	55.5
Cadmio	0.2	0.3	0.2
Manganeso	1.8	1.5	10.7
Hierro	440	491	1113
Zinc	100	71	102
Níquel	0.7	0.5	<0.4
Cobalto	<0.3	<0.3	<0.3
Cromo	<1.1	<1.1	<1.1
Plomo	<1.8	<1.8	<1.8

Cuando se comparan las concentraciones de cada uno de los elementos metálicos en los tres tejidos, en general se tienen niveles más elevados en el hígado, lo que en especial es cierto para el cobre, manganeso, hierro y zinc. Con referencia al níquel y cadmio, los niveles encontrados fueron ligeramente superiores en el tejido cardíaco y renal respectivamente. Estos resultados concuerdan con los que se han encontrado en otros mamíferos marinos, como focas (Duinker *et al.*, 1979; Pertila *et al.*, 1986) marsopas (Falconer *et al.*, 1983), delfines (Honda *et al.*, 1983; Marcovecchio *et al.*, 1990) y otros cetáceos pequeños (Marcovecchio *et al.*, 1990). Sobre esta base, se ha dado cierta tendencia a seleccionar preferentemente al hígado como órgano de estudio (Law *et al.*, 1991), para establecer la bioacumulación de metales pesados.

Con objeto de comparar las concentraciones obtenidas en *P. sinus* con los de otros mamíferos pequeños, se elaboraron los cuadros 3, 4 y 5 a partir de la información de la literatura reciente; en aquellos estudios donde se analizó más de un ejemplar, se seleccionó el intervalo de la concentración en lugar de la media.

En el tejido hepático de las focas, se tiene que los niveles de concentración que se presentan en la literatura (Cuadro 3) para el cobre oscilan entre 2.8-111 ug/g; para el zinc, 28-173 ug/g; para el cadmio, <0.06-20 ug/g y para el plomo, valores siempre por debajo de 0.8 ug/g; por su parte, en la familia Delphinidae se tienen los siguientes intervalos: cobre 0.08 ug/g; zinc 16-196.2 ug/g; cadmio 0.04-8.4 ug/g; y plomo <0.7-3.1 ug/g. Los niveles en *P. sinus* de las aguas del alto golfo de California en

Cuadro 3. Niveles de concentración de metales en el tejido hepático de diferentes especies de cetáceos pequeños (ug/g peso húmedo)

Localidad	Especie	Cu	Zn	Cd	Pb	Referencias
FOCAS						
Inglaterra E.	<i>Phoca vitulina</i>	5.2-160	32-66	<0.06-50	<0.8	Law <i>et al.</i> (1991)
Irlanda del Norte	<i>Halichoerus grypus</i>	7.8-17	26-79	0.06-2.9	<0.6	Law <i>et al.</i> (1991)
Mar de Wadden	<i>Phoca vitulina</i>	2.8-15	28-41	0.26-0.38	0.10-0.5	Drescher <i>et al.</i> (1977)
Canadá	<i>Phoca hispida</i>	3.7-111	36-173	0.3-20	0.01-0.15	Wagemann (1989)
DELFINES						
Gales	<i>Stenella coeruleoalba</i>	10-12	46-65	8.4-11	<0.7	Law <i>et al.</i> (1991)
Japón	<i>Stenella coeruleoalba</i>	3.6-15	27-109	0.04-11	0.03-0.64	Honda <i>et al.</i> (1991)
EUA E.	<i>Tursiops truncatus</i>	0.08-28	16-210	ND	ND-3.1	Geraci (1989)
Canadá	<i>Legenorrhynchus albirostris</i>	3.5-32	44-136	0.2-8.4	0.02-0.9	Muir <i>et al.</i> (1988)
Argentina	<i>Tursiops geophya</i>	77.7	196.2	0.8	—	Marcovecchio <i>et al.</i> (1990)
OTROS						
Escocia	<i>Phocoena phocoena</i>	7.4-160	34-49	<0.07-1.2	<0.7	Law <i>et al.</i> (1991)
Argentina	<i>Kogia breviceps</i>	10.3	163.2	7.6	—	Marcovecchio <i>et al.</i> (1990)
Argentina	<i>Pontoporia blainvillei</i>	16.0	83.4	3.3	—	Marcovecchio <i>et al.</i> (1990)
Golfo de California	<i>Phocoena sinus</i>	16.7	30.6	0.06	0.5	Este estudio.

