

03067  
3



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*  
Universidad Nacional Autónoma de México



U N A M

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES  
PESADOS EN TEJIDOS DE BALLENA GRIS *Eschrichtius  
robustus*, EN AGUA Y SEDIMENTOS DE LA LAGUNA OJO DE  
LIEBRE, BAJA CALIFORNIA SUR.**

**T E S I S**

que para obtener el grado académico de

**Maestro en Ciencias del Mar**

**(Oceanografía Biológica y Pesquera)**

presenta

**CARLOS JULIÁN DE LUNA LÓPEZ**

Director de Tesis: **DRA. LETICIA ROSALES HOZ**

Comité Tutorial: **DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ**  
**M. EN C. RENÉ ROSILES MARTÍNEZ**

MÉXICO D. F., 2001



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.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a:

Mi esposa: Adriana Rivas Mondragón, con admiración, amor, cariño, respeto, por tu gran paciencia y porque gracias a tu tolerancia pude culminar esta etapa de mi vida. Gracias por ser Pi.

Mis padres: Carlos De Luna Lara y María del Carmen López Avellán, con un profundo agradecimiento por su constante e incondicional apoyo, guía y enseñanza no sólo durante toda esta etapa sino desde mucho antes de conocerme. Dudo que la palabra gracias salde ese gran sentimiento hacia ustedes.

Mis hermanos: Aída del Carmen y Luis Daniel, con alegría por compartir y haber compartido nuestra vida juntos llena de momentos tan agradables, gracias por hacer valer una verdadera hermandad.

Mi cuñado: Pedro Velázquez Cardoso, con gran admiración por tu ejemplo de constancia y determinación para alcanzar el virtuosismo.

Mi tío: Fernando López Avellán, con admiración por un hombre que vive la vida sin miramientos.

Mi abuela: Teresa Avellán Puchades, con agradecimiento por tu gran compañía, protección y amor aun cuando lejos te encuentres.

Mi tía adoptiva: Rosa Tineo Bolinches, por demostrarme que se puede amar a cualquier persona como a una familiar aun cuando este no lo sea.

Mi directora de tesis: Leticia Rosales Hoz, por apoyarme en todo momento durante la enseñanza y por su apoyo durante la realización de esta tesis.

A todos los animales a quienes siempre he admirado y procurado su conservación y muy especialmente a las ballenas por ser la pasión que mueve mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la valiosa colaboración de las siguientes personas e instituciones a quienes agradezco profundamente, ellos son:

- Del *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM* a:

Q. Susana Santiago Pérez por su valiosa ayuda durante el trabajo de laboratorio de esta tesis.

Dr. Martín Merino Ibarra por su apoyo durante toda mi estancia en este Instituto.

Sra. Norma Suazo por su apoyo para cualquier trámite administrativo.

Dr. Alfonso Vázquez Botello por la revisión de la tesis.

A todos mis maestros por transmitirme sus conocimientos de un área que es completamente diferente a la medicina veterinaria y zootecnia.

A mis compañeros Simón, Marcelo, Guillermina, Jorge, Ana, Alicia, Dennis, Ruth y Marissa por la amistad que siempre me han brindado.

- De la *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM* a:

Dr. Fernando Constantino Casas por su amistad e incondicional apoyo.

M. en C. René Rosiles Martínez por su apoyo durante la fase de laboratorio de este trabajo y por la revisión de esta tesis.

M. en C. Carlos Godínez Reyes por introducirme al maravilloso mundo de la medicina en mamíferos marinos.

- De la *Reserva de la Biosfera "El Vizcaíno"* a:

Biol. Víctor Sánchez Sotomayor por permitirme cristalizar el trabajo y por su valioso apoyo durante todo el trabajo de campo.

Ing. Aaron Esliman por su ayuda durante toda mi estancia en Guerrero Negro.

Tec. Gabriel Zaragoza Aguilar a quien agradezco en sobremanera y muy especialmente por su valiosa cooperación durante todos los muestreos, por su amistad y por su compañerismo.

A Marisol, Mimi y Antia por su amistad y apoyo durante mi estancia en Guerrero Negro

A León, Jorge (qepd), Don Marcelino, Bernardo y a todo el personal de la Reserva por su amistad.

- De la *Procuraduría Federal de Protección al Ambiente* a:

Biol. Héctor Toledo Reza por su cooperación durante los muestreos y por su amistad.

- Al personal de la *división de Ecología de la empresa Exportadora de Sal S. A.* por ayudarme durante el muestreo de agua y sedimentos.
- Al personal de los *prestadores del servicio turístico del Ejido Benito Juárez* por prestarnos equipo para la realización de algunos muestreos.

- Del *Instituto Politécnico Nacional* a:

Dra. Dolores Carande por su valiosa ayuda y apoyo.

Ing. José García García y al Lic Víctor Manuel Silva García por su apoyo durante mi estancia de investigación en Guerrero Negro.

Lic. Heidi Santomé López por su valiosa cooperación durante toda esta etapa

- Del *Instituto de Geología de la UNAM* a:

Q. Rufino Lozano Sotomayor por su apoyo durante el trabajo de laboratorio.

- De la *Facultad de Ciencias de la UNAM* a:

Dr. Luis Medrano González por la exhaustiva revisión de mi tesis y por su asistencia en el análisis estadístico.

- De la *Facultad de Química de la UNAM* a:

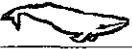
Dra. María Esther de la Rosa Duque por la revisión de mi tesis

- Al CONACYT por haberme otorgado una beca durante mis estudios de maestría

A todos ellos una vez más gracias.

## ÍNDICE.-

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 1.- RESUMEN.....                    | 1  |
| 2.- INTRODUCCIÓN.....               | 2  |
| 3.- ANTECEDENTES.....               | 9  |
| 4.- OBJETIVOS.....                  | 13 |
| 5.- ÁREA DE ESTUDIO.....            | 14 |
| 6.- MATERIAL, MÉTODOS Y EQUIPO..... | 21 |
| 7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....     | 38 |
| 8.- CONCLUSIONES.....               | 62 |
| 9.- LITERATURA CITADA.....          | 63 |

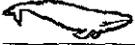


## 1) RESUMEN.

Los organismos marinos tienden a concentrar los contaminantes en sus tejidos por un proceso denominado bioacumulación. A los organismos o comunidades que reaccionan a la contaminación por cambios en sus funciones vitales y que por otro lado tienden a acumular contaminantes en sus órganos y tejidos se les denomina bioindicadores. Se ha considerado a los cetáceos como buenos bioindicadores para evaluar los efectos de la contaminación ambiental debido a que reflejan variaciones espaciales o temporales en la concentración de contaminantes. La ballena gris *Eschrichtius robustus* tiene una estrategia única entre los misticetos en la que obtiene principalmente su alimento por filtración de sedimentos. En años recientes este comportamiento alimenticio se ha registrado dentro de la Laguna Ojo de Liebre en Baja California Sur. Esto permitió comparar si la concentración de metales pesados en tejidos de ballena gris tiene alguna relación con la concentración de metales pesados en el agua y los sedimentos de la laguna para determinar dichas variaciones espaciales y saber si existe bioacumulación.

Se midió por espectrometría de absorción atómica la concentración de cobre, hierro, manganeso, plomo, vanadio, níquel, cromo, mercurio, arsénico y selenio en piel, hueso, músculo y riñón de ocho ballenas grises muertas en las costas de la Laguna Ojo de Liebre durante la temporada 1998-1999 de cría y reproducción. También se determinó por espectrometría de fluorescencia de rayos X la concentración en los sedimentos de óxido de silicio, de titanio, de aluminio (III), de hierro (III), de manganeso (II), de magnesio, de calcio, de sodio, de potasio y pentóxido de fósforo y de los elementos cobre, zinc, plomo, vanadio, níquel, cromo, cobalto, torio, estroncio, bario, itrio, circonio y niobio en muestras de sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre. Por último se determinaron también por espectrometría de absorción atómica las concentraciones de cobre, plomo y mercurio en el agua de la laguna.

Los tejidos que mayor concentración o afinidad de elementos mostraron son para cada caso: piel para selenio; hueso para cobre, manganeso, plomo, níquel y arsénico; músculo también para hierro y riñón para zinc, hierro y también plomo. Por otro lado las ballenas grises tienden a acumular metales esenciales en edades tempranas, a medida que el animal crece las concentraciones de estos elementos disminuyen notablemente. Las concentraciones de plomo en todas las muestras de tejidos se encontraron significativamente aumentadas en comparación con estudios previos y se presume que pudieran provocar problemas toxicológicos a las ballenas grises. Sin embargo no se demostró una relación existente entre las concentraciones de plomo en tejidos y las provenientes del medio que haga pensar que las ballenas grises acumulen este metal directo de la laguna. Por otro lado las concentraciones de cobre de los sedimentos y el agua de la laguna se encuentran por arriba del promedio mundial, aunque se demostró que las altas cantidades de cobre de la laguna no tienen alguna influencia tóxica en las ballenas.



*“Ha existido durante mucho tiempo la creencia de que el océano era imposible de alterar, al menos, más allá de la habilidad del hombre de cambiarlo y destruirlo. Pero esta creencia, desgraciadamente, ha probado ser lo suficientemente inocente”.*

Rachel Carson, en “Silent Spring”.

## **2) INTRODUCCIÓN.-**



El aprovechamiento de la fauna silvestre acuática debe darse en función de su distribución, abundancia y ciclos biológicos, por lo que es necesario conservarla e investigarla para la mejor utilización de los recursos naturales de la Tierra.

Desde hace bastante tiempo los seres humanos hemos depositado nuestros desechos en el océano, no obstante, que también lo utilizamos y lo seguiremos utilizando como una fuente de alimento, para transportación y entretenimiento. Debido a que el océano es inmenso los efectos de estos desechos se han registrado hasta hace relativamente poco tiempo (Libes, 1992). Las huellas se encuentran desde los polos hasta el ecuador, desde las costas hasta las trincheras oceánicas (GESAMP, 1990). Pero estas son mayores y más obvias en las aguas costeras. La contaminación es actualmente un problema global que afecta a la mayoría de los ecosistemas marinos (Marcovecchio *et al.*, 1994)

Se ha pensado que la inmensidad del océano puede alojar los desperdicios sin provocar cambio alguno y de esta manera se han tirado residuos tóxicos al mar basándose en el dudoso hecho de que cualquier desecho tóxico será diluido a niveles inocuos y que será acarreado por las corrientes desde las costas hacia el mar abierto. Aunque esto pudo haber sido cierto en el pasado, es evidente que la capacidad de asimilación del océano se ha excedido. La extracción minera y la utilización de combustibles fósiles han incrementado grandemente la tasa a la cual algunos elementos y compuestos químicos son introducidos al océano. Estos son acarreados al océano por transporte atmosférico, desechos de cañerías y por erosión de los continentes producido por las aguas continentales (Libes, 1992).

Cada vez existe mayor evidencia de que la contaminación de tipo químico en áreas costeras puede ser responsable de una variedad de efectos biológicos adversos en especies acuáticas (Varanasi *et al.*, 1994). Los varamientos masivos y la disminución de la población de algunas especies de cetáceos han llamado la atención de los científicos, quienes han sugerido que la contaminación puede tener un papel preponderante en algunos de estos eventos (Tiibury *et al.*, 1997).

Los organismos marinos tienden a concentrar los contaminantes en sus tejidos por un proceso denominado bioacumulación y puede ocurrir en la forma de adsorción pasiva de los contaminantes tomados del agua de mar o de manera activa por retención en los tejidos como resultado de no eliminarse durante un tiempo largo mediante excreción (Libes, 1992).

A los organismos o comunidades que reaccionan a la contaminación por cambios en sus funciones vitales y que por otro lado tienden a acumular contaminantes en sus órganos y tejidos se les denomina bioindicadores (Vetter *et al.*, 1996). Se ha considerado a los cetáceos como buenos bioindicadores para evaluar los efectos de la contaminación ambiental (Marcovecchio *et al.*, 1994), debido a que reflejan variaciones espaciales o temporales en la concentración de contaminantes (Hoisbeek *et al.*, 1998). Además existe una relación entre los niveles de contaminantes en los tejidos de cetáceos y sus condiciones biológicas (edad, sexo, tamaño) y ecológicas (hábitos alimenticios y migratorios, distribución; Marcovecchio, *et al.*, 1994).



También ocurre otro proceso llamado biomagnificación, debido a que la bioacumulación que ocurre en cada eslabón de la trama alimenticia, por lo que la transferencia de contaminantes a niveles altos de la cadena alimenticia resulta en una mayor concentración de contaminantes en los tejidos de los organismos de los últimos eslabones (Libes, 1992).

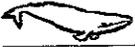
Ya que la biomagnificación y otros procesos de transporte de contaminantes toman tiempo, el efecto perjudicial de los contaminantes puede no ser evidente por décadas. Debido a que los mamíferos marinos forman parte de los últimos eslabones de la cadena alimenticia, aunado a su larga esperanza de vida y al largo tiempo de permanencia de los contaminantes en sus órganos y tejidos, ellos acumulan altas concentraciones de contaminantes químicos, que se han relacionado a diversos efectos perjudiciales: debilitación, inmuno supresión, enfermedades infecciosas y trastornos reproductivos. A largo plazo, esto puede resultar en la disminución de las poblaciones de algunas especies (Bouquegneau *et al.*, 1997).

Uno de los grupos de contaminantes conocidos dentro del océano son los metales pesados, que se denominan así porque sus pesos atómicos exceden las 20 uma. Estos son de particular interés porque muchos de ellos son tóxicos a concentraciones relativamente bajas. Los metales pesados entran al medio marino de dos formas: 1) Naturalmente: por intemperismo provocado por ríos, por transporte atmosférico, por difusión de los sedimentos hacia el medio marino y por actividad hidrotermal. 2) Por actividades humanas: la mayoría entra por los ríos y por el transporte atmosférico (Libes, 1992)

A pesar de que la contaminación marina se considera un hecho relativamente reciente y a diferencia de los contaminantes sintéticos como los compuestos organoclorados, los metales pesados han tenido un transporte natural hacia el océano, por lo que aún antes de que la contaminación del océano se comenzara a producir como resultado de las actividades industriales, estos elementos ya estaban presente en el medio marino, por lo tanto la exposición de metales hacia los mamíferos marinos ha ocurrido durante mucho tiempo, tanto así que estos organismos pueden haber desarrollado mecanismos de control para regular las concentraciones internas de ciertos elementos y para mitigar sus posibles efectos tóxicos (Law, 1996).

Se considera un hecho que los organismos acuáticos pueden almacenar metales pesados mediante diferentes procesos: a) por unión a proteínas específicas denominadas metalotioneínas que son proteínas citoplasmáticas de bajo peso molecular (los mamíferos marinos son capaces de unir metales como el zinc, cadmio, cobre y mercurio inorgánico a metalotioneínas), b) por almacenamiento en vesículas intracelulares con membranas limitadas (p. ej. lisosomas); o c) por precipitación en gránulos intracelulares (generalmente unidos al selenio). Los cetáceos al ser hemeotermos tienen que consumir una gran cantidad de alimento, de esta forma bioacumulan los contaminantes que su dieta presenta, debido a esto se han desarrollado los procesos de desintoxicación mencionados lo que lleva a altas, pero no tóxicas concentraciones de contaminantes en los tejidos (Bouquegneau *et al.*, 1997).

Debido a que los cetáceos no respiran mediante agallas, la absorción de metales hacia sus organismos por medio del agua de mar es despreciable, aunque siempre existe la posibilidad de un ligero aporte por agua de mar ingerida ó por absorción a



través de la piel o respirado de la atmósfera por los pulmones (Augier *et al.*, 1993). Por lo tanto las tres mayores rutas de entrada son: 1) a través de la placenta antes del nacimiento, 2) en la leche durante la lactancia y 3) directamente del alimento (Law, 1996). Una vez que los cetáceos son destetados, la entrada de metales pesados hacia sus organismos ocurre predominantemente por el alimento y la concentración en sus tejidos reflejará el balance existente entre ingestión y eliminación. Por lo tanto, en aquellas áreas del mundo en las que exista un aporte de metales hacia el ambiente, ya sea de forma natural o antropogénica, puede reflejar concentraciones elevadas en los tejidos de los mamíferos marinos (Law, 1996).

Algunos minerales tóxicos cuyos ciclos biogeoquímicos han sido grandemente afectados por las actividades humanas son: el plomo, el vanadio, el níquel, el cromo, el cadmio y el mercurio (Libes, 1992). Otro elemento químico de interés por ser también tóxico a pequeñas concentraciones y que no es considerado un metal pesado es el arsénico. Los elementos que tienen un efecto estimulante en las actividades biológicas cuando están presentes en bajos niveles son denominados elementos esenciales, como pueden ser el cobre, el zinc, el hierro y el manganeso (Libes, 1992).

El cobre es un mineral esencial para los animales incluyendo a los cetáceos (Law, 1996), este elemento está involucrado en muchos procesos metabólicos, como lo son la síntesis de enzimas y de proteínas esenciales que contienen al cobre (Scheinberg, 1991). Los animales jóvenes y los neonatos contienen una mayor cantidad de cobre en sus tejidos que los adultos. La deficiencia de cobre puede producir anemia (Law, 1996).

El zinc tiene un papel importante como elemento esencial en los organismos, la toxicidad al zinc generalmente es baja (Ohnesorge y Wilhelm, 1991), más de 200 enzimas y proteínas esenciales contienen zinc en sus moléculas. La deficiencia de este metal reduce la actividad de ciertas enzimas (Law, 1996). El zinc está ligado al cobre ya que un exceso de cobre puede provocar deficiencia de zinc y exceso de zinc puede provocar deficiencia de cobre (Scheinberg, 1991). Meador *et al.* (1999) afirmaron que las concentraciones de cobre y zinc también pueden reflejar trastornos de la salud, varias enfermedades hepáticas que se han reportado en humanos, se sabe fueron provocadas por la elevación de la concentración de cobre en el hígado.

El hierro es de los elementos más abundantes en la corteza terrestre además del aluminio. Es esencial para los procesos fisiológicos de todos los organismos. Su deficiencia produce anemia sobre todo en animales jóvenes, por lo que estos requieren de mayores cantidades de hierro que los adultos. El hierro es utilizado principalmente durante el catabolismo, sin embargo puede ser tóxico a los componentes celulares cuando se presenta en exceso (Huebers, 1991).

El manganeso en sus especies inorgánicas es un elemento ubicuo en la naturaleza que difícilmente es tóxico, concentraciones relativamente altas pueden tolerarse sin provocar daño alguno. Hasta el momento no se conocen daños ambientales provocados por este metal. Es utilizado en las células por la mitocondria donde desempeña una función como cofactor para la activación de algunas enzimas. Su deficiencia provoca una serie de trastornos en neonatos: bajo peso, alta mortalidad, disminución en el crecimiento y anomalías esqueléticas (Schiele, 1991).



La contaminación por plomo en el ambiente marino se ha incrementado debido principalmente a las constantes emisiones por la utilización de combustibles fósiles y las descargas de las industrias (Sadiq, 1992). Algunos científicos basados en experimentos de laboratorio, han sugerido que el plomo es esencial en el metabolismo de las ratas (Law, 1996). Sin embargo muchas enzimas, membranas y procesos bioquímicos en general se ven afectados por el plomo; la consecuencia más evidente del envenenamiento por plomo es la anemia. Otros efectos producidos son: daño renal, daño hepático, hipertensión, enfermedad cardíaca, reducción de la inmunidad y efectos neurológicos (Quarterman, 1986).

El vanadio es un metal pesado que se asocia con la utilización de combustibles fósiles y en los procesos industriales como en la fabricación de acero. Principalmente el efecto tóxico que produce en los organismos es el de disminuir la síntesis de cistina y de su producto de reducción: la cisteína. Un derivado de la cisteína, la tioetanolamina, es un compuesto involucrado en la síntesis de coenzima A, la cual a su vez, está relacionada en una variedad de reacciones metabólicas, como la síntesis de colesterol, de ácidos grasos, de fosfolípidos y de triglicéridos (Byerrum, 1991). Los estudios hechos en mamíferos marinos con relación al vanadio son casi nulos.

El níquel entra al ambiente por disolución de suelos y rocas y por precipitación, el aporte antropogénico se da por procesos industriales y por la deposición de desechos hacia el medio marino (Sunderman y Oskarsson, 1991). En general, los mamíferos absorben pobremente el níquel, además de que es relativamente no tóxico y muy pocos estudios en mamíferos marinos han investigado la concentración de níquel en sus tejidos (Law, 1996).

Algunos compuestos de cromo son carcinogénicos para los humanos (Gaugloher y Bianchi, 1991), aunque también se ha reconocido que el cromo es un mineral esencial para los humanos. El significado de la toxicidad al cromo hacia los cetáceos necesita de un estudio de la especiación de este metal, ya que el cromo hexavalente es mejor absorbido y más tóxico que el cromo trivalente. No obstante que los compuestos inorgánicos de cromo son pobremente absorbidos en los animales (Law, 1996).

El cadmio es usado principalmente para la fabricación de baterías de níquel-cadmio, pinturas anticorrosivas, pigmentos, etc. La entrada del cadmio a los organismos acuáticos es por ingestión e inhalación. El cadmio es un elemento que no es esencial para las plantas ni los animales, altas dosis de cadmio pueden reflejar efectos toxicológicos. Este metal se bioacumula predominantemente en los riñones, a largo plazo una alta concentración de cadmio en los riñones puede provocar efectos adversos irreversibles (Stoepler, 1991). Sin embargo el cadmio es pobremente absorbido en el tracto digestivo, aunque concentraciones altas en la dieta puede provocar baja en el crecimiento, enteropatía, anemia, pobre mineralización ósea, daño renal severo, hipertrofia cardíaca, hipertensión, malformación fetal y cáncer (Law, 1992). Bustamante *et al.* (1998), revelaron que la concentración de cadmio en muchos mamíferos marinos provocan efectos tóxicos severos, también resaltaron la importancia de los cefalópodos en aquellos cetáceos que el principal componente de su dieta depende de estos moluscos, ya que se consideran como la fuente principal para la bioacumulación del cadmio en los tejidos de cetáceos. Bouquegnau *et al.* (1997) agregan como conclusión de un estudio comparativo entre cuatro cachalotes y otros cetáceos en Bélgica, que el cadmio es relativamente tóxico y se considera como responsable de la debilitación de los



animales como condición favorable para su varamiento. Los autores concluyeron también, que los metales almacenados en el hígado y el riñón se encontraban principalmente en forma inorgánica, menos del 10% fue encontrado en forma metilada (orgánica) en el hígado y 20% en riñones, no detectaron mercurio inorgánico unido a proteínas (metalotioneinas); Joiris *et al.* (1997), también sobre el mismo caso, expusieron que no obstante estas altas concentraciones, no son tomadas en consideración como causantes de la muerte de los cachalotes, sin embargo, se debe tomar en cuenta el hecho de que los cuatro animales se encontraron en malas condiciones de salud, con lesiones ulcerativas y un bajo peso corporal aunado a las altas concentraciones de contaminantes estables.

Las actividades humanas han resultado en la deposición de una amplia variedad de formas orgánicas e inorgánicas de mercurio. La industria eléctrica y la combustión de energéticos fósiles liberan mercurio a la atmósfera y han aumentado la tasa en la cuál el mercurio es arrojado al océano proveniente de los ríos (Von Burg y Greenwood, 1991). El mercurio se considera potencialmente dañino a la salud de los cetáceos (Parson, 1998). Hasta ahora no se ha descubierto ninguna función vital que dependa del mercurio (Law, 1996). El envenenamiento con mercurio resulta en daño neurológico, inmuno supresión y puede causar anomalías fetales en mamíferos. Este metal en particular se almacena en los tejidos mediante dos formas diferentes: a) inorgánica y b) orgánica o metil mercurio (meHg). La forma orgánica se considera más tóxica que la inorgánica (Wagemann *et al.*, 1998).

La demetilación es un proceso de desintoxicación que realiza el organismo en el que el mercurio es procesado de la forma orgánica a la inorgánica. Se sabe que los cetáceos se desintoxican levemente del meHg y almacenan residuos de este proceso de desintoxicación en el hígado en una especie combinada con selenio (Holsbeek *et al.* 1998; Wagemann *et al.* 1998). El mercurio total y el selenio total se encontraron correlacionados significativamente en el hígado de delfines a una relación de 1:1 (Law *et al.* 1997; Meador *et al.* 1999). También Bouquegnau *et al.* (1997) reportaron una relación estrecha entre selenio y mercurio presente en el hígado de los cachalotes que sugiere la desintoxicación del meHg en forma de selenuro de mercurio (HgSe).

