

62
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTUDIO DE LA CONCENTRACION DE METALES EN HUESO
TEMPORAL Y DIENTE, POR CATEGORIAS DE EDAD EN EL LOBO
MARINO *Zalophus californianus* (LESSON, 1828)
DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G A

P R E S E N T A :

VERONICA FARIAS GONZALEZ



MEXICO, D. F.



1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
Estudio de la Concentración de Metales en Hueso Temporal y
Diente, por Categorías de Edad en el Lobo Marino Zalophus
californianus (Lesson, 1828) del Golfo de California.

realizado por Verónica Farías González.

con número de cuenta 9052188-1 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Propietario	Dra. María Elena Cuspinera Mercadillo.
Propietario	M. en C. (MVZ) René Rosiles Martínez.
Propietario	MVZ Janitzio Ariel Bautista Ordoñez.
Suplente	Dr. David Aurióles Gamboa.
Suplente	Biol. Oscar Sánchez Herrera.

[Handwritten signatures and initials]

[Handwritten signature]
Consejo Departamental de Biología
M. en C. Alejandro Martínez Mena.
COORDINACION GENERAL
DE BIOLOGIA

A MIS PADRES, quienes con su apoyo y gran ejemplo contribuyeron a lograr mi formación personal y superación profesional.

A MIS HERMANOS, Agustín, Adrián y Marcela, compañeros de aventuras y batallas con quienes compartí los inolvidables momentos de mi vida.

A MI DIRECTORA DE TESIS, Dra. Ma. Elena Cuspinera Mercadillo, quien compartió conmigo sus conocimientos y experiencia, y siempre me brindó su apoyo para la culminación de mi trabajo profesional.

A mi adorado novio y amigo, Martín J. Utrilla Castillo, por su gran amor, comprensión y confianza.

**A todos los seres que aman, disfrutan
y respetan la vida silvestre.**

CONTENIDO

	<u>PÁGINA</u>
Resumen	VI
Abstract	VII
I Introducción	1
II Antecedentes	4
1. Metales esenciales traza	4
2. Metales tóxicos	9
3. Límites permisibles y niveles de tolerancia	14
4. Concentración de metales en los mamíferos marinos	16
5. Concentración de metales en hueso y diente	20
III Objetivos	23
IV Material y Método	24
1. Colecta del material y área de estudio	24
2. Categorías de edad en el lobo marino de California	26
3. Manejo y obtención de las muestras	28
4. Procesamiento analítico	29
5. Conversión de los datos	31
6. Análisis de los datos	32
V Resultados	33
1. Concentración promedio de metales en el hueso y en el diente	33
1.1 Diferencias significativas entre las concentraciones de metales en el hueso y en el diente	37
1.2 Correlación entre las concentraciones de metales	39
1.3 Variabilidad de las concentraciones de metales en hueso y diente	39
2. Concentración de los metales en hembras y machos	41
2.1 Diferencias significativas entre hembras y machos de lobo marino	41
3. Concentración de los metales por edades	45
3.1 Categorías de edad	53

VI	Discusión	55
1.	Concentración de metales en el hueso y en el diente	55
1.1	Diferencias significativas entre las concentraciones de metales en el hueso y en el diente	59
1.2	Correlación entre las concentraciones de metales	61
1.3	Variabilidad de las concentraciones de metales en hueso y diente	62
2.	Concentración de los metales en hembras y machos	64
3.	Concentración de los metales por edades	66
3.1	Categorías de edad	68
4.	Los metales pesados en el lobo marino de California	71
VII	Conclusiones	75
VIII	Literatura citada	77
IX	Agradecimientos	87
X	Anexos	89

RESUMEN

FARÍAS GONZÁLEZ VERÓNICA. Estudio de la concentración de metales en hueso temporal y diente, por categorías de edad en el lobo marino *Zalophus californianus* (Lesson, 1828) del Golfo de California. (Bajo la dirección de: Dra. Ma. Elena Cuspinera Mercadillo.)

La edad es un factor importante en la acumulación de metales pesados en los tejidos de los mamíferos marinos. El tejido óseo funciona como reservorio de minerales esenciales y metales tóxicos, y su contenido refleja la acumulación a lo largo de la vida del animal. En este estudio se comparan las concentraciones de 12 metales en la bula (hueso temporal) y en el diente (postcanino) de 51 cráneos de ejemplares de lobo marino *Zalophus californianus* del Golfo de California de ambos sexos y de diferentes categorías de edad. Para la determinación de las concentraciones de metales se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Se determinó el sexo de los ejemplares mediante el dimorfismo sexual de los cráneos y dientes caninos. La edad se estimó utilizando el método de conteo de estrías en el canino. Después del Calcio, el Aluminio, Hierro, Zinc y Plomo presentaron las mayores concentraciones en hueso y diente. La bula presentó mayores concentraciones de Fe, Al y Mercurio que el diente. El diente tuvo mayores concentraciones de Níquel, Cobalto, Cromo y Cadmio que la bula. El mayor contenido de Fe en la bula probablemente se deba a la mayor movilización de minerales en hueso y a la función hematopoyética de la médula ósea. Las hembras tuvieron mayores concentraciones de Zn que los machos en hueso y diente, probablemente debido a que los machos movilicen este metal del tejido óseo para cubrir los requerimientos de Zn en el desarrollo sexual y la espermatogénesis. El Al, Fe y Cr en bula, y el Al, Zn y Cr en diente presentaron tendencia a aumentar con la edad de los animales. Los críos presentaron elevadas concentraciones de metales pesados en hueso y diente, lo que sugiere que las hembras transfieren estos metales a los críos durante la gestación y la lactancia.

ABSTRACT

FARIAS GONZALEZ VERONICA. Study of the metal concentrations in temporal bone and tooth, by ages in the California sea lion *Zalophus californianus* (Lesson, 1828) from the Gulf of California. (Directed by: PhD. Maria Elena Cuspinera Mercadillo.)

Heavy metals accumulate in the tissues of marine mammals through age. Bone is a tissue of maximum concentration for essential minerals and toxic metals, and its content reflects the long term accumulation. This study compares the concentrations of 12 metals in bone (temporal) and tooth (postcanine) of 51 skulls from California sea lions of both sexes and different ages. The atomic absorption spectrophotometric technic was used in the determination of metal's concentrations. The sex of the specimens was determined by means of the sexual dimorfism in the skull and canine teeth. The age was estimated by the canine growth layers. Besides Calcium, Aluminum, Iron, Zinc and Lead had the greatest concentrations in bone and tooth. Bone presented higher Fe, Al, and Mercury concentrations than tooth. Tooth had higher concentrations of Nickel, Cobalt, Chromium and Cadmium than bone. Bone had more than the double of Fe concentration than tooth, possibly due to the higher mobilization of minerals in bone, and to the bone marrow role in blood formation. Females had higher Zn concentrations in bone and tooth than males, possibly because males take this metal from the osseous tissue to cover the Zn requirements during sexual development and spermatogenesis. Al, Fe and Cr in bone, and Al, Zn and Cr in tooth had a tendency to increase with the age of the sea lions. Pups presented high concentrations of heavy metals in bone and tooth, and this suggests that females transfer these metals to pups during pregnancy and lactation.

I. INTRODUCCIÓN

En la última década el interés en la problemática ambiental ha aumentado significativamente en nuestro país, dándose así mucha importancia a la contaminación existente en los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos. Diversos autores han reportado que dentro de estos contaminantes se cuentan a los metales pesados, los cuales se acumulan en los tejidos de los seres vivos y a través de las redes tróficas de manera progresiva, hasta el punto en que sus concentraciones se pueden volver tóxicas para aquellos organismos que están en los niveles mas altos de la cadena alimenticia.

Los metales pesados como el Plomo, el Mercurio y el Cadmio, son tóxicos aún en concentraciones muy bajas y se desconoce si desempeñan alguna función biológica normal. En cualquier caso, su presencia en los tejidos puede reflejar el contacto con un ambiente contaminado por la actividad antropogénica. Los metales esenciales como el Zinc, el Cobre y el Cromo, normalmente se encuentran en los organismos en cantidades traza, pero al rebasar los límites de tolerancia orgánica producen toxicidad al igual que los metales no esenciales.

Los metales entran al organismo por la vía respiratoria, la digestiva o la cutánea. Una vez incorporados pueden permanecer en el organismo o ser excretados total o parcialmente dependiendo del elemento, de la forma química en que se encuentre y de la afinidad de los tejidos por cada uno de ellos.

El estudio de la acumulación de estos metales en los órganos de los mamíferos es muy importante, especialmente en los tejidos que tienen afinidad por ellos como el hígado, hueso y riñón, ya que los metales tóxicos pueden sustituir a los minerales esenciales. Por ejemplo, en el tejido óseo el Calcio puede ser substituído con facilidad por el Plomo durante el remodelado óseo, y en caso de haber deficiencia de Calcio la toxicidad del Plomo aumenta.

Los estudios metabólicos y toxicológicos de los metales revelan interacciones entre ellos, por lo que es importante conocer sus funciones en el metabolismo normal de los diferentes tejidos y su efecto en el caso de que se acumulen en ellos. Con frecuencia suscitan alteraciones fisiológicas que pueden repercutir en el desarrollo y reproducción del organismo y llevarlo en ocasiones hasta la muerte. También se deben considerar los efectos a corto, mediano y largo plazo, que son producto de la exposición y acumulación de metales, ya que a veces no es posible detectar el daño sino hasta etapas muy avanzadas de la intoxicación. En otras ocasiones los metales contenidos en los reservorios corporales, como el tejido óseo, pueden entrar en la circulación sanguínea provocando toxicosis, al pasar de un estado inerte a un estado activo.

En México se han realizado trabajos acerca de la concentración de metales en mamíferos terrestres (Alonso-González y Rosiles-Martínez, 1978; Reyes-Méndez y col., 1990), pero existen muy pocos estudios sobre la acumulación de estos metales en el tejido óseo en mamíferos marinos en este país. Dadas las características de su crecimiento económico, México es considerado actualmente como un país que sufre de altos índices de contaminación en las grandes ciudades. Ésto ha repercutido también en sus costas y mares, sin que puedan precisarse los niveles de contaminación que se alcanzarán en un futuro.

El lobo marino de California *Zalophus californianus* (Lesson, 1828), se alimenta de peces y calamares, se halla en la punta de la cadena trófica y presenta un periodo de vida largo, por lo que los metales tóxicos se acumulan en concentraciones importantes en sus tejidos. Los estudios sobre la identificación de los metales que se acumulan en los huesos y dientes de ejemplares de lobo marino de California pueden proporcionar información sobre el nivel de contaminación por metales tóxicos que existe en esta especie actualmente sujeta a protección especial (Diario Oficial 16-V-1994).

El Golfo de California comprende islas y regiones que han sido decretadas como áreas protegidas de México debido a que son zonas relevantes y representativas de ecosistemas con alta biodiversidad y que se consideran aún no alterados significativamente por la acción del ser humano (Montes de Oca, 1989). Por lo anterior, se puede esperar que el lobo marino común que habita en el Golfo de California presente menores niveles de contaminación que los mamíferos marinos que habitan en las zonas costeras industrializadas de la República Mexicana.

Es por esto que en el presente trabajo se estudian los metales y la concentración que se acumule en el tejido óseo y piezas dentales de ejemplares de lobo marino de California de ambos sexos y de diferentes edades, pudiendo indicar si alguno de estos factores favorece la acumulación de metales. Debido a que la concentración de metales tóxicos puede llegar a ser nociva para la biología de la población y reducir su éxito reproductivo en un momento dado, este tipo de estudios son un apoyo para conocer las concentraciones normales y los límites de tolerancia de estos animales hacia los metales en general.

II ANTECEDENTES

1. METALES ESENCIALES TRAZA

Los metales traza son esenciales para la vida, la salud y la reproducción de los organismos. Muchas de sus funciones están bien establecidas, tales como: servir de cofactores en reacciones enzimáticas, componentes estructurales de macromoléculas no enzimáticas, sitios de unión con el oxígeno, y electrolitos en los fluidos corporales. (Underwood, 1977). Según la definición de Nielsen (1984, citado en Fishbein, 1990), " un elemento es considerado esencial si una deficiencia de éste en la dieta resulta en un funcionamiento biológico subóptimo reversible por la cantidad fisiológica del elemento".

Los microelementos o elementos traza, Fe, I, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Se, Cr, F y Si, se requieren en cantidades minúsculas, del orden de miligramos o microgramos por día y se encuentran en concentraciones menores al 0.01 % del peso corporal (Humphreys, 1990; Linder, 1991). Estudios más recientes sugieren que ciertos elementos con concentraciones menores al 0.005 % del peso corporal, llamados elementos ultra traza, como el Arsénico, Níquel y Vanadio, también pudieran tener un papel en la nutrición animal y humana. (Fishbein, 1990; Church y Pond, 1990).

La célula absorbe los metales traza como cationes y de manera muy regulada en condiciones normales. Cuando se encuentran disponibles en exceso, la célula los incorpora en cantidades mayores y entonces producen efectos adversos para el organismo. (Albert, 1981).

A continuación se describen las funciones biológicas en que intervienen los metales esenciales traza, y los efectos y consecuencias en el caso de haber deficiencia o exceso de éstos en los tejidos de los mamíferos.

1.1 HIERRO

El Hierro (Fe) es el elemento traza más abundante en el cuerpo de los animales y del que se conoce mejor su función biológica. La mayor parte del Fe corporal se encuentra en la sangre, como componente central del grupo "hemo" de las hemoproteínas. Otra parte importante se localiza en el hígado y en el bazo, y en la médula ósea almacenado como ferritina y hemosiderina. (Champe y Harvey, 1987). Las principales funciones del Fe en el organismo están involucradas con el transporte de oxígeno de la sangre a los músculos y tejidos, y del transporte de electrones que ocurre en todas las células (Cuadro 2.1). (Linder, 1991).

CUADRO 2.1 Proteínas con Fe como grupo prostético o como cofactor.

PROTEÍNA	FUNCIÓN BIOLÓGICA
Hemoglobina	Transporta el O ₂ en los eritrocitos
Mioglobina	Almacena oxígeno en los músculos
Citocromo c	Transporta electrones en la mitocondria
Catalasa	Descompone el peróxido de hidrógeno
Peroxidasa	Cataliza la oxidación de diversas sustancias orgánicas por peróxidos
Ribonucleótido reductasa	Involucrada en la síntesis de desoxirribonucleótidos
Triptofano hidroxilasa	Inicia la formación del dopa y de la serotonina
Mieloperoxidasa	Destruye bacterias en los leucocitos
NADH deshidrogenasa	Enzima ferrosulfurada que transporta electrones

La deficiencia en Fe es la causa más común de la anemia microcítica e hipocrómica, en la que los eritrocitos son pequeños y la cantidad de hemoglobina en las células es inferior a la normal (Underwood, 1977; Merck, 1989).

Las toxicosis por Fe generalmente son el resultado del consumo elevado accidental de antianémicos. La intoxicación crónica en animales domésticos produce diarrea y disminución del crecimiento mientras que la intoxicación aguda ocasiona severo daño gastrointestinal, congestión vascular, acidosis metabólica, y la muerte (Osweiler y col., 1985).

1.2 ZINC

El Zinc (Zn) es un elemento muy activo que está ampliamente implicado en el metabolismo. Existen más de 200 metaloenzimas de Zn involucradas en la síntesis y/o en la degradación de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Tiene un papel fundamental en la expresión del potencial genético, reparación, síntesis e integridad estructural de los ácidos nucleicos. (Solomons, 1988, Fishbein, 1990).

CUADRO 2.2 Resumen: Importancia del Zn en el metabolismo de los mamíferos.

Metaloenzimas de Zn	Funciones fisiológicas del Zn en mamíferos	Manifestaciones clínicas de la deficiencia de Zn
Anhidrasa carbónica	Crecimiento celular	Retardo en el crecimiento
Alcohol deshidrogenasa	Fertilidad y reproducción	Hipogonadismo e
Superóxido dismutasa	Maduración sexual	Hipospermia en los machos
Fosfatasa alcalina	Replicación celular	Alopecia y lesiones en la piel
DNA y RNA polimerasas	Defensa inmune	Suceptibilidad a infecciones
Transcriptasa reversa	Visión nocturna	Deterioro de la cicatrización

Este elemento es necesario para el metabolismo y mantenimiento de la piel, del páncreas y de los órganos reproductivos masculinos (Underwood, 1977). Es importante en el metabolismo de la vitamina A y en la defensa inmunológica (Fishbein, 1990, Linder, 1991). (Cuadro 2.2).

La deficiencia de Zn en la dieta puede tener una influencia profunda en el crecimiento y en el desarrollo de los mamíferos, incluyendo el desarrollo y funcionamiento del cerebro (Underwood, 1977; Fishbein, 1990). (Cuadro 2.2). La mayor consecuencia de la ingestión elevada crónica de Zn es la deficiencia de Cu y Fe (Shils y Young, 1988).

1.3 COBRE

El Cobre (Cu) es requerido para la formación de los eritrocitos, del hueso y de la elastina en el sistema cardiovascular, para la mielinización de las fibras nerviosas cerebrales y de la médula espinal, y para la pigmentación normal de la

piel, del pelo y la lana (Cuadro 2.3). (Solomons, 1988; Church y Pond, 1990).

El síndrome de deficiencia de Cu incluye niveles bajos de ceruloplasmina, anemia, metabolismo alterado del Fe, trastornos en la pigmentación, anomalías cardiovasculares y óseas, y daño neurológico (Underwood, 1981; Fishbein, 1990).

CUADRO 2.3 Metaloenzimas asociadas con el Cobre y su función metabólica.

METALOEENZIMAS DE Cu	FUNCIÓN METABÓLICA
Citocromo c oxidasa	Producción de energía en la mitocondria
Citocromo oxidasa	Producción de mielina en las neuronas
Superóxido dismutasa	Protección contra aniones oxidantes
Ceruloplasmina	Transporte de Cu y Fe, Defensa contra radicales oxidantes
Lisil oxidasa	Entrelazamiento de colágena y elastina
Dopamina beta hidroxilasa	Síntesis de catecolamina neurotransmisora
Tirosinasa	Síntesis de melanina en la piel, pelo y lana

Los signos de intoxicación varían desde una disminución muy leve del crecimiento y anemia, hasta una muerte súbita acompañada de lesión hepática y hemorragia (Underwood, 1977; Church y Pond, 1990).

1.4 MANGANESO

El Manganeseo (Mn) es un componente de diversos sistemas enzimáticos presentes en todas las células. Está ampliamente involucrado en el metabolismo energético. Por ejemplo, en el Ciclo de Krebs (Piruvato carboxilasa, Acetil-CoA carboxilasa, Isocitrato deshidrogenasa), en la síntesis de la Urea (Arginasa), y en la síntesis de polisacáridos y glicoproteínas. También es indispensable para la formación normal del hueso. (Linder, 1991; Church y Pond, 1990).

La deficiencia de Mn, aunque no es común, tiene efectos substanciales en la producción de mucopolisacáridos que son importantes en el crecimiento y mantenimiento del tejido conectivo y óseo. En el ganado produce osteoporosis, cojera, inflamación y dolor de las articulaciones y deformidades en las

extremidades. (Underwood, 1981; Linder, 1991). Es un elemento muy benigno que puede ser tolerado oralmente en dosis muy elevadas. (Merck 1989; Linder, 1991).

1.5 COBALTO

La importancia del Cobalto (Co) para la nutrición y la salud se debe a su presencia en el centro del anillo corrínico de la vitamina B12, la cianocobalamina. Debido a su lenta utilización y a sus considerables reservas corporales, la deficiencia de Co sólo se manifiesta después de muchos meses como pérdida del apetito, pérdida de peso, reducción de la tasa de crecimiento, aumento de la concentración de globulos rojos y anemia. (Champe y Harvey, 1987).

Anderson y col. (1993) reportan que la exposición crónica al Co resulta en la degeneración de los túbulos seminíferos en roedores. El daño testicular puede ser prevenido al administrar Zn como pretratamiento o simultáneo a la administración del Co. La inyección de óxidos o sulfuros de Co produce cáncer en el sitio de la inyección, en el músculo o en la tiroides de animales de laboratorio (Linder, 1991).

1.6 CROMO

El Cromo en su forma orgánica trivalente (Cr+3) es un elemento esencial requerido por los animales para el metabolismo de los carbohidratos y de los lípidos. Su función consiste en aumentar la eficiencia de la insulina, por lo que la deficiencia de Cr se manifiesta como una baja tolerancia a la glucosa (Anderson, 1988; Fishbein, 1990). Además de esto, estudios in vitro sugieren que el Cr tiene un papel en la expresión génica durante la síntesis del RNA (Anderson, 1988).

La toxicidad del Cr se atribuye a la forma hexavalente (Cr+6) cuyos compuestos pueden ser absorbidos por ingestión, a través de la piel o por inhalación y que provocan graves daños en las vías respiratorias, hígado, riñón,

cerebro y piel (Bhamra y Costa, 1992). Se reconoce al Cr como un carcinógeno con actividad citotóxica, genotóxica y mutagénica (Bianchi y Levis, 1990).

1.7 NÍQUEL

El Níquel (Ni) está considerado como elemento esencial para los mamíferos a pesar de que su función metabólica no ha sido definida claramente. El Ni interactúa directa o indirectamente con por lo menos 13 elementos esenciales en animales, plantas y microorganismos. Las interacciones de mayor importancia biológica son con el Fe, Cu y Zn. (Nielsen, 1988; Fishbein, 1990).

Los signos de deficiencia del Ni se han descrito en vacas, cabras, cerdos, ratas y borregos, como disminución en el crecimiento y en la hematopoyesis, cambios en los niveles de Fe, Cu y Zn en el hígado, malformaciones óseas y deterioro en la utilización del Fe (Nielsen y Ollerich, 1974, citado en Nielsen, 1988; Kirshgessener y Schnegg, 1976).

Las intoxicaciones por Ni vía oral no son comunes, sin embargo, el inhalar compuestos como el carbonilo de Ni produce cáncer de pulmón (Linder, 1991). Las aleaciones y compuestos de Ni producen dermatosis y alergias por contacto (Bhamra y Costa, 1992). Así mismo son potentes carcinógenos por inyección intraperitoneal en animales de laboratorio (Furst y Fan, 1993).

2. METALES TÓXICOS

Se les llama metales tóxicos a los metales de los que no se conoce algún requerimiento biológico en los organismos que les asigne alguna función vital, y que tienen efectos adversos para los seres vivos. Sin embargo, todos los minerales esenciales pueden ser tóxicos cuando se consumen en cantidades excesivas, y la lista de los minerales traza y ultratrazas continúa en aumento reclasificando a

algunos minerales tóxicos y ubicuos como nutrimentos indispensables (Church y Pond, 1990). Los metales pesados se caracterizan por su alta toxicidad a pequeñas concentraciones y los graves daños que ocasionan en el desarrollo, crecimiento y reproducción de los organismos. Además de que éstos se acumulan progresivamente en los seres vivos y en las cadenas tróficas.

Actualmente se sabe que los metales tóxicos interaccionan con ciertos metales esenciales y con otros elementos nutritivos (Sandstead, 1977). Pueden interrumpir o bloquear enzimas durante los procesos metabólicos normales, produciendo alteraciones que van desde un nivel patológico leve hasta uno grave o mortal. En general, cuando hay deficiencia de algunos de estos elementos nutritivos aumenta la toxicidad de los metales pesados; mientras que las concentraciones incrementadas de metales esenciales parecen proteger del efecto tóxico de los metales pesados (Sandstead, 1977).

Debido a esto, es básico conocer los requerimientos biológicos de los metales, las funciones metabólicas de los mismos dentro del organismo y las concentraciones en las que pueden producir alteraciones fisiológicas por exceso. De esta manera, se evitarán los riesgos de exposición a las descargas indiscriminadas al ambiente de los metales y de los compuestos y desechos que en exceso son tóxicos para los seres vivos.

El Plomo, el Mercurio, el Cadmio y el Aluminio son metales pesados que han merecido especial interés en las últimas décadas debido a su prevalencia en la naturaleza. La creciente actividad industrial así como la falta de precauciones en el tratamiento de los desechos de sus compuestos, los ha redistribuido gradual y ampliamente desde la corteza terrestre al ser transformados por el ser humano y reincorporados al ambiente. En ocasiones los metales pesados son reincorporados al medio en compuestos de mayor toxicidad, incrementando así el riesgo de

exposición a estos elementos tóxicos aún en poblaciones que viven alejadas de los sitios de producción de estos contaminantes. (Bhamra y Costa, 1992).

2.1 ALUMINIO

La toxicidad del Aluminio (Al) está muy relacionada con desarreglos en la mineralización del hueso, ya que las deficiencias de Ca, Mg, Zn y P incrementan las concentraciones de Al en el hueso y en los tejidos blandos (Yasui y col., 1991b; Leonard y Gerber, 1988). Maloney y col. (1982) proponen que el Al inhibe la mineralización ósea al bloquear el depósito normal de minerales. El hueso y cerebro parecen ser los órganos blanco del Al en exceso. La acumulación del Al en el Sistema Nervioso Central es parcialmente dependiente de la interacción entre los minerales en el hueso (Yasui y col., 1991a), por lo que se le asocia con demencias degenerativas como la enfermedad de Alzheimer (Crapper y col., 1973; Perd y Brody, 1980) y con la osteomalacia (Dent y Winter, 1974). Los compuestos de Al son muy utilizados en la industria alimenticia como aditivos y en el procesamiento y empaquetado. También se utilizan en la fabricación de utensilios de hogar y equipos eléctricos, y como antiácidos y analgésicos (Bhamra y Costa, 1992).

2.2 CADMIO

El Cadmio (Cd) está cercanamente relacionado con el Zinc en cuanto a sus propiedades químicas. En estudios en animales de laboratorio se ha demostrado que el Zn y el Ca previenen del efecto tóxico del Cd (Yoshida y col., 1993). Como metal pesado resulta extremadamente tóxico. En las intoxicaciones agudas por inhalación o ingestión, el edema pulmonar o la disfunción renal respectivamente, son las causas inmediatas de la muerte, que llega a ocurrir hasta en unas cuantas horas o minutos (Stokinger, 1981). En la exposición crónica, la concentración mayor de Cd ocurre en hígado y riñón. El riñón es el principal órgano blanco donde induce una severa disfunción que se caracteriza por la excreción urinaria excesiva de proteínas séricas (proteinuria) (Yoshida y col., 1993). La enfermedad de Itai-itai,

una osteomalacia degenerativa muy dolorosa, es una manifestación extrema de la intoxicación crónica de Cd aunada a una deficiencia de Ca (Piscator, 1976). También se ha demostrado que ciertos compuestos de Cd producen cáncer en animales experimentales (Furst y Fan, 1993) pero el papel del Cd como carcinógeno humano permanece incierto. De todas formas se le relaciona con el cáncer de pulmón y de próstata en personas ocupacionalmente expuestas (Kazantzis, 1990). El Cd tiene un efecto devastador en el testículo ya que induce la degeneración de los túbulos seminíferos en roedores (Anderson y col., 1993). Los compuestos de Cd se utilizan en pigmentos y estabilizadores en la producción de plásticos, como anticorrosivos de metales, en la producción de baterías y acumuladores alcalinos, y en los pesticidas. (Bhamra y Costa, 1992).

2.3 PLOMO

El Plomo (Pb) es un metal pesado que al parecer afecta a todos los órganos y que tiene múltiples y serios efectos en la salud (Osweller y col., 1985). Según Mahaffey y col. (1992) la toxicidad del Pb se atribuye a sus interacciones en el metabolismo y en sistemas dependientes del Ca. El contenido de Pb en el hueso refleja la carga corporal de este metal acumulado a lo largo de la vida del individuo, mientras que el Pb en la sangre indica la exposición reciente (Gottlieb y Koehler, 1994). En sujetos expuestos a altas concentraciones de Pb se presentan severas disfunciones hematológicas, renales y neurológicas, así como reabsorción fetal e infertilidad. A niveles bajos de exposición hay retardo en el crecimiento, defectos congénitos menores e incremento de la presión sanguínea. El sistema nervioso es el órgano crítico donde el Pb ocasiona más daños (Mahaffey y col., 1992). Los niños y animales jóvenes son más susceptibles a los efectos del Pb que los adultos debido a que lo absorben en mayor porcentaje (Lin-Fu, 1973; Osweller y col., 1985; Gottlieb y Koehler, 1994). Recientemente Bellinger y col. (1994) han propuesto que los niños que estuvieron expuestos a bajos niveles de Pb antes y después de nacer, presentan disfunciones emocionales y sociales como manifestaciones de la

intoxicación por Pb. Carson y col. (1974 citado en Osweiler y col., 1985) informan que los corderos expuestos prenatalmente al Plomo presentan deficiencias en el aprendizaje que se manifiestan hasta que cumplen un año de edad. El Pb se utiliza en la industria como antidetonante para gasolina, en la fabricación de ácido sulfúrico, en los acumuladores, tubos para conducción de agua, revestimiento de cables eléctricos, y en aleaciones especiales (Bhamra y Costa, 1992).