ND No detectado, no se informa del límite de detección

— No se presenta información.

los cuatro elementos señalados resultan bajos en relación a los máximos dados, o comparables a algunas de las especies en el cuadro 3. Es interesante, por ejemplo, notar que los niveles de cobre en el hígado de la vaquita son ligeramente mayores que los de especies con hábitos más pelágicos como el delfín listado *Stenella coeruleoalba* aunque en el caso del zinc, plomo y el cadmio, sus niveles se hallan dentro del intervalo evaluado (Honda *et al.*, 1983). Por lo anterior, es posible sugerir que las concentraciones que se encontraron en el tejido hepático de *P. sinus*, en el presente estudio, son básicas y se pueden considerar de referencia.

Con relación a los datos del tejido renal que se muestran en el Cuadro 4, se puede señalar lo siguiente: *P. sinus* presenta un valor inferior de zinc al encontrado en el delfín listado *S. coeruleoalba* de las aguas del Pacífico japonés (Honda *et al.*, 1983), los niveles son más bien similares al mínimo en diversas especies de focas que habitan en mares europeos (Duinker *et al.*, 1979; Pertilla *et al.*, 1986), pero que resulta cuatro o nueve veces menor al que se encontró en cetáceos pequeños que viven en las aguas del Atlántico suroeste (cerca de Argentina) (Marcovecchio *et al.*, 1990); los niveles de hierro, manganeso y posiblemente plomo, resultan más similares a los determinados en la marsopa *Phocoena phocoena* de los mares del Pacífico noroeste (Fujise *et al.*, 1988) que a los de las focas del mar de Wadden (Duinker *et al.*, 1979). Los niveles de cobre renal, por su parte, son ligeramente menores a los hallados en *Phocoena phocoena* y *Phoca vitulina*, siendo más bien del mismo orden a los que se determinaron en otras especies de focas que habitan las costas del golfo de Finlandia (Pertilla *et al.*, 1986), sin embargo, cualesquiera de estas concentraciones resulta muy inferior respecto a las recientemente encontradas por Marcovecchio *et al.*, (1990) en varios cetáceos en el Atlántico sur argentino. No obstante, que la concentración de cadmio fue ligeramente mayor en el tejido renal, estos niveles son de los más bajos en los tejidos hepático y cardíaco de la vaquita y se hallan cercanos al límite inferior de los intervalos presentados en la mayoría de las investigaciones concernientes a mamíferos marinos (Cuadro 4). La acumulación relativamente elevada de cadmio en el tejido renal ha sido explicada por la presencia de metalotioneínas a base de cadmio, las cuales son proteínas de bajo peso molecular (6800-7000), caracterizadas por la carencia de aminoácidos e histidina y por un inusual contenido (30-35 %) de cisteína (Viarengo, 1985).

Los niveles indetectables de plomo y cromo, ciertamente elementos no esenciales (Forstner y Wittmann, 1979), los cuales se intentó cuantificar en el tejido renal de la vaquita, deben encontrarse en niveles comparativamente inferiores a los que se presentan para otros cetáceos pequeños (Cuadro 4).

Finalmente, los niveles de metales en el tejido cardíaco que ciertamente no se analiza con la misma frecuencia que los tejidos previamente discutidos, revelan lo siguiente: el contenido de zinc en *P. sinus* resulta comparable al de *Phoca vitulina* o *Phocoena phocoena*, pero en cambio es significativamente menor a *Kogia breviceps* (Physeteridae) de las aguas del Atlántico sur oriental (Marcovecchio *et al.*, 1990). El caso del hierro, se trata del único metal de los analizados que se puede señalar con niveles por arriba o similares a los máximos de los valores en la literatura (Cuadro 5). Sin embargo, el hierro, es un elemento esencial de los organismos que

Cuadro 4. Niveles de concentración de metales pesados en el tejido renal de diferentes especies de cetáceos pequeños (ug/g peso húmedo)

Localidad	Especie	Zn	Fe	Cu	Mn	Pb	Cd	Cr	Referencias
Mar de Wadden	<i>Phoca vitulina</i>	15-25	31-66	4.8-5.1	1.9-3.4	0.16-0.23	0.15-0.17	0.15-0.59	Duinker <i>et al.</i> (1979)
Golfo de Finlandia	<i>Phoca hispida</i>	22.5-68	—	1.9-3.6	—	0.01-0.33	0.04-3.9	—	Pertilla <i>et al.</i> (1986)
Golfo de Finlandia	<i>Helichoerus grypus</i>	18-48	—	1.8-2.8	—	0.03-0.15	ND-2.8	—	Pertilla <i>et al.</i> (1986)
Pacífico NE	<i>Phocoena phocoena</i>	35.3-39.7	127-249	4.0-4.2	0.5-0.7	<0.06-0.05	20.1-34.0	—	Fujise <i>et al.</i> (1989)
Japón NE	<i>Stenella coeruleoalba</i>	30.1	—	3.1	—	—	25	—	Ilonda <i>et al.</i> (1988)
Argentina	<i>Tursiops geophyeus</i>	93.6	—	29.5	—	—	28.4	—	Marcovecchio <i>et al.</i> (1990)
Argentina	<i>Pontoporia blainvillei</i>	79.4	—	14.0	—	—	9.9	—	Marcovecchio <i>et al.</i> (1990)
Argentina	<i>Kogia breviceps</i>	169.7	—	7.4	—	—	412.6	—	Marcovecchio <i>et al.</i> (1990)
Golfo de California	<i>Phocoena sinus</i>	17.8	123	2.9	0.4	<0.5	0.08	<0.3	Este estudio.