Holsbeek *et al.* (1998), llevaron a cabo un estudio en delfines comunes, *Delphinus delphis*; delfines nariz de botella, *Tursiops truncatus* y delfines listados *Stenella coeruleoalba*; en este estudio se encontró que la concentración total de mercurio en el hígado incrementó con la edad, inversamente, la concentración de metil mercurio en este mismo órgano disminuyó comparada también con la edad; esto refleja la existencia de la demetilación. Patrones similares se encontraron en otros órganos principalmente en el riñón y el músculo. Por otra parte, Meador *et al.* (1999) afirmaron que en el cerebro ocurre un proceso parecido, estos autores indicaron que la mayor parte del mercurio se encontró como meHg hasta alrededor de los ocho años de edad, después de esta edad el mercurio inorgánico se incrementó debido a la demetilación. Resultados similares fueron reportados por Wagemann *et al.* (1998), observando que el hígado no refleja las tendencias espaciales y temporales del meHg debido a la constante demetilación de este componente en el hígado. Por lo tanto se afirma que el meHg es un compuesto altamente tóxico para los mamíferos, concentraciones de 12-30  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso húmedo ( $\approx 60-150 \mu\text{g g}^{-1}$  peso seco) en el cerebro de pequeños mamíferos es letal. Disfunciones neurológicas se han presentado en concentraciones de 2-10  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. La



mayoría de estos pequeños mamíferos presentaron enfermedades hepáticas activas (Meador *et al.* 1999).

El arsénico es uno de los venenos más antiguos conocidos por los humanos, los compuestos arsenicales han sido utilizados como biocidas por lo que es un contaminante importante relacionado con actividades antropogénicas (Sadiq, 1992). El arsénico se ha determinado en pocos estudios de mamíferos marinos (Law, 1996). Los invertebrados marinos (sobre todo los crustáceos) y los peces, contienen grandes cantidades de arsénico (hasta  $100 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Sin embargo, este elemento se considera como un mineral esencial (Law, 1996).

Otros estudios en donde se determina la concentración de metales en los tejidos de los cetáceos son: Falconer *et al.* (1983) midieron algunos metales traza en los tejidos de la marsopa común *Phocena phocena*, encontrando que a mayor talla del animal mayor concentración de mercurio y cadmio tanto en el hígado como en el riñón. Muir *et al.* (1988) llevaron a cabo un estudio en ballenas piloto *Globicephala melaena*, ellos encontraron que las concentraciones de cadmio, mercurio, arsénico y selenio en el hígado y el riñón fueron altas comparadas con la literatura. Fujise *et al.* (1988) determinaron la concentración de metales pesados en algunos tejidos de la marsopa de Dall *Phocoides dalli*, en este estudio se detallan las diferentes distribuciones de metales tanto en tejidos, como en los diferentes grupos de edades. Morris *et al.* (1989) analizaron los metales pesados en las especies de delfines *Tursiops truncatus* y *Stenella coeruleoalba*, así como en la marsopa común y foca gris *Halichoerus grypus* encontrados muertos en las playas de la Bahía de Cardigan en Gales sin encontrar niveles altos de metales. Tilbury *et al.* (1997) reportaron que la concentración de mercurio y selenio en el hígado de marsopas comunes de las Islas Británicas fue cinco veces mayor comparada con la concentración de los mismos elementos en el hígado de marsopas comunes de la costa este de los Estados Unidos. Law *et al.* (1997) estudiaron la relación entre cuatro cachalotes y otros cetáceos encontrados muertos en las costas de Bélgica, encontrando elevada la concentración de cadmio y mercurio en relación a los otros cetáceos.

En este trabajo se determinaron las concentraciones de cobre, zinc, hierro, manganeso, plomo, vanadio, níquel, cromo, cadmio, mercurio, arsénico y selenio en piel, hueso, músculo y riñón de ocho ballenas gnases *Eschrichtius robustus* encontradas muertas en las playas de la Laguna Ojo de Liebre en Baja California Sur, estas concentraciones se correlacionaron con las de algunos de estos metales en sedimentos y agua de la laguna, para determinar si a partir de este lugar las ballenas obtienen tales cantidades de dichos metales.



*“Parece ser que muchas personas piensan que la conservación de la naturaleza es simplemente ser amable con los animales y disfrutar de paseos por el campo. Tristemente esto no es así, quizá es mucho más complicado que esto. Parte de la solución radica en el diseño de proyectos específicos que directamente protejan a las especies más amenazadas y a sus hábitats, aunque esto solo pueda ser el último intento para salvar especies de la extinción, por lo que es necesario la aceptación y aplicación consciente de obligaciones específicas, bajo leyes nacionales e internacionales...”*

Su Majestad Príncipe Felipe Duque de Edimburgo, Palacio de Buckingham, Inglaterra, 1984.

### **3) ANTECEDENTES.-**



La ballena gris *Eschrichtius robustus* (Lilljeborg, 1861) es un mamífero marino perteneciente al orden *Cetacea*, suborden *Mistyceti* y es la única especie representante de la familia *Eschrichtiidae*. Los mysticetos en lugar de dientes, cuentan con láminas córneas filamentosas de queratina llamadas "ballenas", que se utilizan a manera de filtro para capturar grandes cantidades de organismos pequeños, principalmente ciertas especies de crustáceos, que quedan atrapados en dichas placas (Sánchez, 1996).

Antes de la cacería de las ballenas grises a gran escala, la población se estimaba entre 15,000 y 25,000 animales (Gilmore, 1960; Reilly, 1992). Hoy en día se calcula que la población es de 21,000 individuos (Reilly, 1992). Por lo tanto el gobierno norteamericano sacó a esta especie en 1993 de la Lista de Especies en Peligro y Amenazadas del Acta de Especies en Peligro (Endangered Species Act), argumentando que la población se ha recuperado de los efectos de la cacería, no obstante que esta acción sólo fue realizada mediante la realización de censos de ballenas y no se tomaron en cuenta otros factores como la actividad industrial, contaminación, la pérdida del hábitat, la actividad turística, el ruido, etc. Sobre todo si se considera que a lo largo del corredor migratorio sobre todo en las áreas de alimentación existe un crecimiento de la actividad industrial, pesca excesiva, exploración de yacimientos petroleros y de gas, así como contaminación de tipo industrial y nuclear (Hanly, 1998).

Las ballenas grises son únicas entre todos los mysticetos ya que tienen una estrategia de alimentación diferente, que se basa en la filtración de los sedimentos para alimentarse de organismos bentónicos (Varanasi *et al.* 1994), aparentemente ingieren su alimento por succión y rara vez se alimentan en la superficie o en la columna de agua. Principalmente se alimentan de un grupo de crustáceos denominado anfípodos bentónicos gammarideanos. Siete especies predominan entre estos: *Pontoporeia femorata*, *P. affinis*, *Anonyx nugax*, *Ampelisca macrocephala*, *A. eschrichti*, *Nototropis brueggeri* y *N. ekmani*. En algunas áreas los gusanos poliquetos constituyen la principal fuente de alimento. Las ballenas grises pueden consumir de manera incidental gasterópodos, ascidianos, bivalvos, priapulidos, decápodos, isópodos, sipuncúlidos, hidrozooanos, antozoarios, cumaceanos, holoturios, esponjas y peces (Rice *et al.*, 1984).

Las ballenas grises no tiene que recurrir a grandes profundidades para obtener su alimento, ya que generalmente bucean a menos de 70 m. Cuando se alimentan, estos cetáceos bucean paralelos al fondo del mar, girando el cuerpo lentamente, abren la boca la cual llega unos centímetros arriba del fondo y retractan la lengua para succionar del fondo los organismos y sedimentos que los acompañan; estos últimos se expelen con la ayuda de la lengua. Los anfípodos y los sedimentos gruesos se atrapan en las láminas córneas o ballenas, para que después se traguen con la ayuda de la lengua (Sánchez, 1996).

Una ballena gris puede consumir por cada temporada de alimentación alrededor de 67 toneladas de alimento, esto significa que una ballena puede llegar a filtrar el equivalente a 50 hectáreas de sedimentos marinos. Las ballenas grises desempeñan un importante papel en la renovación y recuperación del epibentos, propiciado en parte por las larvas de los organismos consumidos los cuales escapan a la filtración por su tamaño, ya que posteriormente se implantan en el fondo marino creando nuevas colonias (Rice *et al.*, 1984; Sanchez, 1996)



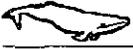
A principios del verano, las ballenas grises permanecen en sus áreas de alimentación ubicadas en el Ártico, principalmente en el Mar de Bering, Mar de Chukchi y Mar de Beaufort. Aquí se alimentan durante tres a cinco meses y aumentan de 16 a 30% de su peso total. Después de pasar el verano alimentándose, las ballenas migran a principios del otoño hasta unas lagunas costeras ubicadas en Baja California Sur, México, a donde las ballenas grises llegan todos los años a completar su ciclo biológico, permaneciendo aquí desde finales del otoño hasta principios de la primavera cuando emprenden el viaje de regreso a sus campos de alimentación en el Ártico

Tres son las lagunas principales que estos cetáceos ocupan para su reproducción y para dar a luz a sus crías. Estas son, de norte a sur y en importancia reproductiva: El Complejo Lagunar Ojo de Liebre (que incluye a las lagunas Manueta, Guerrero Negro y Ojo de Liebre); la Laguna San Ignacio y Bahía Magdalena. Más del 75 % de los partos de esta especie ocurren dentro de estas lagunas las cuales tienen en común la característica de encontrarse en una zona desértica, por lo que la evaporación del agua de las propias lagunas excede a la precipitación, confiriéndoles una salinidad más alta que la del promedio del océano mundial (Rice *et al.*, 1984).

A pesar de que algunos autores (Rice y Wolman, 1971; Rice *et al.* 1984) aseguran que las ballenas grises consumen poco o nada de alimento en las lagunas de reproducción, últimamente se ha observado el comportamiento de alimentación en las lagunas de Baja California Sur (Zaragoza y Esliman, *comunicación personal*), lo que ha llevado a la investigación de las posibles especies que las ballenas consumieran durante su estancia en las lagunas de reproducción.

No obstante que en términos generales Maravilla-Chávez (1991), considera a las ballenas grises las más estudiadas de los misticetos, los estudios sobre la determinación de la presencia de contaminantes en esta especie son casi nulos, a excepción hecha de la investigación realizada por Varanasi *et al.* (1994), quienes determinaron la presencia de contaminantes químicos: (PCBs, DDTs, DDEs, clordanos), elementos esenciales (zinc, selenio, cobre) y tóxicos (mercurio, plomo, arsénico), en ballenas grises que encontraron muertas en la costa de Oregon, sin encontrar niveles relativamente altos comparados con otros mamíferos marinos de eslabones más altos de la cadena alimenticia; sin embargo reconocen la ausencia de datos de ballenas grises sanas para determinar el efecto perjudicial de esos contaminantes de origen antropogénico en los tejidos de ballena gris. También midieron contaminantes químicos en sedimentos de los lugares adyacentes a donde se encontraron las ballenas muertas y concluyeron que la concentración de contaminantes en las ballenas mostró poca relación con la concentración de contaminantes de los sedimentos

Durante los últimos años se ha incrementado el número de estudios que tienen que ver con la presencia de contaminantes en mamíferos marinos, principalmente debido a que recientemente varias poblaciones de cetáceos han sufrido grandes mortalidades que aún no han sido explicadas (Marcovecchio *et al.* 1994). No obstante que todos estos estudios muestran una relación directa entre la concentración de metales y su toxicidad, existe una necesidad urgente de un acercamiento coordinado y un análisis profundo del estudio de la toxicología en cetáceos ligada a la contaminación ambiental. Aunque Meador *et al.* (1999) afirmaron que las causas de varamientos de cetáceos no están bien definidas ni serán resueltas analizando residuos en tejidos



Sin embargo, al ser la ballena gris un animal migratorio es oportuno investigar qué está ocurriendo en lugares en donde existe una alta densidad de población de estos animales como lo es la Laguna Ojo de Liebre. Si se toma en cuenta que la principal estrategia alimenticia de las ballenas grises consiste en la filtración de sedimentos, esto permite inferir que las concentraciones de contaminantes químicos puede tener diferencias específicas por región (Varanasi *et al*, 1994). Por lo tanto, analizar la concentración de metales pesados en tejidos de ballenas grises encontradas muertas en la Laguna Ojo de Liebre y correlacionarlos con la concentración de metales pesados tanto en el agua y los sedimentos de la misma laguna, ofrecerá una idea completa de la situación que aquí se presenta para delimitar si esta área contiene concentraciones de metales pesados que permitan que las ballenas grises se contaminen y que como consecuencia les acarreen problemas toxicológicos.



## 4) OBJETIVOS.-

El objetivo general de este estudio es determinar la concentración de metales pesados en tejidos de ballenas grises *Eschrichtius robustus* encontradas muertas en las playas de la Laguna Ojo de Liebre, en Baja California Sur y correlacionarla con la concentración de estos mismos elementos en agua y sedimentos de la laguna.

Los objetivos específicos son:

1. Determinar la distribución y concentración de los elementos cobre, zinc, hierro, manganeso, plomo, vanadio, níquel, cromo, cadmio, mercurio, arsénico y selenio en diferentes tejidos de ballenas grises muertas en la Laguna Ojo de Liebre durante la temporada de cría y reproducción en el ciclo 1998-1999.
2. Determinar la concentración de óxido de silicio, de titanio, de aluminio (III), de hierro (III), de manganeso (II), de magnesio, de calcio, de sodio, de potasio y pentóxido de fósforo y de los elementos cobre, zinc, plomo, vanadio, níquel, cromo, cobalto, torio, estroncio, bario, itrio, circonio y niobio en muestras de sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre.
3. Determinar la concentración de los metales pesados cobre, plomo y mercurio en muestras de agua de la Laguna Ojo de Liebre.
4. Examinar los elementos que su concentración se encuentre notablemente elevada en los tejidos de las ballenas grises y relacionarlos con los mismos elementos en el agua y los sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre.
5. Examinar los elementos que su concentración se encuentre notablemente elevada en el agua y los sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre y relacionarlos con los mismos elementos en los tejidos de las ballenas grises.



*“Sondeando cuidadosamente la profundidad, Charles Melville Scammon desde el puente del Boston atravesó los cauces someros y turbulentos de la bocana para encontrarse con un inmenso cuerpo de aguas tibias y tranquilas; apenas podía creer lo que veía: a distancia la laguna parecía hervir con la actividad y los resoplidos de los cientos, quizás miles de ballenas grises que nadaban en sus aguas. Algunas cuidaban a los ballenatos recién nacidos, otras emergían y volvían a sumergirse en pleno cortejo de apareamiento, otras más parecían sencillamente celebrar gozosamente su presencia en el maravilloso entorno del desierto dando colosales saltos fuera del agua para caer con estrépito en una explosión de espuma y aguas blancas. Al fondo de la laguna, inmensas planicies blancas de sal y el ocre de las montañas lejanas daban un marco majestuoso, casi místico, al inesperado espectáculo”.*

Exequiel y Ana Ezcurra, en “El pez diabólico”.

## **5) ÁREA DE ESTUDIO .-**

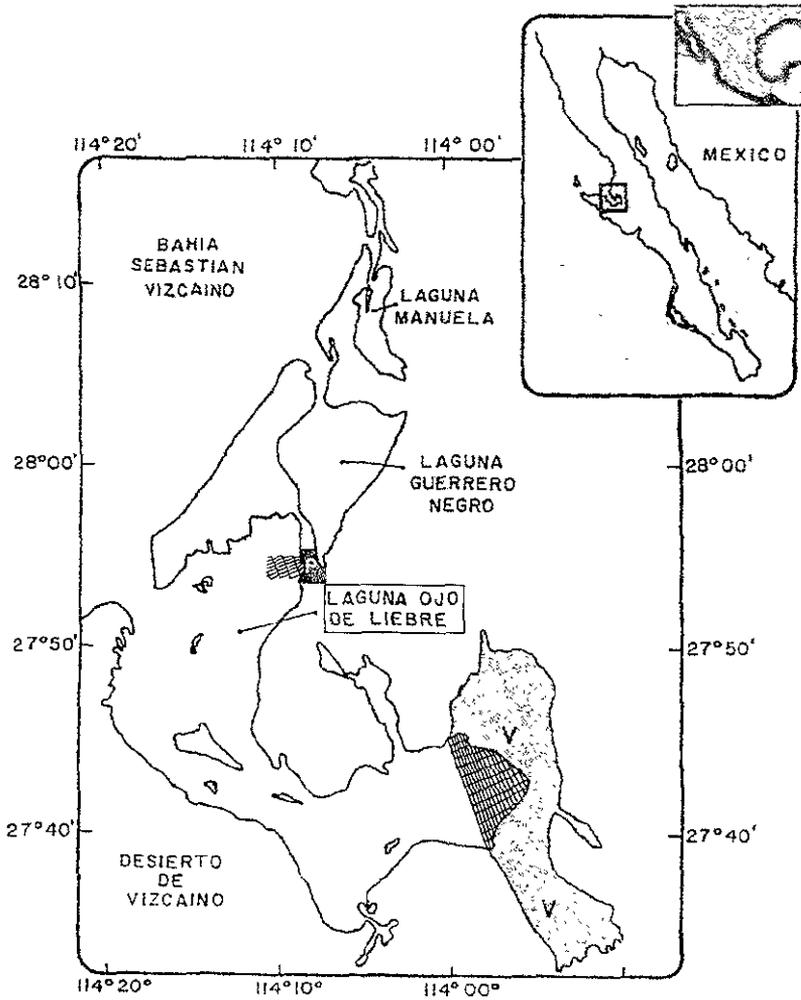


El presente estudio se desarrolló en la Laguna Ojo de Liebre, que forma parte de la Reserva de la Biosfera "El Vizcaíno", en el municipio de Mulegé en Baja California Sur, México; la reserva de la biosfera es un Área Natural Protegida dependiente del Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

En 1972 por decreto presidencial la Laguna Ojo de Liebre se declaró como Zona de Refugio para ballenas y ballenatos (Vargas, 1981). El 30 de noviembre de 1988 se decretó un área de 2'546,790 hectáreas como Reserva de la Biosfera (INE y CONABIO, 1995) que fue nombrada "El Vizcaíno" debido al desierto central de la Península de Baja California, que lleva el nombre de un explorador español que describió el área para la Corona Española: Sebastián Vizcaíno. A la Reserva se le incorporaron las lagunas de reproducción de la ballena gris: Ojo de Liebre y San Ignacio, en donde cerca del 70% de los nacimientos de esta especie ocurren (Sánchez, 1996). También la reserva se estableció para proteger la población del berrendo peninsular (*Antilocapra peninsularis peninsularis*) que habita en la parte central de la península. Alguna vez su población se estimó en cientos de miles y desafortunadamente se ha disminuido hasta pocos cientos. Otra especie protegida es el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) que habita la parte oriental de la península. También se protegieron diversas especies de flora, aves migratorias y las pinturas rupestres localizadas en la Sierra de San Francisco.

En 1993 la Reserva de la Biosfera "El Vizcaíno" ingresó a la red internacional de la UNESCO al declararse como "Patrimonio Mundial de la Humanidad" (INE y CONABIO, 1995). Esta Reserva es el Área Natural Protegida más grande de México, se sitúa entre los 28° 00' 00" y 26° 22' 20" N y los 112° 14' 33" y 115° 16' 32" W. Dentro de su territorio se encuentran diversos asentamientos humanos constituyendo una población de 35,000 habitantes aproximadamente. Las poblaciones más importantes son: Guerrero Negro, Santa Rosalía y San Ignacio (Eccardi y Carrillo, 1999).

La Laguna Ojo de Liebre se encuentra ubicada entre los 27° 55' y 27° 35' N y los 114° 20' y 113° 50' W (Figura no. 1). Esta laguna forma parte del Complejo Lagunar Ojo de Liebre que también incluye a las lagunas Manuela y Guerrero Negro, dentro de la Bahía Sebastián Vizcaíno en la costa occidental de la península de Baja California. Es Ojo de Liebre la más grande de estas lagunas; cuenta con las siguientes características: tiene una longitud de 48 km sobre su parte central, una superficie de 571 km<sup>2</sup>, una boca de 3.75 km que comunica a la laguna con la Bahía Sebastián Vizcaíno y una profundidad máxima de 24.5 m. En esta laguna se encuentra un sistema complejo de canales ramificados, de los que sólo 171 km<sup>2</sup> tiene una profundidad mayor a 3 m que comprende el 30% de la laguna, los canales se separan entre sí por grandes áreas de bajos (Sánchez, 1990) Estos canales presentan una pendiente que por lo general es muy pronunciada, sobre todo aquellos canales cercanos a la boca, estos mismos canales presentan corrientes de marea que alcanzan hasta 4.5 nudos, en contraste con los de la parte interna que alcanzan únicamente 0.3 y 1.5 nudos (Green, 1981).



 Posible área de Influencia de la Industria Exportadora de Sal S.A.

 P.- Ubicación de la planta de lavado de sal y muelle de embarque.

V.- Ubicación de los principales vasos concentradores y bombas de agua

Figura no 1 - Laguna Ojo de Liebre

Adaptada de Sánchez (1990).



A partir de cartas climáticas del INEGI (1984), Salinas-Zavala *et al.* (1991) clasificaron esta área en el subtipo BW(h')s(x')(i''), que corresponde a muy seco, cálido, con temperatura media anual superior a los 22°C, con régimen de lluvias intermedio, y porcentaje de lluvia invernal menor de 36 mm y poca oscilación térmica. Al tener esta laguna poco aporte de agua dulce, al no haber arroyos o ríos cercanos, presenta una circulación antiestuarina (Groen, 1969 en Sánchez, 1990). La dirección del viento es *generalmente noroeste a causa del calentamiento del desierto del Vizcaino durante el día* y el flujo de aire de reemplazo proveniente del Océano Pacífico. La velocidad anual promedio del viento oscila en los 20.5 Km/h. (Sánchez, 1990). La Laguna Ojo de Liebre es considerada hipersalina pues debido a que está enclavada en una zona desértica la evaporación excede la precipitación, aunado a que no existe aporte de agua dulce (INE y CONABIO 1995).

La actividad industrial se enfoca a la extracción de minerales, principalmente la producción de sal por evaporación solar del agua de mar por la empresa Exportadora de Sal S. A. Esta empresa de capital mexicano y japonés desde 1957 extrae sal del agua de mar de esta laguna debido a su alta salinidad. En un principio Exportadora de Sal comenzó sus operaciones en la Laguna Guerrero Negro; sin embargo en 1967 la abandona y se muda a la cercana Ojo de Liebre hasta donde hoy permanece, consolidándose como la más grande de su tipo. En 1998 la empresa produjo 7 millones de toneladas de sal, lo que ha permitido a nuestro país ocupar el segundo lugar mundial en producción de sal por evaporación solar sólo por debajo de Australia. Sin embargo el 99.5% de la producción de esta empresa se exporta principalmente a Japón para ser utilizada en procesos industriales (Hanly, 1998). La extracción de sal ocurre gracias a la evaporación solar del agua de mar de la Laguna Ojo de Liebre, millones de metros cúbicos de esta agua es bombeada hacia los vasos concentradores y cristalizadores en tierra, ubicados en la parte final de la laguna. Después esta sal es cosechada y transportada para que sea lavada en la planta procesadora en donde se embarca hacia la Isla de Cedros localizada 100 kilómetros al oeste; una vez ahí la sal es pasada a buques de mayor capacidad y comienza el largo viaje hacia el oriente (Hanly, 1998).

La actividad pesquera dentro de la laguna es considerada como de tipo ribereño (SEDUE, 1984), los principales productos extraídos de la laguna son: almeja chocolata, almeja mano de león y diversos peces. La mayoría de la pesca en el caso de las almejas es a base de recolección mediante buceo, aunque también se despliegan algunas redes agalleras y palangres para la captura de peces. Para el desarrollo de esta actividad se ocupan embarcaciones menores y aunque antes se prohibía la pesca dentro de la laguna en temporada de ballenas, desde 1999 se permite a los pescadores continuar con sus actividades durante dicha temporada.

Las actividades turísticas aumentan en la temporada invernal con la afluencia de gente que quiere ver las ballenas (INE, 1993), la actividad turística es cada vez más popular, las ganancias por este concepto son de varios millones de dólares al año. Actualmente existen reglamentos específicos como la norma NOM-131-ECOL-1998 publicada en el Diario Oficial de la Federación del lunes 10 de enero del 2000; aquí se establece que en la Laguna Ojo de Liebre existen dos sitios para la observación de la ballena, se especifica aquellas empresas o prestadores de servicio que ostentarán la licencia de operación dentro de la laguna, la capacidad de carga máxima de embarcaciones en un momento determinado y las fechas de inicio y término de la



temporada. Otras actividades como la pesca deportiva, la utilización de kayacs y el buceo con las ballenas están prohibidas por razones de seguridad (Sánchez, 1996).

