

DE LA UN



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**EVALUACION PRELIMINAR DE LA CONTAMINACION
POR METALES PESADOS EN EL RIO
BLANCO, VERACRUZ.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
B I O L O G O
P R E S E N T A :
JOSE FRANCISCO BADILLO GERMAN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

SAN JUAN IZTACALA, 1986.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL PROGRAMA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS BIÓTICOS (INIREB), BAJO LA DIRECCIÓN DE LA DRA. LILIA A. ALBERT P., EN LA CIUDAD DE XALAPA, VER.

EL EQUIPO INSTRUMENTAL FUE DONADO POR EL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Y POR LA ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS.

AGRADECIMIENTOS

A M I S P A D R E S

P E T R A

A tñ que haz sabido conducirme
en esta vida tan azarosa.

F R A N C I S C O

Por la confianza y por haberme
dado lo mejor de tñ.

A M I A B U E L I T A

A quien quiero mucho.

A M I S H E R M A N O S

Espero que ésto sólo sea un estímulo
más por la vida.

A TODA MI FAMILIA

Por todo su cariño y apoyo

A LA DRA. LILIA ALBERT

Por sus regaños, confianza y apoyo
en mi formación profesional
con gran estimación y cariño.

A LA SRA. VIOLETA MENENDEZ BERNARD

Por la transcripción mecanográfica
muchas gracias.

A

Lola, Verónica, Lidia, Silvia, Jerry, Omar, Ma. Elena, Agustín Miguel Angel, Ma. Elena, Ana, Roberto, Alejandra, Filiberto, Laura, Blanca, Raúl, David, Humberto, José, Pancho, Paco, Facundo, Colunga, Rafael, Alejandra, Rebeca, Pilar, Rafael, Juan Carlos, Fco. Javier, Maru, Juanita, Alma Delia, Leticia, Vicky, Enriqueta, Rogelio, Jaime, Gloria Luz, Alejandro, Violeta, Timo, Federico, Mauro, Felipe, Charito, Angelica, Patricia, Jorge, Joaquín, Ofelia, Rosalinda, Pepe, Violeta, Sandra, Raymundo, Bertha, Jorge, Julia, Esteban, Doña Savi, Laura, Tomás, Mario, Hugo, David, Joel, Armando, Guillermo, Hugo, Manolo, Cesar, Juan Carlos, Agustín, Jeff, Germán, Toni, Reyna, Mercedes, Roberto, Arturo, Alvaro, Antonio, Tzahyrf, Felipe, Celia, Mario, Emma Gloria, Celso, Andrew, Alicia, Paco, Andrés, Charo, Santiago, Toño, Teresa, Federico, Fernando, Gloria, Sarita, Teodoro, Oscar, Héctor, Sergio, Carlos, Domingo, Armando, Gerardo, Carlos Martín, Alfonso, July, Adela, Cristina, etc.

y también a quienes conforman mi mundo

ah! y a tí a quien espero encontrar
muy pronto.

G R A C I A S

INDICE

AGRADECIMIENTOS	III
INDICE	X
RESUMEN	XII
I PARTE TEORICA	
A. ANTECEDENTES	1
B. PLOMO	3
C. ZINC	43
D. AREA DE ESTUDIO	64
E. OBJETIVOS	73
II PARTE EXPERIMENTAL	
A. MATERIAL Y APARATOS	76
B. METODOLOGIA PARA SEDIMENTOS	80
C. METODOLOGIA PARA ORGANISMOS	92
III RESULTADOS	100
IV DISCUSION DE RESULTADOS	109
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
VI APENDICE	129
VII BIBLIOGRAFIA	132

RESUMEN

RESUMEN

Entre los contaminantes más perjudiciales del ambiente se encuentran los metales pesados* ya que no se degradan, sino que permanecen en él por tiempo indefinido.

Entre estos elementos se encuentran el plomo y el zinc, los cuales en la actualidad se utilizan en concentraciones excesivas en casi todos los procesos industriales. Al mismo tiempo, se ha demostrado que dichos elementos producen daños morfológicos, etológicos y fisiológicos en los organismos y que, en general, perjudican el ambiente.

La utilización sin ningún control de estos metales favorece que se dispersen en los diversos sustratos ambientales y que se altere su equilibrio dinámico natural. El desequilibrio resultante provoca, a su vez, que ambos metales se acumulen en aire, suelo, agua, etc.

Los sedimentos de los cuerpos acuáticos son depósitos preferentes de los metales pesados, por lo que es posible encontrar en ellos plomo y zinc en altas concentraciones, cuando éstos se encuentran como contaminantes de las aguas.

Una de las propiedades biológicas de los metales es la tendencia a la bioconcentración, es por ello que algunos organismos sirven como indicadores de la contaminación por estos metales, ya que los retienen en sus tejidos.

En el presente trabajo se llevó a cabo la identificación y cuantificación de plomo y zinc en muestras de sedimentos y organismos provenientes del Río Blanco mediante espectrofotometría de absorción atómica. En este río se vierten las aguas de desecho y los sólidos residuales de las industrias y poblaciones cercanas.

Con base en los resultados obtenidos se señalan los posibles efectos biológicos de estos elementos en la región y se indican los riesgos a que pueden estar expuestos los organismos y la población humana cercanos a la zona y, si es el caso, se recomiendan las medidas pertinentes para evitar dichos efectos nocivos. Igualmente, se proponen algunas futuras investigaciones en esta región.

* Véase apéndice.

I. PARTE TEORICA

A. ANTECEDENTES

A. ANTECEDENTES

El hombre ha tenido siempre una estrecha relación con el ambiente que le rodea, del cual forma parte y en el que realiza todas sus actividades.