— No se presenta información.

Cuadro 5. Niveles de concentración de metales en el tejido cardíaco de diferentes especies de cetáceos pequeños (ug/g peso húmedo)

Localidad	Especie	Zn	Fe	Cu	Mn	Pb	Cd	Cr	Referencias
Mar de Wadden	<i>Phoca vitulina</i>	28-32	106-149	5.8-8.2	2.6-4.4	0.69-0.61	0.06-0.47	0.73-1.15	Duinker et al. (1979)
Pacífico NE	<i>Phocoena phocoena</i>	24.5-26.4	83-101	4.5-5.6	0.3-0.5	<0.04	0.17-0.48	—	Fujise et al. (1989)
Argentina	<i>Kogia breviceps</i>	73.1	—	6.9	—	—	0.3	—	Marcovecchio et al. (1990)
Golfo de California	<i>Phocoena sinus</i>	30	132	4.7	0.5	<0.5	0.06	<0.4	Este estudio.

— No se presenta información.

se halla involucrado en una gran variedad de funciones en el metabolismo de los seres vivos en procesos redox, reacciones enzimáticas y transporte de oxígeno (Wood y Goldberg, 1977); en los mamíferos, el hierro es un constituyente central de la hemoglobina, la mioglobina y las enzimas del citocromo; por lo que pudiera suponerse que *P. sinus* lo mantiene en niveles más elevados, como consecuencia de sus requerimientos metabólicos.

LITERATURA CITADA

- AGUAYO L. A., A. PERDOMO V., M. SALINAS Z. y L. BOURILLON M. 1986. Avistamientos del cochito *Phocoena sinus* Norris y McFarland, 1958 en las aguas del Golfo de California, México, desde 1981 a 1984. Memorias III Simposio Ciencias en Sistemas Biológicos. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 30-40.
- BROWNELL, R. L. 1983. *Phocoena sinus*. *Mammalian Species* 198: 1-3.
- BROWNELL, R. L. 1986. Distribution of the vaquita, *Phocoena sinus*, in Mexican waters. *Marine Mammal Science* 2: 229-305.
- DE LANG, K. L., W. G. GILMARTIN y J. G. STIMPSON. 1973. Premature births in California Sea Lions: Association with high organochlorine pollutant residue levels. *Science* 181: 1168-1169.
- DRESCHER, H. E., V. HARMS y E. HUSCHENBETH. 1977. Organochlorines and metals in harbour seal *Phoca vitulina* from the German North Sea Coast. *Marine Biology* 41: 99-106.
- DUINKER, J. C., M. Th. J. HILLEBRAND y R. F. NOLTING. 1979. Organochlorines and metals in harbour seals (Dutch Wadden Sea). *Marine Pollution Bulletin* 10: 360-364.
- FALCONER, J. C., I. M. DAVIES y G. TOPPING. 1983. Trace metals in the common porpoise *Phocoena phocoena*. *Marine Pollution Bulletin* 21: 280-284.
- FITCH, J. E., and BROWNELL Jr. 1968. Fish otoliths in cetacean stomachs and their importance in interpreting feeding habits. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 25: 2561-2574.
- FORSTNER, Y. y G. T. W. WITTMANN. 1979. *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag, Berlin. 486 pp.
- FUJISE, Y., K. HONDA, K. TATSUKAWA y S. MISHIMA. 1988. Tissue distribution of heavy metals in Dall's porpoise in North-western Pacific. *Marine Pollution Bulletin* 19: 226-230.
- GERACI, J. R. 1989. Clinical investigation of the 1987-88 mass mortality of bottlenose dolphins along the US central and south Atlantic coast. Final report to National Marine Fisheries Service and US Navy. Office of Naval Research and Marine Mammal Commission, April, 1989.
- GUARDADO, P. J. 1975. Concentración de DDT y sus metabolitos en especies fitoalimentadoras y sedimentos en V. Mexicali y Alto Golfo. Calif. Coop. Ocea. Fish. Invest. Reports. vol. XVIII (1 de julio, 1973-30 junio de 1975). pp. 73-80.
- HARWOOD, J. y B. GRENFELL. 1990. Long term risks of recurrent seal plagues. *Marine Pollution Bulletin* 21: 284-297.
- HONDA, K., R. TATSUKAWA, K. ITANO, M. MIYOZAKI y T. FUJIYAMA. 1983. Heavy metal concentrations in muscle, liver and kidney tissues of striped weight, age and sex. *Agricultural & Biology Chemical* 47: 1219-1228.