### **GEOLOGÍA Y LITOLOGÍA.-**

La península de Baja California se ha dividido en cuatro provincias geológicas (Figura no. 2): 1) Batolito de Juárez-San Pedro Mártir, 2) Cuenca de Vizcaíno-Purísima, 3) Complejo Plutónico de La Paz y 4) Faja Volcánica de la Giganta. La Laguna Ojo de Liebre se sitúa en la provincia de la Cuenca de Vizcaíno-Purísima. La cuenca de Vizcaíno se ubica en la porción central de la península, mientras que la cuenca de Purísima abarca la mitad occidental de la mayor parte del estado de Baja California Sur. Estructuralmente esta zona constituye una gran depresión en forma sinclinal, de orientación noroeste-sudoeste conformada por rocas cretáceas y cenozoicas (Olivera, 1997).

La conformación litológica y el aporte de sedimentos hacia la Laguna Ojo de Liebre ocurre gracias a que las aguas del Océano Pacífico erosionan la parte occidental de la península de Baja California, debido a la acción de la Corriente de California que se mueve en dirección norte-sur, esta corriente es más fuerte de febrero a junio. Sin embargo este movimiento de la corriente sugiere dos componentes: a) uno que viaja en dirección sur y puede ser relacionado con transporte de sedimentos a largo plazo y b) otro que es superficial y se mueve fuera de la costa generando un transporte de agua profunda que acarrea sedimentos (Carranza *et al.*, 1998).

La precipitación anual de la zona como ya se mencionó es baja, por lo tanto el aporte de sedimentos hacia la laguna proveniente de la orografía de la península de origen litológico volcánico y metamórfico es prácticamente nulo, ya que como se mencionó anteriormente no existen aportes de agua dulce hacia el interior de la laguna. Por lo tanto esto sugiere que los sedimentos presentes en la Laguna Ojo de Liebre tienen un origen litológico de rocas sedimentarias de los períodos Cretáceo y Cuaternario (Figura no. 3) que se asocian en gran escala a dos procesos: a) al transporte de sedimentos por la acción de las masas de agua de la Corriente de California y b) al transporte eólico que predomina en el área (Sánchez, 1990; Carranza *et al.*, 1998).

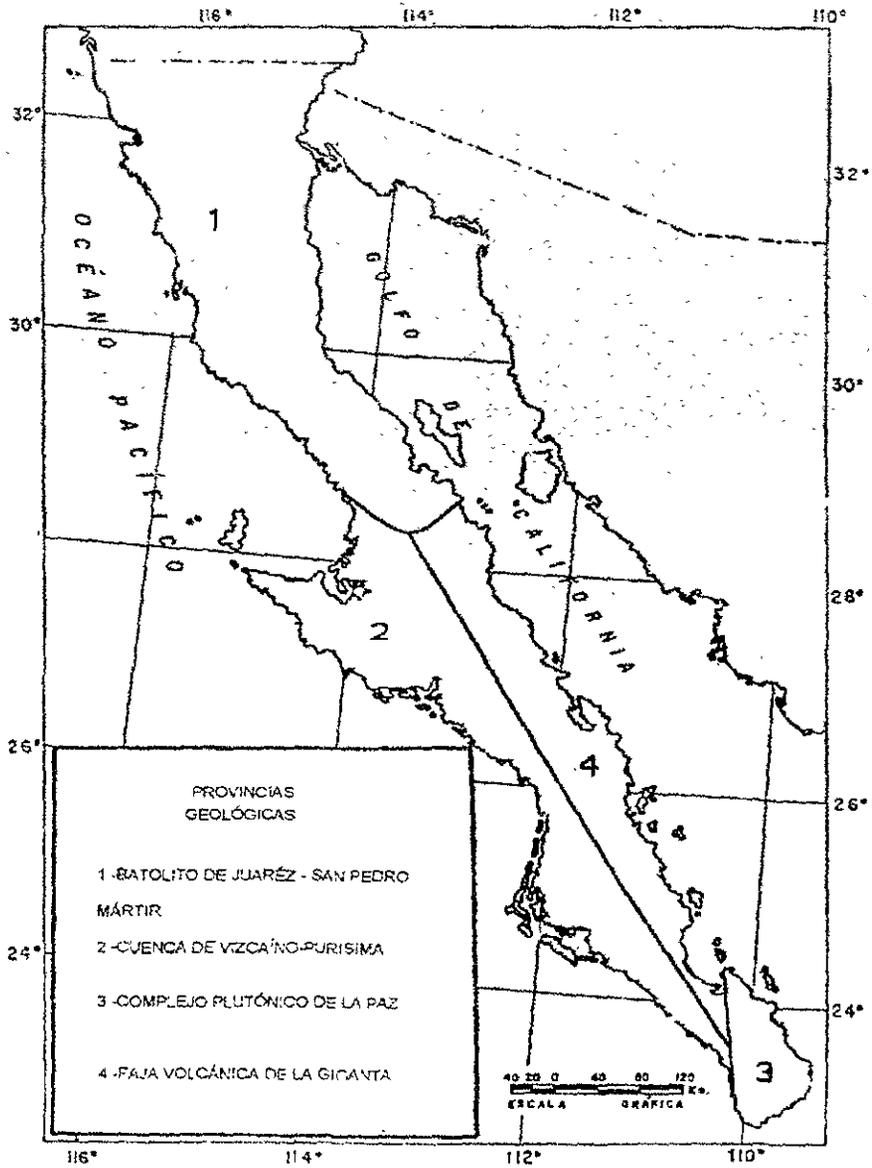


Figura no 2 - Provincias Geológicas en la Península de Baja California

Tomado de Olivera (1997)

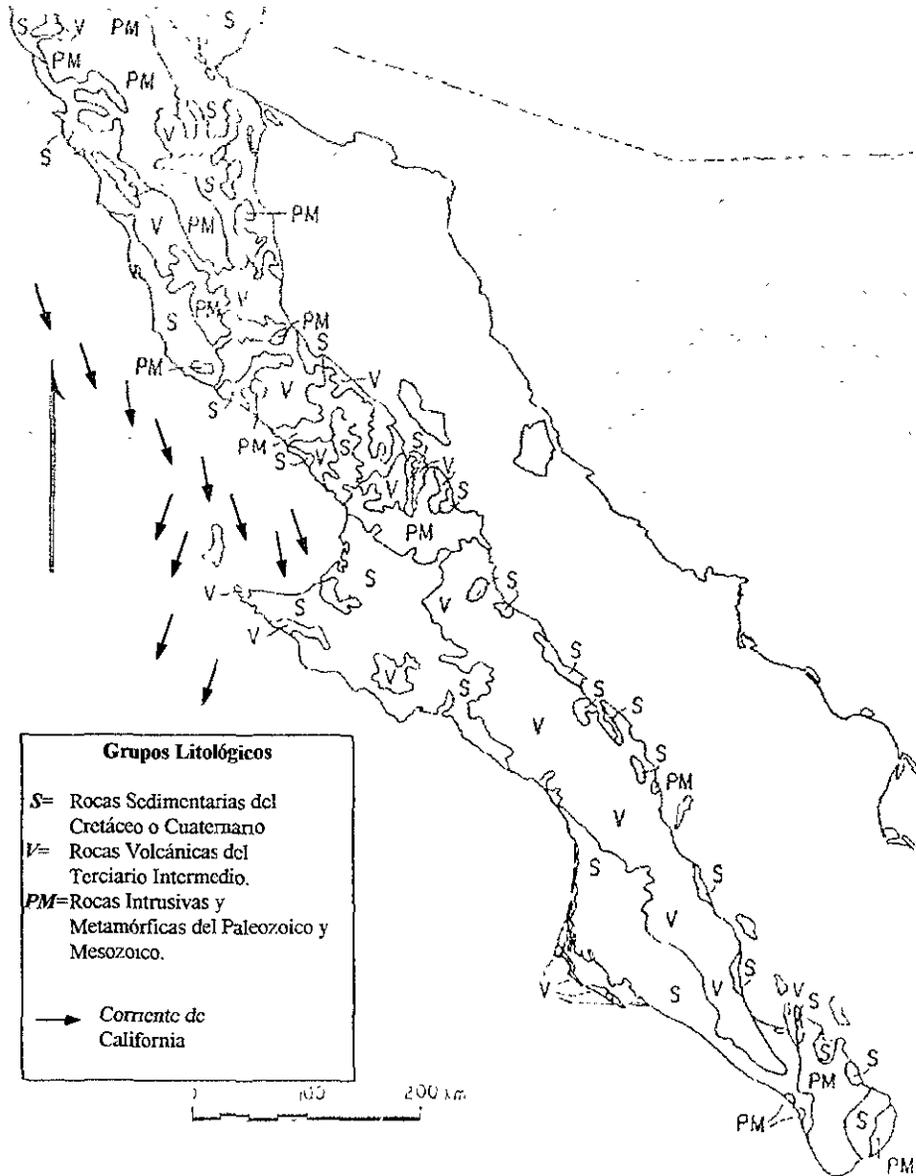


Figura no 3 - Provincias Litológicas en la Península de Baja California Tomada de Carranza-Edwards et al , (1998)



*“Aquí el pescado más grande que he visto fue el monstruo que salió en la playa del norte, allá por 1963, que fue el año en que vino el licenciado Díaz Ordaz en su campaña”. Según Javier, aquel monstruo era grande “como un tráiler, tenía unos cuernos salidos por la cabeza, la piel pellejuda y la carne como babosa”. Permaneció varado, muerto en la playa “y no fuimos a la escuela en dos días, haciendo pilladas con todos los anteojudos que vinieron a verlo de la capital, aquello fue horrible luego, con la peste que traía ese bicho. Le echaron petróleo y hojas de palmera; la humbre lo dejó en puros huesos renegridos...”*

David Martín del Campo, haciendo alusión al varamiento de un Rorcual Tropical en “El monstruo de Tecolutla, Mamíferos Marinos”, en “Los Mares de México, crónicas de la Tercera Frontera”

## **6) MÉTODOS, MATERIAL Y EQUIPO.-**



## **I) TRABAJO DE CAMPO.-**

El presente estudio se llevó al cabo en cooperación con el personal y equipo de la Reserva de la Biosfera "El Vizcaíno" asignado al Programa de Ballena Gris de la propia Reserva, con el apoyo del personal y equipo de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) asignado a la Reserva, con el apoyo del personal y equipo de la División de Ecología de la empresa Exportadora de Sal S.A., con la participación del personal y equipo de los prestadores del servicio turístico de avistamiento de ballenas del Ejido Benito Juárez y con el apoyo del equipo proporcionado por el Laboratorio de Química Marina y Contaminación del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. El estudio se llevó al cabo dentro de la Laguna Ojo de Liebre durante la temporada 1998-1999 y 1999-2000 de cría y reproducción de ballena gris que aproximadamente comprende los meses de diciembre a abril.

### **a) TEJIDOS.-**

El muestreo de tejidos se realizó durante la temporada 1998-1999. Los métodos de búsqueda de ballenas grises muertas se realizó por dos diferentes formas:

- 1) Por tierra.- Existe una camioneta asignada al Programa de Ballena Gris de la Reserva con la cuál se realizaban paseos alrededor de la laguna con una frecuencia de hasta tres por semana, durante estos paseos la camioneta se detenía en diferentes zonas de la laguna y con la ayuda de binoculares se buscaban cadáveres de ballenas en la costa.
- 2) Por mar.- A bordo de una embarcación menor asignada al Programa de la reserva o en lanchas de los prestadores de servicio turístico del Ejido Benito Juárez se realizaron paseos por la laguna con una frecuencia de hasta dos por semana, al igual que en el caso anterior la lancha se detenía con cierta frecuencia para buscar los cadáveres con la ayuda de binoculares, esto pudo realizarse también con la lancha en marcha. Ambas actividades se realizaron con la ayuda del personal de la reserva y el de la PROFEPA.

A las ballenas grises encontradas muertas tanto dentro de la laguna como en sus playas se les ubicó geográficamente para determinar el lugar donde ocurrió la localización del cadáver con la ayuda de un G.P.S. Posteriormente se procedió a realizar una serie de mediciones corporales para determinar el peso, con una cinta métrica de 20m Después se determinó el sexo y se realizó una inspección externa para evaluar la condición general. Asimismo se buscaron marcas y lesiones, se revisó el color y la textura de la piel y se buscaron hendas superficiales o traumatismo que se suponga haya causado la muerte del animal (Aluja, 1985).

En el presente estudio un total de 8 ballenas grises se encontraron muertas. Los tejidos analizados fueron. piel (en 7 de ellas), hueso (en 8), músculo (en 3) y riñón (en 1; cuadro no. 1 y figura no 4)



Cuadro no. 1 - Ballenas grises encontradas muertas en la Laguna Ojo de Liebre

| FECHA <sup>a</sup> | POSICIÓN GEOGRÁFICA |                  | LARGO<br>(cm) | PERÍMETRO<br>CORPORAL<br>(cm) | PESO<br>(kg) | SEXO <sup>b</sup> | CLASE<br>DE<br>EDAD | TEJIDOS <sup>c</sup><br>ANALIZADOS | CLAVE |
|--------------------|---------------------|------------------|---------------|-------------------------------|--------------|-------------------|---------------------|------------------------------------|-------|
| 18-Ene-99          | 27° 45' 18.7" N     | 113° 58' 21 3" W | 450           | 250                           | 1068         | M                 | CRÍA                | P, H, R                            | C1    |
| 16-Feb-99          | 27° 39' 37 0" N     | 113° 59' 53 5" W | 510           | 248                           | 1191         | H                 | CRÍA                | P, H, M                            | C2    |
| 1-Feb-99           | 27° 41' 40 9" N     | 113° 55' 53 3" W | 836           | 336                           | 3586         | M                 | JUVENIL             | P, H                               | J1    |
| 20-Ene-99          | 27° 40' 19.3" N     | 113° 58' 40.2" W | 880           | 340                           | 3865         | H                 | JUVENIL             | P, H                               | J2    |
| 17-Feb-99          | 27° 41' 28.0" N     | 113° 55' 58.9" W | 875           | 420                           | 5865         | H                 | JUVENIL             | H, M                               | J3    |
| 17-Feb-99          | 27° 41' 31.2" N     | 113° 56' 01.3" W | 1215          | 588                           | 15963        | H                 | ADULTO              | P, H, M                            | A1    |
| 3-Feb-99           | 27° 42' 23 7" N     | 114° 09' 33 2" W | 1376          | 720                           | 27106        | H                 | ADULTO              | P, H                               | A2    |
| 31-Ene-99          | 27° 43' 07 6" N     | 113° 59' 53.3" W | -             | -                             | -            | M                 | ADULTO              | P, H                               | A3    |

**a** Corresponde a la fecha en la que se encontraron los cadáveres.

**b** M.- Macho, H.- Hembra.

**c** P - Piel, H.- Hueso, M - Músculo, R - Riñón.

- El peso de las ballenas se calculó según la fórmula (Rice y Wolman, 1971).

$$W = aLG^2$$

en donde:

W = Peso en kg,

L = Longitud en m,

G = Perímetro corporal en m,

a = Constante (38).

- La clase de edad se catalogó de acuerdo a la longitud según Sánchez (1998).

Menores a 600 cm como crías,

mayores de 610 cm y menores de 900 cm como juveniles,

mayores de 910 cm como adultas.

Las muestras de tejidos se cortaron con un cuchillo de acero inoxidable procurando siempre mantener las manos enguantadas. El procedimiento seguido para cada caso fue

- a) Piel - Se incidió una porción de 10 cm<sup>2</sup> de piel de la región ventral del cadáver a la altura del cartílago xifoides, la disección se realizó con la ayuda de un bisturí con hoja de acero inoxidable, una vez quitada la sección de piel se



examinó el tejido adiposo subcutáneo diseccándolo hasta la inserción con el tejido muscular, el tejido adiposo se midió con una regla de plástico para determinar el estado nutricional.

- b) Músculo.- Posteriormente se diseccó el tejido muscular adyacente al tejido adiposo medido procurando obtener una muestra de 10 cm<sup>2</sup>.
- c) Hueso.- Se cortó con una sierra la porción anterior de una falange. En un caso fue posible coleccionar una porción de costilla, retirando los tejidos adyacentes con la ayuda de un bisturí.
- d) Riñón.- A una ballena se le incidió la cavidad abdominal realizando un corte con el cuchillo, siguiendo la línea media hasta el orificio anal, teniendo cuidado de no incidir ningún órgano abdominal (Aluja 1985, Dierauf y Gage 1990), dentro de la cavidad abdominal se localizó el riñón izquierdo de dónde se tomó la muestra utilizando el bisturí.

Después de realizar el muestreo para cada tejido, estos se colocaron en bolsas de plástico con cierre hermético y se mantuvieron en hieleras hasta su transporte a la población de Guerrero Negro en donde se mantuvieron en congelación a -20°C.

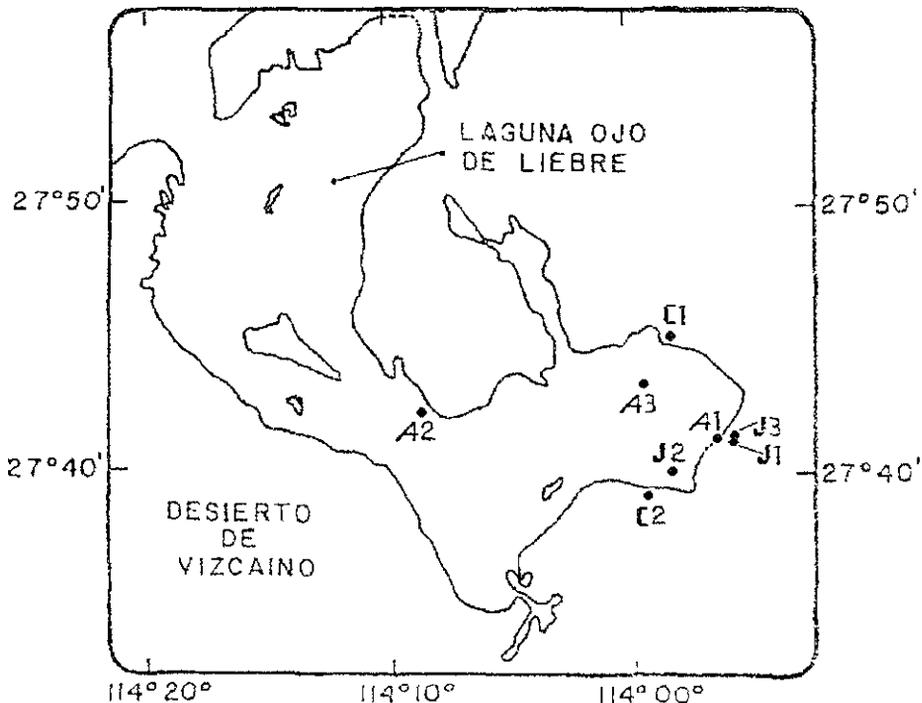


Figura no 4 - Localización de los cadáveres de ballenas grises en la Laguna Ojo de Liebre

Adaptada de Sanchez (1990)



Cuadro no. 2 - Localización geográfica de las estaciones de muestreo para agua y sedimentos en la Laguna Ojo de Liebre.

| ESTACIÓN | LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA |                |
|----------|-------------------------|----------------|
|          | Latitud Norte           | Longitud Oeste |
| 1        | 27° 52' 32"             | 114° 16' 11"   |
| 2        | 27° 49' 52"             | 114° 16' 22"   |
| 3        | 27° 46' 50"             | 114° 15' 54"   |
| 4        | 27° 43' 55"             | 114° 13' 51"   |
| 5        | 27° 42' 39"             | 114° 10' 59"   |
| 6        | 27° 41' 11"             | 114° 09' 36"   |
| 7        | 27° 40' 00"             | 114° 08' 09"   |
| 8        | 27° 42' 06"             | 114° 05' 19"   |
| 9        | 27° 44' 01"             | 114° 02' 02"   |
| 10       | 27° 44' 24"             | 114° 58' 16"   |
| 11       | 27° 42' 04"             | 114° 55' 51"   |
| 12       | 27° 39' 56"             | 114° 57' 38"   |

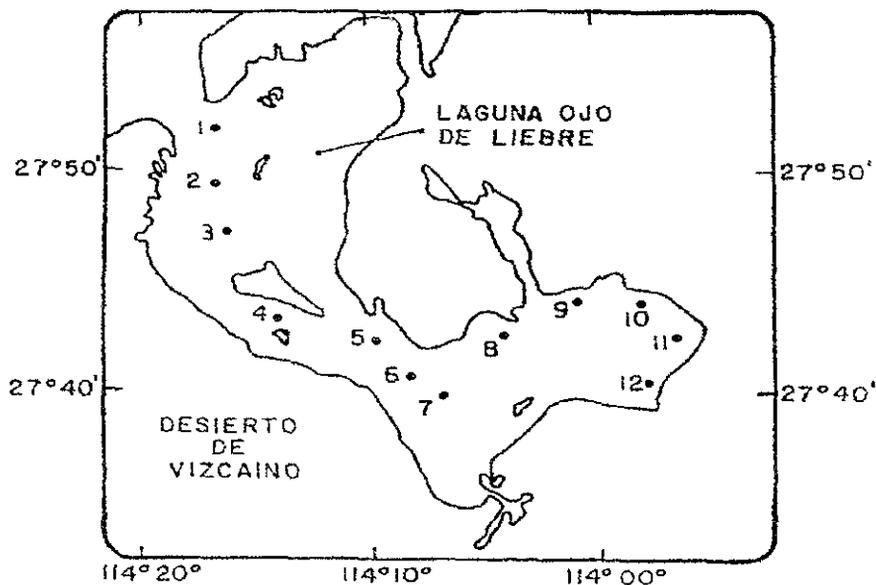


Figura no. 5.- Estaciones de muestreo para agua y sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre

Adaptada de Sánchez (1990)

### b) AGUA.

El muestreo de agua de mar de la laguna se realizó durante la temporada 1999-2000. Las muestras de agua se tomaron con la ayuda del personal asignado al Programa de Ballena Gris de la reserva y con el apoyo del personal de la División de



Ecología de la empresa Exportadora de Sal S.A. y con el equipo del laboratorio de Química Marina y Contaminación, a bordo de una embarcación menor de la División de Ecología de la empresa Exportadora de Sal S.A.

Las muestras se tomaron de la laguna en puntos (estaciones) previamente establecidos (Cuadro no. 2 y figura no. 5). Principalmente se tomaron muestras de agua superficial (2-3 m) y cuando la profundidad de la estación excedía esta profundidad se tomó en la misma estación otra muestra de agua profunda (7-15 m dependiendo de la profundidad de la estación). Se utilizó una botella Niskin horizontal de 2.2 L de capacidad fabricada en acrílico para el muestreo. Una vez subida la botella a la lancha se tomó una muestra para medir oxígeno disuelto mediante la técnica de Winkler. Después se tomó la muestra para medir metales. Para esto se filtraron 250 mL de agua de mar, utilizando filtros millipore de 50  $\mu\text{m}$ , hacia un recipiente de polietileno. Después las muestras se acidificaron con  $\text{HNO}_3$  suprapuro hasta un  $\text{pH} \leq 2.0$ . Por último se conservaron en hieleras. El agua restante se pasó a otro recipiente de polietileno en donde se midió la temperatura del agua muestreada con un termómetro de vidrio con precisión de  $1^\circ\text{C}$ . Ahí mismo se midió el pH de la misma agua con un potenciómetro y se tomó una muestra para determinación de salinidad mediante la técnica argentométrica de los cloruros. Se tomaron un total de 17 muestras en las 12 estaciones, es decir que un total de 5 estaciones tuvieron la profundidad suficiente para permitir un muestreo de agua profunda y superficial (Cuadro no. 3).