2.4 MERCURIO

La alarmante toxicidad del Mercurio (Hg) se dió a conocer cuando ocasionó los envenenamientos masivos de seres humanos que ingirieron alimentos marinos contaminados con este metal pesado, conocidos como la enfermedad de Minamata. (Pierce y col., 1972). La absorción del Hg puede ocurrir por la vía cutánea, pulmonar o digestiva, siendo ésta última la más sigificativa en relación a la bioacumulación (André y col., 1990). El metil-mercurio es la forma que se absorbe y acumula en los tejidos de los animales (Jensen y Jernelov, 1969). El Sistema Nervioso Central es el principal órgano blanco del Hg, en donde provoca graves daños que se manifiestan como incoordinación e incapacidad para moverse, pérdida de la sensibilidad, dificultad para hablar y sordera. También ocasiona severas disfunciones en el riñón y daño gastrointestinal que pueden ocasionar la muerte. (Osweiler y col., 1985; Church y Pond, 1990). Actualmente, la presencia del Hg en el ambiente sigue siendo una grave preocupación para la salud pública y de los ecosistemas debido a su potente toxicidad, permanencia en los tejidos de los seres vivos, y a su biomagnificación a lo largo de la cadena alimenticia (Gutierrez-Galindo y Flores, 1986; André y col., 1990). Aunque las descargas de Hg al ambiente marino hayan disminuído drásticamente en los últimos años, el Hg permanece en los sedimentos estuarinos y cercanos a la costa (Law y col., 1992) donde los microorganismos pueden convertir el Hg inorgánico a su forma orgánica, permitiendo que entre en la cadena trófica (Jensen y Jernelov, 1969). El Hg tiene un uso extensivo en la producción de aparatos eléctricos y en la manufactura de

instrumentos industriales, en aceites y pinturas, en las amalgamas y en la industria farmacéutica. Pequeñas cantidades de compuestos orgánicos de Hg se utilizan en la agricultura y en la industria del papel. (Bhamra y Costa, 1992).

3. LÍMITES PERMISIBLES Y NIVELES DE TOLERANCIA

Actualmente existe suficiente información para demostrar que la contaminación química por metales pesados afecta el desarrollo físico y mental de los seres vivos, incluyendo al ser humano. Debido a este riesgo, los países industrializados comenzaron a reglamentar la concentración de los metales tóxicos y también de los metales esenciales en los alimentos, en el aire, en el suelo y en el agua. Al pasar los años los niveles de contaminación permitidos se redujeron ya que las exposiciones que hace una década se consideraban sin peligro ahora se reconocen como tóxicas. (Mahaffey y col., 1992).

El Gobierno Mexicano a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología SEDUE, en 1989 establece los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, " para el aprovechamiento racional y la prevención y control de la contaminación del agua, así como la protección de la flora y la fauna acuáticas". Los criterios ecológicos de la calidad del agua dulce y marina se fijaron sobre la base de garantizar la sobrevivencia de los organismos acuáticos y evitar el peligro de bioacumulación, previniendo el daño a las especies que forman parte de la cadena alimenticia. (Cuadro 2.6). Los criterios ecológicos de calidad del agua potable en fuentes de abastecimiento se enfocan a la protección de la salud humana. (Gaceta Ecológica, 1990). Posteriormente, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994 establece los límites permisibles de calidad del agua y los tratamientos de potabilización del agua para que no cause efectos nocivos al ser humano por su uso y consumo. (Cuadro 2.4).

CUADRO 2.4 Niveles máximos permitidos de metales pesados en el agua establecidos en México (mg/l).

METAL	AGUA MARINA _a (áreas costeras)	AGUA DULCE _a	AGUA POTABLE _a	AGUA POTABLE _b	AGUA SUPERFICIAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA _c
Al	0.2	0.05	0.02	0.20	
Ag	0.002		0.05		
As	0.04 (As 3-)	0.2 (As 3-)	0.05	0.05	
Ba	0.5	0.01	1.0	0.70	
Bo	0.009		1.0		
Cd	0.0009		0.01	0.005	
Cr	0.05 (Cr 6+)	0.01	0.05 (Cr6+)	0.05	
Cu	0.003		1.0	2.00	0.002 a 0.006
Fe	0.05	1.0	0.3	0.30	0.02 a 0.12
Hg	0.00002	0.00001	0.001	0.001	0.0002 a 0.001
Mn			0.1	0.10	
Ni	0.008		0.01		0.001 a 0.004
Pb	0.006		0.05	0.025	0.001 a 0.010
Se	0.4 selenato	0.008 selenato	0.01 selenato		
Tl	0.02	0.01	0.01		
Zn	0.09		5.0	5.00	0.002 a 0.016

a) Niveles máximos permitidos en mg/l en los Criterios ecológicos para la calidad del agua, en la Gaceta Ecológica, 1990. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

b) Límites permisibles en mg/l en agua para uso y consumo humano, en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Secretaría de Salud.

c) Niveles detectados en el agua superficial del Golfo de California entre los años 1984 y 1985. (Petróleos Mexicanos, 1991).

Los requerimientos y los niveles máximos de tolerancia de los metales varían para cada especie, también con la edad de los animales y con su estado fisiológico; de tal manera que la concentración de cierto metal puede ser tóxica para un organismo y en cambio no causar daño en otra especie. En general, las dosis son bastante bien conocidas para los animales domésticos y de laboratorio, pero se tiene poca información acerca de las concentraciones y de los límites de tolerancia en los animales de vida silvestre. El Cuadro 2.5 presenta los niveles tolerables máximos de los minerales esenciales y tóxicos que pueden encontrarse en la dieta de algunos animales domésticos (Church y Pond, 1990).

CUADRO 2.5 Niveles máximos de tolerancia de minerales traza en la dieta de animales domésticos (ppm).

Elemento	Vaca	Oveja	Cerdo	Aves	Caballo	Conejo
Al	1000	1000	1000	200	200	200
Ag			100	100		
As org	50	50	50	50	50	50
As inorg	100	100	100	100	100	100
Ba	20	20	20	20	20	20
Bi	400	400	400	400	400	2000
Br	200	200	200	2500	200	200
Cd	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cr cloruro	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Cr óxido	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Co	10	10	10	10	10	10
Cu	*100	*5 a 30	*140 a 400	*250 a 500	*800	*200
I	50	50	400	300	5	
Fe	1000	500	3000	1000	500	500
F	40-100	60-150	150	150-200	40	40
Pb	30	30	30	30	30	30
Mn	1000	1000	400	2000	400	400
Hg	2	2	2	2	2	2
Mo	10	10	20	100	5	50
Ni	50	50	100	300	50	50
Se	2	2	2	2	2	2
V	50	50	10	10	10	10
Zn	500	300	1000	1000	500	500

Modificado de Church y Pond, 1990.

*Tomado de Humphrey, 1990.

4. CONCENTRACIÓN DE METALES EN LOS MAMÍFEROS MARINOS

El estudio de las concentraciones de metales pesados en los mamíferos marinos es bastante extenso ya que se han realizado este tipo de investigaciones en diversos órganos de diferentes especies de pinnípedos y cetáceos. Desde los años setenta hasta la fecha, diversos autores de distintas nacionalidades han generado esta información. Sin embargo, estos datos son insuficientes para establecer las concentraciones normales de los metales traza en los mamíferos marinos. Cuando hay suficientes datos disponibles como en el caso del Hg en el hígado de los pinnípedos, las variaciones en el muestreo y procesamiento de las

muestras por cada autor son un impedimento para el análisis estadístico de estos datos. (Wagemann y Muir, 1984).

Los mamíferos marinos son excelentes indicadores de la contaminación por metales pesados y plaguicidas en el ambiente marino. Son los depredadores del último nivel de la cadena trófica y su periodo de vida es largo, por lo que tienden a bioacumular mayores cantidades de tóxicos que los demás organismos marinos (Law y col., 1992). Por ejemplo, las concentraciones de Hg en las focas pueden ser hasta 1000 veces más altas que en los peces que consumen (Drescher y col., 1977). Pero aunque los mamíferos marinos sean capaces de tolerar elevadas cargas de metales a corto y mediano plazo, no se cuenta con información acerca de los efectos a largo plazo o de las implicaciones fisiológicas (Law y col., 1992).

La edad es un factor muy importante en la acumulación de los metales pesados en los órganos de los mamíferos marinos, por lo que se debe considerar al hacer estudios comparativos dentro y entre las especies (Hamanaka y col., 1982). Diversos autores han reportado que la acumulación de Hg, Pb y Cd en los órganos se incrementa con la edad en los pinnípedos y cetáceos. La foca común *Phoca vitulina* que habita en el mar de Wadden fue estudiada por varios autores que encontraron niveles elevados de residuos de Hg y de DDT en los tejidos blandos, y que en el hígado aumentaban con la edad de los animales (Sergeant y Armstrong, 1973; Drescher y col., 1977; Harms y col., 1978). También en el pelo y uñas de las focas la concentración del Hg aumenta al incrementarse la edad (Freeman y Horne, 1973). De acuerdo con Gaskin y col. (1979) la concentración de Hg en el hígado de la marsopa *Phocoena phocoena* se incrementa con el aumento de la edad de los animales. Honda y col. (1983) y André y col. (1990) reportan lo mismo en delfines del género *Stenella*. Hamanaka y col. (1982) reportan para el lobo marino de Steller *Eumetopias jubata* una correlación positiva entre la concentración de Cd en hígado y riñón, con la edad. Muir y col. (1988) encontraron que la edad de los delfines de rostro blanco *Lagenorhynchus albirostris* se correlacionaba fuertemente con los

niveles de Cd en músculo. Varios autores han encontrado concentraciones de Cu hasta 10 veces mayores en el hígado de los fetos o de los mamíferos marinos jóvenes en comparación con los adultos (Honda y col., 1982, 1983; Muir y col., 1988; Law y col., 1992).

El conocimiento acerca de la acumulación de metales en los mamíferos marinos en relación al sexo está muy limitado debido a la dificultad de obtener las muestras y a la falta de trabajos experimentales (Gaskin y col., 1979; Honda y col., 1983; Wagemann y col., 1990; Reijnders, 1986). Por ejemplo, Buhler y col. (1975) reportan concentraciones de Hg de 49 a 120 ppm (peso húmedo) en hígado de machos subadultos sanos del lobo marino de California *Zalophus californianus*, en contraste con el rango de 38 a 64 ppm (peso húmedo) que reportan De Long y col. (1973) en el hígado de hembras con parto prematuro de esta especie. Sin embargo, André y col. (1990) encontraron que la concentración y carga de Hg en hígado y riñón es mayor en las hembras de los delfines moteados *Stenella attenuata* que en los machos. Wagemann y col. (1983) encontraron muy pocas diferencias entre sexos en las concentraciones de metales en el narval *Monodon monoceros*.

El tipo de alimentación y el nivel en la cadena trófica también son factores importantes. Muir y col. (1988) reportan elevadas concentraciones de Cd en el hígado de los calderones *Globicephala melaena* que se alimentan principalmente de calamares, en comparación con los odontocetos que se alimentan principalmente de peces. Los estudios de metales revelan que los calamares acumulan grandes cantidades de Cd en el hígado (22.6-1106 mg/kg en peso seco: Martin y Flegal, 1975). Sergeant y Armstrong (1973) reportan concentraciones de Hg en hígado y riñón de la foca de Harp *Phoca groenlandica* con un orden de magnitud menor que las concentraciones en la foca gris *Halichoerus grypus*, la foca común *Phoca vitulina* y la foca encapuchada *Cystophora cristata* de Canadá. Los autores atribuyen esta diferencia a que la foca de Harp se alimenta en un nivel menor de la cadena trófica que, por consecuencia, presenta menor acumulación de Hg. La foca de Harp se

alimenta de peces pequeños y crustáceos, mientras que la foca gris, la foca común y la foca encapuchada se alimentan de peces grandes y cefalópodos. (Reeves y col., 1994). También en la misma especie puede haber diferencias debidas a la dieta. Los machos de lobo fino sudamericano *Arctocephalus australis* incluyen un mayor porcentaje de calamar en su dieta que las hembras, por lo que la acumulación de Cd en el hígado de los machos es mayor que en las hembras (53.9 y 22.8 ppm en peso húmedo: Gerpe y Moreno, 1990).

Actualmente se cuenta con bastante información sobre el Hg y Cd, pero aun hacen falta trabajos que reporten el comportamiento de otros metales en relación con la edad y sexo de los individuos. Además se deben considerar otros factores importantes como son la longitud y el peso corporal total, el peso total del órgano, actividad metabólica de los individuos, migraciones estacionales, y la localización geográfica del sitio de captura. (André y col., 1990; Law y col., 1991).

Los estudios sobre metales pesados en los órganos blandos del lobo marino de California *Zalophus californianus* son pocos. De Long y col. (1973) reportaron la concentración de Hg en el hígado de tres hembras con parto prematuro (38 a 64 ppm, peso húmedo) y de sus críos (0.4 a 1.8 ppm). Buhler y col. (1975) compararon las concentraciones de Cd en riñón y de Hg en hígado de machos subadultos sanos y enfermos. Las concentraciones de Cd en el riñón fueron muy similares en ambos grupos (7.2 a 12 ppm, peso húmedo). Las concentraciones de Hg en el hígado de los lobos marinos enfermos (3.10 a 249 ppm) fueron significativamente mayores que en los animales sanos (49 a 120 ppm). Gilmartin y col. (1976) y Martin y col. (1976) compararon las concentraciones de Hg, Se, Br, Cd, Ag, Cu, Fe, Zn, Mn, K, Na, Mg y Ca en riñón e hígado de 10 hembras con parto normal y de sus críos, contra 10 hembras con parto prematuro y sus críos. Las hembras y críos normales presentaron concentraciones elevadas de Hg, Se, Cd y Br en el hígado en proporciones balanceadas (1Hg:1Se:1Br). Las hembras y críos anormales presentaron menores concentraciones de estos elementos y en proporciones no

balanceadas (Se:Hg > 3.4), así como menores concentraciones de Mn y Cu. Los autores sugieren que las concentraciones no balanceadas de los metales se relacionan con los partos prematuros.

5. CONCENTRACIÓN DE METALES EN HUESO Y DIENTE

Los metales se incorporan al hueso y al diente durante la calcificación de la matriz intercelular, al ocupar los sitios de los iones Ca^{+2} dentro de los cristales de hidroxiapatita y quedar inertes formando parte de la estructura ósea (Williams y Elliot, 1982) (Cuadro 2.6). Más adelante, los metales pueden salir del hueso y entrar en la circulación sanguínea durante el remodelado óseo, o al ser removido el Ca del hueso por procesos metabólicos durante la gestación y la lactancia en las hembras (Silbergeld, 1991; Mahaffey y col., 1992).

CUADRO 2.6 Composición química del esmalte, dentina y hueso de humanos.

COMPONENTE	ESMALTE	DENTINA	HUESO
Principal componente orgánico	proteína insoluble	colágena	colágena
Inorgánico (Peso %)	88	72	70
Ca (Peso %)	33.6 - 39.4	26 - 28	24
P (Peso %)	16.1 - 18.0	12.2 - 13.2	11.2
CO ₂ (Peso %)	1.95 - 3.66	3.0 - 3.5	3.9
Na (Peso %)	0.5	0.3	0.7
Mg (Peso %)	0.25 - 0.56	0.8 - 1.0	0.3
Cl (Peso %)	0.19 - 0.30		
K (Peso %)	0.05 - 0.30	0.02 - 0.04	0.2
F (ppm)	50 - 5000	50 - 10000	5000
Fe (ppm)	8 - 218	60 - 150	<300
Zn (ppm)	152 - 227	200 - 700	150 - 200*
Sr (ppm)	50 - 400	100 - 600	
Cu (ppm)	10 - 100		>4
Mn (ppm)	0 - 18		
Ag (ppm)	0 - 100		

Tomado de Williams y Elliot, 1982.

*Underwood, 1977

El esqueleto además de darle sostén al cuerpo sirve como reservorio para los minerales mayores, Calcio y Fósforo, y como una sitio de almacenamiento para otros minerales y sustancias (Bronner, 1992). El 99% del Ca y el 85% del P corporales se localizan en el esqueleto, así como el 60% del Mg corporal. El 90% del Pb se almacena en el hueso. El 50% del Zn corporal está presente en el hueso pero no está disponible para el metabolismo, el 46% del Cu se encuentra en el hueso incluyendo a la medula ósea, y también existen importantes proporciones de Mn, Ni y Co corporales en el tejido óseo. (Linder, 1991).

La mayoría de los trabajos notifican la bioacumulación de metales en el músculo, riñón e hígado, pero muy pocos tratan sobre las concentraciones en el tejido óseo o en el diente. Honda y col. (1982) reportan concentraciones elevadas de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni y Cd en el hígado, riñón y hueso, en comparación con las concentraciones encontradas en otras vísceras, piel, cerebro y grasa de tres delfines listados *Stenella coeruleoalba*. Así proponen que se analice la concentración de metales pesados en hueso e hígado para señalar el tejido de máxima acumulación. En los estudios realizados por Cuspenera y col. (1993a) y Becerril (1995) en huesos de lobo marino *Zalophus californianus* del Golfo de California, los metales con mayor concentración fueron el Zn (165 ppm), Al (140 ppm), Pb (32 ppm) y Ni (28 ppm). También, Cuspenera y col. (1993b) realizaron un trabajo exploratorio de la concentración de metales en dientes de esta especie en el que se promedió la concentración de metales de dos individuos de cada edad. Sus resultados sugieren que los metales pesados pueden ser transferidos del hueso de la madre al crío durante la lactancia.

Debido a que el lobo marino común habita en la zona de la reserva ecológica del Golfo de California y es una especie sujeta a protección especial, es muy difícil obtener muestras de sus tejidos blandos en buenas condiciones para el análisis toxicológico. En cambio, en el tejido óseo se puede determinar la concentración de metales pesados acumulados a lo largo de la vida de los animales. Los cráneos y

otros huesos de los lobos marinos que mueren en la playa o en el mar cerca de las loberas son fáciles de coleccionar a los pocos días de haber muerto el animal, y pueden ser aprovechados para determinar las concentraciones de metales pesados a los que estuvieron expuestos los animales. El cráneo completo así como los dientes caninos presentan características sexuales dimórficas que permiten determinar el sexo y edad aproximada de los individuos. La edad de los pinnípedos se estima mediante el conteo de estrías dentarias, considerándose que una estría corresponde a un año de edad. La determinación de la concentración de metales en el tejido óseo y en los dientes de los críos, juveniles, machos subadultos, hembras adultas y machos adultos de los lobos marinos de California, puede indicar si la acumulación va en aumento con la edad de los animales.

III. OBJETIVOS

1. Cuantificar la concentración de Al, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn en huesos temporales y dientes de ejemplares de lobo marino *Zalophus californianus* (Lesson, 1828) del Golfo de California.
2. Comparar la concentración de estos metales en hueso y diente entre machos y hembras de lobo marino del Golfo de California.
3. Determinar la relación entre la concentración de los metales acumulados en huesos temporales y dientes con la edad de los lobos marinos del Golfo de California.

IV. MATERIAL Y METODO

1. COLECTA DEL MATERIAL Y ÁREA DE ESTUDIO

Las muestras óseas y dentales consistieron de una submuestra de 51 cráneos de ejemplares de lobo marino de California *Zalophus californianus californianus* colectados por el Dr. David Aurióles Gamboa del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIB NOR), de la Paz, Baja California Sur, que correspondieron a los años de 1981 a 1986 en las siguientes loberas reproductivas del Golfo de California: Topolobampo (7 cráneos), Los Islotes (3 cráneos), Isla San Esteban (8 cráneos), Isla San Pedro Mártir (1 cráneo), Isla Angel de la Guarda: Los Cantiles (6 cráneos) y Los Machos (7 cráneos), Isla Granito (7 cráneos), Isla San Jorge (3 cráneos), e Isla Lobos (8 cráneos). (Figura 1). Debido a que el lobo marino de California es un mamífero marino sujeto a protección especial en nuestro país, fue conveniente utilizar los cráneos de los ejemplares muertos colectados en las playas.

El Golfo de California es una cuenca oceanográfica única que posee diversas provincias ecológicas, elevada productividad marina y diversos endemismos. Esta alargada cuenca marina de 1000 km de largo y 150 km de ancho en promedio, se encuentra ubicada en la región noroeste de México, entre los 18 y 35 grados de latitud Norte y los 105 y 115 grados de latitud Oeste. Limita al este con los estados de Jalisco, Nayarit y Sinaloa, al oeste con la Península de Baja California, y al sur con una línea imaginaria que va de Cabo San Lucas, B.C.S., a Cabo Corrientes, Jalisco. Es en la porción sur donde se comunica con el Océano Pacífico. La ininterrumpida cadena montañosa de 1 a 3 km de altura de la Península de Baja California reduce la influencia del Océano Pacífico sobre el clima del Golfo de California, resultando un clima más continental que oceánico y con grandes variaciones de temperatura. (Roden y Emilsson, 1980; Alvarez-Borrego, 1983; Secretaría de Gobernación/UNAM, 1985).



Figura 1. Localización de las loberas muestreadas en el Golfo de California.
 1. Topolobampo, 2. Los Islotes, 3. Isla San Pedro Mártir, 4. Isla San Esteban, 5. Los Machos, 6. Los Cantiles, 7. Isla Granito, 8. Isla Lobos, 9. Isla San Jorge.

El lobo marino de California *Zalophus californianus californianus* es el único pinnipedo que habita el Golfo de California (Aurioles y Zavala, 1994), ocupando las playas rocosas ó de canto rodado de las islas durante todo el año (García, 1992).

2. CATEGORÍAS DE EDAD EN EL LOBO MARINO DE CALIFORNIA

Los otáridos presentan un marcado dimorfismo sexual que facilita la distinción del sexo y edad de los organismos (King, 1983). En el lobo marino de California *Zalophus californianus* se distinguen fácilmente cinco clases o categorías de edad y sexo (Peterson y Bartholomew, 1967).

Los machos adultos son los animales de mayor tamaño (2 a 2.5 m de longitud) y mayores de 9 años de edad, color oscuro gris, café o negro, su cuello es muy ancho y presentan una desarrollada cresta sagital en el cráneo. Los machos subadultos son parecidos a los machos adultos pero de menor tamaño (1.5 a 2 m de longitud), con el cuello más delgado y la cresta sagital menos desarrollada. Su edad fluctúa de los cinco años, cuando la cresta sagital comienza a desarrollarse (Orr y col., 1970) y alcanzan la madurez sexual (Aurioles y Zavala, 1994), a los nueve años de edad, cuando son capaces de defender un territorio y pasan a la categoría de machos adultos. Las hembras adultas miden de 1.4 a 1.6 m de longitud, su color es café claro o crema, su complexión es delgada y no presentan cresta sagital evidente. Las hembras también alcanzan la madurez sexual a partir de los cinco años (Lluch, 1969). Los juveniles son los individuos sexualmente inmaduros de ambos sexos, miden entre 1 y 1.3 m, y son parecidos a las hembras adultas en el color. Su edad fluctúa entre el año de edad a partir del destete (Peterson y Bartholomew, 1967) hasta antes de alcanzar la madurez sexual. Los críos son los individuos de ambos sexos que no han cumplido su primer año de vida y son de color gris oscuro, café o negro. Al nacer, los machos miden en promedio aprox. 76 cm y pesan 9.7 kg, y las hembras miden aprox. 72 cm y pesan 8.1 kg (Le Boeuf et al., 1983; Morales y Aguayo, 1992).

También es posible determinar la categoría de edad en esta especie cuando únicamente se cuenta con el cráneo del organismo mediante la observación de las características dimórficas (Vázquez, 1993). Además, los cráneos pueden sexarse fácilmente con base en la forma de los dientes caninos, ya que en los machos son mas grandes y anchos que en las hembras (Lowry & Folk, 1990). Para determinar la edad de los lobos marinos, se utilizó el conteo de estrías en los dientes caninos por ser el método mas confiable, en el que una estría corresponde a un año de edad (Scheffer, 1950; Laws, 1962, Auriolles y Alvarado, 1981).

En este trabajo se establecieron las categorías de edad en cada cráneo de lobo marino de California por observación y comparación de las siguientes características dimórficas: tamaño del cráneo, cresta sagital, grado de fusión de las suturas craneanas (Orr y col., 1970), tamaño y anchura del diente canino (Lowry & Folk, 1990), y grado de calcificación de la cavidad pulpar del canino (Vázquez, 1993; Maldonado, en elaboración).

Como ya se explicó, los cráneos de los machos adultos se distinguen facilmente de las otras clases de edad por la presencia de la cresta sagital bien desarrollada (King, 1954; Orr y col., 1970). El cráneo y el canino son mayores en tamaño en comparación con las demás clases de edad, la cavidad de la pulpa del canino está casi o totalmente llena, y las suturas craneanas están completamente cerradas. (Vázquez, 1993)

Los cráneos de los machos subadultos se distinguen sin dificultad de los cráneos de machos adultos porque la cresta sagital está menos desarrollada (Kiing, 1954; Orr y col., 1970), la cavidad de la pulpa del canino está parcialmente llena, y las suturas craneanas no están cerradas completamente (Vázquez, 1993)

Los cráneos de las hembras adultas son de menor tamaño que los cráneos de los machos adultos y algunas presentan una pequeña cresta sagital (menor a 1

cm de altura). El canino es delgado, la cavidad de la pulpa está casi o totalmente llena y las suturas craneales están casi o totalmente cerradas. (Vázquez, 1993).

Los cráneos de los juveniles no presentan cresta sagital y tienen las suturas craneales semiabiertas, y la cavidad de la pulpa tiene mayor espacio vacío (Vázquez, 1993). Es posible distinguir entre juveniles hembras y juveniles machos por la forma y tamaño del canino, que es más grande, ancho y curvo en los machos. (Lowry & Folk, 1990).

Los cráneos de los críos son parecidos a los de juveniles pero se distinguen de éstos por su menor tamaño y densidad ósea, por tener las suturas craneales completamente abiertas, y los dientes comienzan a salir de los alveolos y el desarrollo de la raíz es menor (Lowry & Folk, 1990). Cuando son menores de cuatro meses todavía presenten los dientes deciduos (Geraci, 1978; Lowry, comunicación personal). Igual que en los juveniles, es posible distinguir el sexo mediante la identificación de las características antes mencionadas de los caninos.

3. MANEJO Y OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

A cada cráneo de lobo marino común se le midió, radiografió y fotografió en posición dorsal, lateral y ventral antes de extraerle la bula timpánica y uno o varios dientes postcaninos. La bula se cortó con pinzas para hueso en los animales jóvenes y se extrajo con un taladro en los animales adultos. Los dientes se extrajeron de los cráneos con pinzas especiales y procurando no romperlos. A la bula y dientes de cada ejemplar se les fotografió en blanco y negro y a color, y de cada bula se realizó una réplica con resina poliéster antes de cortarla en trozos con pinzas cubiertas con masking tape, para evitar el contacto directo con material metálico que pudiera contaminarlos.

De cada muestra ósea y dental se tomaron aprox. entre 2 y 3 gramos, se lavaron 10 veces con agua corriente y 2 veces con agua destilada y desionizada para evitar cualquier contaminación por metales. Las piezas se secaron en un horno con calor seco. Además, de las muestras óseas se buscó tomar los trozos de hueso que no estuvieron en contacto directo con el taladro ni con las pinzas.

Las muestras se colocaron en matraces Micro-Kjeldhal de 100 ml. lavados previamente con una solución ácida y enjuagados 10 veces con agua corriente y 2 veces con agua desionizada. Se pesaron en una balanza analítica electrónica Mettler de milésimas de gramo. Los matraces Micro-Kjeldhal con las muestras se volvieron a pesar, y se tomó como el peso de cada muestra la diferencia de los dos pesos mencionados.

4. PROCESAMIENTO ANALÍTICO

Para cuantificar los metales contenidos en las muestras se utilizó el equipo de espectrofotometría de absorción atómica del Laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. Se utilizó el método de digestión húmeda para procesar las muestras. A cada matraz Micro-Kjeldhal con muestra se le agregaron 5 ml. de ácido nítrico y dos perlas de vidrio y se dejó reposar a temperatura ambiente entre 36 y 48 horas. Posteriormente, las muestras se calentaron en un microdigestor a la temperatura de ebullición del ácido nítrico, procurando un calentamiento constante para evitar que el Hg se volatilizara, hasta que la solución se tornó transparente. Se dejaron enfriar y se les agregaron 2 ml. de ácido perclórico concentrado y se les sometió nuevamente al calor para digerir totalmente las muestras y obtener aprox. 2 ml de solución. El tiempo de digestión para las muestras de dientes fue entre 30 y 45 minutos, y para las muestras óseas entre 3 y 7 horas.

Las muestras digeridas se aforaron en matraces de 50 ml. con agua desionizada, se filtraron y vaciaron en recipientes de plástico debidamente enjuagados con agua corriente y desionizada, secos y etiquetados. Para la cuantificación del Ca, Zn y Fe fué necesario hacer una o dos diluciones más.

CUADRO 4.1 Parámetros utilizados para la calibración del espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer mod. 2380 y para la toma de lecturas de los metales

	Al	Ca	Cd	Co	Cr	Cu
Estándar (mg/l)	50	4.0	1.5	7.0	4.0	4.0
λ (nm)	309.3	422.7	228.8	240.7	357.9	324.8
Rango lineal (mg/l)	100	5	2.0	3.5	5.0	5.0
Sensitividad (mg/l)	1.1	0.092	0.028	0.12	0.078	0.077
Blanco	nsd	nsd	0.04	0.14	0.04	nsd
Dilusión (ml)	1:50	1:210000	1:50	1:50	1:50	1:50
	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Estándar (mg/l)	5.0	*	2.5	7.0	20	0.05
λ (nm)	248.3	253.3	279.5	232.0	283.3	213.9
Rango lineal (mg/l)	5.0	0.3 UA	2.0	2.0	20	0.2
Sensitividad (mg/l)	0.10	4.68 ng	0.052	.014	0.45	0.011
Blanco	0.24	0.013	nsd	nsd	nsd	0.03
Dilusión (ml)	1:50	1:50	1:50	1:50	1:50	1:1000

(nsd = no se detectó, * dado para la absorbancia de 100 ng totales, UA = unidades de absorbancia).