- IAEA. International Atomic Energy Agency. 1985. Intercalibration of analytical methods on marine environmental samples: trace element measurements on mussel homogenate (MA-M-2/TM). Report. No. 26, Monaco.
- IAEA. International Atomic Energy Agency. 1988. Intercalibration of analytical methods on Marine Environmental samples: Trace element measurements on Fish Homogenate (MA-B-3/TM). Report No. 36, Monaco.
- KENNEDY, S., J. A. SMYTH, P. F. CUSH, P. DUIGNAN, M. PLATTEN, S. J. MCCULLOUGH y G. M. ALLAN. 1989. Histopathological and immuno cytochemical studies of distemper in seals. *Veterinary Pathology* 26: 97-103.
- LAVIGNE, D. M. y O. J. SCHMITZ. 1990. Global warming and increasing population densities: A prescription for seal plagues. *Marine Pollution Bulletin* 21: 280-284.
- LAW, R. J., C. F. FILEMAN, A. D. HOPKINS, J. R. BAKER, J. HARWOOD, D. B. JACKSON, S. KENNEDY, A. R. MARTIN y R. J. MORRIS. 1991. Concentrations of trace metals in the livers of marine mammals (seals, porpoises and dolphins) from waters around the British isles. *Marine Pollution Bulletin* 22 (4): 183-191.
- MARCOVECCHIO, J. E., V. J., MORENO, R. V. BASTIDA, M. S. GERPE y D. H. RODRÍGUEZ. 1990. Tissue distribution of heavy metals in small cetaceans from the southwestern Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 21 (6) 299-304.
- MOODY, J. R. y R. M. LINDSTROM. 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples. *Analytical Chemistry* 49: 2264-2267.
- MUIR, D. C. G., K. WAGEMANN, N. P. GRIFF, R. J. NORDSTROM, M. SIMON y J. LIEN. 1988. Organochlorine chemical and heavy metal contaminants in white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albigrostris*) and pilot whales (*Globicephala melana*) from the coast of Newfoundland, Canada. *Archives Environmental Contamination & Toxicology* 17: 613-629.
- NORRIS, K. S. y W. N. MCFARLAND. 1958. A new harbor porpoise of the genus *Phocoena* from Gulf of California. *J. Mamm.* 39: 22-39.
- PÁEZ-OSUNA, F., G. IZAGUIRRE-FIERRO, R. I. GODOY-MEZA, F. GONZÁLEZ-FARÍAS y J. I. OSUNA-LÓPEZ. 1988. Metales pesados en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: Técnicas de extracción y niveles de concentración. *Contaminación Ambiental* 4: 33-41.
- PÁEZ-OSUNA, F. y C. MARMOLEJO-RIVAS. 1990. Occurrence and seasonal variation of heavy metals in the oyster *Cassostrea iridescentis*. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology* 44: 129-134.
- PERTILÄ, M., O. STERMAN, H. PYYSÄLÖ y K. WICKSTROM. 1986. Heavy metals and organochlorine compounds in seals in the Gulf of Finland. *Marine Environmental Research* 18: 43-59.
- SILBER, G. K. 1990. Distributional relations of cetaceans in the northern Gulf of California, with special reference to the vaquita, *Phocoena sinus*. Ph. D. Thesis. University of California, Santa Cruz.
- VIARENGO, A. 1985. Biochemical effects of trace metals. *Marine Pollution Bulletin* 16 (4): 153-158.
- VILLA-R. B. 1976. Report on the status of *Phocoena sinus*, Norris & McFarland 1958, in the Gulf of California. *Anales. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. Mex., Ser Zool.* 47 (2) 203-208.

- VILLA-R. B. 1978. Especies mexicanas de vertebrados silvestres raras o en peligro de extinción. *Anales Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México. Ser. Zool.* 49 (1): 303-320.
- WAGEMANN, R. 1989. Comparison of heavy metals in two groups of ringed seals (*Phoca hispida*) from the Canadian Arctic. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences* 46: 1558-1563.
- WOOD, J. M. y E. D. GOLDBERG. 1977. Impact of metals on the biosphere. In: W. Stumm (ed.) *Global chemical cycles and their alternations by man*. pp. 67-95.