Cuadro no. 3 - Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de la Laguna Ojo de Liebre

| ESTACIÓN                   | Profundidad de la Estación (m) | Número de muestra | Profundidad a la que se tomó la muestra (m) | Oxígeno Disuelto $\text{mL L}^{-1}$ | Salinidad % | Temperatura $^\circ\text{C}$ | pH   |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------|---|-------------------------------------|-------------|------------------------------|------|
| 1                          | 15                             | 1-s               | 2   | 5.03                                | 35.09       | 22                           | 7.70 |
|                            |                                | 1-p               | 13  | 4.85                                | 34.87       | 21                           | 7.83 |
| 2                          | 10                             | 2-s               | 2   | 5.20                                | 35.19       | 21                           | 8.41 |
|                            |                                | 2-p               | 8   | 5.09                                | 35.09       | 21                           | 8.16 |
| 3                          | 2                              | 3                 | 1.5   | 5.21                                | 35.27       | 21                           | 8.12 |
| 4                          | 21                             | 4-s               | 2   | 4.86                                | 35.55       | 21                           | 7.65 |
|                            |                                | 4-p               | 17  | 4.69                                | 35.49       | 21                           | 7.85 |
| 5                          | 16                             | 5-s               | 2   | 4.86                                | 35.96       | 21                           | 7.78 |
|                            |                                | 5-p               | 12  | 4.80                                | 35.29       | 21                           | 7.80 |
| 6                          | 4.5                            | 6                 | 2   | 5.26                                | 36.71       | 22                           | 7.86 |
| 7                          | 5                              | 7                 | 2   | 4.73                                | 36.81       | 24                           | 7.78 |
| 8                          | 12                             | 8-s               | 2   | 5.37                                | 37.18       | 24                           | 7.68 |
|                            |                                | 8-p               | 10  | 4.63                                | 37.14       | 23                           | 7.70 |
| 9                          | 4                              | 9                 | 2   | 4.92                                | 37.87       | 23                           | 6.93 |
| 10                         | 4.5                            | 10                | 2   | 6.54                                | 39.17       | 22                           | 6.10 |
| 11                         | 1.5                            | 11                | 1.5   | 5.09                                | 38.67       | 23                           | 7.84 |
| 12                         | 1.5                            | 12                | 1.5   | 4.74                                | 38.78       | 24                           | 7.81 |
| <b>Media</b>               |                                |                   |   | 5.05                                | 36.47       | 22.05                        | 7.70 |
| <b>Desviación Estándar</b> |                                |                   |   | 0.42                                | 1.40        | 1.16                         | 0.49 |



Fisicoquímicamente a la Laguna Ojo de Liebre se le pueden describir tres regiones:

- a) Boca.- Es en donde recibe mayor influencia de las masas de agua de la Bahía Sebastián Vizcaíno, que corresponde a las estaciones 1-4 y que tienen un promedio de oxígeno disuelto de  $4.99 \text{ mL L}^{-1}$ , de salinidad de 35.22 ‰; el promedio de temperatura fue de  $21.14 \text{ }^\circ\text{C}$  y el de pH de 7.96.
- b) Parte Central.- La parte central de la laguna corresponde a las estaciones 5-8, en donde el promedio de la concentración de oxígeno disuelto fue de  $4.91 \text{ mL L}^{-1}$ , el promedio de la salinidad fue de 36.19 ‰, el de temperatura de  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  y el de pH de 7.80.
- c) Parte Interna.- Corresponde a las estaciones 9-12 en donde el promedio de la concentración de oxígeno disuelto fue de  $21.60 \text{ mL L}^{-1}$ , la salinidad fue de 38.62 ‰, la temperatura de  $23.16 \text{ }^\circ\text{C}$  y el pH de 7.34.

### c) SEDIMENTOS.-

Simultáneamente al muestreo de agua de mar, se tomaron las muestras de sedimentos en las mismas estaciones. Las muestras fueron tomadas del fondo mediante buceo con la ayuda de un nucleador de PVC. En cada estación se tomó una muestra de aproximadamente 200 g para el análisis de óxidos de elementos mayores y elementos traza. Las muestras se guardaron en bolsas con cierre hermético, se etiquetaron y se conservaron en hieleras.

## II) TRABAJO DE LABORATORIO.-

### a) Tratamiento de las muestras de tejidos.-

#### **1).- Digestión de las muestras de tejidos:**

Las muestras de tejidos para ser analizadas se trataron de la siguiente manera: Se descongelaron y se pusieron a secar en una estufa de desecación a  $60^\circ\text{C}$  por 48 horas. Una vez secas se molieron durante 10 minutos en un molino con vial de ágata para homogeneizar las muestras. Después se pesó 0.5 g en una báscula analítica y se les agregó 10 mL de  $\text{HNO}_3$  y se prepararon 10 blancos (no contiene muestra pero si la misma cantidad de ácido) que se utilizaron para la validación de las lecturas. Posteriormente se digirieron en un digestor de microondas. Por último se aforaron a 25 mL utilizando agua bidestilada y se colocaron en recipientes de polietileno

#### **2).- Determinación de metales por espectrometría de absorción atómica en las muestras digeridas de tejidos:**

Los metales se determinaron de acuerdo a las especificaciones del fabricante (Cuadro no 4)



Cuadro no. 4 - Condiciones de operación de la espectrometría de absorción atómica para cada metal analizado

| ELEMENTO | LONGITUD DE ONDA nm | ANCHO DE LA HENDIDURA nm | CONCENTRACIÓN ÓPTIMA µg mL <sup>-1</sup> | GAS COMBUSTIBLE | GAS DE SOPORTE | EQUIPO <sup>a</sup> UTILIZADO | LABORATORIO <sup>b</sup> |
|----------|---------------------|--------------------------|--|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Cu       | 324.8               | 0.7                      | 0.077 - 5.0                              | Acetileno       | Oxido nitroso  | 1                             | LTFMVZ                   |
| Zn       | 213.9               | 0.7                      | 0.018 - 1.0                              | Acetileno       | Aire           | 1                             | LTFMVZ                   |
| Fe       | 248.3               | 0.2                      | 0.11 - 6.0                               | Acetileno       | Oxido nitroso  | 1                             | LTFMVZ                   |
| Mn       | 279.5               | 0.2                      | 0.02 - 5.0                               | Acetileno       | Aire           | 3                             | LQMCICML                 |
| Pb       | 283.3               | 0.7                      | 0.45 - 20.0                              | Acetileno       | Aire           | 1                             | LTFMVZ                   |
| V        | 318.5               | 0.2                      | 1.0 - 200.0                              | Acetileno       | Oxido nitroso  | 3                             | LQMCICML                 |
| Ni       | 232.0               | 0.2                      | 0.1 - 2.0                                | Acetileno       | Aire           | 3                             | LQMCICML                 |
| Cr       | 357.9               | 0.2                      | 0.06 - 15.0                              | Acetileno       | Aire           | 3                             | LQMCICML                 |
| Cd       | 228.8               | 0.7                      | 0.028 - 2.0                              | Acetileno       | Oxido nitroso  | 1                             | LTFMVZ                   |
| Hg       | 253.7               | 0.7                      | 4.2 - 200.0                              | Acetileno       | Oxido nitroso  | 2                             | LTFMVZ                   |
| As       | 193.7               | 0.7                      | 1.0 - 10.0                               | Acetileno       | Oxido nitroso  | 2                             | LTFMVZ                   |
| Se       | 196.0               | 2.0                      | 0.59 - 200.0                             | Acetileno       | Aire           | 2                             | LTFMVZ                   |

a: 1.- PerkinElmer AAnalyst 100.

2.- PerkinElmer MHS 10

3.- Varian SpectraAA-10 plus.

b: LTFMVZ.- Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

LQMCICML.- Laboratorio de Química Marina y Contaminación del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM

### 3).- Comparación entre las concentraciones de los metales contra sus valores tóxicos:

La concentración de cada elemento para cada tejido y organismo se dividió contra los valores reportados como tóxicos para los mismos elementos (Cuadro no. 5), para comparar las concentraciones de los metales en ballenas grises y determinar si estas concentraciones se pueden considerar como tóxicas de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración Tóxica} = \frac{[\text{Metal}]_{\text{Tejido}}}{[\text{Metal}]_{\text{Tóxico}}}$$

Cuadro no. 5 - Concentraciones tóxicas (en ppm) reportadas para cada elemento en distintas fuentes según Fisher (1992), Geller (1992), Gilmore & Bronstein (1992), Hapke (1991), Keogh (1992), Thomas (1992)

| Hígado | Alimento | Peso corporal total | Peso corporal total | Sangre | Peso corporal total | Alimento | Alimento | Peso corporal total |
|--------|----------|---------------------|---------------------|--------|---------------------|----------|----------|---------------------|
| Cu     | Zn       | Fe                  | Mn                  | Pb     | Ni                  | Cr       | As       | Se                  |
| 50     | 1000     | 150                 | 12                  | 1      | 10                  | 5        | 30       | 10                  |



### **b) Determinación de metales por espectrometría de absorción atómica en las muestras de agua.-**

Debido a la dificultad de determinar las concentraciones de los metales en agua de mar se decidió únicamente analizar la concentración de cobre y plomo por la importancia que estos dos metales tuvieron en el resultado de este trabajo. También se decidió determinar la concentración de mercurio, debido a que es un metal que siempre que sea detectado en cantidades mayores al intervalo de variación natural se presumirá que se encuentra una contaminación por este metal. Las condiciones de operación se resumen en el cuadro no. 6.

Cuadro no 6 - Condiciones de operación de la espectrometría de absorción atómica para cada metal analizado

| ELEMENTO | CONCENTRACIÓN ÓPTIMA<br>$\mu\text{g mL}^{-1}$ | EQUIPO <sup>a</sup><br>UTILIZADO | LABORATORIO <sup>b</sup> |
|----------|---|----------------------------------|--------------------------|
| Cu       | 0.077 - 5.0                                   | 3                                | LQMCICML                 |
| Pb       | 0.45 - 20.0                                   | 1                                | LTFMVZ                   |
| Hg       | 4.2 - 200.0                                   | 2                                | LTFMVZ                   |

- a:** 1.- PerkinElmer AAnalyst 100.  
2.- PerkinElmer MHS 10  
3.- Varian SpectrAA-100/200.

**b:** LTFMVZ.- Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

LQMCICML.- Laboratorio de Química Marina y Contaminación del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM

#### **• Validación de los métodos analíticos para las digestiones de tejidos y muestras de agua leídas por espectrometría de absorción atómica.-**

1) Límite de Detección.- Consiste en una serie de 10 lecturas de un estándar de concentración conocida para cada elemento, se calcula mediante la fórmula:

$$DL = \frac{SC \times 2\sigma}{\bar{x}}$$

donde:

- $DL$  = Límite de detección,  
 $SC$  = Concentración del Estándar,  
 $\sigma$  = Desviación estándar de la serie de lecturas y  
 $\bar{x}$  = Media de la serie de lecturas

2) Precisión del Método.- Consiste para cada elemento, en una serie de 10 lecturas de una muestra de dónde se calcula el coeficiente de variación de la serie mediante la fórmula:

$$CV = \frac{(\sigma \times 100)}{\bar{x}}$$



donde:

$CV$  = Coeficiente de variación.

$\sigma$  = Desviación estándar de la serie de lecturas.

$\bar{x}$  = Media de la serie de lecturas.

3) Aseguramiento de la calidad de los resultados.- El control de la calidad de los resultados generados se realizó mediante la utilización de materiales de referencia certificados (CRM) los cuales permitieron un evaluación de la exactitud de los métodos analíticos. Para las muestras de tejido se utilizó el CRM DOLT-2 que consiste en hígado de tiburón *Squalus acanthias* producido por el Institute for National Measurements Standards del National Research Council del Canadá (Cuadro no. 7). Para las muestras de agua de la laguna se utilizó el CRM Cat. No. CRM-SW, que consiste en agua de mar certificada por la HPS Certified Reference Material con número de lote 926501 (Cuadro no. 8).

Cuadro no. 7.- Concentración en  $\mu\text{g g}^{-1}$  analizada y certificada del CRM DOLT-2

| ELEMENTO  | DOLT-2           |                   |
|-----------|------------------|-------------------|
|           | VALOR ANALIZADO  | VALOR CERTIFICADO |
| <b>Cu</b> | 17.90 $\pm$ 0.91 | 25.8 $\pm$ 1.1    |
| <b>Zn</b> | 79.01 $\pm$ 9.18 | 85.8 $\pm$ 2.5    |
| <b>Fe</b> | 1055 $\pm$ 0.38  | 1103 $\pm$ 47     |
| <b>Mn</b> | 5.82 $\pm$ 1.05  | 6.88 $\pm$ 0.56   |
| <b>Pb</b> | N/D              | 0.22 $\pm$ 0.02   |
| <b>V</b>  | *                | *                 |
| <b>Ni</b> | N/D              | 0.20 $\pm$ 0.02   |
| <b>Cr</b> | N/D              | 0.37 $\pm$ 0.08   |
| <b>Cd</b> | 19.22 $\pm$ 0.40 | 20.8 $\pm$ 0.5    |
| <b>Hg</b> | 2.03 $\pm$ 0.06  | 2.14 $\pm$ 0.28   |
| <b>As</b> | 17.26 $\pm$ 0.58 | 16.6 $\pm$ 2.4    |
| <b>Se</b> | 6.56 $\pm$ 0.23  | 6.06 $\pm$ 0.49   |

N/D= No Detectado

\* Elemento no presente en el material certificado.

Cuadro no. 8 - Concentración en  $\mu\text{g L}^{-1}$  analizada y certificada del CRM-SW

| ELEMENTO  | CRM-SW          |                   |
|-----------|-----------------|-------------------|
|           | VALOR ANALIZADO | VALOR CERTIFICADO |
| <b>Cu</b> | 11.73           | 10                |
| <b>Pb</b> | 1.87            | 2                 |
| <b>Hg</b> | N/D             | 0.0003            |

N/D= No Detectado

**c) Tratamiento de las muestras de sedimentos.-****1).- Determinación de óxidos de elementos mayores y elementos traza:**

Las muestras de sedimentos para ser analizadas se trataron de la siguiente manera: Los sedimentos se secaron en una estufa de desecación a 110°C por 24 horas. Una vez secas, se molieron en un molino con vial de ágata para homogeneizar las muestras durante 15 minutos. Posteriormente se pesaron 20 g de muestra y se colocaron en bolsas de plástico con cierre hermético.

**2).- Determinación de óxidos de elementos mayores y elementos traza por espectrometría de fluorescencia de rayos X en las muestras tratadas de sedimentos:**

La determinación de los óxidos de elementos mayores y elementos traza fue realizada por medio de espectrometría de fluorescencia de rayos X en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) en el Instituto de Geología de la UNAM. Las condiciones de operación se resumen en el cuadro no. 9.

Cuadro no. 9 - Condiciones de operación de la espectrometría de fluorescencia de rayos X para cada elemento analizado

| ELEMENTO | PICO (2θ) | CRISTAL | COLIMADOR (°) | TIEMPO DE CONTEO (s) | FONDOS (2θ)   | KV/mA | DETECTOR <sup>a</sup> | ABS/REF <sup>b</sup> |
|----------|-----------|---------|---------------|----------------------|---------------|-------|-----------------------|----------------------|
| Si       | 109.9     | PET     | 0.46          | 20                   | 108.3 - 110.9 | 30/70 | F                     | Mn, Mg               |
| Ti       | 86.15     | LiF200  | 0.15          | 30                   | 85.3 - 86.9   | 40/50 | F                     | Mn                   |
| Al       | 145.06    | PET     | 0.46          | 20                   | 143.2 - 147.2 | 30/70 | F                     | Fe                   |
| Fe       | 85.73     | LiF200  | 0.15          | 20                   | 85.1 - 86.6   | 50/40 | F + C                 | Ca                   |
| Mn       | 95.21     | LiF200  | 0.15          | 30                   | 94.6 - 96.6   | 50/40 | F + C                 | Ca                   |
| Mg       | 21.49     | OVO55   | 0.46          | 40                   | 20.3 - 23.2   | 30/70 | F                     | Fe                   |
| Ca       | 113.13    | LiF200  | 0.46          | 30                   | 112.2 - 114.1 | 40/50 | F                     | K                    |
| Na       | 25.96     | OVO55   | 0.46          | 40                   | 24.4 - 27.6   | 30/70 | F                     | Fe                   |
| K        | 136.72    | LiF200  | 0.46          | 40                   | 135.8 - 137.7 | 30/60 | F                     | Na                   |
| P        | 141.03    | Ge      | 0.46          | 40                   | 140.2 - 142.0 | 30/70 | F + C                 | K                    |
| Cu       | 65.33     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 65.0 - 66.0   | 50/56 | F + C                 | Cr, V                |
| Zn       | 61.55     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 60.0 - 61.0   | 50/56 | F + C                 | Cu                   |
| Pb       | 82.14     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 124.4 - 126.3 | 50/56 | F + C                 | V                    |
| V        | 123.18    | LiF200  | 0.15          | 100                  | 122.7 - 123.6 | 50/56 | F                     | Cr                   |
| Ni       | 71.27     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 70.8 - 71.8   | 50/56 | F + C                 | Cr, V                |
| Cr       | 107.12    | LiF200  | 0.15          | 100                  | 106.4 - 107.8 | 50/56 | F                     | Ni, V                |
| Co       | 77.87     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 77.6 - 78.2   | 50/56 | F                     | Zn, Cu               |
| Rb       | 26.57     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 26.0 - 27.1   | 50/56 | F + C                 | Zr                   |
| Sr       | 35.80     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 35.2 - 36.5   | 50/56 | F + C                 | Rb, Sr               |
| Ba       | 15.57     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 15.3 - 16.0   | 50/56 | F + C                 | Sr                   |
| Y        | 23.73     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 23.1 - 24.5   | 50/56 | F + C                 | Rb                   |
| Zr       | 22.50     | LiF200  | 0.15          | 100                  | 22.2 - 23.0   | 50/56 | F + C                 | Sr, Y                |

a: F - Detector de flujo

C - Detector de centelleo.

b: ABS/REF - Corrección por absorción y reforzamiento



• **Validación de los métodos analíticos para los sedimentos leídos por espectrometría de fluorescencia de rayos X.-**

La validación del método se resume en el cuadro no. 10.

1) **Precisión del Método.-** Se determinó mediante el cálculo de la media ( $\bar{x}$ ), la desviación estándar ( $s$  para datos generados por el LUGIS y  $\sigma$  para datos reportados en la literatura) y el porcentaje de la desviación estándar relativa (%DER) obtenidas a partir de las muestras internacionales de referencia geoquímica (MIRG) WS-E y PM-S.

Para los elementos mayores Si, Ti, Al, Fe, Ca y Mg es muy buena (%DER <1), para Mn y P es aceptable (%DER <4), las mediciones para Na y K deben ser mejoradas según Lozano *et al.* (1995). Para los elementos traza la precisión es aceptable ya que los valores de %DER <10, excepto para Rb (66%), Y (12%) y Nb (15%) en la MIRG PM-S, no obstante que se debe tomar en cuenta que el promedio de la concentración del Rb en esta MIRG está por debajo del límite de detección según Verma *et al.* (1996).

2) **Exactitud del Método.-** La exactitud se determinó a partir de las pruebas estadísticas de Satumo-Steger (SST) de acuerdo a las siguientes fórmulas (Lozano *et al.* 1995; Verma *et al.* 1996):

- Cuando el valor de la calidad de los datos (Q) es un valor certificado (C) o recomendado (R):

$$SST = \frac{\bar{x} - \bar{x}_{lit}}{2\sigma}$$

donde:

SST = Exactitud.

$\bar{x}$  = Media de la serie de lecturas.

$\bar{x}_{lit}$  = Media de los datos de la literatura.

$\sigma$  = Desviación estándar de la serie de datos .

- Cuando Q es un valor provisional (P).

$$SST = \frac{\bar{x} - \bar{x}_{lit}}{4s}$$

donde:

SST = Exactitud

$\bar{x}$  = Media de la serie de lecturas

$\bar{x}_{lit}$  = Media de los datos de la literatura

$s$  = Desviación estándar de la serie de los datos generados por el LUGIS.



Cuadro no. 10.- Validación del método de espectrometría de fluorescencia de rayos X para cada elemento analizado

| ELEMENTO | DL<br>µg g <sup>-1</sup> | WS-E  |           |      |       |            |          |       |        |        |   |
|----------|--------------------------|-------|-----------|------|-------|------------|----------|-------|--------|--------|---|
|          |                          | LUGIS |           |      |       | LITERATURA |          |       | EA     | ER     | Q |
|          |                          | SST   | $\bar{x}$ | s    | %DEr  | $\bar{x}$  | $\sigma$ | %DEr  |        |        |   |
| Si       | 500                      | 0.09  | 511600    | 3700 | 0.72  | 510500     | 5800     | 1.14  | 0.11   | 0.215  | R |
| Ti       | 40                       | 0.31  | 23700     | 100  | 0.59  | 24200      | 0.08     | 3.3   | -0.05  | -2.07  | R |
| Al       | 180                      | 0.25  | 139600    | 1400 | 1     | 138200     | 2800     | 2.03  | 0.14   | 1.01   | R |
| Fe       | 60                       | 0.49  | 135600    | 600  | 0.41  | 13200      | 3700     | 2.8   | 0.36   | 2.73   | R |
| Mn       | 40                       | 0.00  | 17500     | 20   | 1.26  | 1700       | 10100    | 5.89  | 0.005  | 2.94   | R |
| Mg       | 150                      | 0.19  | 56500     | 300  | 0.61  | 55700      | 2100     | 3.77  | -0.005 | -0.90  | R |
| Ca       | 400                      | 0.28  | 91600     | 30   | 0.32  | 90200      | 2500     | 2.77  | 0.14   | 1.55   | R |
| Na       | 300                      | 0.07  | 24900     | 17   | 6.9   | 24700      | 1400     | 5.67  | 0.02   | 0.81   | R |
| K        | 500                      | 0.83  | 8800      | 100  | 11.22 | 9800       | 600      | 6.12  | -0.10  | -10.20 | R |
| P        | 300                      | 0.20  | 2840      | 40   | 1.56  | 3000       | 400      | 13.33 | 0.11   | 0.215  | R |
| Cu       | 0.7                      | 0.36  | 57        | 3    | 5.3   | 65         | 11       | 17    | -8     | -12.3  | R |
| Zn       | 1.5                      | 1.64  | 103       | 2    | 1.9   | 117        | 11       | 9.3   | 14     | -11.96 | R |
| Pb       | 5                        | 0.25  | 18        | 1.5  | 2.1   | 16         | 1        | 2     | 2      | 1.3    | R |
| V        | 5                        | 0.05  | 336       | 6    | 1.8   | 340        | 32       | 9.4   | -6     | -1.78  | R |
| Ni       | 0.5                      | 0.13  | 57        | 2    | 3.6   | 55         | 8        | 14    | 2      | 3.6    | R |
| Cr       | 2                        | 0.80  | 115       | 9    | 8.1   | 99         | 10       | 10    | 16     | 16.16  | R |
| Co       | 3                        | 0.08  | 43        | 3    | 6.8   | 44         | 6        | 14    | -1     | -2.27  | R |
| Rb       | 2                        | 0.04  | 24.6      | 1.4  | 5.7   | 25         | 5        | 5.7   | -0.4   | -1.6   | R |
| Sr       | 1                        | 0.60  | 379       | 2    | 0.4   | 410        | 26       | 6.2   | -31    | -7.5   | R |
| Ba       | 11                       | 0.04  | 340       | 11   | 3.2   | 338        | 28       | 8.1   | 2      | 0.59   | R |
| Y        | 0.5                      | 0.19  | 31.5      | 0.8  | 2.4   | 30         | 4        | 12    | 1.5    | 5      | R |
| Zr       | 0.5                      | 1     | 1.61      | 0.7  | 0.4   | 195        | 17       | 8.8   | -34    | -17.43 | R |
| Nb       | 0.7                      | 0.95  | 14.2      | 0.9  | 6.3   | 18         | 1        | 14    | -3.8   | -2.1   | R |

| ELEMENTO | DL<br>µg g <sup>-1</sup> | PM-S  |           |      |       |            |          |       |        |       |   |
|----------|--------------------------|-------|-----------|------|-------|------------|----------|-------|--------|-------|---|
|          |                          | LUGIS |           |      |       | LITERATURA |          |       | EA     | ER    | Q |
|          |                          | SST   | $\bar{x}$ | s    | %DEr  | $\bar{x}$  | $\sigma$ | %DEr  |        |       |   |
| Si       | 500                      | 0.03  | 470300    | 3400 | 0.73  | 469900     | 6500     | 1.38  | 0.04   | 0.09  | R |
| Ti       | 40                       | 0.6   | 10500     | 100  | 0.59  | 111        | 500      | 4.5   | -0.06  | -5.41 | R |
| Al       | 180                      | 0.02  | 171400    | 1100 | 0.65  | 171600     | 4800     | 2.8   | -0.02  | -0.2  | R |
| Fe       | 60                       | 0.77  | 105400    | 300  | 0.028 | 101100     | 280      | 2.77  | 0.43   | 4.25  | R |
| Mn       | 40                       | 0.05  | 1590      | 30   | 1.7   | 1600       | 100      | 6.25  | -0.001 | -0.63 | R |
| Mg       | 150                      | 0.04  | 93100     | 400  | 0.39  | 93400      | 390      | 4.18  | -0.03  | -0.32 | R |
| Ca       | 400                      | 0.31  | 126200    | 400  | 0.31  | 124600     | 2600     | 2.09  | 0.16   | 1.28  | R |
| Na       | 300                      | 1.36  | 23400     | 400  | 1.71  | 20400      | 1100     | 5.39  | 0.3    | 14.71 | P |
| K        | 500                      | 1.63  | 1690      | 60   | 3.43  | 1300       | 10200    | 15.38 | 0.039  | 30    | P |
| P        | 300                      | 4.5   | 320       | 10   | 3.91  | 500        | 500      | 100   | 0.04   | 0.09  | R |
| Cu       | 0.7                      | 1.08  | 46        | 2    | 4.7   | 59         | 6        | 9.4   | -13    | -2.2  | R |
| Zn       | 1.5                      | 0.83  | 51        | 2    | 4     | 61         | 6        | 9.6   | 10     | 16.39 | R |
| Pb       | 5                        | 0.05  | 15        | 1.4  | 1.8   | 17         | 2        | 1.3   | 0.1    | 0.04  | R |
| V        | 5                        | 0     | 187       | 7    | 3.7   | 187        | 13       | 7.1   | 0      | 0     | R |
| Ni       | 0.5                      | 0.06  | 112       | 2    | 1.8   | 113        | 8        | 7.5   | -1     | -0.88 | R |
| Cr       | 2                        | 0.27  | 326       | 4    | 1.3   | 314        | 22       | 7.1   | 12     | 38    | R |
| Co       | 3                        | 0.25  | 46        | 3    | 6.3   | 48         | 4        | 8.6   | -2     | -4.2  | R |
| Rb       | 2                        | 0.06  | 1.4       | 0.9  | 6.6   | 1.2        | 0.5      | 38    | 0.2    | 16.66 | P |
| Sr       | 1                        | 0.5   | 288       | 1    | 0.3   | 275        | 13       | 4.7   | 13     | 4.72  | C |
| Ba       | 11                       | 0.32  | 161       | 8    | 4.7   | 150        | 17       | 11    | 11     | 7.33  | R |
| Y        | 0.5                      | 1.5   | 14        | 2    | 12    | 11         | 1        | 11    | 3      | 27.27 | R |
| Zr       | 0.5                      | 0.58  | 47        | 2    | 4.9   | 40         | 6        | 15    | 7      | 17.5  | R |
| Nb       | 0.7                      | 0.3   | 3.4       | 0.5  | 15    | 2.8        | 1        | 36    | 0.6    | 21.4  | P |

EA = Error Absoluto

ER = Error Relativo



La exactitud para los elementos mayores en las dos MIRG (a excepción de K y P en PM-S) es aceptable: SST<1 (Lozano *et al.* 1995). Para los elementos traza la exactitud en las dos MIRG (a excepción de Y en PM-S) es aceptable (Verma *et al.* 1996)

3).- Límite de detección. - Se calculó con base en la fórmula (Lozano *et al.* 1995):

$$DL = 3 \left( \frac{N_o - 2}{N_x - N_o} \right) C_x$$

donde:

DL = Límite de detección.