Para la toma de lecturas se calibró el espectrofotómetro de absorción atómica con tres soluciones estándar de cada elemento distribuidas entre el límite mínimo y máximo de sensibilidad a determinar, y una solución blanco como patrones de referencia del rango de lectura (Cuadro 4.1). Las lecturas que se saían de la curva de calibración eran repetidas a una mayor dilución. Los estándares se obtuvieron comercialmente ó fueron elaborados a partir de sales metálicas puras de grado analítico a una concentración conocida, para obtener una lectura lineal en absorbancia, de acuerdo con lo que indica el manual de operación del espectrofotómetro de absorción atómica. El Ca, Zn, Fe, Pb, Ni, Co, Mn, Cr, Cu y Cd se determinaron mediante flama aire acetileno, el Al mediante flama óxido nitroso-acetileno, y el Hg se determinó mediante la técnica de vapor frío.

Las diluciones de los metales se leyeron dos veces y mediante una prueba de t se comprobó si existían diferencias significativas entre la primera y la segunda lectura. Al resultar negativa la prueba de t, se consideraron para el análisis las lecturas tomadas en la segunda ocasión. Para cada metal se obtuvieron las lecturas de todas las muestras en un solo día y se intercalaron las soluciones estándar y el blanco en varias ocasiones.

5. CONVERSIÓN DE LOS DATOS

Para la conversión de las lecturas señaladas en absorbancia en el espectrofotómetro a las concentraciones de metales en microgramos por gramo (ppm) se utilizó la siguiente fórmula:

$$C \text{ (ppm)} = \frac{(L-B) \times D}{P}$$

En donde, **C** es la concentración en microgramos por gramo de peso seco, **L** es la lectura de la muestra, **B** es la lectura de la solución blanco, **D** es la dilución en ml y **P** es el peso de la muestra en gramos.

En el caso del Hg que fue determinado por la técnica de vapor frío, se utilizaron tres estándares de 50, 100 y 200 microlitros de una solución de 1 ppm de Hg **STD**. La **A** indica una alícuota en ml. La concentración del Hg a partir de esta fórmula queda expresada en nanogramos por gramo (ppb). La concentración del Hg se convirtió de ppb a ppm al dividirla entre 1000.

$$\alpha = \frac{(L-B) \times 100}{(STD-B)}$$

$$\beta = (\alpha \times D) / A$$

$$C \text{ (ppb)} = \beta / P$$

6. ANÁLISIS DE DATOS

Para su análisis, los datos de las concentraciones de los metales en la bula y diente se ordenaron de mayor a menor y el Ca se colocó al último, a) por tejido: bula y diente, b) por sexo: hembras y machos, y c) por edades (estrias = años).

Mediante la hoja de cálculo Microsoft EXCEL 5.0 se calcularon la sumatoria, el valor mínimo y valor máximo, media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación de los datos, para hacer una descripción estadística de la distribución de las muestras de las concentraciones de los metales.

Se graficaron las concentraciones promedio de metales (sin el Ca) en bula y diente, con los intervalos de confianza del 95% de probabilidad. Se calculó el porcentaje relativo de la concentración promedio de cada metal en el diente con respecto a la concentración promedio en la bula.

Se construyó un cuadro comparando la variabilidad de las concentraciones de los metales separándolos en esenciales y no esenciales en diente y bula

Se construyó un cuadro comparando las concentraciones promedio y los rangos de los metales en ambos sexos.

Se realizaron pruebas de t de Student para ver si existían diferencias significativas en las concentraciones de los metales entre el diente y la bula, y entre hembras y machos.

Se construyó una tabla y se graficaron las concentraciones promedio de los metales en diente y bula por edades. Se construyó una tabla con las concentraciones promedio considerándose las cinco categorías de edad en el lobo marino: críos, juveniles, hembras adultas, machos subadultos y machos adultos.

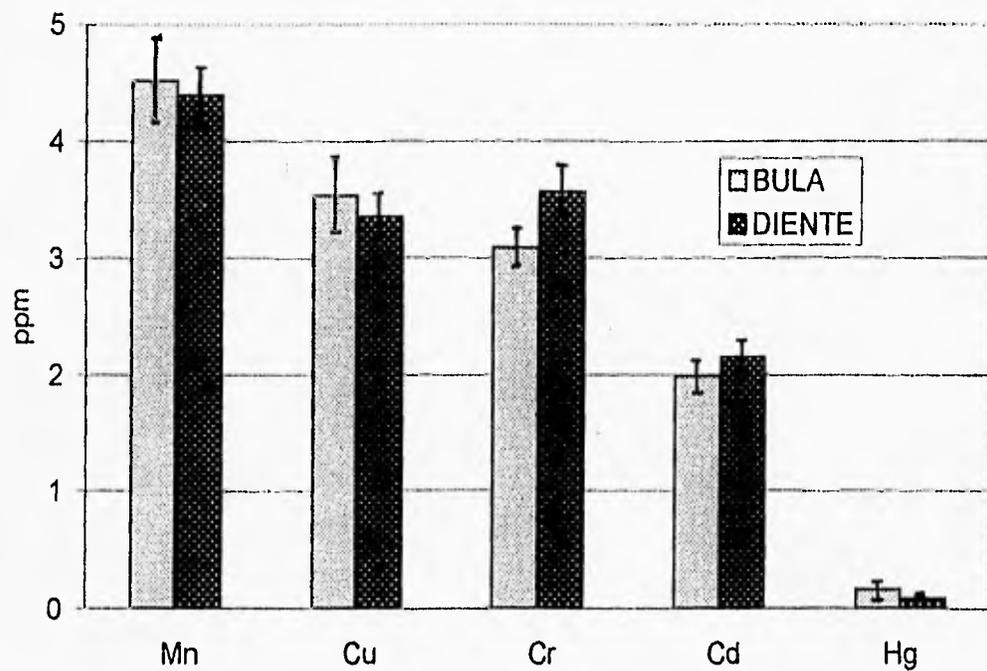
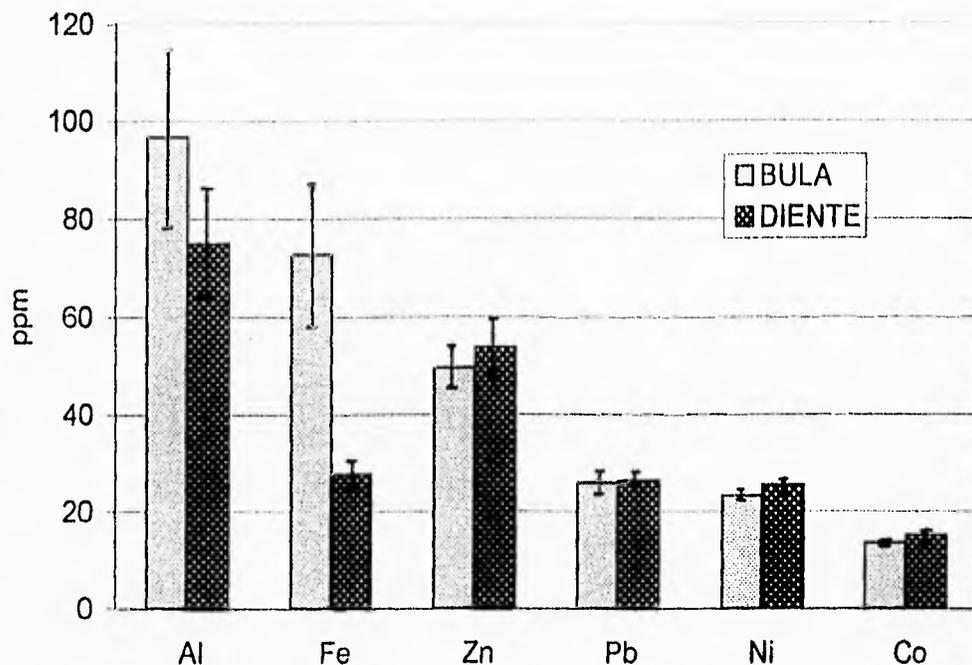
V. RESULTADOS

1. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE METALES EN EL HUESO Y EN EL DIENTE

Los promedios de las concentraciones de 11 metales analizados en bulas y dientes de los ejemplares de lobo marino de California *Zalophus californianus californianus* se muestran en la Gráfica 1. Los resultados se expresan en partes por millón (ppm) y se refieren a microgramos por gramo de peso seco. (El Ca no se graficó con los demás elementos porque su concentración es muy elevada en comparación con los otros metales y por efecto de la escala no se podrían apreciar). En estas gráficas se observa que hay grandes diferencias entre estos promedios; el Al presentó el promedio más alto con casi 100 ppm, mientras que el metal con menor acumulación fue el Hg, que tuvo un promedio que se encuentra por debajo de una parte por millón. Los resultados de las concentraciones de los 12 metales presentes en la bula (hueso temporal) y en el diente (postcanino) se expresan en partes por millón (ppm) o microgramos por gramo ($\mu\text{g/g}$) de peso seco.

En la bula, son el Al, Fe y Zn los metales que presentaron las mayores concentraciones y sus promedios rebasaron las 45 ppm. Las concentraciones promedio de Pb, Ni, y Co se encuentran por debajo de las 30 ppm, y del Mn, Cu, Cr y Cd no superaron las 10 ppm. La concentración de Hg fue la más baja con un promedio de 0.16 ppm (Gráfica 1). La concentración promedio del Ca fue de 204,456 ppm.

En el diente el comportamiento de la acumulación de los metales fue muy parecido al de la bula, sin embargo hay ciertas diferencias. El Al y Zn presentaron las mayores concentraciones, que superaron las 50 ppm. En el diente, la concentración promedio de Zn fue superior a la de Fe, mientras que en la bula el Fe superó al Zn. El Fe, Pb, Ni y Co están por debajo de las 30 ppm. El Mn, Cr, Cu, y Cd no superaron las 10 ppm, pero la concentración promedio de Cr fue mayor que



Gráfica 1. Concentración promedio de metales en bula y diente de los lobos marinos de California. Las barras muestran los intervalos de confianza de los promedios.

la de Cu. El Hg de nuevo ocupó el último lugar con 0.08 ppm. (Gráfica 1). La concentración promedio del Ca fue de 216,158 ppm.

El Cuadro 5.1 muestra los promedios de las concentraciones de los metales en bulas y dientes de los lobos marinos de California, con sus intervalos de confianza* del 95%, y los rangos** de las concentraciones. En este cuadro se observa que solamente en el caso del Fe, Co y Cr los intervalos de confianza no se superponen en bula vs. diente. (Cuadro 5.1). Las concentraciones promedio y los rangos de las concentraciones de Al, Fe, Mn, Cu y Hg son mayores en el tejido óseo que en el diente, mientras que los rangos de las concentraciones de Ca, Zn, Ni, Co, Cr y Cd son mayores en el diente. Después del Ca en diente y bula, el Al en la bula presentó el rango con mayor amplitud (365.75 ppm) seguido del Fe en bula (251.99 ppm), del Al en diente (179.91 ppm), del Zn en diente (101.58 ppm) y bula (76.55 ppm), del Fe en diente (47.16 ppm) y del Pb en bula (45.45 ppm).

Al comparar los resultados del presente estudio con trabajos anteriores sobre concentración de metales pesados en el tejido óseo de pinnípedos se observa lo siguiente. Los promedios y los rangos de las concentraciones de **Al, Zn, Pb, Ni, Cu** y **Cd** para bulas timpánica y dientes postcaninos de los lobos marinos del Golfo de California del presente estudio son menores a los reportadas por Becerril (1995) para el tejido óseo de esta misma especie, sin embargo, las magnitudes relativas se mantienen para el Al, Pb, Ni, Cu y Cd. Estas diferencias pueden ser debidas al tipo de huesos empleados por Becerril (1995). En el trabajo de Cuspinera y col. (en prensa) realizado en huesos del lobo fino Antártico *Arctocephalus gazella* las concentraciones de **Al, Fe, Zn y Mn** están muy elevadas y la concentración de **Ni** es

* El intervalo de confianza es un estadístico que permite estimar el verdadero valor de un parámetro indicando un límite de confianza inferior y uno superior. En este caso, la medida de nuestra confianza es 95% y la incertidumbre de la inferencia es $\alpha = 0.05$. La probabilidad de que el intervalo de confianza del promedio de cada metal contenga a la media poblacional es del 95%.

** El rango indica el valor mínimo y el valor máximo de la concentración de cada metal.

CUADRO 5.1 Promedios totales ($\mu\text{g/g} + S$, peso seco) con sus intervalos de confianza ($\alpha=0.05$) y rangos (min, max) de las concentraciones de metales en bulas y dientes de lobo marino de California.

BULA						
	ALUMINIO	HIERRO	ZINC	PLOMO	NIQUEL	COBALTO
$\bar{X} \pm S$	99.71 \pm 65.01 _a	72.82 \pm 53.06 _c	49.43 \pm 14.31 _e	25.84 \pm 8.28 _f	23.19 \pm 3.41 _g	13.48 \pm 2.11 _i
int. conf.	78.86, 114.55	58.26, 87.38	45.50, 53.35	23.57, 28.12	22.26, 24.12	12.90, 14.06
rango	24.45, 390.21	22.66, 274.65	31.33, 107.88	16.84, 62.29	17.06, 31.60	9.12, 17.54
	MANGANESO	COBRE	CROMO	CADMIO	MERCURIO	CALCIO
$\bar{X} \pm S$	4.51 \pm 1.36 _k	3.53 \pm 1.17 _l	3.08 \pm 0.57 _m	1.99 \pm 0.48 _o	0.16 \pm 0.26 _p	204456 \pm 37859 _r
int. conf.	4.13, 4.88	3.21, 3.85	2.92, 3.24	1.86, 2.12	0.09, 0.23	193963, 214950
rango	2.54, 8.41	2.26, 9.61	1.84, 4.36	1.11, 2.96	0.01, 1.59	147810, 372000
DIENTE						
	ALUMINIO	HIERRO	ZINC	PLOMO	NIQUEL	COBALTO
$\bar{X} \pm S$	74.96 \pm 39.87 _b	27.68 \pm 10.43 _d	53.62 \pm 21.22 _e	26.23 \pm 4.62 _f	25.35 \pm 5.31 _h	15.10 \pm 2.99 _j
int. conf.	64.02, 85.90	24.82, 30.54	47.69, 59.34	24.96, 27.50	23.89, 26.81	14.28, 15.92
rango	0.00, 179.91	11.46, 58.62	6.37, 107.95	15.58, 41.17	16.18, 37.30	9.63, 21.02
	MANGANESO	COBRE	CROMO	CADMIO	MERCURIO	CALCIO
$\bar{X} \pm S$	4.38 \pm 0.84 _k	3.35 \pm 0.60 _l	3.56 \pm 0.76 _n	2.15 \pm 0.47 _o	0.08 \pm 0.07 _q	216158 \pm 50992 _r
int. conf.	4.15, 4.61	3.19, 3.52	3.35, 3.77	2.02, 2.28	0.06, 0.10	202163, 230153
rango	2.90, 6.92	2.04, 5.25	2.04, 6.94	1.10, 3.20	0.00, 0.42	98657, 389879

S = desviación estándar

menor, en comparación con las concentraciones reportadas en este trabajo. Los rangos para el Al, Fe, Zn, Mn, Cu, Cr y Cd son mayores que en este estudio. Únicamente los valores de las concentraciones de Co y Pb en el tejido óseo del lobo fino Antártico y del lobo marino de California presentan rangos y promedios similares. Las diferencias en las concentraciones de metales pesados en las dos especies de lobo marino se discuten más adelante.

1.1 Diferencias significativas entre las concentraciones de metales en el hueso y en el diente.

Se realizó una prueba de t de Student entre los promedios de las concentraciones de cada metal en la bula y en el diente y se encontró diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre los promedios de concentración del **Fe, Co, Cr, Ni, Al, Cd** y **Hg** en bula vs. diente.

La bula presentó mayor concentración de **Fe** que el diente con una diferencia entre sus medias de 30.35 a 59.93 ppm ($p<0.0001$). La concentración promedio de Fe en la bula (72.82 ± 53.02 ppm) es aprox. 2.5 veces mayor que la concentración promedio de Fe en el diente (27.68 ± 10.43 ppm). La bula presentó mayor concentración promedio de **Al** (99.71 ± 65.01 ppm) que el diente (Al 74.96 ± 39.87 ppm), y la diferencia entre sus medias tiene un intervalo de confianza ($\alpha=0.05$) de 7.88 a 35.62 ppm ($0.001<p<0.01$). La bula presentó el doble de la concentración promedio de **Hg** (0.16 ± 0.26 ppm) que el diente (Hg 0.08 ± 0.07 ppm) ($0.001<p<0.01$). La concentración promedio de **Cd** fue mayor en el diente (2.15 ± 0.47 ppm) que en la bula (1.99 ± 0.48 ppm) ($0.02<p<0.05$). El diente presentó mayor concentración promedio de **Ni** (25.35 ± 5.31 ppm) que la bula (Ni 23.19 ± 3.14 ppm) ($0.01<p<0.02$). Las concentraciones promedio de **Co** (15.10 ± 2.99 ppm) y **Cr** (3.56 ± 0.76 ppm) fueron mayores en el diente que las concentraciones promedio de Co (13.48 ± 2.11 ppm) y Cr (3.08 ± 0.57 ppm) en la bula, respectivamente ($0.0001<p<0.001$).

En el Cuadro 5.2 se muestran los porcentajes relativos de la concentración promedio de cada metal en el diente con respecto al contenido promedio en la bula. Estos se calcularon tomando la concentración en la bula como el 100%. Por ejemplo, la concentración de Fe en el diente es el 38% de la concentración en la bula. Se observa que para las concentraciones de los metales que no presentaron diferencias significativas entre bula y diente (**Cu, Mn, Pb, Ca, y Zn**) los porcentajes relativos se encuentran alrededor del 100%. Los porcentajes relativos para el Fe, Hg y Al son inferiores al 100%, lo que significa que el diente acumuló menores proporciones de estos metales comparadas con las proporciones acumuladas en la bula. Para el Ni, Co y Cr los porcentajes relativos rebasan el 109%, lo que significa que estos metales tienen mayor afinidad por el diente que por el hueso.

CUADRO 5.2 Porcentaje relativo de la concentración de metales en el diente con respecto en la concentración de la bula de los lobos marinos de California.

Metal	Porcentaje Relativo	Metal	Porcentaje Relativo
Fe	38.0	Ca	105.2
Hg	50.0	Cd	108.0
Al	77.5	Zn	108.5
Cu	94.5	Ni	109.3
Mn	97.1	Co	112.0
Pb	101.5	Cr	115.6

1.2 Correlaciones entre las concentraciones de metales.

Al correlacionar las concentraciones de los metales en la bula contra las concentraciones en el diente, no se encontraron coeficientes de correlación altos. Únicamente los metales tóxicos Al ($r=0.653$) y Hg ($r=0.631$) presentaron coeficientes de correlación estadísticamente significativos superiores a $r=0.6$.

También se realizaron las correlaciones de las concentraciones de metales en la bula, y las correlaciones de las concentraciones de los metales en el diente. Se encontró una correlación alta entre el Ni y el Co en el diente ($r=0.919$) y una

correlación menos elevada entre el Ni y Co en la bula ($r=0.805$) con significancia estadística.

La correlación entre el Al y Fe en la bula es baja ($r=0.639$) y estadísticamente significativa. En el diente, el Co presenta correlaciones (estadísticamente significativas) bajas con el Cu ($r=0.637$) y con el Ca ($r=0.616$). Los demás metales no tuvieron coeficientes de correlación mayores a $r=0.6$.

1.3 Variabilidad de las concentraciones de metales en hueso y diente.

El Cuadro 5.3 indica los coeficientes de variación (c.v.) expresados en porcentajes (%), de las concentraciones de los metales que se acumularon en las bulas y los dientes de los lobos marinos de California, clasificados como metales esenciales y metales tóxicos. Se señalan los metales con baja, mediana y alta variabilidad en sus concentraciones, con el objetivo de resaltar aquellos metales que están permaneciendo en forma constante dentro del tejido óseo o dental, tanto en concentraciones altas como bajas.

CUADRO 5.3 Variabilidad (coeficiente de variabilidad en %) de las concentraciones de los metales esenciales y tóxicos en las bulas y dientes de los lobos marinos.

Metales Esenciales	Variabilidad en la bula	Variabilidad en el diente	Metales Tóxicos	Variabilidad en la bula	Variabilidad en el diente
Ni	14.61 (baja)	20.95 (med.)	Cd	24.31 (med.)	21.77 (med.)
Co	15.68 (baja)	19.83 (baja)	Pb	32.03 (med.)	17.61 (baja)
Ca	18.52 (baja)	23.59 (med.)	Al	67.23 (alta)	53.19 (alta)
Cr	18.57 (baja)	21.14 (med.)	Hg	163.2 (alta)	97.24 (alta)
Zn	28.96 (med.)	39.65 (med.)			
Mn	30.10 (med.)	19.14 (baja)			
Cu	33.25 (med.)	18.03 (baja)			
Fe	72.86 (alta)	37.67 (med.)			

Los metales pesados Al, Pb, Cd y Hg tuvieron mayor variabilidad en las concentraciones acumuladas en la bula, comparadas con la concentración de estos

metales en el diente. Los minerales traza Zn, Ni, Co y Cr fueron más variables en su permanencia en el diente que en la bula.

De los metales tóxicos, únicamente el **Pb** en el diente tuvo baja variabilidad, ya que en general estos metales presentaron una variabilidad alta o mediana. El **Hg** fue el metal con la menor concentración promedio y la más alta variabilidad en ambos tejidos.

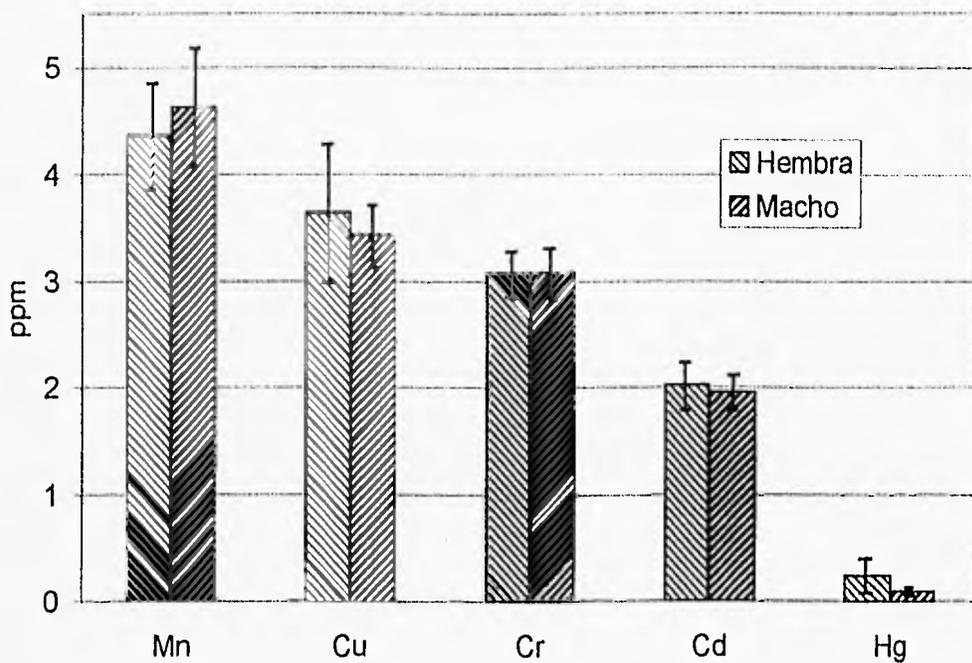
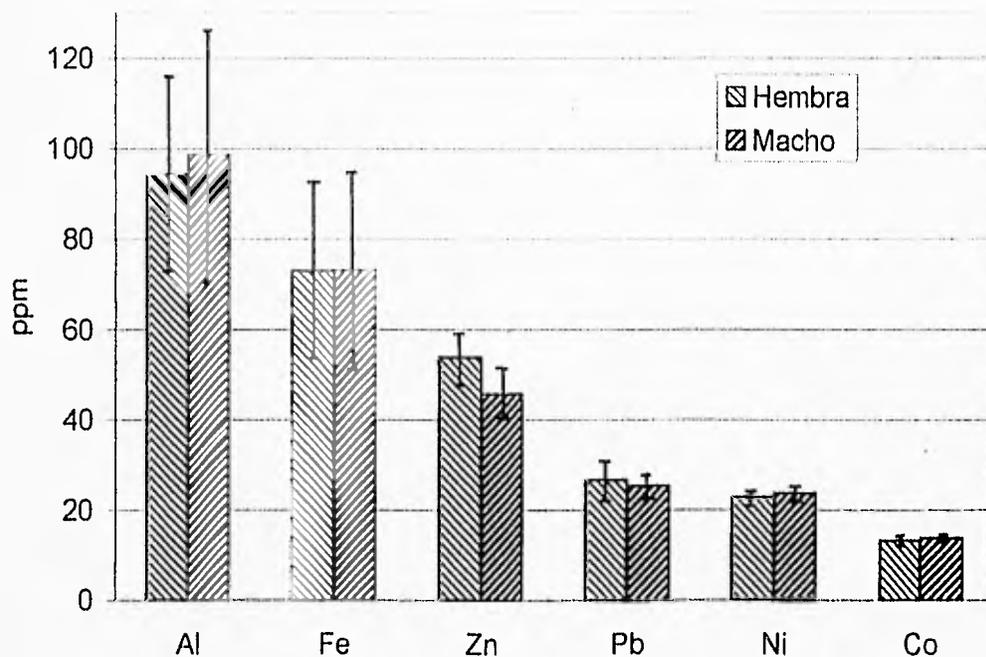
Los metales esenciales, a excepción del **Fe** en el tejido óseo, presentaron variabilidades bajas o medianas.

2. CONCENTRACIÓN DE LOS METALES EN MACHOS Y HEMBRAS

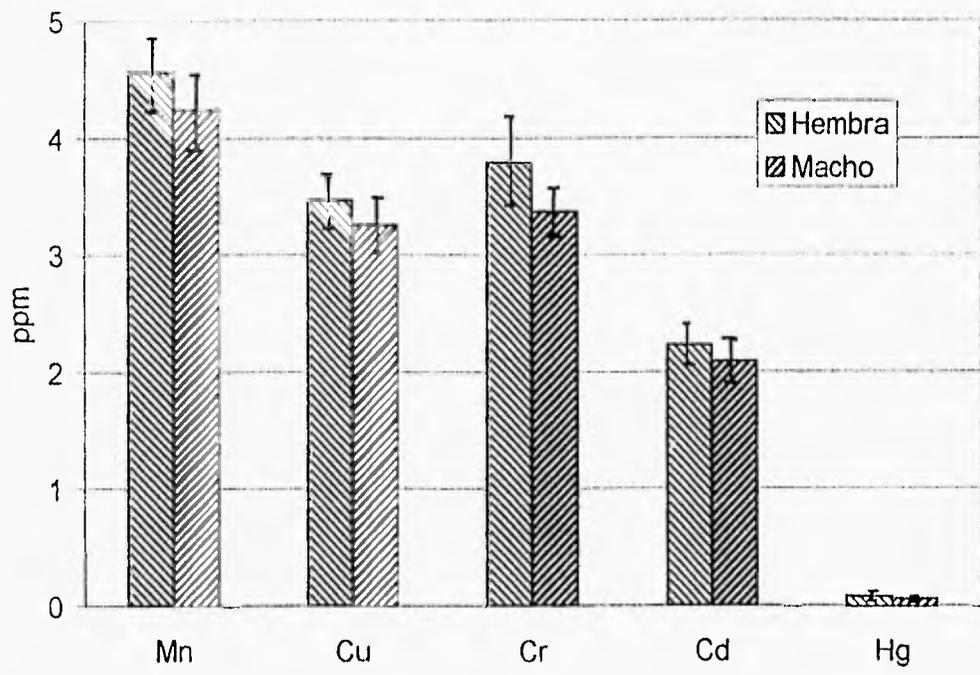
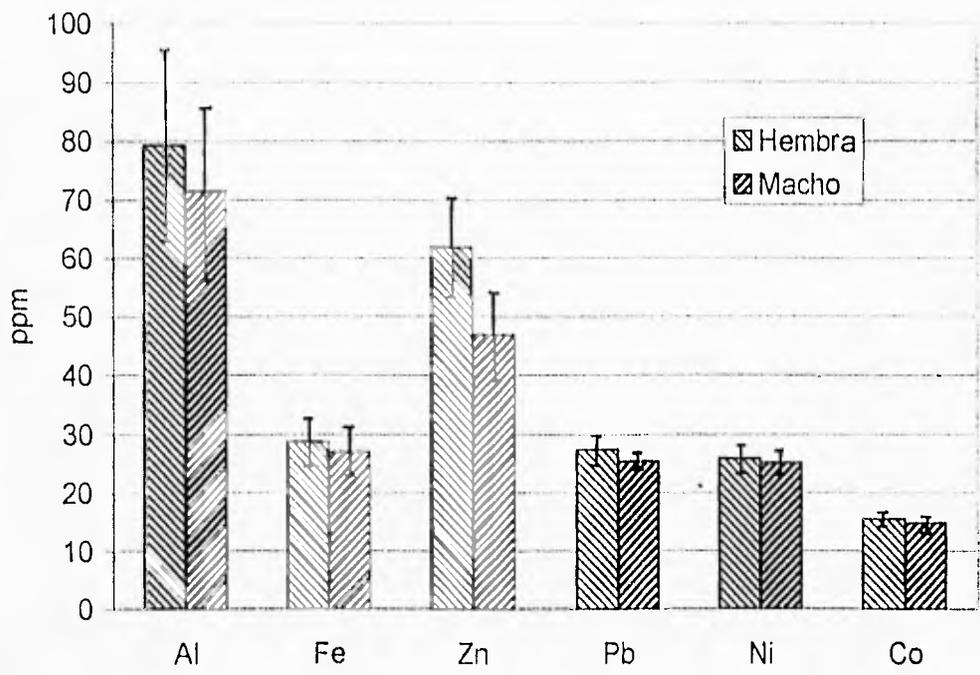
En el Cuadro 5.4 se muestra que los promedios de las concentraciones y los rangos de las concentraciones fueron muy parecidos entre hembras y machos para la mayoría de los metales en este estudio. Las hembras de lobo marino del Golfo de California presentaron en las bulas concentraciones promedio de Zn, Pb, Cu, Cd, Hg y Ca un poco más elevadas que las concentraciones en las bulas de los machos, y las concentraciones promedio de los metales acumuladas en los dientes de las hembras superan ligeramente las concentraciones acumuladas en los dientes de los machos (Gráficas 2 y 3).