$N_o$  y  $N_x$  = Número de cuentas en el pico y el ruido de fondo respectivamente para un punto medido en una muestra con concentración  $x$  ( $C_x$ ).

### 3).- Determinación de materia orgánica y validación del método:

Las muestras de sedimentos se secaron a 60°C por 48 horas. Posteriormente se molieron en un molino con vial de ágata para homogeneizar las muestras durante 15 minutos. Después se pesó 1 g y se determinó el porcentaje de carbono orgánico en sedimentos por la técnica de Titulación con dicromato de potasio. La exactitud del método fue determinada sustituyendo la muestra de sedimento por dextrosa seca como muestra control, debido a que no se contaba con un estándar certificado de sedimento marino con una matriz semejante a los sedimentos estudiados. Para este análisis la exactitud fue de 91.6%. La precisión fue determinada de la misma forma que la utilizada para tejidos y agua, esta presentó un valor de 90.7%

### 4).- Determinación de carbonatos y validación del método:

Las muestras de sedimentos para la determinación de carbonatos se secaron a 60°C por 48 horas. Posteriormente se molieron en un molino con vial de ágata para homogeneizar las muestras durante 15 minutos. Después se pesó 1 g y se determinó el porcentaje de carbonato de calcio en sedimentos por la técnica de Titulación ácido-base con hidróxido de sodio 0.3 mol L<sup>-1</sup>. La exactitud del método fue determinada sustituyendo la muestra de sedimento por carbonato de sodio del que se conocía su contenido de carbonato ya que al igual que en el caso de la determinación de materia orgánica no se contaba con una muestra certificada de sedimento marino con las características semejantes a las muestras estudiadas. El valor de la exactitud del método fue de 98%. La precisión fue determinada de la misma forma que la utilizada para tejidos y agua, para este caso la precisión fue de 89.25%.



• **Determinación de la contaminación en las muestras de agua y sedimento.-**

El enriquecimiento antropogénico en agua y sedimentos para determinar si una muestra está contaminada puede ser medido mediante la fórmula (Gonçalves *et al*, 1992):

$$CF = \frac{CM}{CB}$$

donde:

CF = Factor de Contaminación.

CM = Concentración del metal en la muestra o zona de estudio.

CB = Concentración del metal en niveles naturales (zonas consideradas como no contaminadas).

El factor de contaminación refleja el grado de contaminación de cada metal. Si  $CF \leq 1$  el contenido del metal refleja un origen natural. Por otro lado si  $CF > 1$  indica que existe enriquecimiento por actividades humanas y por ende la presencia de contaminación. En este estudio se determinó el CF utilizando para CB el intervalo de la concentración de los elementos traza en la corteza terrestre (Cuadro no. 11) y para los valores de agua se utilizó el intervalo de la concentración en los océanos (Cuadro no. 12).

Cuadro no. 11 - Concentración de elementos traza en la corteza terrestre según Burkart (1991), Byerrum (1991), Deuber & Heim (1991), Ewers & Schlipkötter (1991), Gaughhofer & Bianchi (1991), Goering & Fowler (1991), Ohnesorge & Wilhelm (1991), Savory & Wills (1991), Scheinberg (1991), Schrauzer (1991), Sunderman Jr & Oskarsson (1991), Wedepohl (1991)

| Elemento                       | ppm      | Valor utilizado para calcular CF y EF (ppm) |
|--------------------------------|----------|---|
| Cu                             | 20 - 40  | 40  |
| Zn                             | 10 - 300 | 69  |
| Pb                             | 5 - 40   | 15  |
| V                              | 20 - 109 | 109   |
| Ni                             | 45 - 80  | 45  |
| Cr                             | 70 - 90  | 88  |
| Co                             | 0.1 - 19 | 19  |
| Th                             | 13       | 13  |
| Rb                             | N/R      | N/C   |
| Sr                             | 375      | 375   |
| Ba                             | 425      | 425   |
| Y                              | 28       | 28  |
| Zr                             | 152      | 152   |
| Nb                             | 10 - 24  | 24  |
| Óxido                          | %        | %   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8 - 15.6 | 15.6  |

N/R - No reportado.

N/C.- No calculado



Cuadro no 12 - Concentración de elementos traza en los océanos según Langston (1990) y Hapke (1991)

| Elemento | ppm          | Valor utilizado para calcular CF (ppm) |
|----------|--------------|--|
| Cu       | 0.01 - 6.8   | 6.8                                    |
| Pb       | 0.006 - 1.23 | 0.115                                  |

Para todos los elementos se utilizó la concentración promedio en la corteza terrestre y océanos a excepción del cobre; debido a que si se toma en consideración la concentración promedio, el CF para cobre es <1, por lo tanto se decidió utilizar el valor más alto reportado en la literatura (para sedimentos 40 ppm y para agua 6.8 ppm), a dicha concentración los sedimentos y el agua no son considerados como contaminados.

#### • Determinación del Factor de Enriquecimiento de las muestras de sedimento.-

Al tener las muestras de sedimento un alto contenido de  $Al_2O_3$ , y por lo tanto tratarse en su mayoría de aluminosilicatos, se considera que la composición mineral de estos sedimentos permanece relativamente constante y al ser estos el principal aporte de metales pesados y de aluminio particulado hacia el agua de mar; entonces la concentración de metales pesados en el sedimento debe ser directamente proporcional al contenido de aluminio (Libes, 1992).

Basados en lo anterior, Ravichandran *et al.* (1995) determinaron el factor de enriquecimiento en muestras de sedimento que consiste en:

$$EF = \frac{\left( \frac{[Metal]}{[Aluminio]} \right)_{Muestra}}{\left( \frac{[Metal]}{[Aluminio]} \right)_{Referencia}}$$

Para este estudio la relación de la referencia se utilizó el valor más alto que se reporta (15.6%) en el intervalo de la concentración de aluminio en la corteza terrestre (Cuadro no. 11).

Si  $EF \leq 1$  el contenido del metal refleja una concentración menor a la de la variación natural. Por otro lado si  $EF > 1$  indica que existe enriquecimiento arriba de las concentraciones naturales, aunque Ravichandran *et al.* (1995) mencionaron que dicho enriquecimiento no es provocado necesariamente por actividades humanas, sólo sugiere que los metales están enriquecidos significativamente por arriba de la concentración del suelo promedio.

### III) ANÁLISIS ESTADÍSTICO.-

Se realizó estadística descriptiva a cada una de las concentraciones de los elementos tanto en tejidos como en agua y sedimentos, a los que se les determinó la media y la desviación estandar



Se realizó por la técnica de Análisis de Factores la determinación de cuales son las características químicas que diferencian entre sí a las muestras de sedimento según su análisis químico composicional. Esta técnica consiste en el acercamiento estadístico para analizar las interrelaciones entre un gran número de variables y explicar estas variables en términos de dimensiones comunes (factores). El objetivo es el de condensar la información contenida en un número original de variables en un grupo menor de variables (factores) con una pérdida mínima de información (Hair Jr. *et al.*, 1995).

Por último, para definir las correlaciones entre la concentración de un metal  $i$  en tejidos de ballenas grises contra la concentración del mismo metal  $i$  en sedimentos y agua para cada par de variables, se calculó la correlación de Spearman como sigue:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}}$$

donde:

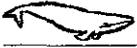
$r$  = Correlación de Spearman

$x$  =  $(x_i - X)$

$y$  =  $(y_i - Y)$

siendo:  $x_i$  y  $y_i$  los valores individuales de las dos variables examinadas mientras que  $X$  y  $Y$  son sus valores promedio. La significancia estadística de  $r$  se determinó mediante la prueba bootstrap (Li y Zharkikh, 1994) mezclando los datos de cada variable al azar en 1000 ensayos en que se calculó una  $r$  nula ( $m$ ).

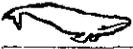
El error tipo I se estimó como la fracción de ensayos en que la  $m$  cumplió la condición:  $abs(m) \geq abs(r)$ , donde  $abs$  indica que se trata del valor absoluto. Los cálculos se hicieron con el programa CORNUM desarrollado por el Dr. Luis Medrano González en la Facultad de Ciencias de la UNAM.



*“Si un hombre comienza con certezas, el terminará con dudas; pero si se conforma en empezar con dudas, el terminará con certezas”.*

Sir Francis Bacon en “The Advancement of Learning”.

## **7) RESULTADOS Y DISCUSIÓN.-**



### a) Concentración de metales y toxicidad en los tejidos:

La concentración de elementos para cada muestra se resume en el cuadro no 13. El cuadro no 14 señala las diferentes concentraciones encontradas en este estudio ordenadas en escala de grises. El cuadro no. 15 sintetiza los cocientes de toxicidad en escala de grises. Cabe hacer notar que particularmente en las referencias de los valores tóxicos en el alimento, se sobrestima la concentración tóxica en el organismo. Eso significa que el cociente de toxicidad está subestimado.

#### I.- COBRE:

El cobre sólo fue detectado en tres muestras de hueso y en una sola de músculo. Un gran número de estudios de cetáceos han reportado que la mayor concentración de cobre se ha detectado en el hígado y en el riñón (Falconer *et al.*, 1983; Fujise *et al.*, 1988; Varanasi *et al.*, 1994; Law, 1996 y Holsbeek *et al.*, 1998). No obstante que en el presente trabajo no se detectó cobre en el riñón muestreado, la mayor parte del cobre detectado se encontró en las muestras de hueso. Este metal está presente en dos muestras de crías, en dos de juveniles y no se detectó en los tejidos de adultos, esto coincide con la observación de Law (1996), quien afirmó que los tejidos y órganos de cetáceos jóvenes y neonatos son más ricos en cobre que los de los adultos.

Estadísticamente existe mucha dispersión en los valores de cobre (coeficiente de variación 144.85%), lo que nos indica que la concentración de cobre en las muestras no tuvieron una concentración uniforme. La concentración más alta de este metal se detectó en la muestra ósea de C1, cabe señalar que se trató de la cuarta costilla izquierda, a diferencia de las otras dos muestras donde se detectó este metal en las que el hueso muestreado fue la primera falange distal izquierda. Debido a que el cobre estuvo presente en las huesos de las dos crías muestreadas se infiere que en el caso del cobre existe transferencia transplacentaria como lo afirmó Fujise *et al.* (1988) para el caso de la Marsopa de Dall *Phocoides dalli*.

El cobre, como ya se ha mencionado, es un elemento esencial para los animales por lo que su deficiencia es más común que su toxicidad que depende de la especie, edad y estado nutricional del animal, los ovinos son los animales que mayor toxicidad al cobre presentan, una concentración de 15 ppm ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en el alimento es tóxica para esta especie, mientras que en bovinos una concentración de 50 - 100 ppm en hígado (Fisher, 1992) provoca síntomas de intoxicación y a 200 ppm es letal (Hapke, 1991). Para los humanos el cobre es potencialmente no tóxico, sólo es fatal cuando se ingiere con propósitos suicidas (Scheinberg, 1991). Las concentraciones de cobre en tejidos de ballena gris se encuentran por debajo de la concentración considerada como tóxica

Cuadro no. 13 - Concentración en ppm ó  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco de metales pesados, arsénico y selenio en tejidos de ballena gris.

| TEJIDO                       | CLAVE | Cu    | Zn    | Fe     | Mn    | Pb    | V    | Ni    | Cr    | Cd   | Hg    | As    | Se    |      |
|------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| PIEL                         | C1    | -     | 28.37 | 90.60  | 4.44  | 12.07 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | 0.25  |      |
|                              | C2    | -     | 19.33 | 681.57 | 12.21 | 15.28 | -    | -     | -     | -    | -     | 0.21  | 0.11  |      |
|                              | J1    | -     | 28.03 | 15.74  | 4.64  | 15.29 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | 6.56  |      |
|                              | J2    | -     | 30.37 | 15.75  | -     | 13.70 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -     | 2.45 |
|                              | A1    | -     | 30.00 | 30.73  | 3.15  | 18.50 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | 0.03  | 0.40 |
|                              | A2    | -     | 29.50 | 35.72  | -     | 15.30 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | 0.03  | 3.48 |
|                              | A3    | -     | 34.74 | 65.43  | -     | 13.65 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | 0.16  | 5.51 |
| HUESO                        | C1    | 33.26 | 55.22 | 255.28 | 26.33 | 62.02 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -     |      |
|                              | C2    | 0.37  | 40.24 | 776.94 | 7.06  | 39.37 | -    | 12.47 | 74.87 | -    | -     | 0.14  | -     |      |
|                              | J1    | -     | 12.19 | 65.76  | 5.78  | 28.16 | -    | -     | -     | -    | -     | 0.35  | 0.27  |      |
|                              | J2    | -     | 15.61 | 38.24  | -     | 15.31 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | 0.04  |      |
|                              | J3    | 0.38  | 37.88 | 312.83 | -     | 13.70 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | 0.30  |      |
|                              | A1    | -     | 49.09 | 85.68  | 6.09  | 63.48 | -    | 7.49  | -     | -    | -     | 0.19  | -     |      |
|                              | A2    | -     | 21.05 | 58.16  | -     | 20.10 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | 0.13  |      |
|                              | A3    | -     | 16.48 | 58.18  | 2.43  | 13.70 | -    | 4.98  | -     | -    | -     | 0.35  | -     |      |
| MÚSCULO                      | C2    | -     | 21.96 | 439.86 | 4.51  | 15.29 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | -     |      |
|                              | J3    | 8.93  | 45.41 | 459.31 | -     | 24.03 | -    | -     | -     | -    | -     | 0.13  | 0.16  |      |
|                              | A1    | -     | 40.07 | 342.92 | 3.84  | 20.11 | -    | -     | -     | -    | -     | 0.18  | 0.04  |      |
| RIÑÓN                        | C1    | -     | 57.57 | 444.85 | 8.49  | 31.58 | -    | -     | -     | -    | -     | -     | 0.38  |      |
| <b>LÍMITE DE DETECCIÓN *</b> |       | 0.10  | 0.07  | 0.05   | 0.14  | 0.11  | 0.13 | 0.02  | 0.005 | 0.13 | 0.004 | 0.005 | 0.002 |      |
| <b>PRECISIÓN (%)</b>         |       | 94.9  | 82.7  | 97.7   | 98.6  | 87.9  | 99.1 | 82.6  | 98.5  | 98.3 | 99.04 | 96.6  | 98.0  |      |

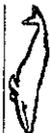
- Indica metal no detectado

Cuadro no. 14.- Concentración en ppm ó  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco de metales pesados, arsénico y selenio en tejidos de ballena gris representadas en escala de grises.

| TEJIDO  | CLAVE  | Cu     | Zn     | Fe     | Mn     | Pb     | V   | Ni  | Cr  | Cd  | Hg  | As  | Se  |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PIEL    | C1     | 0-1    | 1-10   | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | C2     | 1-10   | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | J1     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | J2     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | A1     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | A2     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | A3     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
| HUESO   | C1     | 0-1    | 1-10   | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | C2     | 1-10   | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | J1     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | J2     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | J3     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | A1     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | A2     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
| A3      | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1    | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |     |
| MÚSCULO | C2     | 1-10   | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | J3     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
|         | A1     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
| RINÓN   | C1     | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 10-100 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |

CLAVE:

|                 |            |  |
|-----------------|------------|--|
|                 | 0 - 1      |  |
|                 | 1 - 10     |  |
| CONCENTRACIONES | 10 - 100   |  |
|                 | 100 - 1000 |  |



Cuadro no. 15.- Valores de toxicidad relativa en escala de grises.



| TEJIDO  | CLAVE | Cu | Zn | Fe | Mn | Pb | V | Ni | Cr | Cd | Hg | As | Se |
|---------|-------|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|
| PIEL    | C1    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | C2    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | J1    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | J2    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | A1    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | A2    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
| HUESO   | C1    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | C2    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | J1    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | J2    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | A1    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | A2    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
| MÚSCULO | C2    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | J2    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
|         | A1    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |
| RIÑÓN   | C1    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |

CLAVE:

COCIENTE DE TOXICIDAD

|        |  |
|--------|--|
| 0 - 1  |  |
| 1 - 5  |  |
| 5 - 10 |  |
| > 10   |  |



## II.- ZINC:

Se ha reportado que las mayores concentraciones de zinc en otros estudios de mamíferos marinos tienen lugar en el riñón y en el hígado (Fujise *et al.*, 1988; Marcovecchio *et al.*, 1994; Varanasi *et al.*, 1994; Law *et al.*, 1997; Holsbeek *et al.*, 1998 y Parsons, 1988). En el presente estudio la mayor concentración de zinc se encontró también en la muestra de riñón.

Los valores encontrados de zinc en el presente estudio se encuentran entre los intervalos detectados en otros estudios de cetáceos (Falconer *et al.*, 1983; Fujise *et al.*, 1988; Marcovecchio *et al.*, 1994; Varanasi *et al.*, 1994; Law, 1996; Law *et al.*, 1997; Holsbeek *et al.*, 1998 y Parsons, 1988), en donde se han reportado concentraciones de zinc que varían en un intervalo de 20 a 100  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco.

No se hallaron diferencias en cuanto al tamaño del animal y la concentración de zinc, aunque existe al igual que en caso del cobre un almacenamiento de zinc en animales jóvenes que puede ser debido a que son metabólicamente más activos. Law *et al.*, (1992) afirmaron que la transferencia transplacentaria para el zinc es menor que para el cobre; por lo que la asimilación de zinc en crías y animales jóvenes es por medio de la leche y del alimento.

Law (1996) sugirió que las concentraciones de estos metales en el hígado deberán oscilar entre 3 a 30  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco para el caso del cobre y de 20 a 100  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco para el caso del zinc para que exista un control homeostático de cobre y zinc en mamíferos marinos. En los tejidos analizados en el presente estudio se observó que los valores encontrados en el músculo y en el hueso para ambos metales coinciden con esta afirmación, por lo tanto el músculo y el hueso, aparte del hígado, de ballenas grises pueden reflejar también el estado homeostático entre estos dos metales.

La toxicidad al zinc (al igual que la del cobre) es muy rara y solo ocurre después de la ingestión de grandes dosis. En bovinos, ovinos porcinos y equinos se presentan efectos tóxicos después de la ingestión de zinc en el alimento con una concentración de 1000 mg por kg (ppm) de materia seca (Hapke, 1991). Los valores de zinc reportados en el presente estudio también se encuentran por debajo de la concentración tóxica.

## III.- HIERRO:

Los tejidos en donde se detectó una mayor concentración de hierro fueron el músculo y el riñón, esto coincide con los estudios de Fujise *et al.* (1988) y con el de Varanasi *et al.*, (1994), quizá esto puede explicarse por la unión del hierro en riñón a metalotioneínas. Por otra parte en músculo se puede explicar debido a que el hierro forma parte del núcleo de la mioglobina, proteína similar a la hemoglobina sanguínea, que oxigena las células musculares y que en cetáceos ocurre en grandes cantidades debido a la capacidad que tiene estos de realizar buceos prolongados. Cabe mencionar que ambos tejidos se encuentran altamente irrigados.

Estadísticamente existe gran dispersión (coeficiente de variación 106.09) en las concentraciones de hierro encontradas en el presente estudio, lo que nos indica que



existen grandes variaciones en la concentración de hierro entre las muestras analizadas que se puede explicar por los restos de hemoglobina y mioglobina en los tejidos. El hierro se detectó en mayores concentraciones en animales jóvenes que en animales adultos, por lo que quizá también pueda ocurrir un mecanismo de transferencia transplacentaria de asimilación y retención de hierro similar al reportado para cobre y zinc.

No obstante que comparado con el estudio realizado en la marsopa de Dall por Fujise *et al.* (1988) las concentraciones de hierro en ballenas grises son mayores en el caso de la piel: de 8.92 en el estudio de Fujise *et al.* contra 133.64  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco en el presente estudio. Los valores de hierro encontrados en este trabajo son similares a aquellas concentraciones reportadas en el hígado y en el cerebro en el estudio de Varanasi *et al.*, (1994), a pesar de que ellos llegaron a detectar concentraciones en hígado de hasta 20,000  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco.

La dosis tóxica para hierro en animales domésticos es de 150 mg por kg de peso corporal (ppm) en porcinos, para equinos una dosis oral de 250 g de sulfato de hierro es letal (Hapke, 1991). Sólo siete de las 19 muestras obtuvieron un valor más elevado que la concentración tóxica sobre todo las muestras (4) de músculo y riñón, que como ya se mencionó el aporte de mioglobina y hemoglobina respectivamente es mayor debido a la fisiología de inmersión que ocurre en los cetáceos. Dos de las tres muestras restantes cuyo cociente es mayor de 1 se trata de crías por lo que esta concentración por arriba del valor considerado como tóxico puede deberse a mecanismos de transferencia transplacentaria y por lactancia (Law, 1996).

#### IV.- MANGANESO:

Existe una distribución mayor de manganeso en el riñón y en el hueso de ballenas grises. Las concentraciones detectadas en este estudio están dentro de los valores reportados por Varanasi *et al.*, (1994), ya que ellos encontraron valores de hasta 14.28  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. Existe una acumulación mayor de manganeso en tejidos de ballena gris comparados con los de otros cetáceos. (Fujise *et al.*, 1988; Kuehl y Haebler 1995). Las concentraciones de manganeso en este estudio demuestran una mayor cantidad de este metal en los animales jóvenes que en los adultos, por lo que también para el manganeso existe un mecanismo de transferencia transplacentaria de asimilación y retención como ocurre en el caso de cobre, zinc y hierro.