En la bula, los rangos de concentración del Al (363 ppm) y Fe (246 ppm) de los machos fueron mas amplios que los de las hembras (Al 182 ppm, Fe 210 ppm), pero las hembras presentaron mayores rangos de Ni (51 ppm), Cu (7.3 ppm) y Hg (1.57 ppm) que los machos (Ni 29 ppm, Cu 3.5 ppm, Hg 0.24 ppm).

En el diente, las hembras presentaron un mayor rango de Hg (0.41 ppm) que los machos (0.21 ppm), y los machos presentaron un mayor rango de Cu (3.2 ppm) que las hembras (1.9 ppm)



Gráfica 2. Concentración promedio de metales en las bulas de hembras y machos de lobo marino de California. Las barras muestran los intervalos de confianza de los promedios.



Gráfica 3. Concentración promedio de metales en los dientes de hembras y machos de lobo marino de California. Las barras muestran los intervalos de confianza de los promedios.

CUADRO 5.4 Promedios ($\mu\text{g/g} \pm \text{S}$, peso seco) y rangos (min, max) de la concentración de metales en dientes y bulas de hembras y machos de lobo marino de California.

BULA							
HEMBRAS	$\bar{X} \pm \text{S}$	ALUMINIO 94.43 \pm 52.67 ^a	HIERRO 72.68 \pm 47.27 ^b	ZINC 53.84 \pm 13.25 ^c	PLOMO 26.55 \pm 3.69 ^e	NIQUEL 22.69 \pm 10.20 ^r	COBALTO 13.18 \pm 2.07 ^g
	rango	24.45, 206.90	22.66, 232.35	37.36, 95.49	17.05, 31.60	18.59, 69.26	9.65, 16.17
MACHOS	$\bar{X} \pm \text{S}$	98.58 \pm 74.56 ^a	72.93 \pm 58.24 ^b	45.80 \pm 14.35 ^d	23.60 \pm 3.17 ^e	25.26 \pm 6.43 ^r	13.73 \pm 2.15 ^g
	rango	26.80, 390.21	28.57, 274.65	31.33, 107.88	19.03, 29.51	18.84, 47.74	9.12, 17.54
HEMBRAS	$\bar{X} \pm \text{S}$	MANGANESO 4.36 \pm 1.20 ^h	COBRE 3.64 \pm 1.54 ⁱ	CROMO 3.08 \pm 0.51 ^j	CADMIO 2.03 \pm 0.54 ^k	MERCURIO 0.24 \pm 0.37 ⁱ	CALCIO 222538 \pm 92057 ^m
	rango	2.54, 8.28	2.31, 9.61	2.08, 3.79	1.11, 2.96	0.02, 1.59	164762, 269809
MACHOS	$\bar{X} \pm \text{S}$	4.63 \pm 1.48 ^h	3.44 \pm 0.77 ⁱ	3.08 \pm 0.63 ^j	1.96 \pm 0.44 ^k	0.10 \pm 0.06 ⁱ	204705 \pm 45170 ^m
	rango	2.80, 8.41	2.26, 5.80	1.84, 4.36	1.27, 2.93	0.01, 0.25	147810, 372000
DIENTE							
HEMBRAS	$\bar{X} \pm \text{S}$	ALUMINIO 79.29 \pm 39.92 ⁿ	HIERRO 28.66 \pm 9.63 ^o	ZINC 61.79 \pm 20.24 ^p	PLOMO 27.39 \pm 5.48 ^r	NIQUEL 25.77 \pm 5.63 ^s	COBALTO 15.52 \pm 2.72 ^t
	rango	29.34, 179.91	18.66, 57.56	22.42, 107.95	20.18, 41.71	17.49, 37.30	10.71, 21.02
MACHOS	$\bar{X} \pm \text{S}$	71.41 \pm 40.20 ⁿ	26.87 \pm 11.14 ^o	46.72 \pm 19.85 ^q	25.28 \pm 3.60 ^r	25.01 \pm 5.11 ^s	14.75 \pm 3.21 ^t
	rango	0.00, 169.39	11.46, 58.62	6.37, 85.95	15.58, 33.11	16.18, 33.51	9.63, 21.02
HEMBRAS	$\bar{X} \pm \text{S}$	MANGANESO 4.56 \pm 0.78 ^u	COBRE 3.47 \pm 0.56 ^v	CROMO 3.80 \pm 0.92 ^w	CADMIO 2.22 \pm 0.41 ^x	MERCURIO 0.09 \pm 0.09 ^y	CALCIO 221533 \pm 34263 ^z
	rango	3.26, 6.92	2.83, 4.69	2.50, 6.92	1.18, 3.19	0.01, 0.42	165282, 328419
MACHOS	$\bar{X} \pm \text{S}$	4.24 \pm 0.87 ^u	3.26 \pm 0.63 ^v	3.37 \pm 0.55 ^w	2.09 \pm 0.51 ^x	0.07 \pm 0.06 ^y	211743 \pm 61757 ^z
	rango	2.90, 6.75	2.04, 5.25	2.04, 5.19	1.10, 3.20	0.00, 0.21	98657, 389979

S = desviación estándar

2.1 Diferencias significativas entre hembras y machos de lobo marino.

Al realizar las comparaciones de los promedios de las concentraciones entre machos y hembras utilizando la prueba de t de Student, se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0.05$) entre las concentraciones promedio de **Zn**. La concentración de Zn en el diente fue mayor en las hembras (61.79 ± 20.24 ppm) que en los machos (46.72 ± 19.85 ppm) con una diferencia entre sus medias de 3.74 a 26.39 ppm ($0.01 < p < 0.02$). También en la bula, la concentración promedio del Zn fue mayor en las hembras (53.84 ± 13.25 ppm) que en los machos (45.80 ± 14.35 ppm), con una diferencia de medias de 0.20 a 15.89 ppm ($0.02 < p < 0.05$) (Cuadro 5.4).

3. CONCENTRACIÓN DE LOS METALES POR EDADES

En el Cuadro 5.5 se muestran las concentraciones promedio de los metales en las bulas y dientes de los lobos marinos de California por edades estimadas de acuerdo con el número de estrías. Los resultados revelan que grandes cantidades de los metales pueden estar presentes en el tejido óseo y dental de los críos de lobo marino (0 estrías). También se observa que las concentraciones promedio de los metales en bula y diente de los lobos marinos de 10 estrías son mas bajas que en los lobos marinos de 9 estrías. Para las edades 11, 13 y 14 estrías, el tamaño de muestra es muy reducido ($n=1$). Esto hace difícil establecer el comportamiento de las concentraciones de metales después de las 10 estrías. Debido a esto, se graficaron solamente los valores mínimo, máximo y el promedio de las concentraciones de metales de las 0 a las 10 estrías.

La concentración del Al en bula presentó tendencia a aumentar con la edad de los lobos marinos (Gráfica 4). Contrario a lo esperado, el incremento de la concentración de Pb en la bula con la edad fue muy reducido. El Cd y el Hg en bula también tuvieron un reducido aumento con la edad.

En el diente, el Al presentó tendencia a aumentar con la edad de los animales y el Cd a disminuir (Gráfica 7). El Pb y el Hg presentaron menor tendencia a aumentar con la edad que el Al.

Las concentraciones de Fe en la bula, Zn en el diente, y Cr en bula y diente presentaron tendencia a aumentar con la edad de los lobos marinos (Gráficas 5, 6, 8 y 9). En la bula, el Mn presenta una menor tendencia a aumentar con la edad que el Fe (Gráfica 5).

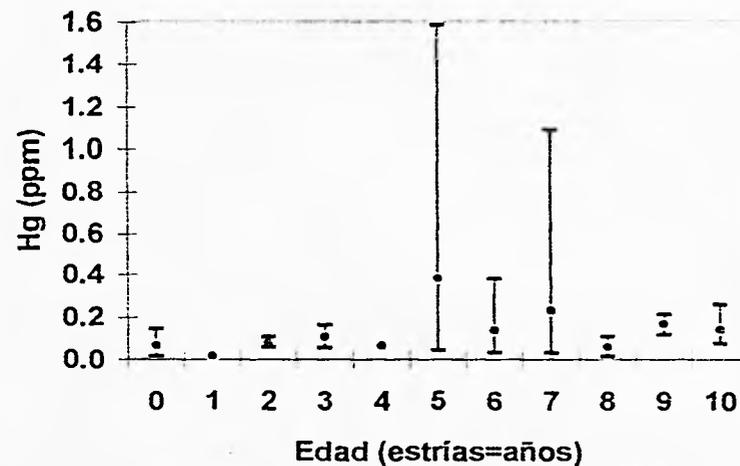
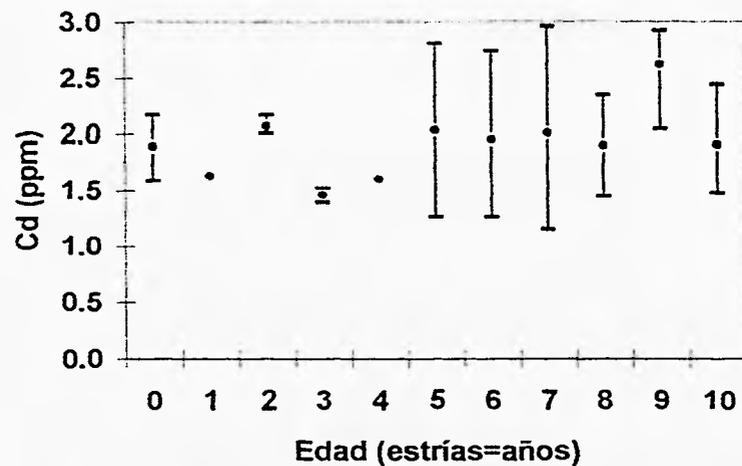
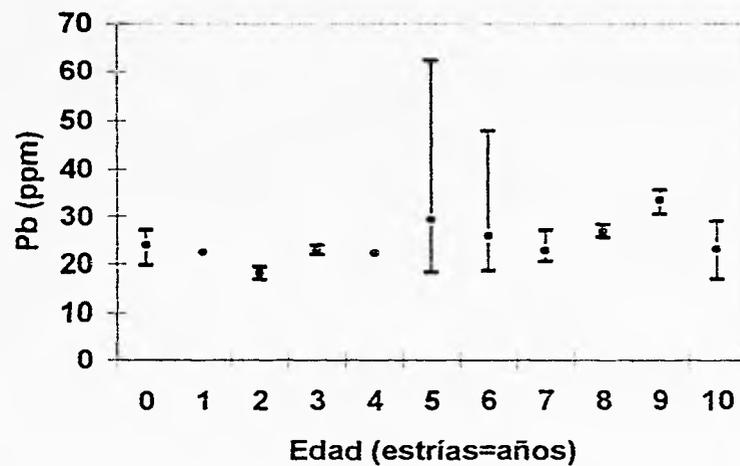
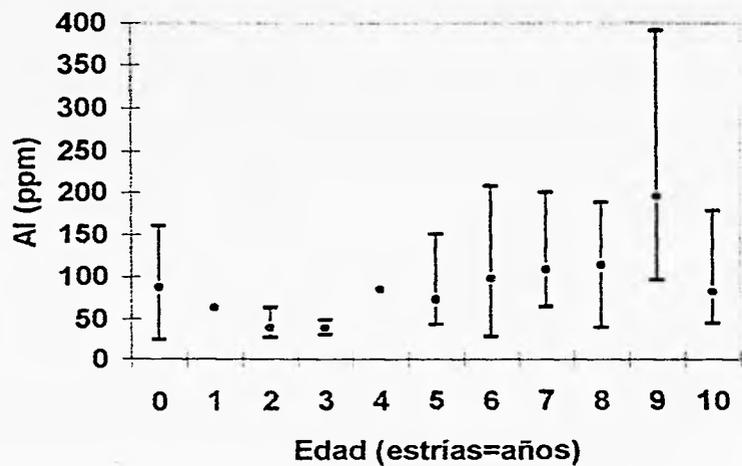
Las concentraciones de Ca, Cu y Zn en bula tuvieron una cierta tendencia a disminuir con la edad, y para el Ni y Co en la bula no hubo tendencia clara a aumentar o disminuir con la edad (Gráficas 5 y 6).

En el diente, las concentraciones de los metales Ca, Fe, Ni, Co, Mn y Cu, presentaron tendencia a disminuir con la edad de los lobos marinos (Gráficas 8 y 9).

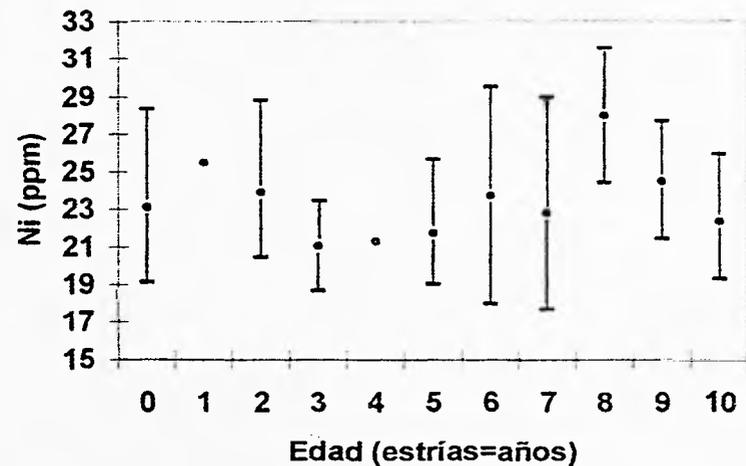
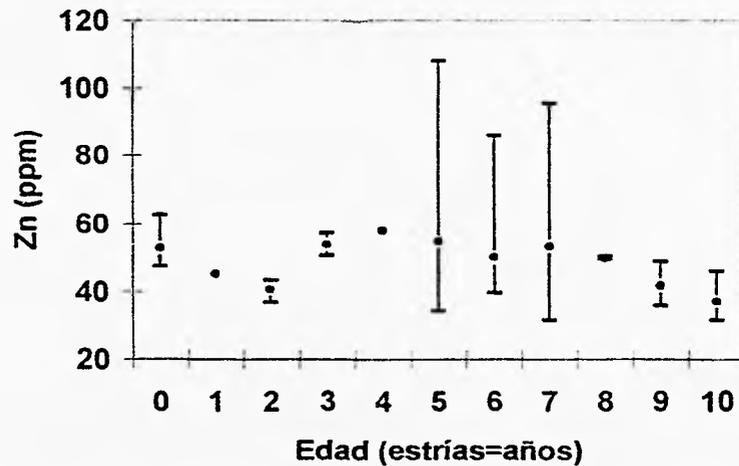
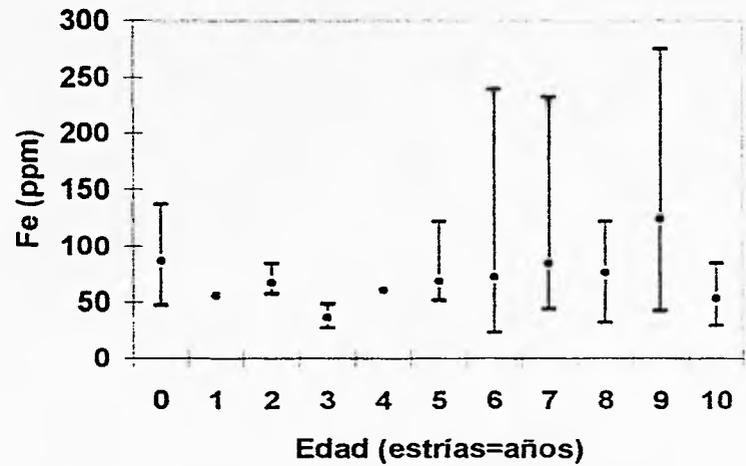
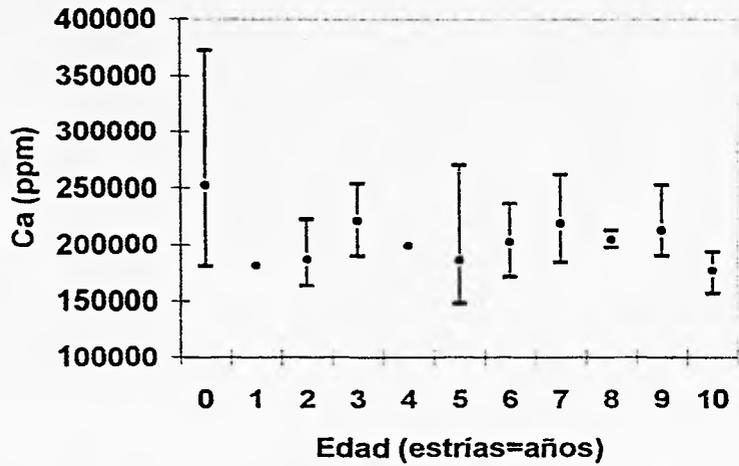
CUADRO 5.5 Concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$) de metales en las bulas y dientes de los lobos marinos de California de acuerdo al número de estrías.

Estrías	Tamaño de muestra			Concentración Promedio de Metales en la Bula											
	total	hembras	machos	Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
0	5	2	3	86.99	86.81	53.05	24.12	23.16	14.76	5.87	3.90	2.81	1.90	0.07	252256
1	1	0	1	64.17	55.44	45.17	22.59	25.46	14.78	3.70	4.11	2.67	1.64	0.02	181971
2	3	1	2	39.18	67.37	41.00	18.34	23.93	12.66	4.11	5.94	2.62	2.07	0.08	187489
3	2	1	1	39.15	37.40	54.09	23.03	21.10	12.00	3.66	2.99	2.74	1.46	0.11	221451
4	1	1	0	84.14	60.58	58.16	22.46	21.32	12.92	4.52	2.75	2.58	1.62	0.06	199483
5	5	3	2	72.94	68.74	54.89	29.32	21.79	12.41	4.03	3.03	2.75	2.04	0.38	186257
6	10	6	4	98.98	72.73	50.36	26.15	23.75	13.30	4.59	3.63	3.12	1.96	0.14	203174
7	7	3	4	108.34	84.24	53.50	23.04	22.80	13.79	4.45	2.93	3.24	2.01	0.23	218641
8	2	1	1	113.58	76.66	50.07	26.96	28.02	14.79	4.92	4.66	3.38	1.90	0.06	204954
9	3	0	3	195.73	123.08	41.90	33.57	24.51	14.43	5.45	3.41	3.86	2.62	0.17	212933
10	5	0	5	81.76	52.86	37.30	23.35	22.42	13.51	4.02	2.83	3.00	1.91	0.14	177650
11	1	1	0	131.47	39.27	51.09	37.36	23.47	10.38	2.87	2.87	2.08	1.60	0.04	187069
13	1	1	0	51.65	92.15	53.72	19.21	22.11	13.64	3.72	3.72	3.72	2.27	0.12	177893
14	1	0	1	134.06	46.15	52.63	21.05	27.13	16.19	4.05	3.64	3.64	2.43	0.13	243158

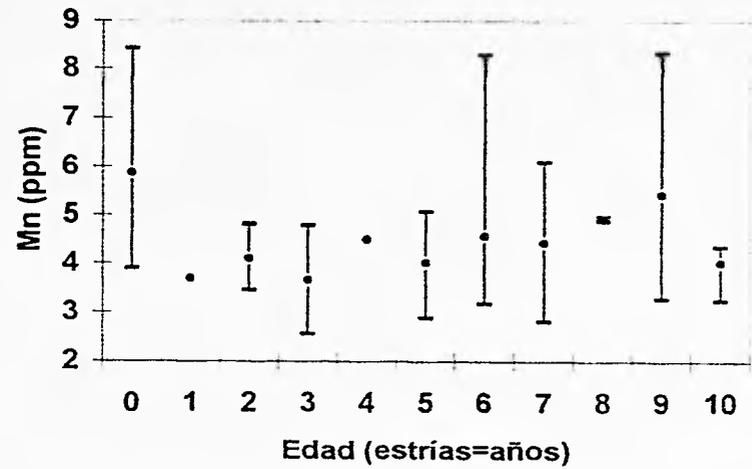
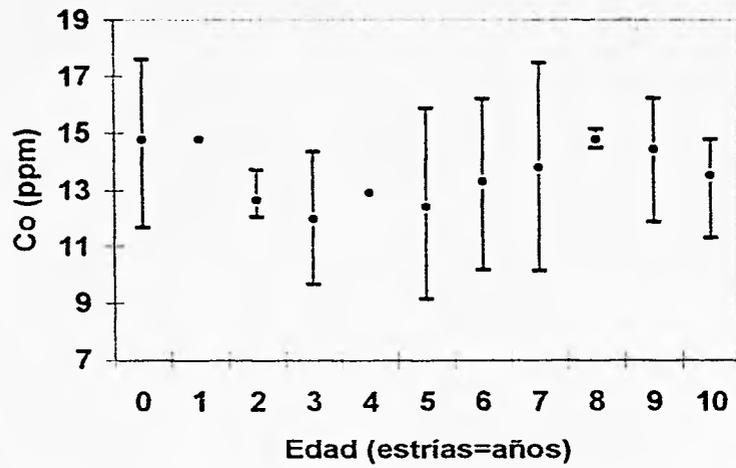
Estrías	Tamaño de muestra			Concentración Promedio de Metales en el Diente											
	total	hembras	machos	Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
0	5	2	3	66.29	45.87	27.26	27.27	29.48	17.26	5.29	4.44	3.46	2.35	0.08	267346
1	1	0	1	99.52	27.07	6.37	28.34	33.44	21.02	4.14	3.82	3.18	2.23	0.02	327707
2	3	1	2	24.31	28.39	25.88	21.92	25.74	15.11	4.50	3.18	3.07	2.48	0.09	197735
3	2	1	1	42.14	23.50	42.89	25.44	26.04	14.25	4.69	3.11	3.10	1.94	0.04	203959
4	1	1	0	84.83	32.57	70.58	23.07	34.47	19.82	5.43	4.07	2.99	2.44	0.01	254235
5	5	3	2	78.38	27.94	59.45	26.67	23.47	14.12	3.98	3.30	3.96	2.08	0.13	216307
6	10	6	4	77.14	25.75	57.50	26.79	25.75	14.89	4.24	3.21	3.74	2.12	0.07	188981
7	7	3	4	59.40	24.74	53.98	25.76	26.64	16.66	4.59	3.34	3.30	2.28	0.07	248377
8	2	1	1	90.07	40.87	72.04	28.65	23.96	14.27	3.63	3.36	3.72	1.79	0.03	220385
9	3	0	3	138.13	22.53	60.07	27.01	19.46	11.70	4.23	2.95	3.80	2.02	0.10	183704
10	5	0	5	74.58	19.73	58.02	24.32	22.96	13.78	4.02	3.10	3.35	1.95	0.08	181733
11	1	1	0	85.14	35.97	72.37	30.23	27.25	14.05	4.04	3.41	3.62	2.13	0.02	232439
13	1	1	0	68.91	24.07	77.18	23.89	20.76	13.05	4.96	3.12	4.96	2.21	0.10	210695
14	1	0	1	50.22	19.46	85.95	23.00	27.55	16.94	4.30	2.78	3.03	2.78	0.10	226138



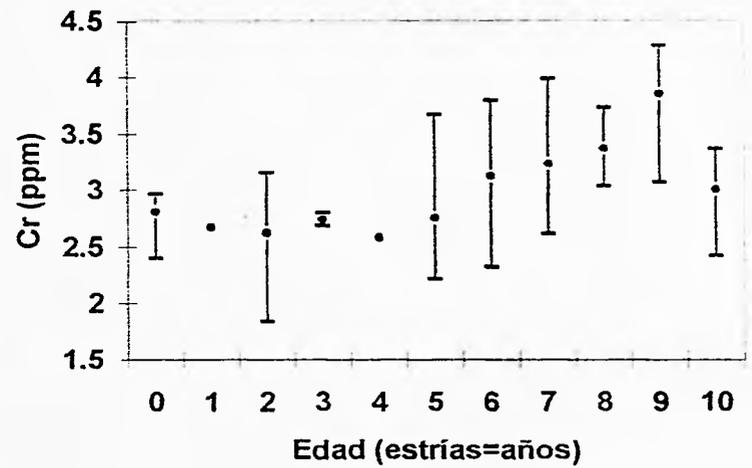
Gráfica 4. Promedios y rangos de las concentraciones de Al, Pb, Cd y Hg en las bulas de los lobos marinos de California de acuerdo a la edad.



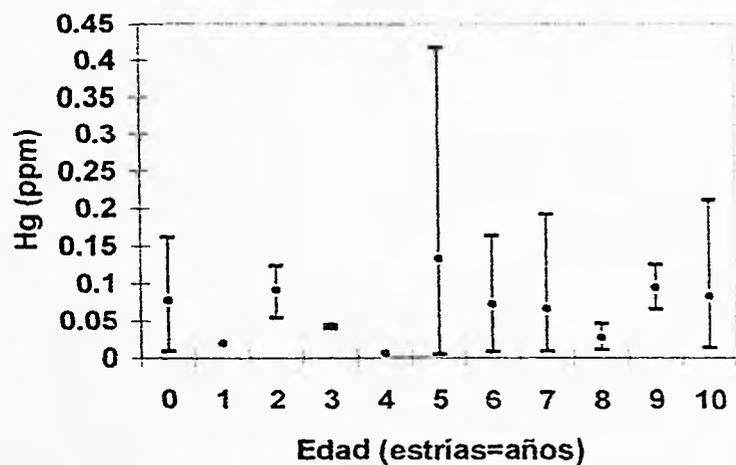
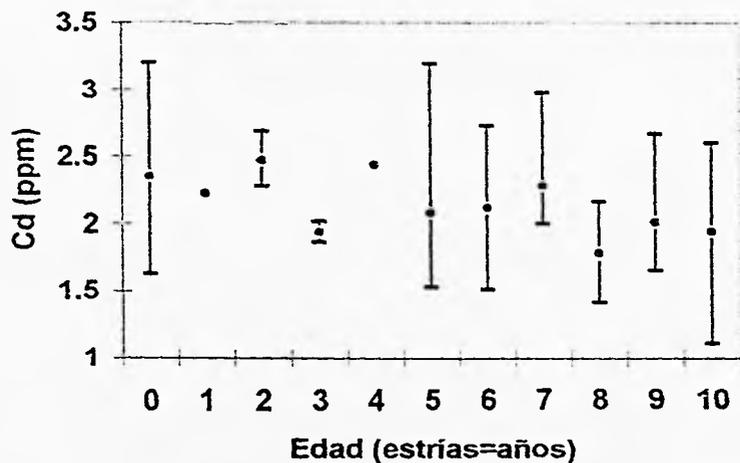
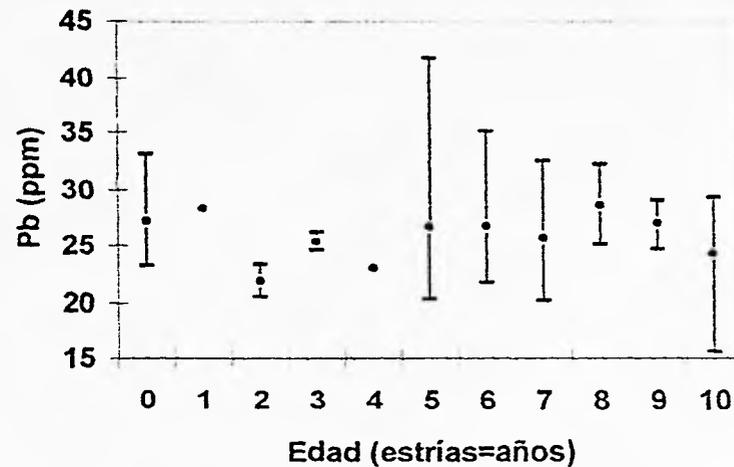
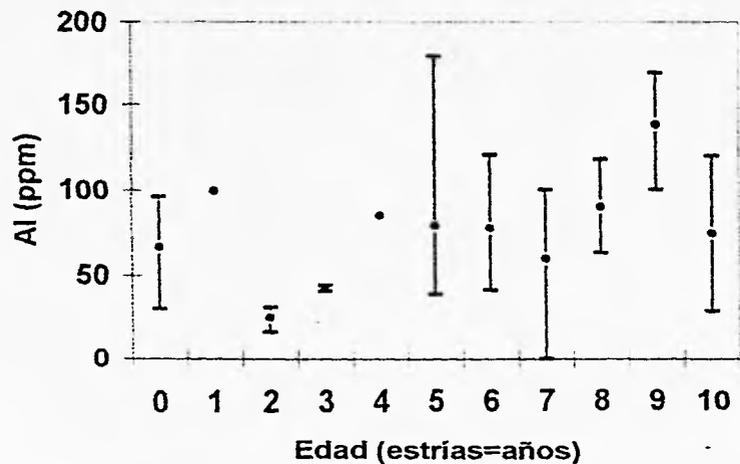
Gráfica 5. Promedios y rangos de las concentraciones de Ca, Fe, Zn y Ni en las bulas de los lobos marinos de California de acuerdo a la edad.



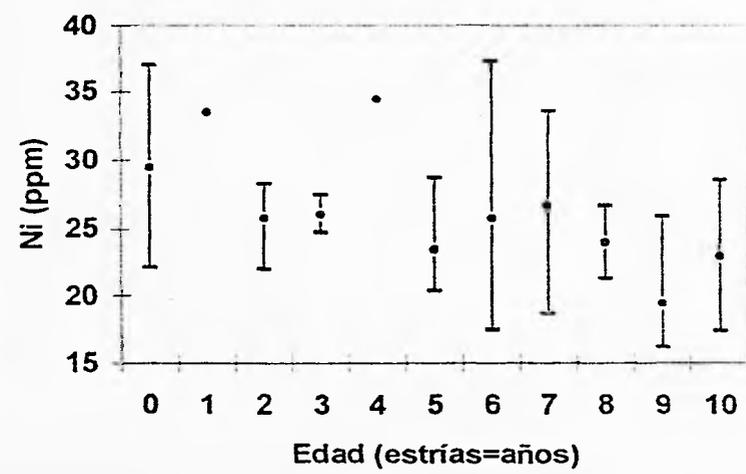
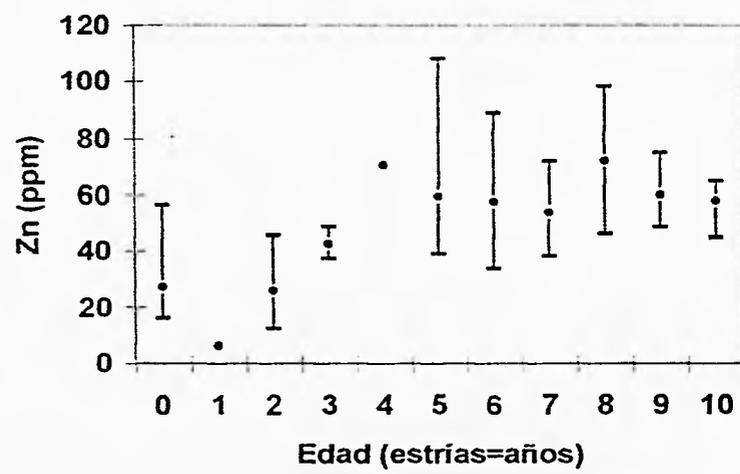
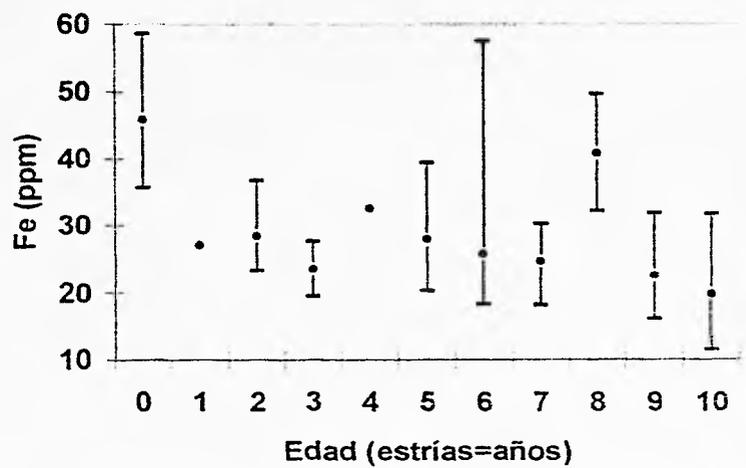
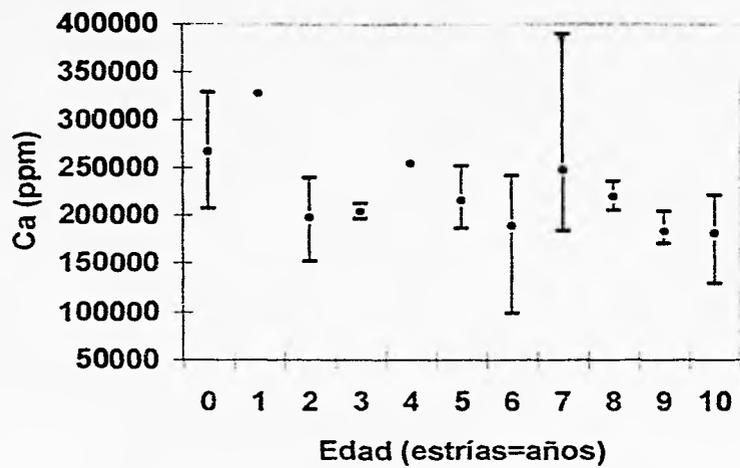
49



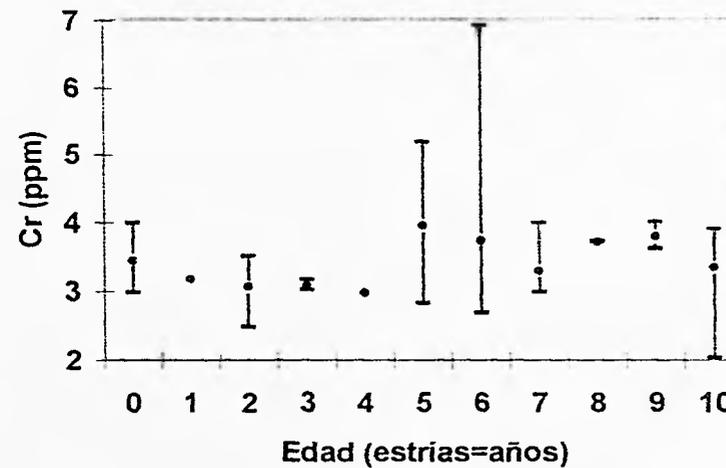
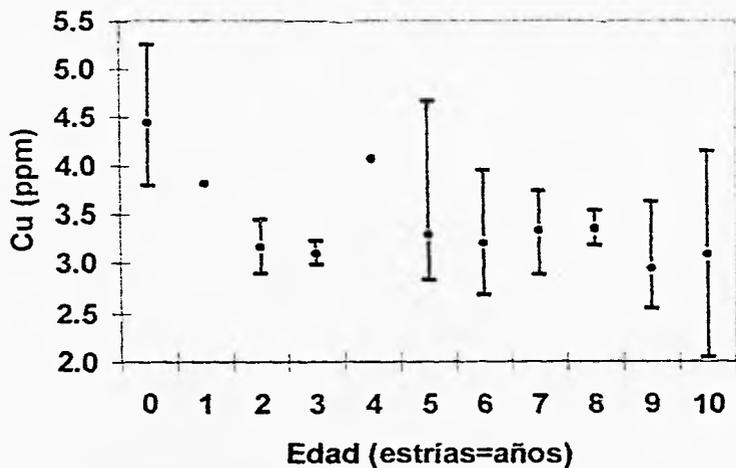
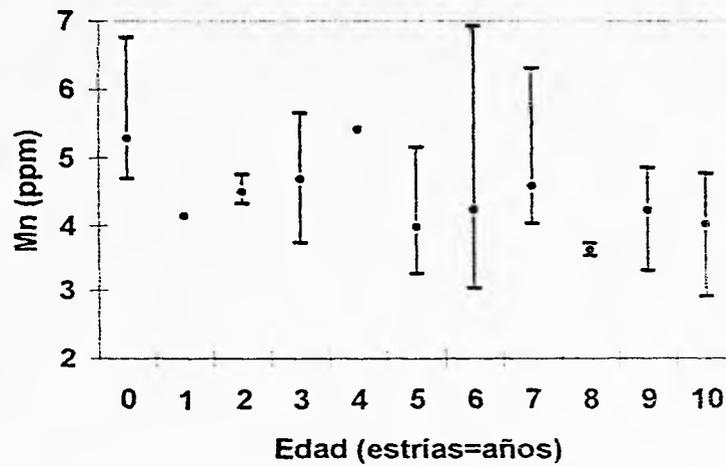
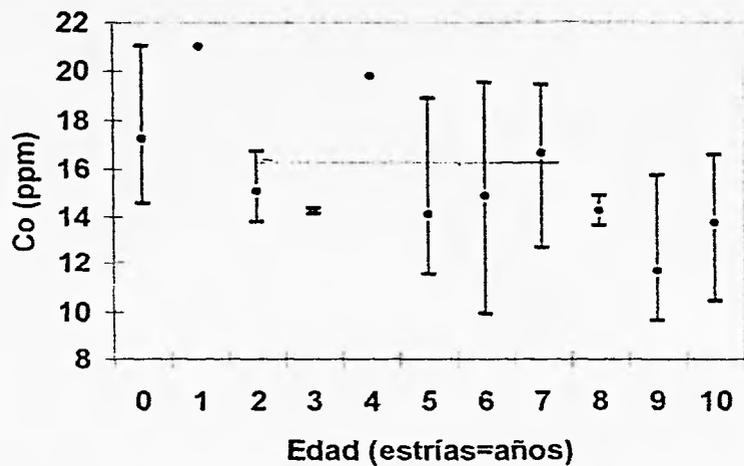
Gráfica 6. Promedios y rangos de las concentraciones de Co, Mn, Cu y Cr en las bulas de los lobos marinos de California de acuerdo a la edad.



Gráfica 7. Promedios y rangos de las concentraciones de Al, Pb, Cd y Hg en los dientes de los lobos marinos de California de acuerdo a la edad.



Gráfica 8. Promedios y rangos de las concentraciones de Ca, Fe, Zn y Ni en los dientes de los lobos marinos de California de acuerdo a la edad.



Gráfica 9. Promedios y rangos de las concentraciones de Co, Mn, Cu y Cr en los dientes de los lobos marinos de California de acuerdo a la edad.

3.1 Categorías de edad

De los 51 cráneos que se utilizaron para este estudio, se determinó por medio de la comparación de las características dimórficas mencionadas en la metodología que, 18 fueron cráneos de hembras adultas, 11 de machos subadultos, 10 de machos adultos, 7 de juveniles (3 hembras y 4 machos), y 5 de críos (3 machos y 2 hembras) .

En el Cuadro 5.7 aparece la concentración promedio de cada metal acumulado en las bulas de ejemplares de las distintas categorías de edad en el lobo marino de California. Las concentraciones de metales para las categorías de machos adultos y machos subadultos se promediaron para obtener la concentración promedio en machos de 5 a 14 estrías. Las concentraciones promedio de metales en los animales que han alcanzado la madurez sexual se obtuvieron de las concentraciones de metales en los animales de 5 a 14 estrías de ambos sexos.

En general se observa que los lobos marinos adultos presentaron las mayores concentraciones promedio de los metales no esenciales que han mostrado ser potencialmente tóxicos, y también del Cr que aunque es un metal esencial, en exceso resulta ser extremadamente tóxico. Los machos adultos presentan los niveles mas elevados de Al, Cr y Cd en la bula, y de Al en diente. Las hembras adultas acumularon mayores cantidades de Pb y Hg en la bula, y de Pb, Hg y Cr en el diente. La excepción fue el Cd en el diente ya que los críos presentaron la mayor concentración.

Los lobos marinos más jóvenes presentaron las mayores concentraciones promedio de los metales esenciales con la excepción del Zn cuyos niveles mas altos se presentaron en las hembras adultas. Los críos presentan las mayores concentraciones de Ca, Fe, Co y Mn en la bula, y de Ca, Fe, Ni, Co, Mn, y Cu en el diente. Los juveniles presentaron la acumulación más elevada de Cu en la bula.

CUADRO 5.6 Promedios de la concentración de metales ($\mu\text{g/g}$, peso seco) en las bulas y dientes de los lobos marinos del Golfo de California (*Zalophus californianus californianus*) por categorías de edad.

BULA														
EDAD estrias		Categorías de Edad	CONCENTRACION ($\mu\text{g/g}$)											
rango	\bar{X}		Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
0	0	CRIOS	86.99	86.81	53.05	24.12	23.16	14.76	5.87	3.90	2.81	1.90	0.067	327269
1 a 4	2.4	JUVENILES	19.16	56.13	47.79	20.88	22.97	12.81	3.98	4.38	2.66	1.77	0.078	198118
5 a 8	6.4	M. Subadultos	85.59	72.56	49.15	25.46	24.00	13.30	4.47	3.40	3.03	1.78	0.070	200384
5 a 13	6.9	H. ADULTAS	105.48	76.68	54.08	28.03	22.70	13.23	4.39	3.43	3.15	2.10	0.280	203673
9 a 14	10.1	M. ADULTOS	131.30	70.83	40.68	26.68	23.34	13.93	4.44	3.09	3.46	2.21	0.143	195662
5 a 14	8.1	MS + MA	107.35	71.73	45.12	26.04	23.69	13.60	4.45	3.25	3.23	1.98	0.107	198135
5 a 14	7.6	HA + MS + MA	114.70	74.59	49.30	27.55	22.93	13.48	4.41	3.31	3.26	2.14	0.230	200812

DIENTE														
EDAD estrias		Categorías de Edad	CONCENTRACION ($\mu\text{g/g}$)											
rango	\bar{X}		Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
0	0	CRIOS	66.29	45.87	27.26	27.28	29.48	17.25	5.29	4.44	3.46	2.35	0.078	267346
1 a 4	2.4	JUVENILES	48.79	27.40	34.34	24.01	28.18	16.38	4.64	3.38	3.09	2.28	0.056	226152
5 a 8	6.4	M. Subadultos	55.48	27.40	50.26	24.71	25.86	14.85	3.98	3.17	3.35	2.00	0.042	215923
5 a 13	6.9	H. ADULTAS	87.81	26.91	65.44	28.33	24.64	15.15	4.41	3.34	3.98	2.18	0.093	214414
9 a 14	10.1	M. ADULTOS	95.92	20.47	62.20	25.16	22.05	13.31	4.15	3.02	3.45	2.06	0.092	187446
5 a 14	8.1	MS + MA	74.74	24.10	55.95	24.93	24.05	14.12	4.06	3.10	3.39	2.03	0.066	202362
5 a 14	7.6	HA + MS + MA	90.71	24.61	64.28	27.20	23.71	14.50	4.32	3.23	3.79	2.14	0.093	204610

M = machos, H = hembras, MS = machos subadultos, HA = hembras adultas, MA = machos adultos

promedio mas alto

VI. DISCUSIÓN

1. CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL HUESO Y EN EL DIENTE

Después del Ca, los elementos que se acumularon en el hueso y el diente de los lobos marinos de California con las más altas concentraciones son los metales tóxicos Al y Pb, y los minerales esenciales Fe y Zn. Las concentraciones de Ni y Co también son importantes. El Mn, Cu, Cr, Cd y Hg se acumularon en menor proporción que los demás metales.

Las concentraciones promedio de Al, Zn, Pb, Ni, Cu y Cd para bulas timpánica y dientes postcaninos de los lobos marinos del Golfo de California del presente estudio son menores a las reportadas por Becerril (1995) para el tejido óseo de esta misma especie. La concentración de Zn en el trabajo de Becerril es aprox. tres veces mayor que en este estudio. Estas diferencias en las concentraciones se atribuyen al tipo de hueso utilizado, ya que el recambio de Ca (y por tanto de los elementos traza) es mayor en el hueso esponjoso o trabecular que en el compacto (Lesson y Lesson, 1967). La bula forma parte del hueso temporal, que es más compacto que los huesos analizados por Becerril: costilla, vértebra, escápula, radio, carpiano, fémur, maxilar y dentario. Además, las magnitudes relativas son similares en ambos estudios para los valores de Al>Pb>Ni>Cu>Cd.

Las diferencias entre las concentraciones de metales pesados en el tejido óseo del lobo marino de California del presente estudio y del lobo fino Antártico *Arctocephalus gazella* (Cuspinera y col., en prensa) pueden ser atribuidas a la diferencia de dietas y de localización geográfica. El lobo marino de California *Zalophus californianus californianus* se alimenta de peces y calamares principalmente, y habita en el Golfo de California. El lobo fino Antártico se alimenta casi exclusivamente del crustáceo conocido como krill (*Euphausia superba*) y habita principalmente en South Georgia, al sur de la Convergencia Antártica (Reeves y

col., 1994). El krill es muy abundante en el ecosistema marino de la Antártida y, al ser parte del zooplancton, presenta gran capacidad para la acumulación de ciertos metales (Yamamoto y col., 1987). Las muy altas concentraciones de Fe, Zn y Mn en los huesos del lobo fino Antártico pueden ser debidas a que se encuentren en cantidades importantes en el krill. Yamamoto y col. (1987) reportan concentraciones de Cu (12.7 µg/g, peso húmedo), Zn (9.6 µg/g), Fe (3.6 µg/g), Mn (0.71 µg/g), Ni (0.45 µg/g), Cd (0.43 µg/g), Pb (0.04 µg/g), y Co (0.02 µg/g) en krill antártico. Soszka y col. (1981) reportan concentraciones de Zn 123 µg/g, Cd 2.5 µg/g y Pb 3.4 µg/g, peso seco, en el krill del Mar de Scotia en South Georgia.

CUADRO 6.1 Concentración promedio (ppm) de metales pesados en tejido óseo de dos especies de pinnípedos.

Autor y año	Especie	Metal	Promedio	Mínimo	Máximo
Becerril, 1995	<i>Zalophus californianus</i> Lobo marino de California	Al	140	2.7	628
		Zn	156	5.7	397
		Pb	33	14.5	50
		Ni	28	4.2	42
		Cu	8	3.9	17
		Cd	6	1.4	16
Cuspinera y col., en prensa	<i>Arctocephalus gazella</i> Lobo fino antártico	Fe	988	70	3511
		Al	383	60	1109
		Zn	137	78	254
		Mn	77	2	245
		Pb	24	13	46
		Co	11	6	17
		Ni	7	5	11
		Cu	6	3	19
		Cr	6	3	14
		Cd	3	2	5

De acuerdo a los resultados del presente estudio, el hueso es un buen indicador de la presencia de los metales pesados como el **Pb**, **Al**, **Zn**, **Ni**, **Co** y **Cr**. Además, la presencia en el tejido óseo del **Cd** y del **Hg**, metales que se almacenan principalmente en riñón e hígado, indica que durante la vida del organismo hubo contacto o exposición crónica con estos metales tóxicos, ya que para que estos

elementos lleguen a depositarse en el hueso aunque sea en diminutas cantidades, primeramente debieron ser absorbidos en el cuerpo del animal para entrar en la circulación sanguínea y pasar por los órganos y tejidos blandos del organismo, hasta quedar incluidos en la estructura ósea.

La afinidad del hueso y el diente por el Al, Pb, Zn, Fe y los otros elementos traza está relacionada con el metabolismo del Ca en el hueso, ya que éstos pueden ser antagonistas del Ca o interferir en su metabolismo (Avioli, 1988). El Ca no solo sirve como el principal componente del esqueleto, también tiene funciones vitales en varios procesos fisiológicos como la coagulación de la sangre, la excitabilidad neuromuscular, la transmisión de impulsos nerviosos, el mantenimiento y funcionamiento de las membranas celulares, y la activación de reacciones enzimáticas y de la secreción hormonal (Linder, 1991). El tejido óseo participa activamente en la muy eficiente regulación homeostática del Ca en el plasma, y mantiene en un equilibrio dinámico los complejos insolubles de Ca con las formas solubles del Ca circulante en la sangre. El Ca entra en el hueso principalmente por las trabéculas óseas y como un ion en solución, pero cambia a la fase sólida al entrar en contacto con la superficie del hueso. (Avioli, 1988; Bronner, 1992). El remodelado óseo, y por lo tanto la movilización del Ca en el hueso están hormonalmente modulados. La hormona paratiroidea (HPT) actúa directamente sobre el hueso provocando la resorción ósea para la restauración de la concentración de Ca en el líquido extracelular. (Hemy, 1988).

El Ca entra al cuerpo por el intestino, ya sea por la vía de transporte activo regulado, o por el transporte pasivo dependiente del gradiente de concentración. La cantidad de Ca ingerida es el principal factor que determina la cantidad de Ca absorbido. El Ca sale del cuerpo por las vías intestinal y la renal, pero un ion de Ca circulante tiene una oportunidad en cuatro de ser excretado. (Avioli, 1988; Bronner, 1992). Estas consideraciones también son válidas para los iones de metales pesados que compiten con el Ca. De acuerdo con Bronner (1992), la cantidad

ingerida de Pb también es el principal factor que determina la cantidad absorbida.

El Al, Pb y Cd son metales pesados que pueden competir con el Ca en los sitios de absorción, transporte y depositación (Bronner, 1992), y su toxicidad radica en las interferencias y efectos adversos que ocasionan en el metabolismo del Ca (Mahaffey, 1974; Maloney y col., 1982; Yasui y col., 1991a; Silbergeld, 1991). El Al, Pb y Cd se acumulan en el tejido óseo al competir con el Ca por los sitios de unión en los cristales de los fosfatos de calcio, y son removidos del hueso al solubilizarse los cristales de apatita y ser removido el Ca durante la resorción ósea (Avioli, 1988; Linder, 1991; Christoffersen y col., 1988 citado en Sacco-Gibson y col., 1992).

De acuerdo con Bronner (1992), el Pb compite con el Ca e interfiere con su regulación homeostática. Además, el Al y el Pb interfieren con la absorción y el transporte de Ca. Es por esto que las variaciones en el contenido de Ca en la dieta influyen en la susceptibilidad a la toxicidad del Pb y del Al (Mahaffey, 1974; Yasui y col., 1991a, 1991 b).

Se sabe que la mayor parte del Pb que entra en el organismo se acumula en los huesos donde queda inerte, y que el Pb presente en la sangre es el responsable de los efectos adversos en los órganos. Sin embargo, la carga de Pb en los huesos puede contribuir a mantener elevados los niveles en sangre (Silbergeld, 1991). Alvear y col. (1994) reportan concentraciones de Pb en los dientes deciduos (incisivos) de niños de 7 a 9 años de edad que viven en la Ciudad de México, con un rango de 1.40 a 69 $\mu\text{g/g}$ y una media de 8.3. La concentración promedio de Pb (26.23 ± 4.62 ppm) en los dientes de los lobos marinos del presente estudio es el triple de la reportada por Alvear y col. (1994), pero el rango es menor (15.58 a 41.17 ppm Pb).

Maloney y col. (1982) encontraron que los pacientes con falla renal crónica bajo diálisis frecuentemente desarrollan lesiones óseas debido al Al incluido en el

tratamiento, y clasificaron el contenido de aluminio en las biopsias de las crestas iliacas anteriores de estos pacientes como alto de 210 a 411 mg/kg, moderado de 89 a 114 mg/kg y bajo con 24 a 69 mg/kg. Anteriormente, Alfrey y col. (1976) reportaron los valores normales del aluminio en el hueso de personas sanas menores a 8 mg/kg peso seco. Maloney y col. (1982) reportan que los pacientes con contenidos moderados y altos de Al presentaban también osteomalacia, y sugieren que el Al interfiere con la depositación normal del Ca en el hueso de estos pacientes. Las concentraciones promedio de Al en los huesos y dientes de los lobos marinos de California quedarían clasificadas como moderadas según el criterio de Maloney y col. (1982).

De acuerdo con Dohi y col., (1993) los iones de Cd^{2+} pueden afectar directamente al hueso y causar una mineralización anormal al retrasar la diferenciación de los osteoblastos.. En los huesos de los lobos marinos de este estudio, los rangos para el Cd son de 1.11 a 2.96 ppm.

1.1 Diferencias significativas entre las concentraciones de metales en el hueso y en el diente.

Las concentraciones promedio de **Zn, Pb, Mn, Cu, y Ca** no presentaron diferencias estadísticamente significativas en las bulas vs. los dientes de los lobos marinos de California. Esto puede explicarse ya que el hueso y el diente comparten afinidades semejantes por estos metales debido a sus similitudes metabólicas e histológicas. (Lesson y Lesson, 1967; Williams y Elliot, 1982). Ambos tejidos funcionan como reservorios para los metales traza. Además, las bulas y los dientes pertenecen a los mismos ejemplares.

El hueso y el diente están compuestos por tejidos conjuntivos especializados con características semejantes, ya que en ambos existen una substancia intercelular o matriz con un componente orgánico y uno inorgánico, además de las células

productoras del componente orgánico. Los osteoblastos son las células productoras en el hueso, y en el diente se les llama odontoblastos. En ambos tejidos el principal componente orgánico es la colágena y el inorgánico son los fosfatos de calcio. La matriz se calcifica o mineraliza al depositarse los cristales de fosfatos de calcio dentro de las fibras de colágena. (Lesson y Lesson, 1967).

Del 65 al 70% del hueso está constituido por los minerales, principalmente por Calcio y Fosfato. En el diente esta cifra es un poco mayor: 72% de la dentina y 88% del esmalte son sales minerales que forman los cristales de hidroxiapatita (Williams y Elliot, 1982). La mayor mineralización del diente puede explicar el que la concentración promedio de Ca en los dientes de lobo marino sea ligeramente mayor que la concentración promedio de Ca en la bula.

Una diferencia importante entre el hueso y el diente es que en la médula ósea se lleva a cabo la hematopoyesis. Esta diferencia podría explicar el mayor contenido promedio de Fe en las bulas de los lobos marinos en comparación con el contenido en los dientes. Las muestras óseas analizadas en el presente estudio se componían de tejido óseo compacto y esponjoso.

Para la producción de los eritrocitos se requieren concentraciones importantes de Fe en la médula ósea, la cual está rodeada por el hueso esponjoso. La mayor parte del Fe corporal está en las células rojas de la sangre. Ésta circula por las trabéculas y los canales de Havers del hueso para llevar los nutrientes y el oxígeno hasta las lagunas donde se encuentran los osteocitos. (Lesson y Lesson, 1967). Es posible que los iones circulantes de Fe puedan depositarse en la estructura ósea al entrar en contacto con la superficie del hueso. El hueso presenta mayor superficie de contacto con la sangre que el diente.

En cambio, en el diente no hay producción de eritrocitos. La sangre se limita a circular por la cavidad pulpar para nutrir a las células y no penetra en la dentina ni

en el esmalte. La dentina contiene únicamente las estructuras conocidas como procesos celulares de los odontoblastos, y los cuerpos celulares se encuentran en la superficie interna a nivel de la pulpa. (Williams y Elliot, 1982).

Los metales tóxicos que circulen en la sangre de los mamíferos también podrían depositarse en mayor concentración en el hueso en comparación con el diente. En el presente estudio, las concentraciones promedio de los metales tóxicos **Al** y **Hg** son mayores en las bulas que en los dientes de lobo marinos de California.

Por otro lado, el **Co**, **Ni**, **Cr** y **Cd** también presentan una diferencia estadísticamente significativa entre sus concentraciones acumuladas en bula y diente. Las mayores concentraciones de estos metales en el diente en comparación con la bula sugieren una mayor afinidad del tejido dental por ellos, posiblemente para incorporarlos a su estructura más mineralizada.

1.2 Correlación entre las concentraciones de metales.

La correlación entre el **Ni** y el **Co** en los tejidos dental ($r=0.919$) y óseo ($r=0.805$) de los lobos marinos de California sugiere una relación en su forma de almacenamiento en los cristales de hidroxiapatita. Posiblemente, esta relación tenga que ver con la similitud en sus masas atómicas ya que los iones del **Ni** y del **Co** tienen tamaños muy parecidos.

La hidroxiapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, es el fosfato de calcio más importante del reino animal porque está en estrecha relación con el fosfato de calcio básico de los huesos y los dientes, que difiere de la hidroxiapatita pura por la presencia de un gran número de iones adicionales o de algún fosfato de calcio amorfo ausentes en la hidroxiapatita, y por haber substituciones y lugares vacíos dentro del cristal. Las apatitas son estructuras iónicas muy estables, y por lo tanto, exhiben la propiedad de la substitución parcial o completa de iones de la estructura por otros iones de

tamaño similar. Los factores predominantes para decidir la posibilidad y el grado de una sustitución, son los tamaños relativos de los iones que participan, siendo la similitud en la carga de importancia secundaria. Las sustituciones deben acoplarse de manera que se mantenga la neutralidad eléctrica total. Algunas de las muchas posibilidades para la hidroxiapatita son: Sr^{2+} , Ba^{2+} y Pb^{2+} reemplazando Ca^{2+} . (Williams y Elliot, 1982). También los elementos traza son incorporados o adsorbidos en los cristales de hidroxiapatita (Avioli, 1988).

La esencialidad del Ni en los mamíferos aún no está definida claramente (Linder, 1991), sin embargo, se considera como esencial ya que interacciona con varios minerales traza en funciones enzimáticas. También se ha asociado la deficiencia de Ni con ciertas malformaciones óseas (Nielsen, 1988).