La dosis tóxica de manganeso para animales domésticos es de 2000 mg por kg de alimento (ppm, Hapke, 1991). Se considera normal una concentración de 12 mg de manganeso por kg de peso en el humano adulto (Gilmore y Bronstein, 1992). Ocurre para el caso de este metal un proceso similar al del hierro ya que sólo dos muestras se encuentran por arriba de 1 y al estar presente en dos crías hace suponer que tiene que ver con el aporte de manganeso por transferencia transplacentaria y durante la lactancia (Law, 1996)



## V.- PLOMO:

En la mayoría de los animales (7 de 8) se encontró una mayor acumulación de plomo en el tejido óseo, esto también ha sido demostrado por Kemper *et al.* (1994), quienes compararon la concentración de plomo en el hígado, en el riñón, en el músculo, en el tejido adiposo subcutáneo y en el hueso de diferentes especies de mamíferos marinos de Australia, en donde se encontró que la concentración de plomo en el hueso es mayor que en los demás tejidos analizados, en contraste, el estudio realizado por Fujise *et al.* (1988) encontraron una mayor acumulación de plomo en la piel de la marsopa de Dall. Sin embargo Law (1996) reportó que en humanos se ha encontrado que es en el esqueleto en donde ocurre mayor bioacumulación de plomo.

En este estudio se encontraron cantidades muy elevadas de plomo (intervalo de 12.07 a 63.48  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco; promedio = 23.72) comparadas con otros estudios de cetáceos y de mamíferos marinos en general. Por lo general las concentraciones de mamíferos marinos varían de 0.004 hasta 13.13  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco (Muir *et al.*, 1988; Kemper *et al.*, 1994; Law *et al.*, 1997; Parsons, 1998; Meador *et al.*, 1999). En el estudio previo en ballenas grises llevado al cabo por Varanasi *et al.* (1994) se reportó una concentración de plomo de 1.28  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco como la máxima encontrada en el hígado, la media general de todas las ballenas y de todos los tejidos fue de 0.57  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco. El máximo valor de plomo encontrado en este estudio correspondió a la muestra ósea del animal A3 que presentó una concentración de 63.48  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco.

Outridge *et al.* (1997) realizaron un estudio en el Ártico canadiense, utilizando los dientes de beluga *Delphinapterus leucas* y morsas *Odobenus rosmarus rosmarus* determinaron la concentración de isótopos estables de plomo para determinar si las altas concentraciones de metales pesados en mamíferos marinos de esta región se debe a un fenómeno natural o a contaminación industrial por transporte a larga escala, en las belugas se encontró que han estado expuestas al plomo desde la mitad del siglo XVII.

Se han presentado efectos letales en el ganado bovino cuando se administra plomo en dosis orales de 10 g. Para porcinos, caninos y otras especies las dosis deberán ser cinco veces mayores (Hapke, 1991). En humanos la concentración en sangre de 30 - 10  $\mu\text{g}$  por cada 100 mL (ppb) provoca daños en el sistema nervioso periférico, mientras que 40  $\mu\text{g}$  por cada 100 mL provocan daño en tejidos y órganos (Ewers y Schlipkötter, 1991). En este estudio se han detectado altas cantidades de plomo en los tejidos de ballena gris, ya que es el único metal que su cociente de concentración es mayor de 10. Estas altas concentraciones pueden provocar efectos deletéreos en las ballenas, ya que un estudio realizado en un acuario en Israel reportó que un delfín nariz de botella mantenido en cautiverio presentó intoxicación por plomo a concentraciones de 4.2  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el hígado y de 3.6  $\mu\text{g g}^{-1}$  (no se especifica la base) en la corteza renal. Este animal mostró anorexia, pérdida de peso, renuencia al entrenamiento y poco tiempo después murió. El análisis post-mortem reveló que el hígado se encontraba amarillento, frías y descolorido. La capa de tejido adiposo subcutáneo estaba severamente ictericia y edematosa y las meninges estaban congestionadas y edematosas (Shlosberg *et al.*, 1997).

Law (1996) menciona que basados en experimentos de laboratorio, algunos científicos han sugerido que el plomo es un elemento esencial en ratas, aunque este



autor hasta ahora considera que la evidencia está incompleta, como también lo está el metabolismo del plomo y los mecanismos por los cuales produce efectos tóxicos. Muchas enzimas, membranas y procesos bioquímicos en general son afectados por el plomo, se ha demostrado que este metal afecta la inhibición del sistema enzimático, como es el caso de la citocromo P-450 oxidasa, la inhibición de esta enzima ha provocado hepatoma en ratas y labio leporino en ratones (Kannan *et al.*, 1989; Tanabe *et al.*, 1989; Kannan *et al.*, 1993).

#### **VI.- VANADIO:**

El vanadio no fue detectado en ninguno de los tejidos de las ballenas grises analizados en este estudio.

#### **VII.- NÍQUEL:**

El níquel no fue detectado en la piel, tampoco en el músculo ni en el riñón, fue detectado en tres muestras de las ocho muestras de hueso, de hecho fue en el único tejido en el que se detectó. Las concentraciones detectadas de este metal en el presente trabajo están dentro del intervalo reportado por Varanasi *et al.* (1994) que encontraron en ballenas grises niveles de hasta  $7.61 \mu\text{g g}^{-1}$  peso seco, sin embargo comparado con otros cetáceos es un valor alto ya que Parsons (1998) en delfines jorobados del Indo-Pacífico *Sousa chinensis* reportó concentraciones en el hígado de  $1.25 \mu\text{g g}^{-1}$  peso seco, en el riñón de 0.91 y de 1.16 en el tejido adiposo subcutáneo.

Se ha sugerido una explicación a lo anterior al afirmar que existe una mayor concentración de níquel en crustáceos que en peces (Sunderman y Oskarsson, 1991), por lo que es de esperarse que los cetáceos que se alimenten de crustáceos, como lo es la ballena gris, contengan mayor cantidad de níquel en sus tejidos que aquellos que basan su dieta en peces (Law, 1996)

La toxicidad al níquel depende del compuesto que se forme con este metal, los compuestos orgánicos debido a su alta liposolubilidad se absorben mejor que los compuestos inorgánicos hidrosolubles. Se ha reportado que en perros una dosis oral de 5 a 10 mg por kg de peso corporal (ppm) tiene un efecto letal, mientras que para porcinos esto ocurre con dosis de  $250 \mu\text{g g}^{-1}$  (Hapke, 1991) Sólo la muestra de hueso del animal C2 mostró un cociente mayor a 1. Sin embargo como ya se mencionó anteriormente las concentraciones de níquel detectadas en el presente estudio se encuentran dentro del intervalo de concentración reportado por Varanasi *et al.* (1994), para el mismo metal

#### **VIII.- CROMO:**

El cromo no fue detectado en la piel, ni en el músculo ni tampoco en el riñón. Sólo fue detectado en la muestra de hueso del animal C2. La concentración encontrada ( $74.87 \mu\text{g g}^{-1}$  peso seco) es muy alta comparada con el hallazgo de Varanasi *et al.* (1994), quienes reportaron las máximas concentraciones de cromo en  $\mu\text{g g}^{-1}$  base seca



de 1.90 en el hígado, 4.76 en el riñón y 0.28 en el cerebro de ballenas grises. Sin embargo, existen pocos estudios en los cetáceos que hacen alusión a la toxicidad al cromo (Law, 1996), por lo que casi no se puede hacer un análisis comparativo con otros estudios.

### IX.- CADMIO:

El cadmio no fue detectado en ninguno de los tejidos de las ballenas grises analizados en este estudio. Una explicación a esto es que las concentraciones de cadmio encontradas en tejidos de mamíferos marinos están en relación a la dieta que ingieren, ya que el transporte transplacentario de este metal es nulo. Altas concentraciones de cadmio son acumuladas en las gónadas e hígado de cefalópodos. Bustamante *et al.* (1998), revelaron que la concentración de cadmio en muchos mamíferos marinos se relaciona directamente con la dieta basada en cefalópodos, los que se consideran como la fuente principal para la bioacumulación del cadmio en los tejidos de cetáceos. Muir *et al.*, (1992) consideran al Ártico rico de forma natural en cadmio, aquí se han realizado estudios en morsas del Mar de Bering, encontrándose concentraciones de cadmio de hasta  $50 \mu\text{g g}^{-1}$  base húmeda (Law, 1996).

Otra posible causa que explique por qué el cadmio no haya sido detectado en este estudio tiene que ver con el tipo de tejido analizado, ya que los principales depósitos de cadmio en los organismos de mamíferos marinos son los riñones y el hígado. No obstante que en este estudio se analizó un riñón, este pertenecía a un animal neonato y como ya se mencionó anteriormente no existe evidencia que soporte la idea de una transferencia transplacentaria de cadmio. Sin embargo el cadmio si ha sido detectado en ballenas grises, ya que en el estudio de Varanasi *et al.* (1994) encontraron concentraciones máximas en hígado de  $6.2 \mu\text{g g}^{-1}$  base húmeda y en riñón de  $6.1 \mu\text{g g}^{-1}$  base húmeda.

### X.- MERCURIO:

El mercurio tampoco fue detectado en ninguno de los tejidos analizados en este estudio. En el caso del mercurio ocurre algo similar al cadmio en cuanto a que la transferencia transplacentaria solo ocurre para el metil mercurio y la mayoría del mercurio en los tejidos de mamíferos marinos se encuentra en forma inorgánica, como resultado de la habilidad que tienen los mamíferos marinos en demetilar el mercurio en sus organismos (Law, 1996). Esto explica la ausencia de mercurio en animales jóvenes.

Otra causa que explique esto es la dieta, ya que el principal aporte de mercurio a los tejidos de mamíferos marinos es de origen dietario, principalmente aquellos mamíferos marinos que se alimentan de peces tienden a bioacumular mayores cantidades de este metal en sus organismos. La ballena gris como ya se mencionó se alimenta principalmente de crustáceos y rara vez incluye peces en su alimentación.

El tejido considerado como el mayor depósito de mercurio es el hígado (Marcovecchio *et al.*, 1990, Law *et al.* 1997), el cual no se analizó en este estudio, aunque en otro misticeto, la ballena de aleta *Balaenoptera physalus*, se encontró cerca



del 80% de la concentración de mercurio en el músculo (Law, 1996). Sin embargo Varanasi *et al.* (1994) reporta para la ballena gris concentraciones máximas en  $\mu\text{g g}^{-1}$  base húmeda en hígado de 0.12 y en riñón de 0.06.

#### **XI.- ARSÉNICO:**

El arsénico presentó una mayor concentración en los huesos y los músculos de 5 de las 6 ballenas en las que se detectó este metal. Existe una relación en la que el arsénico se concentra en mayor cantidad a mayor longitud del animal, este hallazgo también fue descrito anteriormente por Law (1996).

Las concentraciones reportadas en este estudio se encuentran entre los intervalos previamente presentados en otros estudios de mamíferos marinos. Varanasi *et al.* (1994) reportaron una concentración promedio de arsénico en  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco de 1.42 en hígado y 2.09 en riñón; lo que representa una mayor afinidad del arsénico por estos tejidos.

La toxicidad al arsénico depende considerablemente del estado de oxidación del elemento en el compuesto arsenical. En cualquier especie animal (Hapke, 1991) el arsénico en estado de oxidación III es fatal a dosis orales de 30 a 100 ppm ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). La dosis fatal para humanos es de 70 - 180 mg de trióxido de arsénico por vía oral (Léonard, 1991). Las concentraciones de arsénico encontradas en tejidos de ballena gris se encuentran muy por debajo de la concentración reportada como tóxica.

#### **XII.- SELENIO:**

El selenio en este estudio se encontró en 14 de las 19 muestras (74%); la mayor cantidad del selenio detectado se encontró en las muestras de piel. Por lo que respecta a este estudio, existe una gran afinidad del selenio por la piel. Estadísticamente existe gran dispersión (coeficiente de variación 153.88) en las concentraciones de selenio encontradas en el presente estudio.

Comparando este estudio con otros anteriores, las concentraciones encontradas en el hueso y en el músculo son similares a las reportadas por la literatura Varanasi *et al.* (1994) reportaron en ballenas grises concentraciones en  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco de selenio de 9.52 en hígado y de 6.19 en riñón. Esta última es mayor a la encontrada en el riñón en este estudio. Sin embargo se muestra la capacidad del hígado para acumular selenio, en parte debido a que se ha documentado que el selenio funciona como antagonista para mitigar la toxicidad al formar selenuros con los metales pesados (Bouquegneau *et al.*, 1997; Law *et al.* 1997; Holsbeek *et al.*, 1998; Wagemann *et al.* 1998, Meador *et al.* 1999).

La dosis tóxica para porcinos, caninos y felinos por vía oral es de 10 ppm (Hapke, 1991), para los humanos una dosis diaria de 1 ppm de selenio puede producir toxicidad crónica (Fishbein, 1991). Las muestras que tuvieron un cociente mayor de 1 fueron las de piel, tejido en el que el selenio mostro una mayor afinidad



### ACUMULACIÓN DE ELEMENTOS EN LOS TEJIDOS ANALIZADOS.-

Utilizando la media de la concentración de cada elemento para cada tejido, se puede obtener la acumulación o carga de la concentración de elementos en los tejidos analizados (Figura no. 6); en donde se aprecia que entre los cuatro tejidos el riñón fue el que presentó una mayor carga de metales pesados, a pesar de que de los 12 elementos sólo se detectaron cinco de ellos. En el riñón se presentó la mayor concentración registrada para hierro y zinc, la segunda más alta después del hueso de plomo y manganeso y después de la piel obtuvo la segunda mayor concentración de selenio. Es posible que ocurra este fenómeno debido al papel fisiológico desempeñado por el riñón al ser un órgano de excreción y que los elementos se encuentren en tránsito, además de que es uno de los órganos que reciben mayor irrigación sanguínea (Varanasi *et al.* 1994).

El músculo fue el tejido que después del riñón presentó una acumulación mayor de elementos, aquí se detectaron 7 de los 12 elementos. Cabe hacer mención que ninguno de ellos presentó la concentración más alta en este tejido. Aunque si la segunda mayor en los casos de cobre, zinc, hierro y arsénico. También el músculo es un tejido que recibe una alta irrigación sanguínea debido al papel fisiológico que ocupa el músculo durante las inmersiones de los cetáceos.

A pesar de que en el hueso se concentraron en mayor cantidad el cobre, manganeso, plomo y arsénico y fue en el único tejido donde se detectó el níquel, fue el segundo tejido en donde menor acumulación de elementos ocurrió. En este tejido se detectaron nueve de los doce elementos analizados.

Por último en la piel se detectaron 6 de los 12 elementos que se analizaron en este estudio. Fue el tejido donde menor acumulación de elementos ocurrió, a excepción del selenio, en el que la concentración de este elemento es mayor en la piel que en cualquier otro elemento.

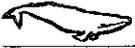
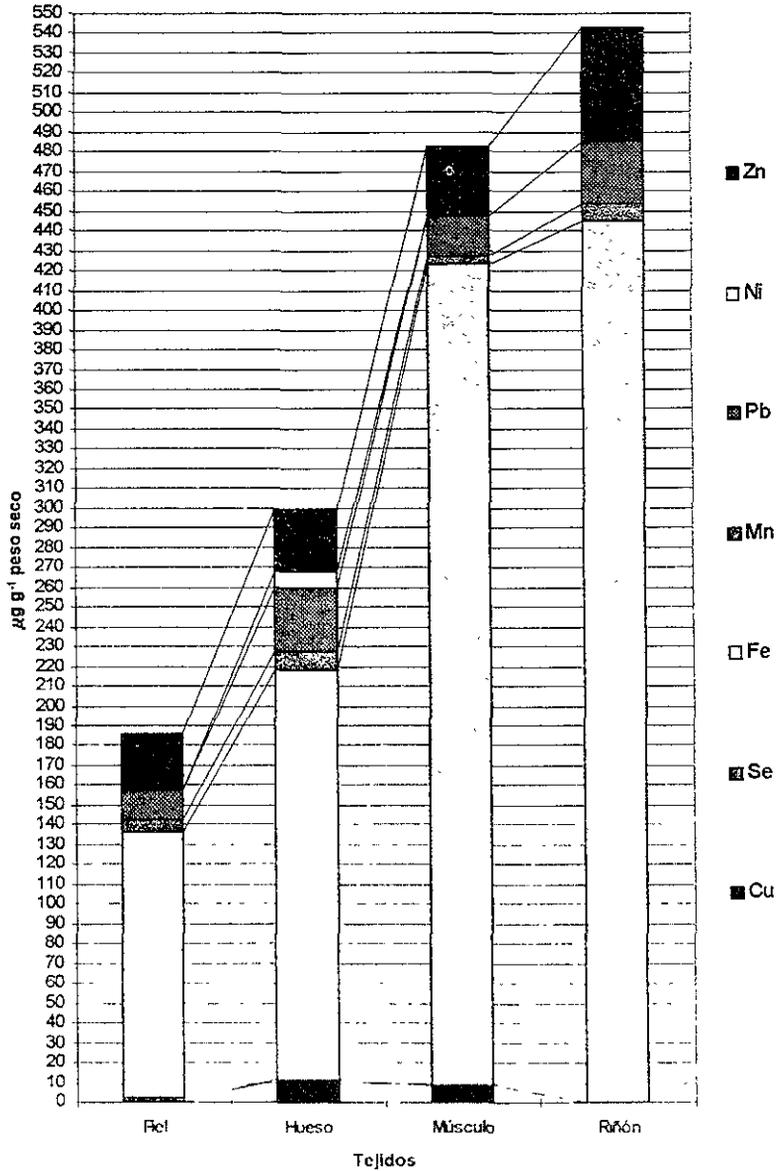


Figura no. 6.- Acumulación de elementos en los tejidos analizados





## b) Sedimentos:

En cada una de las 12 muestras se midieron los óxidos de elementos mayores y los traza además del contenido de materia orgánica y carbonatos (Cuadro no. 16).

Cuadro no. 16a.- Concentración de óxidos de elementos mayores en las muestras de sedimento de la Laguna Ojo de Liebre (Concentración en porcentaje).

| Estación             | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO   | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | P X C <sup>1</sup> | M. O. <sup>2</sup> | CaCO <sub>3</sub> |
|----------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1                    | 74.044           | 0.09             | 13.666                         | 0.611                          | 0.008 | 0.293 | 4.518 | 4.099             | 1.324            | 0.251                         | 1.75               | 0.10               | 4.38              |
| 2                    | 71.053           | 0.476            | 14.414                         | 1.776                          | 0.059 | 0.98  | 4.625 | 4.192             | 1.45             | 0.263                         | 1.58               | 0.17               | 6.71              |
| 3                    | 70.59            | 0.36             | 13.81                          | 1.5                            | 0.05  | 0.844 | 5.059 | 4.076             | 1.47             | 0.249                         | 2.36               | 0.24               | 4.77              |
| 4                    | 70.46            | 0.761            | 13.909                         | 2.42                           | 0.08  | 1.199 | 4.612 | 4.056             | 1.333            | 0.294                         | 1.37               | 0.20               | 4.25              |
| 5                    | 74.269           | 0.347            | 13.134                         | 1.14                           | 0.044 | 0.661 | 3.842 | 3.955             | 1.554            | 0.402                         | 1.15               | 0.25               | 3.62              |
| 6                    | 72.035           | 0.285            | 14.744                         | 1.545                          | 0.047 | 0.834 | 4.55  | 4.191             | 1.33             | 0.352                         | 0.91               | 0.26               | 3.48              |
| 7                    | 69.737           | 0.336            | 14.563                         | 1.805                          | 0.047 | 1.024 | 4.488 | 4.431             | 1.4              | 0.248                         | 2.11               | 0.49               | 2.71              |
| 8                    | 68.618           | 0.889            | 14.439                         | 2.959                          | 0.104 | 1.56  | 5.429 | 4.064             | 1.218            | 0.362                         | 1.28               | 0.19               | 3.87              |
| 9                    | 71.167           | 0.258            | 13.278                         | 1.24                           | 0.039 | 0.754 | 5.369 | 3.994             | 1.352            | 0.281                         | 2.7                | 0.33               | 5.16              |
| 10                   | 70.782           | 0.354            | 13.579                         | 2.988                          | 0.051 | 0.939 | 4.297 | 4.06              | 1.328            | 0.199                         | 2.17               | 0.39               | 2.97              |
| 11                   | 20.069           | 0.167            | 4.719                          | 1.249                          | 0.026 | 1.913 | 35.2  | 2.811             | 0.644            | 0.191                         | 33.1               | 0.98               | 74.95             |
| 12                   | 69.243           | 0.35             | 13.47                          | 1.678                          | 0.06  | 1.015 | 5.933 | 4.012             | 1.318            | 0.306                         | 3.29               | 0.44               | 5.57              |
| Media*               | 71.09            | 0.41             | 13.91                          | 1.79                           | 0.05  | 0.92  | 4.79  | 4.10              | 1.37             | 0.29                          | 1.88               | 0.28               | 5.54              |
| Desviación Estándar* | 1.70             | 0.22             | 0.52                           | 0.71                           | 0.02  | 0.30  | 0.57  | 0.12              | 0.09             | 0.06                          | 0.69               | 0.12               | 1.12              |

Cuadro no. 16b - Concentración de elementos traza en las muestras de sedimento de la Laguna Ojo de Liebre (Concentración en ppm ó  $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

| Estación             | Cu    | Zn    | Pb    | V     | Ni    | Cr    | Co    | Th   | Rb   | Sr    | Ba    | Y     | Zr    | Nb   |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1                    | 47    | 19    | 10    | 19    | 12    | 17    | 14    | 5    | 33   | 529   | 470   | 7     | 76    | <0.7 |
| 2                    | 39    | 27    | 8     | 45    | 56    | 47    | 63    | 5    | 35   | 478   | 493   | 15    | 193   | 4    |
| 3                    | 42    | 26    | 14    | 35    | 8     | 29    | 8     | 7    | 37   | 500   | 486   | 13    | 155   | 2    |
| 4                    | 35    | 30    | 10    | 54    | 24    | 41    | 23    | 6    | 32   | 480   | 484   | 19    | 299   | 5    |
| 5                    | 46    | 14    | 11    | 28    | 23    | 26    | 25    | 5    | 38   | 473   | 549   | 12    | 173   | 2    |
| 6                    | 40    | 24    | 11    | 43    | 14    | 29    | 16    | <3   | 34   | 513   | 487   | 12    | 110   | 2    |
| 7                    | 39    | 40    | 10    | 43    | 12    | 34    | 11    | 7    | 35   | 502   | 480   | 12    | 128   | 4    |
| 8                    | 34    | 37    | 10    | 76    | 14    | 48    | 14    | 5    | 29   | 498   | 430   | 23    | 280   | 7    |
| 9                    | 42    | 18    | 11    | 33    | 17    | 35    | 18    | 5    | 34   | 554   | 477   | 10    | 120   | 2    |
| 10                   | 41    | 21    | 8     | 41    | 20    | 23    | 22    | 5    | 35   | 487   | 482   | 12    | 151   | 4    |
| 11                   | <0.5  | 16    | <5    | 29    | <0.5  | 13    | 6     | <3   | 16   | 1063  | 75    | 4     | 97    | 1    |
| 12                   | 36    | 25    | 10    | 45    | 10    | 25    | 12    | 4    | 32   | 567   | 443   | 12    | 139   | 1    |
| Media*               | 40.09 | 25.55 | 10.27 | 42    | 19.09 | 32.18 | 20.55 | 5.40 | 34   | 507.4 | 480.1 | 13.36 | 165.8 | 3.30 |
| Desviación Estándar* | 3.96  | 7.50  | 1.54  | 14.06 | 12.67 | 9.46  | 14.35 | 0.92 | 2.37 | 29.56 | 28.62 | 4.14  | 65.60 | 1.73 |

<sup>1</sup> Pérdida por calcinación

<sup>2</sup> Materia orgánica

\*Calculada después de eliminar los valores de la muestra 11, ya que se trata de una muestra de composición carbonatada, la cual es químicamente diferente a las demás muestras



• **Factor de Contaminación en las muestras de sedimento.-**

En el cuadro no. 17 se observa el factor de contaminación para cada una de las muestras y para cada uno de los metales, a excepción del rubidio cuya concentración en la corteza terrestre no se ha reportado.