Por otro lado, las concentraciones de Al y Hg presentan coeficientes de correlación bajos ($r \approx 0.6$). Sin embargo, ya que ambos tejidos pueden funcionar como depósitos donde estos metales tóxicos permanecen inertes, es posible esperar que al aumentar la concentración de Al o Hg en el la bula también aumenta la concentración de Al o Hg en el diente.

1.3 Variabilidad de las concentraciones de metales en hueso y diente.

En las bulas de lobo marino de California la variabilidad fue mayor que en el diente para el Al, Fe, Pb, Mn, Cu, Cd y Hg. Las diferencias en la variabilidad de las concentraciones de los metales en las bulas y dientes de los lobos marinos pueden explicarse por las diferencias en el metabolismo del Ca en estos tejidos.

El metabolismo de calcificación prosigue durante toda la vida del individuo tanto en el hueso como en el diente, pero en el diente se limita a reducir el tamaño de la cavidad pulpar mientras que el remodelado óseo ocurre constantemente en el hueso con la resorción y depósito de nuevo tejido. (Lesson y Lesson, 1967).

En el tejido óseo puede haber momentos en que los minerales se acumulen y momentos en que salgan de los cristales de hidroxiapatita hacia la circulación sanguínea, dependiendo de las necesidades metabólicas y el contenido de Ca en la dieta. (Linder, 1991). El remodelado del hueso requiere de la solubilización de los fosfatos de calcio, la resorción de la matriz orgánica y la redepositación del Ca en la superficie ósea (Bronner, 1992). Esto provoca una mayor movilización de minerales esenciales en el hueso en comparación con el diente. (Williams y Elliot, 1982).

Además, el esmalte es la estructura más dura del cuerpo, y la dentina y el cemento son más duros que el hueso debido a que están más mineralizados. (Williams y Elliot, 1982). Por estos motivos, resultaría más complicado que los minerales incluidos en las capas de esmalte, dentina y cemento salieran del diente, a que los minerales que se encuentran formando parte del hueso lo hicieran.

Sin embargo, el **Zn**, **Ni**, **Co** y **Cr** presentaron mayor variabilidad en el diente en comparación con la bula de los lobos marinos. También presentaron mayores concentraciones promedio en el diente que en el tejido óseo. A excepción del Zn, estos metales no participan tan activamente en el metabolismo animal como el Ca, Fe, Cu y Mn. Probablemente el diente presentó una mayor afinidad por incorporar estos metales por ser un tejido menos activo que el hueso. Es posible que la mayor variabilidad de la concentración de Zn en el diente que en la bula se deba a las diferencias en la edad de los animales, ya que este metal fue el que presentó la tendencia más clara a aumentar con la edad en el presente estudio.

El **Al** y el **Fe** presentan coeficientes de variabilidad elevados que sugieren que estos metales tienen mucha movilidad en el hueso. Ya que el Al no es un metal esencial, en caso de tener alguna interacción con el Fe, existiría la posibilidad de que el Al interfiera con la depositación del Fe en el hueso, o que el Fe actúe como defensa contra la acción tóxica del Al en el hueso. Este tipo de interacciones se han comprobado entre el Al y el Ca (Maloney y col., 1982; Yasui, y col., 1991a, 1991b).

2. CONCENTRACIÓN DE LOS METALES EN HEMBRAS Y MACHOS

El sexo y el estado reproductivo de los mamíferos marinos también condicionan la carga de metales pesados en los tejidos (Gaskin, 1979; Reijnders, 1988). Las diferencias en la acumulación de metales en hembras y machos pueden ser atribuidas a diversos factores tales como la diferencia de dieta, la actividad metabólica, el estado reproductivo, la diferencia de edad, etc. (Andre y col., 1990).

En el presente estudio los promedios de las concentraciones de metales son muy parecidos para el total de las hembras y de los machos de los lobos marinos de California. Únicamente las concentraciones de Zn en diente y en bula presentan diferencias estadísticamente significativas en favor de las hembras.

La menor concentración de Zn en el diente y hueso de los machos de lobo marino de California en comparación con las hembras puede ser una consecuencia de los requerimientos de Zn para la espermatogénesis y desarrollo sexual en los mamíferos. Los machos de lobo marino pueden requerir elevadas concentraciones de Zn disponibles para el desarrollo de los órganos sexuales, y en consecuencia almacenar menores concentraciones de Zn en los tejidos duros. Otra posibilidad es que al alcanzar la madurez sexual hagan uso del Zn removiéndolo del hueso para cubrir los requerimientos de este metal esencial en la espermatogénesis.

En los mamíferos, el Zn es esencial para la formación de los espermatozoides y el desarrollo de los órganos sexuales del macho (Underwood, 1981). Es necesario que haya Zn disponible en grandes cantidades para su incorporación en el esperma (Underwood, 1977). La próstata, el semen y los espermatozoides presentan elevadas concentraciones de Zn. Por ejemplo, los espermatozoides humanos contienen 1990 ppm Zn (peso seco) y la próstata 859 ppm. De acuerdo con Underwood (1977), la concentración de Zn en los testículos

de las ratas aumenta de 120 ppm (peso seco) a 200 ppm cuando comienza la producción de espermatozoides.

El Zn almacenado en los huesos no está disponible para el metabolismo sino hasta que es removido de éstos. Una vez liberado, el Zn está listo para ser utilizado en los procesos metabólicos de todos los tejidos. De acuerdo con Underwood (1977), el Zn almacenado en el tejido óseo puede estar disponible para la posterior utilización durante un periodo de deficiencia de Zn en un animal que está remodelando sus huesos. Según se vá desarrollando la deficiencia de Zn puede producirse un ligero descenso en la concentración de Zn en hígado, riñón, corazón, hueso y músculo, y un descenso más intenso en plasma sanguíneo, páncreas y pelo (Underwood, 1981).

Por otra parte, la poco pronunciada diferencia de los promedios de concentración de Al, Fe, Pb, Ni, Co, Mn Cu, Cr, Cd y Hg en bulas y dientes de hembras y machos del Golfo de California del presente estudio puede ser debida a que ambos sexos habitan y se alimentan en el Golfo de California y la calidad de sus dietas es similar en contenido de metales.

También puede considerarse la variación en la dieta, ya que el tamaño de la presa y la cantidad de alimento ingerido se incrementan en relación al crecimiento de los mamíferos marinos (Drescher y cols. 1977; André y cols., 1990). Los machos adultos del lobo marino de California son considerablemente más grandes y pesados que las hembras. (Peterson y Bartholomew, 1967; Lluch, 1969).

Los machos de lobo marino en este estudio presentaron un rango de concentración de Al (27 a 390 ppm) el doble de amplio que las hembras (24 a 207 ppm). Sin embargo, las hembras presentan un rango de Hg (0.02 a 1.59 ppm) seis veces más amplio que los machos (0.01 a 0.25 ppm), y los rangos para el Pb y el Cd son muy parecidos en ambos sexos pero ligeramente mayores en las hembras.

3. CONCENTRACION DE LOS METALES POR EDADES

Las concentraciones de Al y Cr en bula y diente mostraron tendencia a aumentar con la edad de los lobos marinos. Los metales tóxicos Pb, Cd y Hg tuvieron menor tendencia a aumentar con la edad que el Al, y el Cd en el diente presenta tendencia a disminuir. Contrario a lo esperado, el Pb en el hueso tiene un aumento muy poco pronunciado con la edad. Esto posiblemente es debido a que la exposición de Pb a través del alimento sea baja con poca acumulación a lo largo de la vida de los lobos marinos. En cambio, el Al tiene tendencia a acumularse en estos tejidos con la edad de los lobos marinos y en concentraciones importantes.

El Hg no se acumuló en cantidades importantes en la bula y diente de los lobos marinos de California, pero si presenta un ligero aumento con la edad. Diversos autores señalan que el Hg incrementa su concentración en el hígado, riñón y músculo al aumentar la edad de los mamíferos marinos (Gaskin y col., 1979; Wageman y col., 1983, Honda y col., 1983; André y col., 1990). El incremento de concentración de Hg con la edad ha sido demostrado en pelo y uñas de las focas (Freeman & Horne, 1973), por lo que no se considera exclusivo de tejidos blandos.

De acuerdo con André y col. (1990) el hígado, músculo esquelético y grasa subcutánea contienen el 95% de la carga total de Hg estimada en delfines moteados *Stenella attenuata*, y el hígado contiene el promedio de concentración más elevado. Este autor no analizó la concentración de Hg en ningún hueso, únicamente consideró los tejidos blandos. El hueso y el diente de los lobos marinos del presente estudio no presentan afinidad por este metal pero su presencia en estos tejidos indica que hubo contacto con el metal tóxico y sería posible esperar concentraciones más importantes en el hígado y riñón.

Las concentraciones de Ca, Zn y Cu en las bulas de los lobos marinos de California tienden a disminuir con la edad de los animales. El Fe y el Mn presentan

cierta tendencia a aumentar con la edad, sin embargo, los críos presentan concentraciones elevadas de estos metales. De acuerdo con Underwood (1977), la absorción de los metales esenciales es mayor en los animales jóvenes que en los adultos, ya que utilizan una mayor proporción de los minerales que ingieren en la dieta para su crecimiento y desarrollo. Por otro lado, la mayoría de los mamíferos tienen mayores concentraciones de Cu en sus fetos y críos recién nacidos que en los animales adultos (Underwood, 1977). Al almacenar grandes cantidades de Cu en el hígado y tejidos de los fetos se asegura una reserva que cubrirá las necesidades de las crías en desarrollo, previniendo así los trastornos por la deficiencia de Cu (Delves, 1980).

Las concentraciones de los metales traza Ni y Co en la bula de los lobos marinos no mostraron tendencia evidente con la edad probablemente debido a que las concentraciones de estos metales en el hueso son reguladas por los lobos marinos. Harms y col. (1978) y Falconer y col. (1983) no encontraron ninguna relación aparente entre la edad y la concentración de metales en el hígado de la foca común *Phoca vitulina* y de la marsopa común *Phocoena phocoena* y proponen que estos mamíferos marinos son capaces de regular los niveles Zn y de Cu en sus órganos por lo menos parcialmente.

En el diente, la mayoría de los metales esenciales presentaron tendencia a disminuir con la edad de los lobos marinos. Los dientes de los mamíferos comienzan a formarse y mineralizarse durante la vida fetal. Al nacer el animal y conforme éste crece, crece la raíz del diente y la cavidad de la pulpa se vá mineralizando y llenando de dentina (Williams y Elliot, 1982). Posiblemente, los lobos marinos incorporan mayores proporciones de metales esenciales durante la mineralización de los dientes en las etapas tempranas de su vida, ya que la absorción de los metales esenciales es mayor en los animales jóvenes que en los adultos (Underwood, 1977).

Por otro lado, el Zn y Cr en el diente tuvieron tendencia a aumentar con la edad de los animales. Posiblemente el Zn esté participando en la estructura de la hidroxiapatita, ya que este metal está presente en la composición química del diente humano (Williams y Elliot, 1982). La concentración de Cr no aumentó tanto como la del Zn en diente. Es posible que los lobos marinos ingirieran más Cr del que utilizaran, por lo que lo acumularían en los tejidos duros a lo largo de su vida.

3.1 Categorías de edad

Los críos muestran en bula y diente altas concentraciones de Al, Pb, Cd y Hg. Las elevadas concentraciones de metales tóxicos en los críos pueden ser debidas a la transferencia de este metal a través de la placenta durante la gestación, y de la leche materna durante la lactancia. De acuerdo con Aurióles (1988) los críos comienzan a alimentarse de pequeños crustáceos y peces a partir del segundo semestre de vida. Al cumplir su primer año de vida, los lobos marinos dejan de ser amamantados y pasan de la categoría de críos a la de juveniles. También se ha visto con cierta frecuencia que las madres siguen alimentando a animales que ya han cumplido el año de edad (Peterson y Bartholomew, 1967). Cuando los animales se independizan de las madres y de la leche, la exposición de metales continúa a través de los peces que consumen.

En las bulas de los juveniles, las concentraciones de los metales tóxicos Al, Pb y Cd y de los minerales esenciales Fe, Co, Mn y Cr son más bajas que en los críos y animales mayores. De acuerdo con Honda y col. (1983), esto puede explicarse debido a que hay un efecto de dilución de la concentración de metales porque el animal crece y aumenta de peso rápidamente en la etapa anterior a la madurez sexual. El lobo marino de California *Zalophus californianus* alcanza la madurez sexual a la edad de 5 años en las hembras y machos (Aurióles y Zavala, 1994).

De acuerdo con Lluch (1969) las hembras siguen creciendo en longitud y aumentando de tamaño hasta las 10 estrías. Los machos experimentan un desarrollo más acelerado que las hembras por lo que antes de las 7 estrías alcanzan la talla máxima de éstas. De acuerdo con el trabajo de Lluch (1969), en los machos, inicialmente son mayores los incrementos en longitud, y posteriormente los de peso. El mayor crecimiento en tamaño de los machos ocurre entre las 0 y las 5 estrías, cuando son críos y después juveniles, y en peso entre las 5 y las 9 estrías, cuando son subadultos. El tamaño y peso máximo lo alcanzan aprox. a las 11 estrías cuando ya son machos adultos que pueden defender un territorio en la temporada reproductiva. (Lluch, 1969).

Honda y col. (1983) reportan que en el hígado, riñón y músculo del delfín listado *Stenella coeruleoalba* los metales pesados Pb, Ni y Cd presentan un rápido incremento en su concentración desde el nacimiento hasta el primer año de vida, cuando ocurre el destete en esta especie, por lo que sugieren que estos metales son transferidos al crío durante la gestación y el amamantamiento. Además, los autores señalan que las concentraciones de Pb, Cd, Hg y Ni se mantienen más o menos estables entre el 1º y 18º año de vida debido a la dilución física por el aumento de peso corporal. A los 8 años los delfines han alcanzado la madurez sexual y talla máxima. A los 18 años alcanzan su peso máximo. Después de esta edad las concentraciones de metales se incrementan con la edad hasta los 40 años.

En los mamíferos, los fetos y los animales jóvenes son más vulnerables a los metales pesados que los adultos debido a que los absorben en mayores proporciones (Lin-Fu, 1973). Además, ya se ha visto en humanos y animales de laboratorio que hay movilización de los metales pesados concentrados en el hueso a la circulación sanguínea de la madre y al feto durante la gestación, y a la leche materna durante la lactancia, ocasionando daños neurológicos y retraso en el crecimiento del feto y del crío (Lin Fu, 1973; Silbergeld, 1991; Bellinger y col., 1994).

De acuerdo con Silbergeld (1991) el metabolismo del Pb cambia durante la gestación y la lactancia aumentando la transferencia de Pb hacia el feto y el neonato, ya que este metal tóxico sigue la cinética del Ca en el hueso durante estos periodos. El Pb se encuentra en concentraciones más altas en la leche materna que en el plasma, y además, la madre le transfiere al feto no solo el Pb al que estuvo expuesta durante el embarazo, sino también el Pb acumulado en los huesos a lo largo de toda la vida de la madre. Al nacer el crío, sigue habiendo movilización del Pb del hueso de la madre al crío durante la lactancia. (Silbergeld, 1991). El Hg también puede ser transferido en los mamíferos marinos de la madre al crío a través de la placenta y de la leche (André y col., 1990). Por otro lado, se cree que los efectos nocivos del Cd en el hueso de las hembras pueden ser incrementados durante el embarazo y la gestación, ya que el Cd es capaz de sustituir al Ca en la molécula de hidroxiapatita. (Christoffersen y col., 1988, citado en Sacco-Gibson y col., 1992; Dohi y col., 1993).

Los metales esenciales pueden servir como defensa contra los metales tóxicos. La deficiencia de metales esenciales aumentan la susceptibilidad a la intoxicación por metales pesados. Las concentraciones normales o un poco elevadas de minerales esenciales pueden evitar que los metales tóxicos se acumulen en los tejidos y desplacen a los metales esenciales, ocasionando una función metabólica deficiente. (Sandstead, 1977). Por ejemplo, Yoshida y col. (1993) han reportado que en los roedores de laboratorio, el Zn y el Ca pueden prevenir los efectos tóxicos del Cd. Las deficiencias de Fe y de Ca aumentan la susceptibilidad a la intoxicación por Pb aumentando la concentración de Pb en los tejidos blandos y en el hueso de los animales (Mahaffey, 1974). También el Al provoca mayores daños y se acumula en mayor concentración en los huesos de ratas y monos con dietas deficientes en Ca, Mg y Zn (Yasui y col., 1991a, 1991b).

4. LOS METALES PESADOS EN EL LOBO MARINO DE CALIFORNIA

De Long y col. (1973), Le Boeuf y Bonnell (1971) y Buhler y col., (1975) han asociado las altas concentraciones de ciertos organoclorados y metales pesados con las fallas reproductivas y la mortalidad de críos y lobos marinos de California jóvenes que habitan en las costas del Pacífico en California y Baja California. Estas aguas reciben descargas de aguas de riego agrícola de los valles de cultivo de California donde se utilizan plaguicidas con metales pesados y donde se utilizó extensivamente el DDT en décadas pasadas. Las ciudades de Los Angeles, San Diego, San Francisco, Tijuana, Rosarito y Ensenada también vierten aguas residuales en esta zona que son un importante transporte de metales hacia el mar. (Gutierrez-Galindo y col., 1994).

En la región norte del Golfo de California desembocan los canales con aguas de desecho de las regiones agrícolas de los valles de cultivo de Mexicali, Sonora y Sinaloa. El Valle de Mexicali es una de las principales zonas agrícolas del país. El uso de insecticidas en éste se inició en 1948 ocupando el DDT el primer lugar en cuanto a volumen (Gutierrez-Galindo y col., 1988). Es en la región norte donde se localizan 14 de las 29 colonias de lobo marino conocidas para el Golfo de California (de la desembocadura del Río Colorado al sur de las Islas Angel de la Guarda y Tiburón) que representan la mayoría de la población (81.7%) así como la mayor producción de crías (Aurioles y Zavala, 1994). A pesar de esto, la población de lobos marinos del Golfo de California está aumentando (Le Boeuf y col., 1983; Aurioles y Zavala, 1994). Aurioles y Zavala (1994) estiman que la población total del lobo marino en el Golfo de California es cercana a los 31,393 animales.

Los metales pesados en las aguas costeras del Golfo de California pueden tener un origen natural o antropogénico. Una fracción significativa de metales pesados se origina de los desechos domésticos o industriales, por ejemplo, las cantidades cuantiosas de Cu, Pb y Zn descargadas de tanques y cañerías de

sistemas domésticos. (Gutierrez-Galindo y col., 1994). Los plaguicidas que se vierten en las zonas de cultivo de Baja California, Sonora y Sinaloa alcanzan las aguas costeras y las contaminan con metales de toxicidad permanente como el Hg, As y Pb. (Ruiz, 1979). Los metales pesados también pueden provenir de las rocas intemperizadas en las cuencas de los ríos que desembocan al mar, por ejemplo, el contenido de silicoaluminatos en las rocas controla la distribución del Al (Gutierrez-Galindo y col., 1994). Entre los años de 1984 y 1985 se detectaron en el agua superficial del Golfo de California concentraciones de 1.0 a 4.0 ppb (partes por billón) de Ni, 0.20 a 1.0 ppb de Hg, 1 a 10 ppb de Pb, 2 a 6 ppb de Cu, 20 a 120 ppb de Fe y 2 a 16 ppb de Zn (Petróleos Mexicanos, 1991).

De acuerdo con Reijnders (1988), la evaluación de los efectos de los contaminantes en los mamíferos marinos es complicada por el hecho de que viven en un ambiente muy dinámico, y las manifestaciones de una intoxicación se hacen aparentes sólo cuando se ha llegado a un estado avanzado y la población comienza a disminuir y a presentar cambios en su comportamiento, como la mayor ocurrencia de partos prematuros. Debido a esto, la mayoría de los estudios toxicológicos en los mamíferos marinos son de carácter retrospectivo, y la participación de los contaminantes se convierte en uno más de los otros factores que pudieran estar afectando adversamente a la población: parásitos, enfermedades, perturbación, explotación, enmallamientos, interacción con las actividades pesqueras, etc.

Reijnders (1988) señala que para poder contestar la interrogante de si los metales pesados afectan a los mamíferos marinos, se debe evaluar la procedencia y ocurrencia de los contaminantes y la respuesta de los animales a éstos. Es necesario conocer los rangos normales de concentración y los límites de tolerancia para los metales pesados en los mamíferos marinos, así como sus tasas de absorción y excreción.

El presente trabajo aporta datos que pueden contribuir para encontrar los rangos de concentración normales y los límites de tolerancia de los metales en el tejido óseo y dental del lobo marino de California. Este estudio provee estadísticos de referencia para futuras investigaciones o estudios de monitoreo de la concentración de metales en los tejidos del lobo marino del Golfo de California. Por ejemplo, si los lobos marinos del Golfo de California comenzaran a morir sin causa aparente, se podrían comparar con los resultados que se reportan en este trabajo con los resultados del análisis toxicológico de los huesos de lobos marinos moribundos.

Actualmente todavía se debate acerca de que si las altas concentraciones de organoclorados y metales pesados presentes en los tejidos de los animales pueden ser los causantes directos de enfermedades o fallas reproductivas que ocasionan graves daños a las poblaciones. Laws y col. (1991) proponen que estos contaminantes pueden afectar la respuesta inmune haciendo a los animales más susceptibles a las enfermedades infecciosas.

En el lobo marino de California, las tasas de mortalidad promedio anual son mayores en las crías y juveniles que en los animales que alcanzan la madurez sexual. Después de alcanzar la madurez sexual, la tendencia de mortalidad anual y el número de machos disminuye mientras que el número de hembras se mantiene. En ambos sexos, la mayor mortalidad ocurre en el primer año de vida y disminuye después de la madurez sexual. (Hernández y Aurióles, 1995). Las concentraciones de metales tóxicos Al, Pb, Cd y Hg en el presente estudio son elevadas en los críos con respecto a los juveniles y adultos. Aunque no existe evidencia de que esto tenga que ver con la mortalidad más elevada en los críos de lobo marino, es un factor que debe ser considerado en estudios posteriores.

Por último, cabe mencionar que los mamíferos marinos poseen varios mecanismos para almacenar los metales tóxicos en su cuerpo en forma inocua. El

primero consiste en la síntesis de proteínas que se unen a los metales nocivos y forman complejos incapacitándolos para interferir en los procesos químicos (Clark, 1986). Estas moléculas son llamadas metalotioneínas y comprenden un grupo de proteínas de bajo peso molecular únicas en propiedades tales como la inductibilidad por la exposición a los metales pesados, alto contenido de cisteína y estabilidad al calor. Ya que las metalotioneínas reducen la toxicidad del Cd y Hg al unirse a ellos, se considera que tienen un papel en la detoxificación (Bremner, 1991). Lee y cols. (1976) aislaron una metalotioneína en hígado y riñón del lobo marino de California.

El segundo método consiste en la desmetilación del mercurio orgánico en el hígado de los mamíferos marinos (Buhler y cols., 1975), lo que permite que almacenen concentraciones muy elevadas en comparación con los mamíferos terrestres (André y cols., 1990). De Long y cols. (1973) encontraron concentraciones de 49 a 120 ppm de Hg (peso húmedo) en el hígado y de 0.032 a 12.0 ppm en el riñón de Cd (peso húmedo) en machos subadultos de lobo marino de California sanos.

El tercer método consiste en almacenar en forma granular a los metales, rodeándolos por membranas de manera que quedan aislados de la actividad química de la célula (Clark, 1986).

Pero de cualquier modo, estos métodos de detoxificación son de eficiencia limitada y el animal queda expuesto a la toxicidad del metal al llegarse al límite máximo de capacidad.

VII. CONCLUSIONES

1. Las bulas y los dientes de los cráneos de lobos marinos de California analizados en este estudio, presentaron Ca, Zn, Pb, Mn y Cu en concentraciones similares probablemente asociadas a las semejanzas metabólicas e histológicas entre el hueso y la dentina.
2. El tejido óseo y el tejido dental de los lobos marinos de California son indicadores de la presencia de los metales tóxicos ya que acumulan cantidades importantes de Al y Pb, y presentan Cd y Hg en pequeñas concentraciones.
3. El hueso presentó una mayor concentración de Fe que el diente, probablemente asociada a la mayor movilización de minerales del tejido óseo y a la actividad hematopoyética de la médula ósea.
4. La correlación entre las concentraciones de Co y Ni sugiere la existencia de alguna relación en el almacenamiento de estos elementos dentro de la estructura de los cristales de hidroxiapatita en el hueso y diente de los lobos marinos de California.
5. La menor concentración del Zn en el diente y bula de los machos de lobo marino en comparación con las hembras, pudiera ser debida a que los machos tienen menor oportunidad de almacenar este metal en los tejidos óseo y dental porque lo utilizan en cantidades importantes en la espermatogénesis y en su desarrollo sexual.
6. Las concentraciones de Al, Fe y Cr en la bula y de Al, Zn y Cr en el diente presentaron tendencia a aumentar con la edad de los lobos marinos, de las 0 a las 9 estrías dentales.

- 7. Las elevadas concentraciones de los metales tóxicos Al, Pb, Cd y Hg en las bulas y dientes de los crios de lobo marino de California en comparación con las otras categorías de edad, posiblemente están asociadas a la transferencia de estos metales de la madre a los crios durante la gestación y la lactancia.

VIII. LITERATURA CITADA

- ALBERT, R. 1981. Selective Toxicology. Chapter 11: Metal-binding substances. *Elsevier Sci. Publish. Co.*, New York. pp. 385-442.
- ALFREY, A.C., LE GENDRE, G.R., & KAEHNY, W.D. 1976. The dialysis encephalopathy syndrome. Possible Aluminum intoxication. *N. Engl. J. Med.* 294:184.
- ALONSO-GONZÁLEZ, E.N. y ROSILES-MARTÍNEZ, R. 1978. Concentración de Plomo sanguíneo en perros clínicamente sanos. *Vet. Mex.* 9:81-85.
- ÁLVAREZ-BORREGO, S. 1983. Gulf of California. In: Ecosystems of the World. 26. Estuaries and enclosed seas. Ketchum, B.H. ed. *Elsevier Sci. Publish. Co.* Amsterdam. 427-449 pp.
- ALVEAR, M.G., CARREON, J., MORENO, A., CUELLAR, J.A. & YAMAMOTO, L. 1994. Lead exposure in Students in Mexico City. *Ecotoxicol. and Environm. Safety* 29:122-129.
- ANDERSON, R.A. 1988. Chromium. In: Modern Nutrition in Health and Disease. 7th. Ed. Shils, M.E. and Young, V.R. ed. *Lea & Febiger*, Philadelphia, U.S.A. pp. 268-273.
- ANDERSON, M.B., LEPAK, K., FARINAS, V. & GEORGE, W.J. 1993. Protective action of Zinc against Cobalt-induced testicular damage in the mouse. *Reprod. Toxicol.* 7:49-54.
- ANDRÉ, J.M., RIBYRE, F. & BOUDOU, A. 1990. Mercury contamination levels and distribution in tissues and organs of Delphinids (*Stenella attenuata*) from the Eastern Tropical Pacific, in relation to biological and ecological factors. *Marine Environm. Res.* 30:43-72.
- AURIOLES, D. y ALVARADO, E. 1981. Colecta de cráneos de lobo marino, sexado y medición de edad. Informe General de Labores CIB NOR. La Paz, BCS. pp. 227-231.
- AURIOLES, D. 1988. Behavioral ecology of California sea lion in the Gulf of California. Ph.Thesis, University of California, Santa Cruz. 175 pp.
- AURIOLES, D. y ZAVALA, A. 1994. Algunos factores ecológicos que determinan la distribución y abundancia del lobo marino *Zalophus californianus*, en el Golfo de California. *Ciencias Marinas* 20(4):535-553.
- AVIOLI, L.V. 1988. Calcium and Phosphorous. In: Modern Nutrition in Health and Disease. 7th Ed. Shils, M.E. and Young, V.R. ed. *Lea & Febiger*, Philadelphia, U.S.A. pp. 142-158

- BECERRIL, E. 1995. Estudio Histoquímico y Espectrofotométrico para la identificación de metales pesados en tejido óseo de lobo marino común *Zalophus californianus californianus* del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. *Fac. de Ciencias*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 68 pp.
- BELLINGER, D., LEVITON, A., ALLRED, E. & RABINOWITZ, M. 1994. Pre and postnatal Lead exposure and behavior problems in school-aged children. *Environm. Res.* 66:12-30.
- BHAMRA, R.K. & COSTA, M. 1992. Trace elements Aluminium, Arsenic, Cadmium, Mercury and Nickel. In: Environmental Toxicants. Human Exposure and their Health Effects. Lippman, M. ed. *Van Nostrand Reinhold*, New York. pp. 575-632.
- BIANCHI, V. & LEVIS, A.G. 1990. Recent advances in Chromium genotoxicity. In: Environmental Topics. Vol. 1. Environmental Health. Rose, J. ed. *Gordon and Breach Science Pub.*, New York. pp. 203-225.
- BREMNER, I. 1991. Nutritional and physiologic significance of metallothionein. In: Methods in Enzymology. Vol. 205. Metallobiochemistry. Part B. Metallothionein and Related Molecules. *Academic Press*, San Diego, U.S.A. pp. 25-35.
- BRONNER, F. 1992. Bone and Calcium Homeostasis. *Neurotoxicology* 13:775-782.
- BUHLER, D.R., CLAEYS, R.R. & MATE, B.R. 1975. Heavy metal and chlorinated hydrocarbon residues in California sea lions *Zalophus californianus californianus*. *J. Fish. Res. Board Can.* 32(12):2391-2397.
- CARSON, T.L., GENDER van, G.A., KARAS, G.G. & BUICK, W.B. 1974. Slowed learning in lambs prenatally exposed to Lead. *Arch. Environm. Health* 29:154-156.
- CHAMPE, P.C. & HARVEY, R.A. 1987. Lippincott's Illustrated Reviews: Biochemistry. *J. B. Lippincott Co.*, Philadelphia, Pennsylvania, U.S.A. pp. 307-309.
- CHRISTOFFERSEN, J., CHRISTOFFERSEN, M.R., LARSEN, R., ROSTRUP, E., TINGSGAARD, P., ANDERSEN, O. & GRANDJEAN, P. 1988. Interaction of Cadmium ions with Calcium hydroxyapatite crystals: A possible mechanism contributing to the pathogenesis of Cadmium induced bone diseases. *Calcif. Tissue Int.* 42:331-339.
- CHURCH, D.C. y POND, W.G. 1990. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. 2a. Ed. *Limusa*. México, D.F. 438 pp.
- CLARK, R.B. 1986. Marine Pollution. Chapter 5. Conservative pollutants. Chapter 6. Metals. *Clarendon Press*, Oxford. pp. 67-104.