Cuadro no 17 - Factor de contaminación en las muestras de sedimento de la Laguna Ojo de Liebre

| Estación             | Cu   | Zn    | Pb   | V    | Ni   | Cr   | Co   | Th   | Sr    | Ba    | Y    | Zr   | Nb   |
|----------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 1                    | 1.18 | 0.28  | 0.67 | 0.17 | 0.27 | 0.19 | 0.74 | 0.38 | 1.41  | 1.11  | 0.25 | 0.50 | 0.03 |
| 2                    | 0.98 | 0.39  | 0.53 | 0.41 | 1.24 | 0.53 | 3.32 | 0.38 | 1.27  | 1.16  | 0.54 | 1.27 | 0.17 |
| 3                    | 1.05 | 0.38  | 0.93 | 0.32 | 0.18 | 0.33 | 0.42 | 0.54 | 1.33  | 1.14  | 0.46 | 1.02 | 0.08 |
| 4                    | 0.88 | 0.43  | 0.67 | 0.50 | 0.53 | 0.47 | 1.21 | 0.46 | 1.28  | 1.14  | 0.68 | 1.97 | 0.21 |
| 5                    | 1.51 | 0.20  | 0.73 | 0.26 | 0.51 | 0.30 | 1.32 | 0.38 | 1.26  | 1.29  | 0.43 | 1.14 | 0.08 |
| 6                    | 1.00 | 0.35  | 0.73 | 0.39 | 0.31 | 0.33 | 0.84 | 0.23 | 1.37  | 1.15  | 0.43 | 0.72 | 0.08 |
| 7                    | 0.98 | 0.58  | 0.67 | 0.39 | 0.27 | 0.39 | 0.58 | 0.54 | 1.34  | 1.13  | 0.43 | 0.84 | 0.17 |
| 8                    | 0.85 | 0.54  | 0.67 | 0.70 | 0.31 | 0.55 | 0.74 | 0.38 | 1.33  | 1.01  | 0.82 | 1.84 | 0.29 |
| 9                    | 1.05 | 0.26  | 0.73 | 0.30 | 0.38 | 0.40 | 0.95 | 0.38 | 1.48  | 1.12  | 0.38 | 0.79 | 0.08 |
| 10                   | 1.03 | 0.30  | 0.53 | 0.38 | 0.44 | 0.26 | 1.16 | 0.38 | 1.30  | 1.13  | 0.43 | 0.99 | 0.17 |
| 11                   | 0.40 | 15.41 | 5.00 | 0.04 | 2.16 | 0.01 | 1.53 | 1.00 | 0.001 | 0.001 | 0.57 | 0.02 | 0.21 |
| 12                   | 0.90 | 0.36  | 0.67 | 0.41 | 0.22 | 0.28 | 0.63 | 0.31 | 1.51  | 1.04  | 0.43 | 0.91 | 0.04 |
| Media*               | 1.00 | 0.37  | 0.68 | 0.39 | 0.42 | 0.37 | 1.08 | 0.40 | 1.35  | 1.13  | 0.48 | 1.09 | 0.13 |
| Desviación Estándar* | 0.10 | 0.11  | 0.10 | 0.13 | 0.28 | 0.11 | 0.76 | 0.09 | 0.08  | 0.07  | 0.15 | 0.43 | 0.08 |

\* Calculada después de eliminar los valores de la muestra 11, ya que se trata de una muestra de composición carbonatada, la cual es químicamente diferente a las demás muestras.

Se puede apreciar que en general la mayoría de los elementos analizados el Factor de Contaminación es  $\leq 1$ , es decir que se encuentran por debajo de la concentración del valor utilizado para calcular el CF. Sólo el cobalto, estroncio, bario y circonio están por arriba de la concentración de la corteza terrestre, aunque cabe considerar la falta de datos sobre la variación natural de los elementos en la corteza terrestre.

En el caso del cobre, no obstante que el CF es igual a 1, cinco estaciones muestran un  $CF > 1$  por lo que puede inferirse que en estas estaciones existe una concentración de cobre mayor a la de la concentración de la variación natural de cobre en la corteza terrestre, por lo que quizá pueda existir un aporte de origen antropogénico hacia los sedimentos de la laguna, hecho que concuerda con los hallazgos del EF y en las concentraciones de cobre en agua, como se explicará más adelante

• **Factor de Enriquecimiento de las muestras de sedimento.-**

En el cuadro no 18 se resumen los valores del factor de enriquecimiento para cada estación y para cada elemento, a excepción del rubidio pues no se ha reportado el valor de la concentración de este metal en la corteza terrestre



Cuadro no 18 - Factor de enriquecimiento en las muestras de sedimento de la Laguna Ojo de Liebre.

| Estación             | Cu   | Zn    | Pb    | V    | Ni   | Cr   | Co   | Th   | Sr   | Ba   | Y    | Zr   | Nb   |
|----------------------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1                    | 1.34 | 0.31  | 0.76  | 0.20 | 0.30 | 0.22 | 0.84 | 0.44 | 1.61 | 1.26 | 0.29 | 0.57 | 0.03 |
| 2                    | 1.06 | 0.42  | 0.58  | 0.45 | 1.35 | 0.58 | 3.59 | 0.42 | 1.38 | 1.26 | 0.58 | 1.37 | 0.18 |
| 3                    | 1.18 | 0.43  | 1.05  | 0.36 | 0.20 | 0.37 | 0.48 | 0.61 | 1.51 | 1.29 | 0.52 | 1.15 | 0.09 |
| 4                    | 0.98 | 0.49  | 0.75  | 0.56 | 0.60 | 0.52 | 1.36 | 0.52 | 1.44 | 1.28 | 0.76 | 2.21 | 0.23 |
| 5                    | 1.37 | 0.24  | 0.87  | 0.31 | 0.61 | 0.35 | 1.56 | 0.46 | 1.50 | 1.53 | 0.51 | 1.35 | 0.10 |
| 6                    | 1.06 | 0.37  | 0.78  | 0.42 | 0.33 | 0.35 | 0.89 | 0.24 | 1.45 | 1.21 | 0.45 | 0.77 | 0.09 |
| 7                    | 1.04 | 0.62  | 0.71  | 0.42 | 0.29 | 0.41 | 0.62 | 0.58 | 1.43 | 1.21 | 0.46 | 0.90 | 0.18 |
| 8                    | 0.91 | 0.58  | 0.72  | 0.75 | 0.34 | 0.59 | 0.80 | 0.42 | 1.43 | 1.09 | 0.89 | 1.99 | 0.32 |
| 9                    | 1.23 | 0.31  | 0.86  | 0.36 | 0.44 | 0.47 | 1.11 | 0.45 | 1.74 | 1.32 | 0.42 | 0.93 | 0.10 |
| 10                   | 1.17 | 0.16  | 0.61  | 0.43 | 0.51 | 0.30 | 1.33 | 0.44 | 1.49 | 1.30 | 0.49 | 1.14 | 0.19 |
| 11                   | 1.32 | 51.03 | 16.56 | 0.12 | 7.14 | 0.04 | 5.06 | 3.31 | 0.00 | 0.00 | 1.89 | 0.07 | 0.69 |
| 12                   | 1.04 | 0.42  | 0.77  | 0.48 | 0.26 | 0.33 | 0.73 | 0.36 | 1.75 | 1.21 | 0.50 | 1.06 | 0.05 |
| Media*               | 1.13 | 0.40  | 0.77  | 0.43 | 0.47 | 0.41 | 1.21 | 0.45 | 1.52 | 1.27 | 0.53 | 1.22 | 0.14 |
| Desviación Estándar* | 0.14 | 0.13  | 0.12  | 0.14 | 0.30 | 0.11 | 0.82 | 0.10 | 0.12 | 0.10 | 0.16 | 0.47 | 0.08 |

\* Calculada después de eliminar los valores de la muestra 11, ya que se trata de una muestra de composición carbonatada, la cual es químicamente diferente a las demás muestras

El Factor de enriquecimiento para la mayoría de los elementos se encuentra por debajo de la relación metal-aluminio de la concentración utilizada de la corteza terrestre. Sólo se encontró elevada para los casos de cobre, cobalto estroncio, bario y circonio; resultado similar al encontrado para el factor de contaminación.

Se confirma que para el cobre ocurre un fenómeno similar al que se describirá para el caso del agua de la laguna en el que también existe una concentración por arriba de la del océano mundial y se confirma que a partir del agua de mar el cobre se difunde a los sedimentos. Por lo tanto, la presencia de concentraciones arriba del promedio o consideradas como naturales nos señala que para el caso del cobre en los sedimentos existe un aporte antropogénico. Aunque aquí cabe señalar que los tejidos de ballena gris no mostraron una concentración de cobre elevada por lo que se puede especular que al menos en el particular caso de las ballenas grises estudiadas en este trabajo no existe *bioacumulación* para cobre proveniente de la Laguna Ojo de Liebre. Por otra parte los resultados en tejido analizados muestran que la principal *bioacumulación* ocurre para el caso del plomo, en este estudio se ha demostrado que el plomo no se encuentra por arriba de la concentración considerada como natural.

#### • Análisis de Factores.-

El cuadro no. 19 resume el análisis de factores en dónde se aprecian las características químicas que diferencian entre si a las muestras de sedimento. Tres factores explican el 81.93% de la variación de las muestras.



Cuadro no 19.- Análisis de Factores de las muestras de sedimento de la Laguna Ojo de Liebre

|                                  | Factor 1          | Factor 2          | Factor 3          |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| SiO <sub>2</sub> %               | <b>0.95662136</b> | 0.14142528        | 0.0903724         |
| TiO <sub>2</sub> %               | 0.08888918        | <b>0.95030205</b> | 0.13513372        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | <b>0.90355067</b> | 0.30246329        | 0.06471067        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | -0.00153397       | <b>0.81366978</b> | -0.15528375       |
| MnO %                            | 0.08898219        | <b>0.94341806</b> | 0.08123673        |
| MgO %                            | <b>-0.8163448</b> | 0.51351192        | -0.07383868       |
| CaO %                            | <b>-0.946198</b>  | -0.20551067       | -0.06965911       |
| Na <sub>2</sub> O %              | <b>0.89689556</b> | 0.23292905        | 0.00974771        |
| K <sub>2</sub> O %               | <b>0.95164551</b> | 0.05900899        | 0.18772121        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %  | 0.39328806        | 0.28158455        | 0.28387823        |
| P X C %                          | <b>-0.9360187</b> | -0.24062402       | -0.08398458       |
| Cu ppm                           | <b>0.96571236</b> | -0.0589976        | 0.06505073        |
| Zn ppm                           | 0.16742106        | <b>0.70553361</b> | -0.22658621       |
| Pb ppm                           | 0.1447751         | 0.00439109        | -0.29315225       |
| V ppm                            | 0.00092198        | <b>0.94089131</b> | 0.00205517        |
| Ni ppm                           | 0.42771975        | 0.29033029        | <b>0.83623946</b> |
| Cr ppm                           | 0.35702394        | <b>0.79891725</b> | 0.40848757        |
| Co ppm                           | 0.33561988        | 0.22303348        | <b>0.87412996</b> |
| Th ppm                           | 0.48875972        | 0.23246886        | -0.24483569       |
| Rb ppm                           | <b>0.95217588</b> | -0.02227051       | 0.1056126         |
| Sr ppm                           | <b>-0.930634</b>  | -0.2867403        | -0.10912843       |
| Ba ppm                           | <b>0.96353464</b> | 0.12646904        | 0.14566029        |
| Y ppm                            | 0.33829635        | <b>0.90041597</b> | 0.13855857        |
| Zr ppm                           | 0.10920259        | <b>0.8846242</b>  | 0.22520929        |
| Nb ppm                           | 0.12456831        | <b>0.9100758</b>  | 0.06043092        |
| Peso de                          |                   |                   |                   |
| Cada Factor                      | 42.15 %           | 31.20 %           | 8.58 %            |

P X C = Pérdida por calcinación.

\* El nivel de significancia fue de  $p > 0.7$ .

**Factor 1.-** Este factor explica el 42.15 % de las características químicas de los sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre, las variables principales están conformadas por los óxidos de silicio, de aluminio, de magnesio, sodio y potasio. También conforman a este factor los elementos traza: cobre, rubidio y bario. Negativamente correlacionados a este factor está el óxido de calcio, la pérdida por calcinación y el estroncio. Con esto se deduce que el principal componente son los minerales aluminio-silicatos.

**Factor 2 -** El óxido de titanio, de hierro, de manganeso y los metales traza zinc, vanadio, cromo, itrio, circonio y niobio conforman el segundo factor con un porcentaje de variación explicado de 31.20%

**Factor 3 -** A este factor le pertenece un porcentaje de variación de 8.58% y sus principales componentes lo conforman los metales traza níquel y cobalto.



### c) Agua:

#### CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA DE LA LAGUNA OJO DE LIEBRE.-

En el agua de la Laguna Ojo de Liebre basados en los resultados obtenidos en el análisis de tejidos de ballenas grises y de los sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre, se decidió analizar cobre, plomo y mercurio (Cuadro no. 20). El cobre fue analizado debido a los resultados arrojados por los sedimentos en donde se demostró que la concentración de este metal están por arriba de la concentración máxima reportada como natural. El plomo fue analizado debido a que en los tejidos de ballena gris se encontraron cantidades altas de plomo comparadas con otros estudios de cetáceos. Por último el mercurio también fue analizado considerando el hecho de que se trata de un metal tóxico en muy bajas concentraciones y que su presencia por lo general demuestra contaminación.

#### I.- COBRE:

La concentración promedio reportada para los océanos es de 0.3 - 0.64  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Scheinberg, 1991), no obstante Langston (1990) reportó una máxima concentración considerada como natural en el Mar Báltico de 6.8  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; por lo que se observa que la concentración de cobre en el agua de la laguna se encuentra por arriba de la concentración del océano mundial, aunque cabe señalar que esta no se encuentra en niveles que pudieran considerarse como tóxicos, ya que la concentración permitida para el cultivo de peces es de 40  $\mu\text{g L}^{-1}$ , (Scheinberg, 1991) que es una concentración por debajo de la detectada en el agua de la Laguna Ojo de Liebre. Sin embargo, los aportes antropogénicos de cobre al medio marino constituye la mayor fuente de contaminación, en donde se transfiere a través del agua de mar a los diferentes componentes del sistema marino (Sadiq, 1992), Hapke (1991) estableció que la concentración letal de cobre en agua para peces es de 20  $\mu\text{g L}^{-1}$  en aguas ácidas y de 520  $\mu\text{g L}^{-1}$  en aguas alcalinas.

El perfil de cobre en la laguna muestra un patrón similar al fisicoquímico en donde la concentración en  $\mu\text{g L}^{-1}$  puede dividirse en tres regiones: a) Boca.- También corresponde a las estaciones 1-4 y que tienen un promedio de concentración de 28.71, b) Parte Central.- En la parte central de la laguna la concentración de cobre disminuye considerablemente en las estaciones 5-8, en donde el promedio fue 6.85 y por último c) Parte Interna - En donde vuelve a aumentar la concentración en las estaciones 9-12, aquí se registró un promedio de 21.60.

#### II.- PLOMO:

La concentración de plomo en el agua de la Laguna Ojo de Liebre, se puede considerar como no contaminada, ya que se encuentra en una concentración debajo de 0.1  $\mu\text{g L}^{-1}$  que según Forstner y Wittmann (1981) y Sadiq (1992) dicha concentración se considera como natural Hapke (1991) reportó que la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* se observan efectos tóxicos a concentraciones de 1000  $\mu\text{g L}^{-1}$

Cuadro no. 20 - Metales Pesados en agua de la Laguna Ojo de Liebre (Concentración en ppb ó  $\mu\text{g L}^{-1}$ )

| MUESTRA                    | Cu                    | Pb                 | Hg                 |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 1-s                        | 31.96                 | 0.021              | -                  |
| 1-p                        | 40.00                 | 0.014              | -                  |
| 2-s                        | 6.15                  | 0.017              | -                  |
| 2-p                        | 41.62                 | 0.018              | -                  |
| 3                          | 10.66                 | 0.014              | -                  |
| 4-s                        | 65.02                 | 0.018              | -                  |
| 4-p                        | 5.59                  | 0.019              | -                  |
| 5-s                        | 1.76                  | 0.021              | -                  |
| 5-p                        | 1.08                  | 0.020              | -                  |
| 6                          | 8.81                  | 0.028              | -                  |
| 7                          | 10.13                 | 0.030              | -                  |
| 8-s                        | 13.39                 | 0.038              | -                  |
| 8-p                        | 5.93                  | 0.031              | -                  |
| 9                          | 24.81                 | 0.034              | -                  |
| 10                         | 21.3                  | 0.035              | -                  |
| 11                         | 22.81                 | 0.031              | -                  |
| 12                         | 17.51                 | 0.034              | -                  |
| <b>MEDIA</b>               | 19.33                 | 0.024              | -                  |
| <b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b> | 16.65                 | 0.007              | -                  |
| <b>LÍMITE DE DETECCIÓN</b> | $2.36 \times 10^{-5}$ | $3 \times 10^{-3}$ | $2 \times 10^{-4}$ |
| <b>PRECISIÓN (%)</b>       | 87.9                  | 97.8               | -                  |

- Indica metal no detectado.

También se detectan tres regiones (concentración en  $\mu\text{g L}^{-1}$ ): a) Boca - En dónde existe un promedio de concentración de 0.017; b) Parte Central.- Aquí se registró un promedio de concentración de 0.024 y c) Parte Interna.- En dónde se registró en promedio de concentración de plomo de 0.033.

Sadiq (1992) sugirió que el plomo puede ser bioacumulado directamente del agua de mar, pero como ya se mencionó anteriormente, al ser las ballenas grises mamíferos que respiran mediante pulmones y no por agallas, la absorción de metales y de elementos en general directamente del agua de mar es prácticamente nulo.

En relación a la salinidad el plomo forma fuertes complejos con el cloro en agua de mar; por lo que un incremento en la salinidad aumenta el plomo disuelto e incrementa su bioutilización (Sadiq, 1992), fenómeno que ocurre en la Laguna Ojo de Liebre pues existe un incremento en la salinidad de la boca ( $\approx 35\text{‰}$ ) al interior de la laguna ( $\approx 39\text{‰}$ ).

Por otra parte, los hidróxidos de hierro son los principales responsables de la remoción del plomo del agua de mar, se ha demostrado que los hidróxidos de hierro incrementan la precipitación hacia los sedimentos de fosfato de plomo que es prácticamente insoluble. Por lo tanto un incremento en hidróxido de hierro disminuirá la concentración de plomo disuelto y por ende disminuirá la bioacumulación de plomo en organismos que absorben plomo directamente del agua de mar. Esta interacción entre



hierro y plomo aumentará la bioacumulación de plomo en aquellos organismos que ingieren sedimentos (Sadiq, 1992), como en cierta medida ocurre en la ballena gris.

### **III.- MERCURIO:**

El mercurio no fue detectado en ninguna de las muestras de agua de mar de la Laguna Ojo de Liebre, por lo que es de esperar que su concentración se encuentre por debajo del límite de detección que fue de  $0.0002 \mu\text{g L}^{-1}$ . Si esto fuera cierto la concentración de este metal se encuentra por debajo de la concentración promedio de mercurio en el océano mundial que tiene un intervalo de  $0.0002$  a  $0.0004 \mu\text{g L}^{-1}$ . La concentración letal para la trucha arco iris es de  $200 \mu\text{g L}^{-1}$  y se ha presentado mortalidad en cangrejos a concentraciones en agua de  $6 \mu\text{g L}^{-1}$  (Hapke, 1991).

#### **• Factor de Contaminación en las muestras de agua.-**

En el cuadro no. 21 se observa el factor de contaminación para cada una de las muestras de agua y para cada uno de los metales.

En el caso del cobre, el cuál es uno de los elementos de interés en este estudio, el CF es mayor a 1, por lo que puede inferirse que en la mayoría de las muestras (12 de 17, que corresponde al 71%) existe una concentración de cobre mayor a la concentración máxima reportada de la variación natural de cobre en los océanos, hecho que concuerda con los hallazgos del CF y EF en las concentraciones de cobre en sedimentos como ya se explicó con antelación. Por lo que se puede considerar como un hecho que exista un aporte de origen antropogénico de cobre hacia la laguna.

Por otra parte el CF de plomo para las muestras de agua de mar de la Laguna Ojo de Liebre se encuentran muy por debajo de 1. Esto también concuerda con los hallazgos del CF y EF para la concentración de plomo en los sedimentos, por lo que se infiere que en la Laguna Ojo de Liebre no existe un aporte de plomo de origen antropogénico. Esto último contrasta con los resultados encontrados en las concentraciones de plomo en tejidos de ballena gris.

Por lo tanto se puede inferir que las ballenas grises están expuestas al cobre cuando se encuentran en la Laguna Ojo de Liebre, sin embargo como ya se mencionó anteriormente el cobre es un elemento que rara vez provoca toxicidad y que por otro lado, es esencial para el metabolismo. Además, las altas concentraciones de plomo encontradas en los tejidos de ballena gris contrastan con las bajas concentraciones de plomo encontradas en los sedimentos y el agua de la Laguna Ojo de Liebre, de aquí se puede deducir que las ballenas grises no están bioacumulando el plomo hacia sus tejidos proveniente de las concentraciones de plomo de la Laguna Ojo de Liebre.



Cuadro no. 21 - Factor de contaminación en las muestras de agua de la Laguna Ojo de Liebre

| Estación            | Cu  | Pb   |
|---------------------|-----|------|
| 1-s                 | 4.7 | 0.18 |
| 1-p                 | 5.9 | 0.12 |
| 2-s                 | 0.9 | 0.15 |
| 2-p                 | 6.1 | 0.16 |
| 3                   | 1.6 | 0.12 |
| 4-s                 | 9.6 | 0.16 |
| 4-p                 | 0.8 | 0.17 |
| 5-s                 | 0.3 | 0.18 |
| 5-p                 | 0.2 | 0.17 |
| 6                   | 1.3 | 0.24 |
| 7                   | 1.5 | 0.26 |
| 8-s                 | 2.0 | 0.33 |
| 8-p                 | 0.9 | 0.27 |
| 9                   | 3.6 | 0.30 |
| 10                  | 3.1 | 0.30 |
| 11                  | 3.4 | 0.27 |
| 12                  | 2.6 | 0.30 |
|                     |     |      |
| Media               | 2.8 | 0.22 |
| Desviación Estándar | 2.4 | 0.07 |

**d) Correlación entre la concentración de metales pesados en tejidos de ballena gris contra la concentración de metales pesados en agua y sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre:**

Basado en los resultados encontrados en este estudio se decidió correlacionar la concentración de cobre, plomo y mercurio en tejidos de ballena gris contra la concentración de los mismos metales pesados en agua y sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre; ya que para el caso del cobre se demostró que existe un incremento en la concentración de este metal en la laguna comparada con la concentración promedio mundial. Mientras que para el plomo se demostró que existen altas concentraciones en tejidos que producen bioacumulación. Mientras que para el caso del mercurio su presencia tanto en agua como en sedimentos siempre se sospechará de contaminación, no obstante que la determinación de mercurio en sedimentos no fue realizada.