ESTA TESIS NO PUEDE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CRAPPER, D.R., KRISHNAN, S.S., & DALTON, A.J. 1973. Brain Aluminum distribution in Alzheimer's disease and experimental neurofibrillary degeneration. *Science*. 111:511-513.

CUSPINERA, M.E., JIMENEZ, E., BECERRIL, E. y GÓMEZ, M.G. 1993a. Identificación de metales pesados en hueso de lobo marino común *Zalophus californianus californianus* del Golfo de California. Memorias de la XVIII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, Baja California, México.

CUSPINERA, M.E., VÁZQUEZ, M.J. Y GARCÍA, M.C. 1993b. Concentration of metals in the teeth through the age in samples of sea lions: *Zalophus californianus californianus* recollected in the Baja California Gulf of Mexico, between 81 to 91. Tenth Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Galveston, Texas, USA.

CUSPINERA, M.E., GARCIA, M.C., ROSILES, R., FARIAS, V., AGUAYO, A., y TORRES, D. Análisis exploratorio de los metales pesados en huesos de lobo fino antártico *Arctocephalus gazella*. (en prensa).

DE LONG, R.L., GILMARTIN, W.G. & SIMPSON, J.G. 1973. Premature births in California sea lions: association with high organochlorine pollutant residue levels. *Science* 181:1168-1170.

DELVES, H.T. 1980. Dietary sources of copper. In: Excerpta Medica. Biological roles of Copper. Ciba Foundation Symposium. pp 5-22.

DENT, C.E. & WINTER, C.S. 1974. Osteomalacia due to phosphate depletion from excessive Aluminum hydroxide ingestion. *Br. Med. J.* 1:551-552.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. 16-V-1994. Tomo CDLXXXVIII No. 10. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. Secretaría de Desarrollo Social. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. pp. 2-60.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. 15-VIII-1994. PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. México, D.F. pp.108-112.

DOHI, Y., SUGIMOTO, K., YOSHIKAWA, T. OHGUSHI, H., KATSUDA, T., TABATA, S. & MORIYAMA, T. 1993. Effect of Cadmium on Osteogenesis within diffusion chambers by bone marrow cells: biochemical evidence of decreased bone formation capacity. *Toxicol. & Applied Pharmacol.* 120: 274-280.

- DRESCHER, H.E., HARMS, U. & HUSCHENBETH, E. 1977. Organochlorines and heavy metals in the Harbour Seal *Phoca vitulina* from the German North Sea Coast. *Marine Biology*. 41:99-106.
- FALCONER, C.R., DAVIES, I.M. & TOPPING, G. 1983. Trace metals in the common porpoise *Phocoena phocoena*. *Marine Environm. Res.* 8:119-127.
- FISHBEIN, L. 1990. Trace and ultra trace elements in nutrition: an Overview. I. Zinc, Copper, Chromium, Vanadium and Nickel. In: Environmental Topics. Vol. 1. Environmental Health. Rose, J. ed. *Gordon and Breach Science Pub.*, New York. pp. 371-397.
- FREEMAN, H.C. & HORNE, D.A. 1973. Mercury in canadian seals. *Bull. Environm. Contam. & Toxicol.* 10(3):172-180.
- FURST, A. & FAN, A. M. 1993. Carcinogenic action of Nickel and Cadmium powders in the same rat. *Biol. Trace Element Res.* 36:243-249.
- GACETA ECOLÓGICA. 1990. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos para la calidad del agua. CE-CCA-001/89. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México, D.F. Volúmen II, No. 6. pp. 26-36.
- GARCÍA, M.C. 1992. Conducta territorial del lobo marino *Zalophus californianus* en la lobera Los Cantiles, Isla Angel de la Guarda, Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. *Fac. de Ciencias*, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 123 pp.
- GASKIN, D.E., STONEFIELD, K.I., SUDA, P. & FRANK, R. 1979. Changes in Mercury levels in harbor porpoises from the Bay of Fundy, Canada, and adjacent waters during 1969-1977. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 8:733-762.
- GERACI, J.R. 1978. Marine Mammals (Cetacea, Pinnipedia, and Sirenia). Introduction and Identification. In: Zoo and Wild Animal Medicine. Fowler, M. E. ed. *Saunders Company*, New York.
- GERPE, M. Y MORENO, J. 1990. Trace metals in the Southamerican Fur Seal *Arctocephalus australis* (Zimmermann, 1783).
- GILMARTIN, W.G., DE LONG, R.L., SMITH, A.W., SWEENEY, J.C., LAPPE, B.W. de, RISEBROUGH, R.W., GRINER, L.A., DAILEY, M.D. & PEAKALL, D.B. 1976. Premature parturition in the California sea lion. *J. Wildl. Dis.*, 12:104-115.
- GOTTLIEB, K. & KOEHLER, J.R. 1994. Blood Lead levels in children from lower socioeconomic communities in Denver, Colorado. *Arch. of Env. Health.* 49(4):260-266).

- GUTIERREZ-GALINDO, E.A. y FLORES, G. 1986. Disponibilidad de Mercurio en las aguas de la costa norte de Baja California. *Ciencias Marinas* 12(2):85-98.
- GUTIERREZ-GALINDO, E.A., FLORES, G. y VILLAESCUSA, J. 1988. Hidrocarburos clorados en moluscos del Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. *Ciencias Marinas* 14(3):91-113.
- GUTIERREZ-GALINDO, E.A., FLORES, G., ORTEGA, V. y VILLAESCUSA, J. 1994. Metales pesados en sedimentos de la costa fronteriza Baja California (México)-California (E.U.A.) *Ciencias Marinas* 20(1):105-124.
- HAMANAKA, T., ITTO, T. & MISHIMA, S. 1982. Age-related change and distribution of Cadmium and Zinc concentrations in the Steller Sea Lion (*Eumetopias jubata*) from the Coast of Hokkaido, Japan. *Marine Pollution Bulletin* 13(2):57-61.
- HARMS, U., DRESCHER, H.E. & HUSCHENBETH, E. 1978. Further data on heavy metal and organochlorines in marine mammals from German coastal waters. *Z. Lebensmittelunters.* pp. 153-161.
- HEMMY, J.B. 1988. Todd-Sanford-Davidsohn: Diagnóstico y Tratamiento Clínicos por el Laboratorio. Tomo I. 8^o Ed. Salvat.
- HERNÁNDEZ, C.J. y AURIOLES, D. 1995. Mortalidad diferencial por sexo y categorías de edad en el lob marino de California, en Los Islotes, Golfo de California, México. Memorias de la XX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, Baja California, México. Del 18 al 22 de abril de 1995.
- HONDA, K., TATSUKAWA, R. & FUJIYAMA, T. 1982. Distribution characteristics of heavy metals in the organs and tissues of Striped Dolphins, *Stenella coeruleoalba*. *Agric. Biol. Chem.* 46(12):3011-3021.
- HONDA, K., TATSUKAWA, R., ITANO, K., MIYAZAKI, N. & FUJIYAMA, T. 1983. Heavy metal concentrations in muscle, liver and kidney tissue of Striped Dolphin, *Stenella coeruleoalba*, and their variations with body length, weight, age and sex. *Agric. Biol. Chem.* 47(6):1219-1228.
- HUMPHREYS, D.J. 1990. Toxicología Veterinaria. Substancias minerales e inorgánicas. 3^o Ed. Mc. Graw Hill, México, D.F. pp. 17 -85.
- JENSEN, S. & JERNELOV, A. 1969. Biological methylation of Mercury in aquatic organisms. *Nature* 223:753-754.
- KAZANTZIS, G. 1990. The mutagenic and carcinogenic effects of Cadmium: an update. In: Environmental Topics. Vol. 1 Environmental Health. Rose, J. ed. *Gordon and Breach Science Pub.*, New York. pp. 117-134.

- KING, J.E. 1954. The Otariid seals of the Pacific Coast of America. *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.)* 2(10):309-337.
- KING, J.E. 1983. Seals of the World. *Comstock Publish. Assoc. Cornell University Press*, New York. 240 pp.
- KIRSHGESSENER, M. & SCHNEGG, A. 1976. Nickel content of milk from lactating rats fed varying Nickel levels. *Arch. Tierernahrung.* 11:774-776.
- LAW, R.J., FILEMAN, C.F., HOPKINS, A.D., BAKER, J.R., HARWOOD, J., JACKSON, D.B., KENNEDY, S., MARTIN, A.R. & MORRIS, R.J. 1991. Concentrations of trace metals in the livers of marine mammals (Seals, Porpoises and Dolphins) from waters around the British Isles. *Marine Pollution Bulletin* 22(4):183-191.
- LAW, R.J., JONES, B.R., BAKER, J.R., KENNEDY, S., MILNE, R. & MORRIS, R.J. 1992. Trace metals in the livers of marine mammals from the Welsh Coast and the Irish Sea. *Marine Pollution Bulletin* 24(6):296-304.
- LAWS, R.M. 1962. Age determination of pinnipeds with special reference to growth layers in the teeth. *Z. Saugetierk.* 27:129-146.
- LE BOEUF, B.J. & BONNELL, M.L. 1971. DDT in California sea lions. *Nature* 234:108-109.
- LE BOEUF, B.J., AURIOLES, D., CONDIT, R., FOX, C., GISINER, R., ROMERO, R. & SINSEL, F. 1983. Size and Distribution of the California sea lion Population in Mexico. *Proc. Calif. Acad. Sci.* 43(7):77-85.
- LEE, S.S., MATE, B.R., von der TRENCK, K.T., RIMEMAN, R.A. & BUHLER, D.R. 1977. Metallothionein and the subcellular localization of Mercury and Cadmium in the California Sea Lion. *Comp. Biochem. Physiol.* 57C:45-53.
- LEONARD, A. & GERBER, G. B. 1988. Mutagenicity, carcinogenicity, and teratogenicity of Aluminum. *Mutat. Res.* 196:247-257.
- LESSON, C.R. y LESSON, T.S. 1967. Histología. 1a. Edición. Ed. Interamericana. México, D.F. pp. 97-118.
- LINDER, M.C. 1991. Nutritional Biochemistry and Metabolism with Clinical Applications. 2nd. Edition. *Elsevier Science Publishing Co.*, New York. pp. 191-276.
- LIN-FU, J.S. 1973. Vulnerability of children to Lead exposure and toxicity. *N. Engl. J. Med.* 289 (23):1229-1233.

LOWRY, M.S. & FOLK, R.L. 1990. Sex determination of the California Sea Lion (*Zalophus californianus californianus*) from canine teeth. *Marine Mammal Science* 6(1):25-31.

LLUCH, D. 1969. El lobo marino de California *Zalophus californianus californianus* (Lesson, 1828) Allen, 1880. Observaciones sobre su Ecología y Explotación. En: Dos Mamíferos Marinos de Baja California. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D.F. pp. 2-69.

MAHAFFEY, K. R. 1974. Nutritional Factors and susceptibility to Lead toxicity. *Environ. Health Perspec.* 7:107-112.

MAHAFFEY, K.R., MCKINNEY, J. & REIGART, J.R. 1992. Lead and Compounds. In: Environmental Toxicants. Human Exposure and their Health Effects. Lippman, M. ed. *Van Nostrand Reinhold*, New York. pp. 360-391.

MALDONADO, J.A. Estudio Comparativo de los Posibles Parámetros Craneales para el Cálculo de la Edad en el Lobo Marino *Zalophus californianus* del Pacífico Sur y Golfo de California (en elaboración).

MALONEY, N. A., OTT, S., ALFREY, A. C., MILLER, N. L., COBURN, J. W. & SHERRARD, D. 1982. Histological quantitation of Aluminum in iliac bone from patients with renal failure. *Lab. Clin. Med.* 99:206-216.

MARTIN, J.H. & FLEGAL, A.R. 1975. High Copper Concentrations in Squid livers in Association with elevated levels of Silver, Cadmium and Zinc. *Mar. Biol.* 30:51-55.

MARTIN, J.H., ELLIOT, P.D., ANDERLINI, V.C., GIRVIN, D., JACOBS, S.A., RISENBROUGH, R.W., DE LONG, R.L. & GILMARTIN, W.G. 1976. Mercury-Selenium-Bromine imbalance in premature parturient California sea-lions. *Mar. Biol.* 35:51-55.

MERCK & CO., INC. 1989. El Manual Merck de Diagnóstico y Terapéutica. 8a ed. española. *Ediciones Doyma*, Barcelona, España. 2944 pp.

MONTES DE OCA, J. 1989. Información básica sobre las Áreas Nacionales Protegidas de México. Subsecretaría de Ecología. SEDUE. México, D.F. 82 pp. y Anexo.

MORALES, B. y AGUAYO, A. 1992. Nacimientos y modelos de crecimiento de las crías de lobo marino y su aplicación en el manejo de este recurso. *Ciencias Marinas* 18(1):109-123.

MUIR, D.C.G, WAGEMANN, R., GRIFT, N.P., NORSTROM, R.J., SIMON, N. & LIEN, J. 1988. Organochlorine chemical and heavy metal contaminants in White-beaked Dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*) and Pilot Whales (*Globicephala melaena*) from the Coast of Newfoundland, Canada. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 17:613-629.

- NEILSEN, F.H. & OLLERICH, D.A. 1974. Nickel: a new essential trace element. *Fed. Proc.* 33:1767-1774.
- NIELSEN, F.H. 1984. *Ann. Rev. Nutr.* 4:21.
- NIELSEN, F.H. 1988. Ultratrace Minerals. In: Modern Nutrition in Health and Disease. 7th Ed. Shils, M.E. and Young, V.R. ed. *Lea & Febiger*, Philadelphia, U.S.A. pp. 278-91.
- ORR, R.T., SHONEWALD, J. & KENYON, K.W. 1970. The California sea lion: skull comparisons of two populations. *Proc. Calif. Acad. Sci.* 37:381-394.
- OSWEILER, G.D., CARSON, T.L., BUCK, W.B. & GELDER van, G.A. 1985. Clinical and Diagnostic Veterinary Toxicology. Metals and Metalloids. 3rd ed. *Kendall/Hunt Publish. Co.*, Iowa, U.S.A. pp. 67-142.
- PERD, D.P. & BRODY, A.R. 1980. Alzheimer's Disease: X-ray spectrometric evidence of Aluminum accumulation in Neurofibrillary Tangle-Bearing Neurons. *Science* 208:297-299.
- PETERSON, R.S. & BARTHOLOMEW, G.A. 1967. Natural history and behavior of the California sea lion. Special Publication No. 1. American Society of Mammalogists. 79 pp.
- PETROLEOS MEXICANOS, 1991. Evaluación de la concentración de hidrocarburos, metales pesados y algunos aspectos fisicoquímicos del agua superficial en el Golfo de California 1984-1985. Subdirección Técnica Administrativa. Gerencia de Protección Ambiental. México, D.F. pp 1-40.
- PIERCE, P.E., THOMPSON, J.F., LIKOSKY, W.H., NICKEY, L.N., BARTHEL, W.F., & HINMAN, A.R. 1972. Alkyl Mercury poisoning in humans. *JAMA* 220(11):1439-1442.
- PISCATOR, M. 1976. The chronic toxicity of Cadmium. In: Trace elements in human health and disease. Vol II. Prasad, A.S. ed. *Academic Press*, New York. pp. 431-441.
- REEVES, R.R., STEWART, B.S., & LEATHERWOOD, S. 1994. The Sierra Club Handbook of Seals and Sirenians. Sierra Club Books. pp. 100-109.
- REIJNDERS, P.J.H. 1986. Letters to Nature. Reproductive failure in common seals feeding on fish from polluted coastal waters. *Nature* 324(4):456-457.
- REIJNDERS, P.J.H. 1988. Ecotoxicological perspectives in marine mammalogy research principles and goals for a conservation policy. *Marine Mammal Science*. 4(2):91-102.
- REYES-MENDEZ, D., ROSILES-MARTÍNEZ, R., GARCÍA-ESCAMILLA, R.M. y ÁLVAREZ-GARCÍA, J.S. 1990. Concentración de Plomo en pelo y sangre de equinos que residen en el Distrito Federal. *Vet. Mex.* 21(1):41-44.

RODEN, G.I. & EMILSSON, I. 1980. Oceanografía Física del Golfo de California. Contribución No. 209 del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Mexico. 59 pp.

RUIZ, V.N. 1979. La agricultura sinaloense y sus efectos contaminantes. Memorias del IV Simposio sobre el Medio Ambiente del Golfo de California. SAHR. 395 pp.

SACCO-GIBSON, N., CHAUNDHRY, S., BROCK, A., SICKLES, A.B., PATEL, B., HEGSTAD, R., JOHNSTON, S., PETERSON, D. & BHATTACHARYYA, M. B. 1992. Cadmium effects on bone metabolism: accelerated resorption in ovariectomized, Aged Beagles. *Toxicol. & Applied Pharmacol.* 113:274-283.

SANDSTEAD, H.H. 1977. Nutrient interactions with toxic elements. In: Advances in modern toxicology. Vol. II. Goyer, R.A. ed. *Hemisphere Publishing*, New York. pp. 241-255.

SCHEFFER, V.B. 1950. Growth layers on the teeth of Pinnipedia as an Indication of Age. *Science* 112:309-311.

SECRETARIA DE GOBERNACION/UNAM, 1988. Islas del Golfo de California. México, D.F. 292 pp.

SERGEANT, D.E. & ARMSTRONG, F.A.J. 1973. Mercury in seals from Eastern Canada. *J. Fish. Res. Board Can.* 30(6):843-846.

SHILS, M.E. & YOUNG V.R. 1988. Modern Nutrition in Health and Disease. 7th. Ed. *Lea & Febiger*, Philadelphia, U.S.A.

SILBERGELD, E.K. 1991. Lead in Bone: Implications for toxicology during pregnancy and lactation. *Environm. Health Perspec.* 91:63-70.

SOLOMONS, N.W. 1988. Zinc and Copper. In: Modern Nutrition in Health and Disease. 7th. Ed. Shils, M.E. and Young, V.R. ed. *Lea & Febiger*, Philadelphia, U.S.A. pp. 238-62.

SOSZKA, G.J., SUPLINSKA, M.M., BARANSKI, A. GRZYBOWSKA, D. & PIETRUSZEWSKI, A. 1981. Trace metals, bluorine and radionuclids in antartic krill *Euphausia superba*. *Dana. Pol. Polar Res.* 2:109:117.

STOKINGER, H.E. 1981. In: Patty's industrial hygiene and toxicity. 3rd ed. Clayton, G.D., & Clayton, F.F. eds. *Wiley Interscience. John Wiley & Sons*, New York.

UNDERWOOD, E.J. 1977. Trace Elements in Human and Animal Nutrition. 4th ed. *Academic Press*, New York. 545 pp.

- UNDERWOOD, E.J. 1981. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 2a. ed. *Acribia*. Zaragoza, España. 210 pp.
- VÁZQUEZ, M.J. 1993. El cráneo del lobo marino común en el Golfo de California. Tesis de Licenciatura. *Fac. de Ciencias*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 180 pp.
- WAGEMANN, R., SNOW, N.B., LUTZ, A. & SCOTT, D.P. 1983. Heavy metals in tissues and organs of the Narwhal (*Monodon monoceros*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40(2):206-214.
- WAGEMANN, R. & MUIR, D.C.G. 1984. Concentrations of heavy metals and organochlorines in marine mammals of northern waters: Overview and evaluation. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1279.
- WAGEMANN, R., STEWART, R.E.A., BÉLAND, P. & DESJARDINS, C. 1990. Heavy metals and Selenium in tissues of beluga whales *Delphinapterus leucas*, from the Canadian Arctic and the St. Lawrence estuary. In: *Advances in research on the beluga whale Delphiapterus leucas*. Smith, T.G., St. Aubin, D.J. and Geraci, J. R. ed. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 224:191-206.
- WILLIAMS, R.A.D. & ELLIOT, J.C. 1982. Bioquímica dental básica y aplicada. Ed. *El Manual Moderno*. México, D.F. 353 pp.
- YAMAMOTO, Y., HONDA, K. & TATSUKAWA, R. 1987. Heavy metal accumulation in antarctic krill *Euphausia superba*. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 1:198-204.
- YASUI, M., YASE, Y., OTA, K. & GARRUTO, R.M. 1991a. Evaluation of Magnesium, Calcium and Aluminum metabolism in rats and monkeys maintained on Calcium deficient diets. *Neurotoxicology* 12:603-614.
- YASUI, M., OTA, K. & GARRUTO, R.M. 1991b. Aluminum decreases the Zinc concentration of soft tissues and bones of rats fed a low Calcium-Magnesium diet. *Biol. Trace Element Res.* 31:293-304.
- YOSHIDA, M., FUKUMOTO, M., KISHIMOTO, T., YAMAMURA, Y., SHIMIZU, H., & SAKAI, O. 1993. Effects of Zinc, Selenium, and Calcium on the nephrotoxicity of Cadmium in primary cultures of rat renal proximal epithelial cells. *Biol. Trace Element Res.* 36:219-227.

IX. AGRADECIMIENTOS

A mi honorable jurado:

Con mucho cariño y admiración quiero agradecer a mi directora de tesis, Dra. Ma Elena Cuspinera Mercadillo, los conocimientos brindados en la elaboración de este trabajo así como su apoyo incondicional y generosidad sin límite.

Muy especialmente agradezco al Dr. René Rosiles Martínez y al MVZ Janitzio Ariel Bautista Ordoñez, por haberme asesorado en el área de la Toxicología, por el valioso tiempo que dedicaron a mi tesis y por su sincera amistad. Gracias por permitirme realizar mi trabajo en las instalaciones del Laboratorio de Toxicología del Depto. de Nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, U.N.A.M.

Con gran afecto quiero agradecer al Dr. David Auriolos Gamboa las correcciones y sugerencias hechas a este trabajo, los conocimientos sobre la biología del lobo marino de California, así como el apoyo brindado para mi superación profesional.

De manera muy especial agradezco al Biol. Oscar Sánchez Herrera el invaluable tiempo dedicado y las grandes sugerencias y comentarios para este trabajo, así como por su ejemplo de lograr las metas con gran calidad profesional.

A mis amigos:

Muy especialmente agradezco a Julia A. Maldonado Orozco, July, por su gran amistad y afecto, y por compartir conmigo los triunfos y tropiezos (las cruces) hasta el final.

En reconocimiento a su apoyo, agradezco a mis amigos de la Facultad de Medicina, Memo, Rogelio, Elizabeth, Elsa, Martha y Ricardo, quienes colaboraron en la realización del trabajo de laboratorio.

Agradezco también, a mis amigos del Laboratorio de Toxicología, Mario, Aída y Consuelo, por su ayuda y apoyo durante todo el tiempo que estuve trabajando con ellos.

Muchas gracias a mis amigos del Laboratorio de Mamíferos Marinos, Claudia, Vero, Daniel, Jabel, Concha, Alicia, Berenice, Alejandro Ortega, por su apoyo y amistad compartidos al estudiar a los mamíferos marinos, y a Maricarmen García, por los conocimientos que me brindó sobre la biología del lobo marino de California.

Al fotógrafo profesional Eduardo de la Vega quiero agradecerle muy especialmente por el material fotográfico aportado para la exposición de este trabajo, y por su muy simpática y humana amistad.

A todos mis amigos que me dieron ánimo y confianza.

También agradezco al M. en C. Margarito Alvarez Rubio por la orientación que me brindó con sus sugerencias y comentarios en cuanto a la presentación de los datos.

Con gran afecto quiero agradecer a mis hermanos, Agustín y Adrian, por apoyarme con sus conocimientos en computación que facilitaron enormemente la realización de este trabajo.

ANEXO I. Lecturas de metales en 51 muestras de hueso temporal (bula) de lobo marino (*Zalophus californianus californianus*) del Golfo de California.

DATOS MUESTRA		LECTURAS (nm)											
NUM	PESO (g)	Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
1	3.490	1.88	4.50	0.18	1.35	1.43	0.98	0.24	0.26	0.26	0.18	0.04	2.95
2	2.447	1.32	4.37	0.12	0.83	1.10	0.74	0.20	0.22	0.13	0.14	0.04	1.90
3	3.936	2.35	2.35	0.23	1.73	1.47	0.90	0.20	0.20	0.26	0.15	0.12	3.56
4	3.712	3.31	3.29	0.20	1.25	1.44	0.98	0.24	0.20	0.22	0.17	0.06	2.76
5	2.101	1.18	1.63	0.12	1.16	1.24	0.82	0.15	0.16	0.17	0.13	0.03	2.36
6	3.380	3.80	2.23	0.15	1.96	1.61	1.13	0.27	0.19	0.25	0.14	0.05	3.12
7	2.556	1.25	2.65	0.19	1.01	1.00	0.82	0.21	0.15	0.19	0.14	0.05	2.60
8	2.047	1.88	2.65	0.13	0.90	1.05	0.79	0.16	0.15	0.19	0.15	0.10	2.63
9	2.615	2.53	2.75	0.18	1.26	1.23	0.89	0.25	0.18	0.18	0.12	0.03	3.15
10	3.836	3.53	4.17	0.16	1.40	1.46	0.84	0.22	0.19	0.21	0.14	0.05	2.70
11	2.855	3.80	3.12	0.18	1.35	1.20	0.89	0.16	0.17	0.21	0.12	0.10	2.51
12	2.082	2.65	2.60	0.12	0.78	1.20	0.71	0.20	0.40	0.16	0.13	0.02	2.20
13	2.414	1.90	1.80	0.15	1.24	1.18	0.87	0.24	0.28	0.22	0.11	0.02	2.44
14	2.558	1.88	3.35	0.25	1.30	1.28	0.89	0.20	0.22	0.23	0.18	0.08	2.32
15	3.152	3.16	4.32	0.14	1.58	1.49	1.07	0.27	0.19	0.25	0.15	0.14	2.52
16	2.873	6.88	0.40	0.12	1.18	1.26	0.86	0.35	0.13	0.19	0.16	0.05	2.76
17	2.435	3.13	2.94	0.14	1.10	1.24	0.86	0.18	0.20	0.17	0.12	0.02	2.11
18	3.442	5.63	3.75	0.22	1.28	1.24	0.84	0.23	0.40	0.29	0.17	0.05	3.24
19	3.607	6.33	2.40	0.22	3.45	1.23	0.87	0.33	0.18	0.24	0.12	0.05	2.83
20	2.368	3.80	3.16	0.14	2.95	1.05	0.77	0.19	0.14	0.19	0.10	0.03	2.09
21	2.382	3.13	2.32	0.11	1.29	1.38	0.97	0.23	0.18	0.19	0.14	0.02	2.39
22	2.765	5.29	1.94	0.14	2.64	1.27	0.80	0.18	0.19	0.21	0.11	0.03	2.73
23	2.870	4.64	2.80	0.12	1.20	1.49	0.98	0.25	0.16	0.20	0.18	0.06	2.46
24	3.047	4.38	4.35	0.21	1.30	1.10	0.86	0.20	0.16	0.24	0.16	0.05	3.27
25	2.727	6.47	3.70	0.16	1.36	1.37	0.85	0.30	0.18	0.22	0.14	0.03	2.88
26	3.456	4.43	4.61	0.36	1.52	1.22	0.84	0.23	0.16	0.25	0.12	0.03	3.17
27	2.449	4.67	2.30	0.15	1.74	1.05	0.72	0.16	0.14	0.19	0.14	0.07	2.30
28	2.081	4.17	0.37	0.13	1.13	1.18	0.87	0.35	0.21	0.14	0.13	0.02	2.40
29	2.420	2.50	4.70	0.16	0.93	1.07	0.80	0.18	0.18	0.22	0.15	0.04	2.05
30	2.196	3.13	0.46	0.14	1.02	1.09	0.81	0.23	0.19	0.17	0.11	0.02	6.56
31	2.516	5.30	1.38	0.14	1.00	1.33	0.89	0.23	0.17	0.17	0.17	0.06	2.82
32	2.955	4.67	0.50	0.17	1.45	1.13	0.83	0.23	0.23	0.21	0.16	0.06	2.55
33	2.474	4.17	2.66	0.17	1.26	1.22	0.92	0.22	0.18	0.20	0.15	0.03	2.53
34	2.367	5.21	1.82	0.13	1.13	1.17	0.87	0.15	0.15	0.15	0.13	0.05	2.24
35	3.059	2.65	0.61	0.36	1.12	1.25	0.84	0.31	0.20	0.18	0.17	0.05	2.28
36	2.470	6.62	2.52	0.16	1.04	1.34	0.94	0.20	0.18	0.22	0.16	0.05	2.86
37	3.095	5.21	3.99	0.21	1.39	1.32	0.94	0.28	0.17	0.20	0.14	0.04	2.94
38	2.950	6.00	3.34	0.15	1.80	1.44	1.04	0.28	0.21	0.29	0.21	0.10	2.67
39	3.132	8.24	2.70	0.19	2.34	1.47	0.79	0.18	0.18	0.17	0.14	0.04	2.79
40	3.188	3.80	5.70	0.16	1.54	1.49	1.05	0.35	0.18	0.22	0.15	0.21	2.73
41	3.098	11.33	2.01	0.16	1.75	1.28	0.90	0.24	0.18	0.31	0.18	0.04	2.75
42	2.511	8.61	4.10	0.15	1.20	1.41	0.91	0.27	0.17	0.24	0.16	0.03	3.04
43	2.824	10.00	5.01	0.14	1.41	1.09	0.83	0.24	0.16	0.23	0.18	0.06	2.56
44	2.275	7.29	0.55	0.16	1.18	1.09	0.87	0.35	0.15	0.17	0.12	0.02	4.03
45	2.795	8.24	0.91	0.18	1.25	1.26	0.76	0.27	0.16	0.20	0.12	0.06	2.28
46	2.530	7.33	0.63	0.15	1.59	1.18	0.82	0.28	0.25	0.23	0.17	0.09	2.68
47	2.677	8.00	2.97	0.13	1.38	1.16	0.80	0.23	0.15	0.17	0.19	0.05	2.19
48	2.900	12.00	0.55	0.18	1.50	1.15	0.80	0.48	0.20	0.26	0.16	0.09	2.67
49	2.975	11.18	0.60	0.18	1.68	1.88	1.00	0.29	0.21	0.22	0.18	0.06	2.80
50	2.195	8.75	0.75	0.15	1.00	1.05	0.85	0.24	0.14	0.20	0.17	0.07	2.73
51	2.221	17.33	0.85	0.11	1.54	1.23	0.86	0.37	0.17	0.23	0.17	0.04	2.66

ANEXO II. Lecturas de metales en 51 muestras de dientes postcaninos de lobo marino (*Zalophus californianus californianus*) del Golfo de California.