Se tiene la siguiente matriz con datos promedio de los contenidos de los metales Cu, Hg y Pb en ballenas grises, sedimentos y agua de la Laguna Ojo de Liebre (Cuadro no. 22 y figura no. 7), de la que se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadros no. 23 y 24)

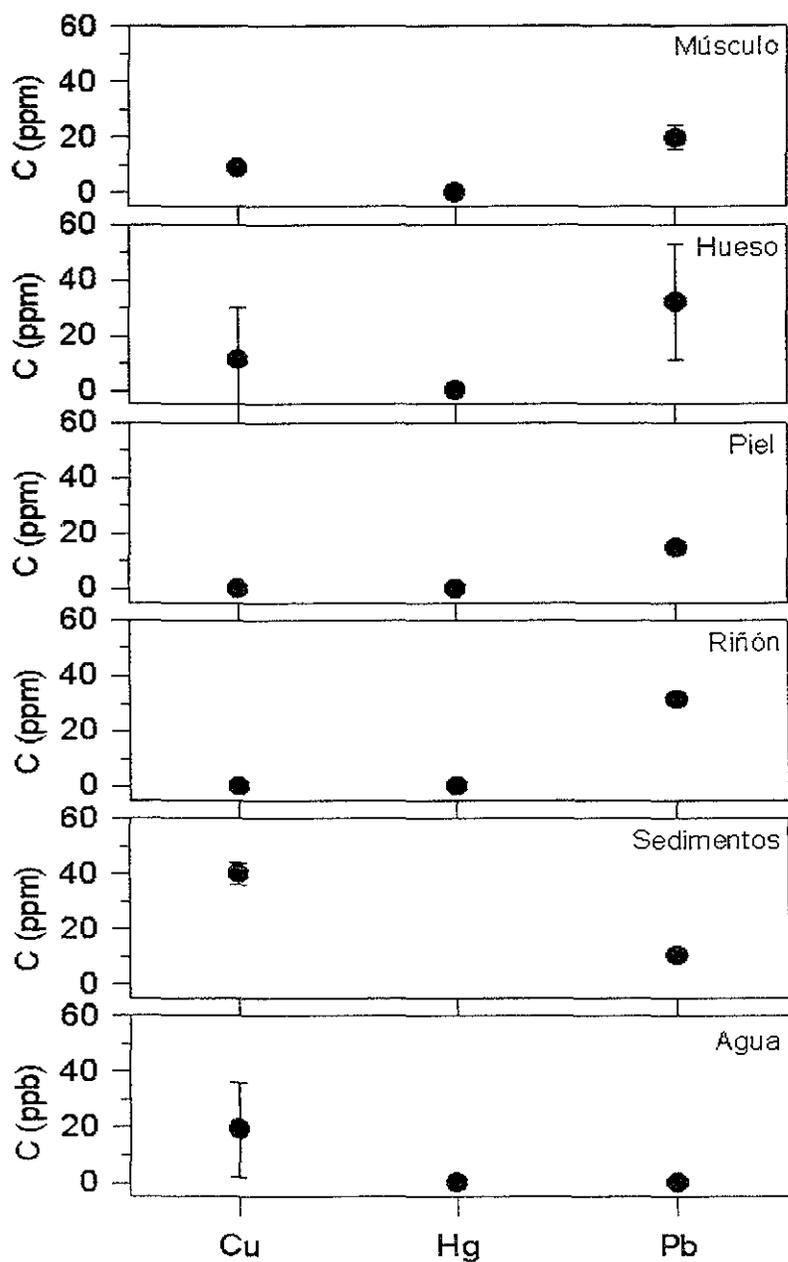


Figura no. 7 - Concentración de cobre, mercurio y plomo en tejidos de ballena gris, en sedimentos y agua de La Laguna Ojo de Liebre



Cuadro no 22.- Matriz de datos promedio para calcular las correlaciones entre metales pesados

|    | Músculo | Hueso | Piel  | Riñón | Sedimentos | Agua  |
|----|---------|-------|-------|-------|------------|-------|
| Cu | 08.93   | 11.34 | 00.00 | 00.00 | 40.09      | 19.33 |
| Hg | 00.00   | 00.00 | 00.00 | 00.00 | 00.00      | 00.00 |
| Pb | 19.81   | 31.98 | 14.83 | 31.58 | 10.27      | 00.02 |

Todas las concentraciones en ppm ( $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco) excepto las del agua en ppb ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ).

Cuadro no. 23 - Matriz de correlaciones

|            | Músculo | Hueso   | Piel    | Riñón   | Sedimentos | Agua   |
|------------|---------|---------|---------|---------|------------|--------|
| Músculo    | 1.0000  |         |         |         |            |        |
| Hueso      | 0.9940  | 1.0000  |         |         |            |        |
| Piel       | 0.8930  | 0.9369  | 1.0000  |         |            |        |
| Riñón      | 0.8930  | 0.9369  | 1.0000  | 1.0000  |            |        |
| Sedimentos | 0.1912  | 0.0827  | -0.2710 | -0.2710 | 1.0000     |        |
| Agua       | -0.0558 | -0.1647 | -0.4992 | -0.4992 | 0.9693     | 1.0000 |

Cuadro no 24 - Matriz de errores Tipo I

|            | Músculo | Hueso  | Piel   | Riñón  | Sedimentos | Agua   |
|------------|---------|--------|--------|--------|------------|--------|
| Músculo    | 1.0000  |        |        |        |            |        |
| Hueso      | 0.0990  | 1.0000 |        |        |            |        |
| Piel       | 0.3290  | 0.3470 | 1.0000 |        |            |        |
| Riñón      | 0.3240  | 0.3350 | 0.3480 | 1.0000 |            |        |
| Sedimentos | 0.9440  | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000     |        |
| Agua       | 1.0000  | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.1520     | 1.0000 |

Es evidente que existe una alta correlación y patrones de distribución en la concentración de metales entre los tejidos así como entre el agua y el sedimento de la laguna (Cuadro no. 23 y figura no. 7). La correlación entre tejidos y agua o entre tejidos y sedimentos es muy pequeña e incluso negativa. Estas correlaciones no muestran significancia estadística por la prueba de bootstrap en virtud del escaso número de metales analizados que generan un número muy pequeño de combinaciones aleatorias entre los datos.

Una razón para explicar la falta de correlación entre las variables para los casos de cobre y plomo, puede ser la alta variabilidad de la concentración que existe en los diferentes tejidos, ya que por ejemplo en el caso del cobre, el coeficiente de variación excedió el 100% (144.85%), mientras que para el plomo fue de 137.48%; debido a esta variación los intentos de correlacionar la concentración de elementos en tejidos contra la concentración de elementos en los sedimentos y en el agua es de escasa utilidad (Meador, et al 1994)



Debido a que la concentración de elementos en sedimentos es por lo general de forma localizada o puntual (en forma de parches) y que las ballenas son organismos que migran grandes distancias y que inclusive dentro de la misma laguna se mueven frecuentemente dentro de ella, es de esperarse que dicha variación se considere como normal. Por lo que es oportuno investigar qué está ocurriendo en los lugares en donde existe una alta densidad de población de estos animales, tanto en las áreas de alimentación como a lo largo del corredor migratorio, en lo que respecta al análisis tanto del agua como de los sedimentos en donde éstos organismos habitan para poder ofrecer una idea más completa de la situación que aquí se presenta. Además sería de utilidad determinar dónde ocurre la mayor deposición de éstos elementos al medio marino y ubicar las industrias o áreas urbanas que estén arrojando una alta cantidad de contaminantes.

Se recomienda para análisis posteriores tomar en cuenta otros organismos bentónicos de preferencia poco móviles para que pudiesen reflejar las concentraciones de metales encontradas en la Laguna Ojo de Liebre, estos datos en conjunto con las concentraciones de metales pesados en tejidos de ballena gris, puede delimitar el problema de la contaminación en éste cetáceo. La determinación de la bioacumulación de elementos tóxicos en los organismos que sirven de alimento para la ballena gris podrá ayudar al presente trabajo en la determinación de la transferencia de contaminantes a través de la cadena alimenticia hacia las ballenas.



## 8) CONCLUSIONES.-

- Los tejidos que mayor concentración o afinidad de elementos mostraron son para cada caso: a) Hueso para cobre, manganeso, plomo, níquel y arsénico; b) Riñón para zinc, hierro y también plomo; c) Músculo también para hierro y d) Piel para selenio.
- Las ballenas grises tienden a acumular metales esenciales: cobre, zinc, hierro y manganeso en edades tempranas; a medida que el animal crece las concentraciones de estos elementos disminuyen notablemente.
- Las concentraciones de plomo encontradas en los tejidos de ballena gris durante el presente estudio indican que puede existir toxicidad, la cual pudiera provocar la debilitación de las ballenas y consecuentemente la muerte. Sería conveniente delimitar cuales son los daños específicos que provoca el plomo a la población de ballenas grises.
- No obstante lo anterior, existe evidencia significativa para afirmar que las altas concentraciones de plomo en los tejidos de ballena gris no se relacionan con las concentraciones de plomo en agua y sedimentos de la laguna, por lo que podría inferirse que dichas concentraciones no son resultado de la bioacumulación como consecuencia de la ingestión eventual de sedimentos y agua de la Laguna Ojo de Liebre.
- A pesar de las concentraciones de cobre por arriba del promedio mundial encontradas tanto en el agua como en los sedimentos de la Laguna Ojo de Liebre, tampoco se mostraron evidencias para afirmar que las concentraciones de cobre en el agua y los sedimentos de la laguna se relacionan con las concentraciones de cobre en tejidos de ballena gris.



## 9) LITERATURA CITADA.-

- Aluja A.; (1985): *Necropsias en animales domésticos*. CECSA. México.
- Augier H., W. K. Park y C. Ronneau; (1993): *Metal contamination of the striped dolphin Sterella coeruleoalba Meyer from the French Mediterranean Coast*. Marine Pollution Bulletin. 26: 306-311.
- Bouquegneau J. M., V. Debacker, S. Gobert & J. P. Nellisen; (1997): *Toxicological investigations on four sperm whales stranded on the Belgian coast: inorganic contaminants*. Bulletin de L'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Biologie. 67-Suppl.: 75-78.
- Burkart W.; (1991): *Uranium, Thorium and Decay Products*. En: *Metals and their Compounds in the Environment; Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Bustamante P, F. Caurant, S. W. Fowler, P. Miramand; (1998): *Cephalopods as a vector for the transfer of cadmium to top marine predators in the north-east Atlantic Ocean*. The Science of the Total Environment. 220: 71-80.
- Byerum R. V.; (1991): *Vanadium*. En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence; Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Carranza-Edwards A., Bocanegra-García G., Rosales-Hoz L., de Pablo G. L.; (1998): *Beach Sands from Baja California Peninsula, Mexico*. Sedimentary Geology. 119: 263-274.
- Deuber R. y T. Heim; (1991): *Yttrium*. En: *Metals and their Compounds in the Environment; Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Diario Oficial de la Federación; *Lunes 10 de enero de 2000*. Poder Ejecutivo Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D. F. 11-17.
- Dierauf L. A. y L. J. Gage; (1990): *Gross necropsy of cetaceans and pinnipeds*. En: *CRC Handbook of Marine Mammal Medicine, Health, Disease and Rehabilitation*. Editado por Dierauf, L. A. CRC PRESS.
- Eccardi F y C Carrillo; (1999) *Reserva de la Biosfera El Vizcaíno*. Folleto Informativo Enkidu Editores.
- Ewers U y H Schlipkoter, (1991): *Lead*. En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.



- Falconer C. R., I. M. Davies & G. Topping, (1983): *Trace metals in the Common porpoise (Phocoena phocoena)*. Marine Environmental Research. 8: 119-127.
- Fishbein, L.; (1991): *Selenium*. En: *Metals and their Compounds in the Environment; Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany
- Fisher, D.; (1992): *Copper*. En: *Hazardous Materials Toxicology: Clinical Principles of Environmental Health*. Editado por J. B. Sullivan, Jr. y G. R. Kriegerian. William and Wilkins, Baltimore, USA.
- Förstner U. y G. T. W. Wittmann; (1981): *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag. New York. 2<sup>nd</sup> edition.
- Fujise Y., K. Honda, R. Tatsukawa y S. Mishima; (1988): *Tissue distribution of heavy metals in Dall's porpoise in the Northwestern Pacific*. Marine Pollution Bulletin. 19 (5): 226-230.
- Gauglhofer J. y V. Bianchi; (1991): *Chromium*. En: *Metals and their Compounds in the Environment; Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Geller R. J.; (1992): *Chromium*. En: *Hazardous Materials Toxicology. Clinical Principles of Environmental Health*. Editado por J. B. Sullivan, Jr. y G. R. Kriegerian. William and Wilkins, Baltimore, USA.
- GESAMP; (1990): *The state of the marine environment*. Blackwell Scientific Publications.
- Gilmore Jr. J. D. y Bronstein A. C.; (1992). *Manganese and Magnesium*. En: *Hazardous Materials Toxicology. Clinical Principles of Environmental Health*. Editado por J. B. Sullivan, Jr. y G. R. Kriegerian. William and Wilkins, Baltimore, USA
- Gilmore R. M., (1960): *A census of the California Gray Whale*. Special Scientific Report. Fisheries USF&WS, 342.
- Goering P. L. y B. A. Fowler, (1991): *Niobium*, En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Gonçalves E. P. R., R. A. R. Boaventura and C. Mouvet, (1992): *Sediments and aquatic mosses as pollution indicators for heavy metals in the Ave river basin (Portugal)*. The Science of the Total Environment. 114: 7-24.
- Green G.; (1981): *El complejo lagunar Ojo de Liebre y Guerrero Negro en Baja California*. En: *La Ballena Gris Centro de Estudios Económicos y Sociales del 3º Mundo*. México.
- Groen P.; (1969) *Physical hydrology of coastal lagoons*. En: *Lagunas costeras. Un Simposio Memorias Simposio Internacional de Lagunas costeras UNAM-UNESCO Mexico*



- Hair Jr. J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham, W. C. Black; (1995): *Multivariate Data Analysis with Readings*. Prentice Hall. 4<sup>th</sup> Edition.
- Hanly K. A.; (1998): *The Gray Zone, Industrial threats to Gray Whales in Baja, Mexico*. Investigative Network with Whale and Dolphin Conservation Society, Swiss Coalition for the Protection of Whales.
- Hapke, H. J.; (1991): *Effects of Metals on Domestic Animals*. En: *Metals and their Compounds in the Environment; Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Holsbeek L., U. Siebert, C. R. Joiris; (1998): *Heavy metals in dolphins stranded on the French Atlantic coast*. *The Science of the Total Environment*. 217: 241-249.
- Huebers H. A.; (1991): *Iron*. En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence; Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- INE; (1993): *Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno*. SEDESOL, México.
- INE y CONABIO; (1995): *Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México*. Investigación y coordinación Arturo Gomez-Pompa y Rodolfo Dirzo. México.
- INEGI; (1984): *Carta de Climas*. Escala 1 :1,000,000.
- Joiris C. R., L. Holsbeek, M. Bossicart & G. Tapia, (1997): *Mercury and organochlorines in four sperm whales stranded on the Belgian coast, November 1994*. *Bulletin de L'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Biologie*. 67-Suppl.: 79-89.
- Kannan N., S. Tanabe, M. Ono, y R. Tatsukawa; (1989): *Critical evaluation of polychlorinated biphenyl toxicity in terrestrial and marine mammals: Increasing impact of non-ortho and mono-ortho coplanar polychlorinated biphenyls from land to ocean*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 18: 850-857.
- Kannan N., S. Tanabe, A. Borrell, A. Aguilar, S. Focardi, y R. Tatsukawa; (1993): *Isomer-specific analysis and toxic evaluation of polychlorinated biphenyls in Striped dolphins affected by an epizootic in the Western Mediterranean Sea*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 25. 227-223.
- Kemper C., P. Gibbs, D. Obendorf, S. Marvanek, C. Lenghaus; (1994): *A review of heavy metal and organochlorine levels in marine mammals in Australia*. *The Science of the Total Environment*. 154: 129-139.
- Keogh J P ; (1992): *Lead*. En: *Hazardous Materials Toxicology: Clinical Principles of Environmental Health* Editado por J. B. Sullivan, Jr. y G. R. Kriegerian. William and Wilkins, Baltimore, USA



- Kuehl D. W. y R. Haebler; (1995): *Organochlorine, organobromine, metal and selenium residues in Bottlenose dolphin (Tursiops truncatus) collected during an unusual mortality event in the Gulf of Mexico, 1990*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 28: 494-499.
- Langston, W. J.; (1990): *Toxic Effects of Metals and the Incidence of Metal Pollution in Marine Ecosystems*. En: CRC Heavy Metals in the Marine Environment. Editado por: R. W. Furness and P. S. Rainbow. CRC Press. Boca Raton Florida.
- Law R. J., B. R. Jones, J. R. Baker, S. Kennedy, R. Milne y R. J. Morris; (1992): *Trace metals in the livers of marine mammals from the Welsh coast and the Irish Sea*. Marine Pollution Bulletin. 24: 296-304.
- Law R. J., (1996): *Metals in Marine Mammals*. En: Environmental Contaminants in Wildlife. Editado por Nelson Beyer, Gary H. Heinz and Amy W. Redman-Norwood. CRC-Lewis
- Law R. J., R. J. Morris, C. R. Allchin & B. R. Jones; (1997): *Metals and chlorobiphenyls in tissues of sperm whales (Physeter macrocephalus) and other cetacean species exploiting similar diets*. Bulletin de L'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Biologie. 67-Suppl.: 79-89.
- Léonard, A.; (1991): *Arsenic*. En: Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence; Analysis and Biological Relevance. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Li W. y Zharkikh A.; (1994): *What Is the Bootstrap Technique?*. Systematic Biology 43(3): 424-430.
- Libes S.; (1992): *An introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley & Sons. New York.
- Lozano S R., S. P. Verma, P. Girón, F. Velasco, D. J. Morán, F. Viera y G. Chávez; (1995): *Calibración preliminar de fluorescencia de rayos X para análisis cuantitativo de elementos mayores en rocas ígneas*. Actas INAGEQ. 1: 203-208.
- Maravilla-Chávez. M.; (1991): *La ballena gris de California (Eschrichtius robustus)*. En: La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno en la Península de Baja California. Compilado por Ortega A. y L. Arriaga Centro de Investigaciones Biológicas de BCS, La Paz, México.
- Marcovecchio J. E., V. J. Moreno, R. O. 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: 299-304.
- Marcovecchio J. E., M. S. Gerpe, R. O. Bastida, D. H. Rodríguez, S. G. Moron, (1994): *Environmental contamination and marine mammals in coastal waters from Argentina: an overview* The Science of the Total Environment 154: 141-151



- Meador J. P., R. C. Clark, Jr., P. A. Robisch, D. W. Ernest, J. T. Landahl, U. Varanasi, S. Chan, y B. B. McCain; (1994): *Analyses of Elements in Sediment and Tissue Cycles I to V (1984-88)*. NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-16. National Benthic Surveillance Project: Pacific Coast. National Status and Trends Program.
- Meador J. P., D. Ernest, A. A. Hohn, K. Tilbury, J. Gorzelany, G. Worthy, J. E. Stein; (1999): *Comparison of elements in Bottlenose dolphins stranded on the beaches of Texas and Florida in the Gulf of Mexico over a one-year period*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 36: 87-98.
- Morris R. J., R. J. Law, C. R. Allchin, C. A. Kelly y C. F. Fileman; (1989): *Metals and organochlorines in dolphins and porpoises of Cardigan Bay, West Wales*. Marine Pollution Bulletin. 20 (10): 542-523.
- Muir D. C. G., R. Wagemann, N. P. Griff, R. J. Nostrom, M. Simon y J. Lien; (1988): *Organochlorine chemical and heavy metal contaminants in White-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*) and Pilot whales (*Globicephala melaena*) from the coast of Newfoundland, Canada*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 17: 613-629.
- Muir D. C. G., R. Wagemann, B. T. Hargrave, D. J. Thomas, D. B. Peakall y R. J. Nostrom; (1992): *Arctic Marine Contamination*. Science of the Total Environment. 122. 75-134.
- Ohnesorge K., M. Wilhelm; (1991): *Zinc*. En: *Metals and their Compounds in the Environment; Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany
- Olivera S. A.; (1997). *Estudio Geoquímico de Sedimentos Litorales del Pacífico Mexicano*. Tesis de Licenciatura, UNAM. México.
- Outridge P. M., Evans R. D., Wagemann R., Stewart R. E. A.; (1997). *Historical trends of heavy metals and stable lead isotopes in beluga (*Delphinapterus leucas*) and walrus (*Odobenus rosmarus rosmarus*) in the Canadian Arctic*. Science of the Total Environment. 302 (3): 209-219.
- Parsons E. C. M.; (1998): *Trace metal pollution in Hong Kong: Implications for the health of Hong Kong's Indo-Pacific Hump-backed dolphins (*Sousa chinensis*)*. The Science of the Total Environment. 214: 175-184.
- Quarterman J.; (1986): *Lead*. En: *Trace elements in humans and animal nutrition* 5th ed. Vol. 2 Academic Press. USA.
- Ravichandran M., M. Baskaran, P. H. Santschi y T. S. Bianchi; (1995): *History of Trace Metal Pollution in Sabine-Neches Estuary, Beaumont, Texas*. Environmental Science & Technology 29 (6).
- Reilly S., (1992) *Population Biology and status of Eastern Pacific Gray Whales Recent Developments* Wildlife Biology 2000



- Rice D W y A. A. Wolman, (1971): *The life history and Ecology of Gray Whale*. Special Publication No. 3. The American Society of Mammalogists.
- Rice D. W., A. A. Wolman, H. W Braham; (1984): *The Gray Whale Eschrichtius robustus* Marine Fisheries Review. 46 (4) 7-14
- Sadiq M.; (1992): *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*. Marcel Dekker Inc.
- Salinas-Zavala C. A., R. Coria-Benet, E. Díaz-Rivera; (1991): *Climatología y meteorología*. En: La reserva de la Biosfera El Vizcaíno en la Península de Baja California. Compilado por Ortega A. y Arriaga L Centro de Investigaciones Biológicas de BCS, La Paz, México.
- Sánchez P. J.; (1990): *Distribución de la ballena gris (Eschrichtius robustus) en la Laguna Ojo de Liebre, BCS, México*. Tesis de Licenciatura. UABCS. México.
- Sánchez P. J.; (1996): *Protección y Conservación de la Ballena Gris en México*. Gaceta Ecológica Nueva Epoca. 40: 22-29 México.
- Sánchez P. J.; (1998): *Gray whale mortality at Ojo de Liebre and Guerrero Negro Lagoons, Baja California Sur, Mexico: 1984-1995*. Marine Mammal Science. 14 (1) 149-155.
- Savory J., Wills M R.; (1991): *Aluminium*. En: *Metals and their Compounds in the Environment; Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Scheinberg I. H., (1991): *Copper*. En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence; Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Schiele R.; (1991): *Manganese*. En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence; Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Schrauzer G. N.; (1991): *Cobalt*. En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence; Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- SEDUE; (1984): *Aspectos socioeconómicos de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno*. Departamento de Protección y Restauración, Subdelegación de Ecología La Paz, BCS, México.
- Shlosberg A., M Bellaiche, S. Regev, R. Gal, M. Brizzi, V. Hanji, L. Zaidel y A. Nyska; (1997): *Lead toxicosis in a captive Bottlenose dolphin (Tursiops truncatus) consequent to ingestion of air gun pellets* Journal of Wildlife Diseases 33 (1): 135-139.



- Stoeppler M.; (1991): *Cadmium*. En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Sunderman F. W. Jr. y A. Oskarsson; (1991): *Nickel*. En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Tanabe S., N. Kannan, M. Ono and R. Tatsukawa; (1989): *Toxic threat to marine mammals: Increasing toxic potential of non-ortho and mono-ortho coplanar PCBs from land to ocean*. *Chemosphere*. 18 (1-6): 485-490.
- Thomas D. J. (1992): *Selenium*. En: *Hazardous Materials Toxicology: Clinical Principles of Environmental Health*. Editado por J. B. Sullivan, Jr. y G. R. Kriegerian. William and Wilkins, Baltimore, USA.
- Tilbury K. L., J. E. Stein, J. P. Meador, C. A. Krone y S. Chan; (1997): *Chemical contaminants in Harbor porpoise (*Phocoena phocena*) from the North Atlantic coast: Tissue concentrations and intra- and inter-organ distribution*. *Chemosphere*. 34 (9/10): 2159-2181.
- Varanasi U., J. E. Stein, K. L. Tilbury, J. P. Meador, C. A. Sloan, R. C. Clark, S. Chan; (1994): *Chemical contaminants in gray whales (*Eschrichtius robustus*) stranded along the west coast of North America*. *The Science of the Total Environment*. 145 29-53.
- Vargas J. A ; (1981): *La ballena Gris de México*. En: *La Ballena Gris. Centro de Estudios Económicos y Sociales del 3º Mundo*. México.
- Verma P. S., R. Lozano, P. Girón y F. Velasco; (1996): *Calibración preliminar de fluorescencia de rayos X para análisis cuantitativo de elementos traza en rocas ígneas*. *Actas INAGEQ*. 2: 237-242.
- Vetter W., B. Luckas, G. Heidemann, K. Skirnisson; (1996): *Organochlorine residues in marine mammals from the Northern hemisphere - A consideration of the composition of organochlorine residues in the blubber of marine mammals*. *The Science of the Total Environment*. 186: 29-39.
- Von Burg R. y M. R Greenwood,.; (1991): *Mercury*. En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Editado por E. Merian. VCH Publishers. Weinheim, Germany.
- Wagemann R , E. Trebacz, G. Boila, W. L. Lockhart; (1998): *Methylmercury and total mercury in tissues of arctic marine mammals*. *The Science of the Total Environment*. 218: 19-31.
- Wedepohl K. H.; (1991). *The composition of the Upper's Earth Crust and the Natural Cycles of Selected Metals Metals in Natural Raw Materials. Natural Resources* En: *Metals and their Compounds in the Environment, Occurrence, Analysis and Biological Relevance* Editado por E Merian VCH Publishers. Weinheim, Germany.