DATOS MUESTRA		LECTURAS (nm)											
NUM	PESO (g)	Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
1	2.028	0.63	1.27	0.07	0.89	0.89	0.70	0.18	0.14	0.17	0.14	0.04	1.46
2	2.420	1.32	1.36	0.06	2.23	1.31	0.95	0.23	0.14	0.21	0.17	0.04	2.34
3	2.477	2.00	1.20	0.15	2.07	1.36	0.84	0.28	0.16	0.19	0.14	0.03	2.50
4	2.696	3.97	1.13	0.15	2.04	0.97	0.70	0.18	0.11	0.15	0.14	0.04	1.65
5	2.165	2.00	1.03	0.17	2.51	1.22	0.81	0.16	0.15	0.18	0.13	0.02	2.44
6	3.621	4.71	1.07	0.26	2.19	1.26	0.93	0.21	0.18	0.30	0.12	0.02	2.65
7	2.130	1.25	2.09	0.15	0.92	0.94	0.76	0.20	0.20	0.21	0.15	0.05	2.10
8	2.826	2.50	1.46	0.14	2.18	1.15	0.91	0.21	0.16	0.27	0.16	0.18	3.07
9	2.679	2.35	1.72	0.13	3.14	1.32	0.91	0.20	0.16	0.21	0.14	0.03	2.50
10	3.085	4.00	2.67	0.19	2.19	1.40	0.85	0.25	0.20	0.36	0.14	0.02	2.74
11	1.492	0.00	1.08	0.12	1.51	1.00	0.72	0.12	0.11	0.13	0.10	0.02	2.77
12	2.197	1.32	1.85	0.13	2.74	1.24	0.79	0.19	0.14	0.15	0.14	0.02	2.50
13	2.824	3.53	3.04	0.16	2.20	1.20	0.91	0.20	0.18	0.25	0.12	0.02	2.76
14	2.287	1.88	1.43	0.12	2.55	0.80	0.63	0.17	0.15	0.18	0.13	0.04	1.80
15	2.052	1.18	1.54	0.16	2.49	1.14	0.82	0.18	0.17	0.19	0.11	0.02	1.97
16	1.509	0.00	1.10	0.10	2.42	0.86	0.69	0.19	0.10	0.13	0.13	0.04	2.10
17	1.570	3.13	1.09	0.04	1.84	1.05	0.80	0.13	0.12	0.14	0.11	0.02	2.45
18	2.192	3.13	1.11	0.15	2.48	0.97	0.80	0.20	0.14	0.21	0.15	0.05	1.97
19	2.532	2.94	1.58	0.18	2.35	1.10	0.84	0.21	0.15	0.30	0.10	0.02	2.86
20	2.300	1.76	1.17	0.14	2.17	1.04	0.78	0.15	0.13	0.17	0.11	0.02	2.47
21	2.177	4.17	1.03	0.15	2.70	1.15	0.93	0.18	0.15	0.17	0.13	0.02	2.29
22	1.490	2.00	1.18	0.08	2.57	0.99	0.70	0.10	0.09	0.12	0.11	0.02	0.70
23	2.311	3.97	1.11	0.18	3.34	1.32	0.90	0.22	0.14	0.22	0.16	0.02	2.24
24	2.602	5.00	1.33	0.15	3.09	0.97	0.80	0.22	0.15	0.22	0.15	0.04	2.27
25	3.636	4.00	1.68	0.21	1.98	1.39	0.86	0.22	0.20	0.27	0.15	0.04	2.98
26	2.005	1.18	1.45	0.15	3.64	1.30	0.91	0.18	0.15	0.20	0.12	0.02	2.42
27	3.335	6.67	1.32	0.22	2.72	1.09	0.79	0.22	0.17	0.29	0.15	0.05	2.71
28	1.844	2.08	2.04	0.06	2.55	1.05	0.75	0.18	0.14	0.15	0.10	0.02	2.84
29	2.721	3.75	1.55	0.24	3.36	1.13	0.85	0.27	0.17	0.31	0.16	0.04	2.73
30	0.892	2.08	1.77	0.07	1.63	1.32	0.89	0.19	0.16	0.16	0.13	0.02	2.79
31	2.203	5.30	1.26	0.15	1.49	1.22	0.87	0.21	0.14	0.21	0.16	0.03	2.53
32	2.190	4.00	1.80	0.08	2.21	1.21	0.87	0.21	0.23	0.21	0.18	0.05	2.16
33	2.553	4.17	1.56	0.21	1.49	1.30	0.96	0.21	0.17	0.21	0.14	0.02	2.62
34	2.208	5.21	1.16	0.14	2.30	1.29	0.97	0.19	0.16	0.19	0.13	0.02	1.95
35	2.565	3.31	1.63	0.16	2.31	1.18	0.79	0.19	0.15	0.21	0.14	0.03	2.32
36	1.978	1.99	1.01	0.20	2.03	1.09	0.81	0.17	0.11	0.16	0.15	0.03	2.13
37	0.921	3.13	1.44	0.16	3.74	1.27	0.87	0.20	0.15	0.15	0.13	0.01	2.23
38	2.068	6.00	1.05	0.13	2.29	1.07	0.79	0.20	0.15	0.19	0.15	0.04	2.01
39	2.349	4.00	1.93	0.20	2.05	1.28	0.80	0.19	0.16	0.21	0.14	0.02	2.60
40	2.024	2.94	2.57	0.20	2.68	1.51	0.93	0.28	0.16	0.32	0.12	0.03	2.13
41	2.740	6.67	1.28	0.21	2.83	1.08	0.81	0.24	0.17	0.22	0.15	0.05	2.46
42	2.094	3.97	1.04	0.11	2.09	1.10	0.75	0.19	0.13	0.17	0.14	0.00	1.93
43	2.230	5.33	1.14	0.15	2.13	1.03	0.79	0.21	0.17	0.20	0.15	0.07	2.35
44	1.629	3.13	2.15	0.06	1.57	1.05	0.71	0.22	0.13	0.14	0.10	0.01	2.10
45	3.359	4.00	1.71	0.22	2.20	1.50	0.88	0.23	0.18	0.27	0.15	0.03	3.03
46	3.141	8.67	1.58	0.21	2.53	1.47	1.05	0.27	0.21	0.26	0.21	0.03	2.74
47	2.038	7.33	1.52	0.25	2.01	1.17	0.91	0.21	0.19	0.22	0.17	0.05	2.44
48	2.492	6.00	1.17	0.25	2.82	1.04	0.79	0.23	0.15	0.23	0.16	0.06	2.27
49	2.550	6.00	1.88	0.28	3.62	1.36	0.90	0.19	0.18	0.23	0.15	0.03	2.86
50	2.505	5.00	1.65	0.21	2.02	1.04	0.86	0.22	0.16	0.22	0.16	0.04	2.45
51	3.739	12.67	2.62	0.31	2.60	1.21	0.86	0.34	0.20	0.34	0.17	0.04	3.14

ANEXO III. Concentración ($\mu\text{g/g}$, peso seco) de 12 metales en 51 muestras de hueso temporal (bula) de lobo marino (*Zalophus californianus californianus*) del Golfo de California, Mexico.

DAT. MUESTRA		CONCENTRACION ($\mu\text{g/g}$, peso seco)											
NUM	CATEG	Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
1	JM	26.86	61.03	42.98	19.34	20.49	12.03	3.44	3.72	3.15	2.01	0.08	177507
2	JM	27.06	84.39	36.78	16.96	22.48	12.26	4.09	4.50	1.84	2.04	0.11	163057
3	JH	29.89	26.80	50.81	21.98	18.67	9.65	2.54	2.54	2.79	1.40	0.16	189939
4	M	44.60	41.08	45.80	16.84	19.40	11.31	3.23	2.69	2.42	1.75	0.10	156142
5	MS	28.00	33.08	42.84	27.61	29.51	16.18	3.57	3.81	3.09	2.14	0.06	235888
6	M	56.18	29.44	35.50	28.99	23.82	14.64	3.99	2.81	3.11	1.48	0.07	193846
7	CH	24.45	47.14	62.60	19.76	19.56	13.30	4.11	2.93	2.93	1.96	0.12	213615
8	H	45.80	58.87	48.85	21.98	25.65	15.88	3.91	3.66	3.66	2.69	1.59	269809
9	JM	48.41	47.99	57.36	24.09	23.52	14.34	4.78	3.44	2.68	1.53	0.05	252964
10	MS	46.00	51.23	33.89	18.25	19.03	9.12	2.87	2.48	2.22	1.30	0.07	147810
11	MS	66.51	50.44	52.54	23.64	21.02	13.13	2.80	2.98	2.98	1.40	0.18	184623
12	JH	63.62	56.68	43.23	18.73	28.82	13.69	4.80	9.61	2.88	2.16	0.06	221902
13	MS	39.33	32.31	49.71	25.68	24.44	15.12	4.97	5.80	3.73	1.45	0.01	212262
14	H	36.65	60.79	86.00	26.50	25.02	14.66	3.91	4.30	3.71	2.74	0.20	190461
15	M	50.20	64.72	34.90	25.06	23.64	14.75	4.28	3.01	3.33	1.74	0.25	167893
16	MS	119.65	55.69	31.33	20.54	21.93	12.53	6.09	2.26	2.61	2.09	0.11	201740
17	JM	64.17	55.44	45.17	22.59	25.46	14.78	3.70	4.11	2.67	1.64	0.02	181971
18	H	81.71	50.99	55.20	18.59	18.01	10.17	3.34	5.81	3.63	1.89	0.09	191676
19	H	87.73	29.94	52.68	47.82	17.05	10.12	4.57	2.50	2.77	1.11	0.07	164763
20	H	80.18	61.66	46.45	62.29	22.17	13.30	4.01	2.96	3.17	1.27	0.04	185346
21	MS	65.60	43.66	33.59	27.08	28.97	17.42	4.83	3.78	3.15	2.10	0.03	210705
22	MS	95.73	30.74	39.78	47.74	22.97	11.93	3.25	3.44	3.07	1.27	0.04	207342
23	M	80.76	44.60	31.36	20.91	25.96	14.63	4.36	2.79	2.79	2.44	0.15	180000
24	H	71.79	67.44	59.07	21.33	18.05	11.81	3.28	2.63	3.28	1.97	0.12	225369
25	MS	118.64	63.44	47.67	24.94	25.12	13.02	5.50	3.30	3.30	1.83	0.03	221782
26	H	64.10	63.22	95.49	21.99	17.65	10.13	3.33	2.31	3.04	1.16	0.04	192622
27	M	95.28	42.06	49.00	35.52	21.44	11.84	3.27	2.86	3.06	2.04	0.18	197223
28	CM	100.11	62.47	48.05	27.15	28.35	17.54	8.41	5.05	2.40	2.16	0.03	242191
29	H	51.65	92.15	53.72	19.21	22.11	13.64	3.72	3.72	3.72	2.27	0.12	177893
30	CH	71.15	100.18	50.09	23.22	24.82	15.26	5.24	4.33	2.96	1.59	0.02	627322
31	H	105.29	22.66	43.72	19.87	26.43	14.90	4.57	3.38	2.58	2.58	0.17	235374
32	CM	78.96	87.99	47.38	24.53	19.12	11.68	3.89	3.89	2.88	2.03	0.14	181218
33	H	84.21	48.91	56.59	25.46	24.66	15.76	4.45	3.64	3.23	2.22	0.04	214753
34	H	110.02	33.38	42.25	23.87	24.71	15.42	3.17	3.17	2.32	1.90	0.11	198733
35	MS	43.30	120.95	107.88	18.31	20.43	11.44	5.07	3.27	2.29	2.12	0.11	156522
36	M	134.06	46.15	52.63	21.05	27.13	16.19	4.05	3.64	3.64	2.43	0.13	243158
37	JH	84.14	60.58	58.16	22.46	21.32	12.92	4.52	2.75	2.58	1.62	0.06	199483
38	M	101.69	52.54	40.68	30.51	24.41	15.25	4.75	3.56	4.24	2.88	0.22	190068
39	H	131.47	39.27	51.09	37.36	23.47	10.38	2.87	2.87	2.08	1.60	0.04	187069
40	H	59.56	85.63	40.78	24.15	23.37	14.27	5.49	2.82	2.82	1.73	0.38	179831
41	M	182.91	28.57	41.96	28.24	20.66	12.27	3.87	2.91	4.36	2.26	0.09	186411
42	MS	171.43	76.86	47.79	23.89	28.08	15.33	5.38	3.39	3.98	2.39	0.07	254241
43	M	177.05	84.45	38.95	24.96	19.30	12.22	4.25	2.83	3.36	2.12	0.13	190368
44	CM	160.26	136.26	57.14	25.93	23.96	16.04	7.69	3.30	2.86	1.76	0.02	372000
45	MS	147.32	239.71	53.67	22.36	22.54	11.09	4.83	2.86	2.86	1.43	0.10	171306
46	H	144.93	154.15	47.43	31.42	23.32	13.44	5.53	4.94	3.75	2.57	0.57	222451
47	H	149.42	50.99	37.36	25.78	21.67	12.33	4.30	2.80	2.43	2.80	0.12	171797
48	H	206.90	106.90	51.72	25.86	19.83	11.38	8.28	3.45	3.79	2.07	0.21	193345
49	H	187.84	121.01	50.42	28.24	31.60	14.45	4.87	3.53	3.03	2.35	0.11	197647
50	H	199.32	232.35	54.67	22.78	23.92	16.17	5.47	3.19	3.64	2.96	1.09	261185
51	M	390.21	274.65	36.02	34.67	27.69	16.21	8.33	3.83	4.28	2.93	0.12	251508

CH = cría hembra, CM = crío macho, JH = juvenil hembra, JM = juvenil macho, MS = macho subadulto, H = hembra adulta, M = macho adulto.

ANEXO VI. Concentracion ($\mu\text{g/g}$, peso seco) de 12 metales en 51 muestras de dientes de lobo marino (*Zalophus californianus californianus*) del Golfo de California, Mexico.

DAT. MUESTRA		CONCENTRACION ($\mu\text{g/g}$, peso seco)											
NUM	CATEGC	Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
1	JM	15.41	25.39	19.72	21.94	21.94	13.81	4.44	3.45	3.21	2.47	0.12	151183
2	JM	27.37	23.14	12.40	23.35	27.07	16.74	4.75	2.89	3.51	2.69	0.10	203058
3	JH	40.37	19.38	48.45	26.24	27.45	14.13	5.65	3.23	3.03	2.02	0.04	211950
4	M	73.69	16.51	44.51	15.58	17.99	10.39	3.34	2.04	2.04	1.85	0.10	128524
5	MS	46.19	18.24	64.67	27.02	28.18	15.47	3.70	3.46	3.23	2.08	0.02	236674
6	M	64.98	11.46	63.52	24.30	17.40	10.91	2.90	2.49	3.59	1.10	0.01	153687
7	CH	29.34	43.43	56.34	23.24	22.07	14.55	4.69	4.69	3.99	2.58	0.16	207042
8	H	44.23	21.59	38.92	21.23	20.35	13.62	3.72	2.83	4.07	2.12	0.42	228132
9	JM	43.91	27.62	37.33	24.64	24.64	14.37	3.73	2.99	3.17	1.87	0.05	195969
10	MS	64.83	39.38	51.86	23.18	22.69	11.51	4.05	3.24	5.19	1.62	nsd	186515
11	MS	nsd	28.15	60.32	30.83	33.51	19.44	4.02	3.69	3.02	2.01	0.03	389879
12	JH	30.14	36.64	45.52	20.48	28.22	14.79	4.32	3.19	2.50	2.28	0.05	238962
13	MS	62.49	49.58	46.03	25.14	21.25	13.63	3.54	3.19	3.72	1.42	0.01	205241
14	H	40.99	26.02	39.35	24.27	17.49	10.71	3.72	3.28	3.06	1.97	0.11	165282
15	M	28.67	31.68	63.35	29.24	27.78	16.57	4.39	4.14	3.65	1.71	0.04	201608
16	MS	nsd	28.50	46.39	25.18	28.50	18.22	6.30	3.31	2.98	2.98	0.19	292247
17	JM	99.52	27.07	6.37	28.34	33.44	21.02	4.14	3.82	3.18	2.23	0.02	327707
18	H	71.28	19.84	54.74	23.95	22.13	15.05	4.56	3.19	3.88	2.51	0.16	188732
19	H	58.08	26.46	59.24	24.09	21.72	13.82	4.15	2.96	5.13	1.18	0.03	237204
20	H	38.36	20.22	47.83	26.96	22.61	13.91	3.26	2.83	2.83	1.52	0.02	225522
21	MS	95.70	18.14	55.12	25.26	26.41	18.14	4.13	3.45	2.99	2.07	0.01	220900
22	MS	67.11	31.54	33.56	27.52	33.22	18.79	3.36	3.02	2.68	2.35	0.01	98658
23	M	85.97	18.82	64.91	23.80	28.56	16.44	4.76	3.03	3.89	2.60	0.06	203548
24	H	96.08	20.95	46.12	20.18	18.64	12.68	4.23	2.88	3.46	2.11	0.10	183205
25	MS	55.01	19.80	49.50	21.73	19.11	9.90	3.03	2.75	3.16	1.51	0.05	172112
26	H	29.34	30.17	59.85	32.42	32.42	19.20	4.49	3.74	3.99	2.00	0.02	253466
27	M	99.95	16.19	56.97	27.29	16.34	9.75	3.30	2.55	3.75	1.65	0.10	170645
28	CM	56.49	48.81	16.27	23.32	28.47	16.54	4.88	3.80	2.98	1.63	0.03	323427
29	H	68.91	24.07	77.18	23.89	20.76	13.05	4.96	3.12	4.96	2.21	0.10	210695
30	CH	58.39	42.88	22.42	26.91	37.00	21.02	5.33	4.48	3.36	2.52	0.03	328419
31	H	120.25	23.15	54.47	23.60	27.69	16.57	4.77	3.18	3.86	2.72	0.10	241171
32	CM	91.32	35.62	22.83	33.11	27.63	16.67	4.79	5.25	3.88	3.20	0.16	207123
33	H	81.60	25.85	70.51	29.96	25.46	16.06	4.11	3.33	3.33	1.96	0.01	215511
34	H	117.94	20.83	49.82	28.99	29.21	18.80	4.30	3.62	3.40	2.04	0.02	185462
35	MS	64.55	27.10	50.68	20.27	23.00	12.67	3.70	2.92	3.31	1.95	0.08	189942
36	M	50.22	19.46	85.95	23.00	27.55	16.94	4.30	2.78	3.03	2.78	0.10	226138
37	JH	84.83	32.57	70.58	23.07	34.47	19.82	5.43	4.07	2.99	2.44	0.01	254235
38	M	145.07	19.58	48.36	29.01	25.87	15.72	4.84	3.63	3.63	2.66	0.12	204110
39	H	85.14	35.97	72.37	30.23	27.25	14.05	4.04	3.41	3.62	2.13	0.02	232439
40	H	72.66	57.56	83.99	32.61	37.30	19.52	6.92	3.95	6.92	1.98	0.06	220998
41	M	121.65	18.98	65.69	25.91	19.71	12.23	4.38	3.10	3.28	2.01	0.11	188540
42	MS	94.88	19.10	38.20	22.68	26.27	14.57	4.54	3.10	3.10	2.39	0.01	193553
43	M	119.58	20.18	53.81	28.70	23.09	14.57	4.71	3.81	3.59	2.47	0.21	221300
44	CM	95.92	58.62	18.42	29.77	32.23	17.50	6.75	3.99	3.07	1.84	0.01	270718
45	MS	59.54	21.88	56.56	23.07	22.33	11.02	3.42	2.68	3.42	1.64	0.04	189431
46	H	137.96	21.33	57.31	34.86	23.40	14.49	4.30	3.34	3.50	2.71	0.06	183190
47	H	179.91	31.40	107.95	41.71	28.70	18.89	5.15	4.66	4.42	3.19	0.15	251423
48	H	120.39	18.66	88.28	35.11	20.87	13.04	4.61	3.01	3.81	2.41	0.15	191292
49	H	117.65	32.16	98.04	32.16	26.67	14.90	3.73	3.53	3.73	2.16	0.05	235529
50	H	99.80	28.14	71.86	23.75	20.76	14.37	4.39	3.19	3.59	2.40	0.10	205389
51	M	169.39	31.83	74.89	24.74	16.18	9.63	4.55	2.67	4.01	1.74	0.07	176357

CH = cria hembra, CM = crio macho, JH = juvenil hembra, JM = juvenil macho, MS = macho subadulto, H = hembra adulta, M = macho adulto. nsd = no se detectó

ANEXO V. Medidas de tendencia central y medidas de dispersión de las concentraciones de 12 metales en bulas y dientes de los lobos marinos (*Zalophus californianus californianus*) del Golfo de California.

BULA												
	Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
suma	4932.11	3713.64	2520.72	1318.06	1182.69	687.38	229.81	180.12	157.18	101.37	8.204	10850132
promedio	96.71	72.82	49.43	25.84	23.19	13.48	4.51	3.53	3.08	1.99	0.161	212748
varianza	4226.88	2814.92	204.85	68.52	11.60	4.47	1.84	1.38	0.33	0.23	0.069	4910868777
desv. est.	65.01	53.06	14.31	8.28	3.41	2.11	1.36	1.17	0.57	0.48	0.263	70078
variabilidad	67.23	72.86	28.96	32.03	14.69	15.68	30.10	33.25	18.57	24.31	163.20	32.94
mínimo	24.45	22.66	31.33	16.84	17.06	9.12	2.54	2.26	1.84	1.11	0.010	147810
máximo	390.21	274.65	107.88	62.29	31.60	17.54	8.41	9.61	4.36	2.96	1.590	372000
DIENTE												
	Al	Fe	Zn	Pb	Ni	Co	Mn	Cu	Cr	Cd	Hg	Ca
suma	3823.06	1411.67	2729.32	1337.83	1292.98	770.18	223.55	170.98	181.71	109.63	3.845	11024046
promedio	74.96	27.68	53.52	26.23	25.35	15.10	4.38	3.35	3.56	2.15	0.075	216158
varianza	1589.69	108.70	450.26	21.35	28.21	8.97	0.70	0.37	0.58	0.22	0.005	2600259107
desv. est.	39.87	10.43	21.22	4.62	5.31	2.99	0.84	0.60	0.76	0.47	0.073	50993
variabilidad	53.19	37.67	39.65	17.61	20.95	19.83	19.14	18.03	21.41	21.77	97.24	23.59
mínimo	0.00	11.46	6.37	15.58	16.18	9.63	2.90	2.04	2.04	1.10	0.000	98657
máximo	179.91	58.62	107.95	41.17	37.30	21.02	6.92	5.25	6.94	3.20	0.420	389379

ANEXO VI. Funciones biológicas, órganos de mayor concentración, signos de deficiencia y toxicidad y principales interacciones de los metales esenciales y los metales tóxicos en los mamíferos.

METAL	FUNCION BIOLOGICA PRINCIPAL	ORGANOS DE MAYOR CONC.	SIGNOS DE LA DEFICIENCIA	MANIFESTACIONES DE LA TOXICIDAD	INTERACCION CON OTROS
Fe	componente de la hemoglobina y de la mioglobina	hígado bazo médula ósea	anemia microcítica hipocrómica	diarrea, crecimiento disminuído, congestión vascular, acidosis	niveles elevados de Zn, Cu, Mn y Cd reducen la absorción del Fe, Zn protege vs Cd
Zn	constituyente y activador de muchas metaloenzimas	hígado hueso riñón	retraso en crecimiento, anorexia, hipogonadismo	deficiencia de Cu y Fe, fiebre de humo metálico	Cu es desplazado por Zn y Cd
Cu	activador de enzimas, formación de colágena y elastina, melanina, integridad del SNC	hígado cerebro riñón corazón	anemia, anormalidades óseas, incoordinación, ataxia, alopecia	anemia, hemoglobinuria, lesión hepática, ictericia	deficiencia de Fe aumenta la absorción del Mn
Mn	formación del hueso, metabolismo de lípidos	hueso riñón, hígado	anormalidades esqueléticas	interferencia con los otros minerales	Zn protege vs Co en testículo
Co	constituyente de la vitamina B12	hígado riñón, hueso	anorexia, anemia, policitemia	anorexia, anemia, daño testicular	puede proteger contra el Pb
Cr	cofactor de la insulina en utilización glucosa	bazo corazón	insulina y glucosa elevadas	genotóxico, citotóxico, carcinógeno, oxidante	protege contra Hg, Ag, As, Cd
Se	protección de las membranas celulares	hígado, riñón músculo	distrofia muscular, necrosis hepática	enfermedad de alcali, ceguera, parálisis	Pb afecta la toma de I por la glan. tiroides
I	constituyente de la tiroxina	glándula tiroides	índice metabólico basal disminuído, bocio	mortalidad prenatal en conejos	Mo y Cu compiten en los rumiantes
Mo	constituyente de enzimas para excreción de ácido úrico y sulfatos	hígado hueso	retardo en crecimiento y muerte en los no rumiantes	deficiencia de Cu en los rumiantes	

ANEXO VI. Funciones biológicas, órganos de mayor concentración, signos de deficiencia y toxicidad y principales interacciones de los metales esenciales y los metales tóxicos en los mamíferos. Continuación.

METAL	FUNCION BIOLOGICA PRINCIPAL	ORGANOS DE MAYOR CONC.	SIGNOS DE LA DEFICIENCIA	MANIFESTACIONES DE LA TOXICIDAD	INTERACCION CON OTROS
Ni	no definida	piel, hígado músculo	crecimiento disminuido, malformaciones óseas	dermatosis y alergias por contacto, inyectado o inhalado es carcinógeno	interacciones con el Fe, Zn y Cu
As	no definida	piel, pelo uñas	retardo en crecimiento y fertilidad	hiperqueratosis, diarrea, ictericia, muerte	As y Se son antagonistas
Al	no definida	hueso, sistema nervioso central	pérdida de la fertilidad en ratas hembras	inhibición de la mineralización del hueso, osteomalacia, demencias degenerativas, anorexia	el Al disminuye la absorción del Ca, Mg y Zn en el hueso cuando hay deficiencia de Ca y Mg
Cd	no definida	hígado riñón	pérdida de peso en animales de laboratorio	edema pulmonar, disfunciones renales, degeneración de los túbulos seminíferos en roedores, muerte	Cd y Zn son antagonistas, la deficiencia de Ca aumenta los efectos del Cd
Pb	no definida	hueso cerebro		severos daños, renales hematológicos, neurológicos y de la reproducción, alteración de la vitamina D, retraso en el crecimiento, defectos congénitos menores	la deficiencia de Fe y Ca aumenta la absorción del Pb, Fe, Zn, Cr y Ca protegen vs Pb
Hg	no existe ninguna evidencia	riñón hígado	no existe ninguna evidencia	daño gastrointestinal y neurológico, disfunción renal y muerte	Se protege vs Hg y Hg protege vs Se