En la actualidad, a causa del acelerado desarrollo de la industria y del incesante crecimiento de la población, el medio ambiente se encuentra en un proceso rápido de deterioro; una de las causas de éste es la acumulación de sustancias químicas -tanto naturales como sintéticas- en los lagos, ríos, zonas costeras, suelos, aire y en la biota.

Estas sustancias provienen de dos fuentes principales: las naturales y las antropogénicas. Entre las fuentes naturales se encuentran el desgaste de la corteza terrestre, la erosión, las emanaciones volcánicas, los depósitos naturales en suelos y aguas, etc. Las fuentes antropogénicas incluyen, básicamente, la extracción de minerales, la utilización de las sustancias en la industria y la descarga al ambiente de los subproductos indeseables de la producción industrial como los humos, líquidos y sólidos de desecho.

Entre estas sustancias perjudiciales hay diversos grupos que tienen efectos nocivos directos sobre todos los organismos, como ocurre, por ejemplo, con plaguicidas, materiales radiactivos, compuestos aromáticos policíclicos y metales pesados.

En particular, los metales pesados se caracterizan porque permanecen en el ambiente de manera indefinida y porque producen diversos daños a los seres vivos. Los principales metales pesados son: mercurio, plomo, zinc, cadmio, cobre, níquel, cobalto, hierro, uranio, etc. Se agrupan de esta forma debido a que tienen densidades mayores a los no metales, con valores de peso específico superiores a 5.

Los metales pesados se han utilizado desde la antigüedad porque sus características físicas como maleabilidad, ductilidad, buena conducción del calor y electricidad, etc., son de gran importancia y utilidad para el hombre. Actualmente se utilizan, de una u otra forma, en diversos procesos industriales, en la síntesis de nuevos compuestos, etc.

B. PLOMO

B. PLOMO

El plomo se considera como uno de los metales pesados más peligrosos para todos los organismos. El hombre lo ha obtenido durante milenios. Así, por ejemplo, los egipcios lo utilizaron para vidriar vasijas por los años 7000 a 5000 A.C.¹ y los antiguos romanos lo emplearon para sus tuberías de agua y para la elaboración de diversos recipientes. A este respecto, algunos autores opinan que la toxicidad crónica del plomo fue una de las principales causas que influyeron en la decadencia del imperio Romano.^{2, 3}

Fuentes de plomo

El plomo se encuentra en forma natural en el suelo, el agua y las plantas de todas las regiones del planeta y siempre ha existido en el ambiente que rodea al hombre.⁴ El plomo que participa en los ciclos biogeoquímicos proviene en forma natural de las emanaciones volcánicas, la erosión y el desgaste de las rocas. Se calcula que estas fuentes liberan en el medio aproximadamente 200,000 toneladas de plomo cada año.²

Las fuentes antropogénicas de este elemento son la minería, la fundición y la refinación del mismo, las emisiones de vehículos y diversos procesos industriales.

La utilización de este elemento aumenta cada día, ya que se emplea para un sinnúmero de propósitos^{2, 5}, entre ellos:

- Baterías eléctricas
- Pinturas
- Manufactura de plásticos
- Cerámicas
- Revestimientos de cables
- Tuberías
- Aditivos para gasolina, etc.

El más importante de todos los minerales del plomo es la galena (sulfuro de plomo, PbS) que contiene 86.4% de plomo⁶. Los principales minerales que contienen plomo se presentan en la Tabla 1.

TABLA # 1
PRINCIPALES MINERALES QUE CONTIENEN PLOMO^{7, 8}

Nombre	Fórmula	%
Galena	PbS	86.4
Cerusita	PbCO ₃	77.5
Anglesita	PbSO ₄	68.3
Piromorfita	Pb ₄ (PbCl)(PO ₄) ₃	76.3

La producción anual mundial de plomo se ha estabilizado durante los últimos años en comparación con la producción anual de las décadas de los años 50 y 60 y en la actualidad es de aproximadamente 3 500 millones de toneladas métricas⁵ (Véase Tabla 2).

TABLA # 2

PRODUCCION MUNDIAL DE PLOMO^{7, 9}

<u>Año</u>	<u>Ton x 10³/año</u>
1965	2 600
1978	3 631.1
1979	3 621.4
1980	3 602.6
1981	3 476.4
1982	3 583.3

La producción minera de plomo en México se muestra en la Tabla 3.

TABLA # 3

PRODUCCION MINERA DE PLOMO EN MEXICO¹⁰

<u>Año</u>	<u>Ton x 10³/año</u>
1979	174
1980	146
1981	150
1982	168

El plomo en el ambiente

Como ya se indicó, la entrada continua de plomo al ambiente altera el equilibrio dinámico de este metal, ya que el plomo de origen antropogénico se integra al ciclo biogeoquímico y contribuye a él en porcentajes iguales o mayores a los que este ciclo recibe en forma natural¹¹ (Véase Fig.#1). Por lo tanto, se origina una acumulación de este elemento en los diferentes sustratos ambientales como aguas, suelos, vegetación, etc.

1. El Plomo en la Atmósfera

Se calcula que el plomo proveniente de fuentes naturales que llega a la atmósfera es aproximadamente 1.9×10^4 toneladas; esto es sólo el 4% de la cantidad de plomo que el hombre introduce a ese sustrato^{3,8}.

Probablemente en el principal aporte de plomo a la atmósfera está asociado con la emisión de gases por los vehículos automotores. En algunas ciudades, esta fuente puede contribuir con más del 90% del plomo que se encuentra en el aire. Los datos de la concentración promedio en áreas urbanas⁸ son de 0.5 a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para las zonas rurales la concentración varía de 0.1 a 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

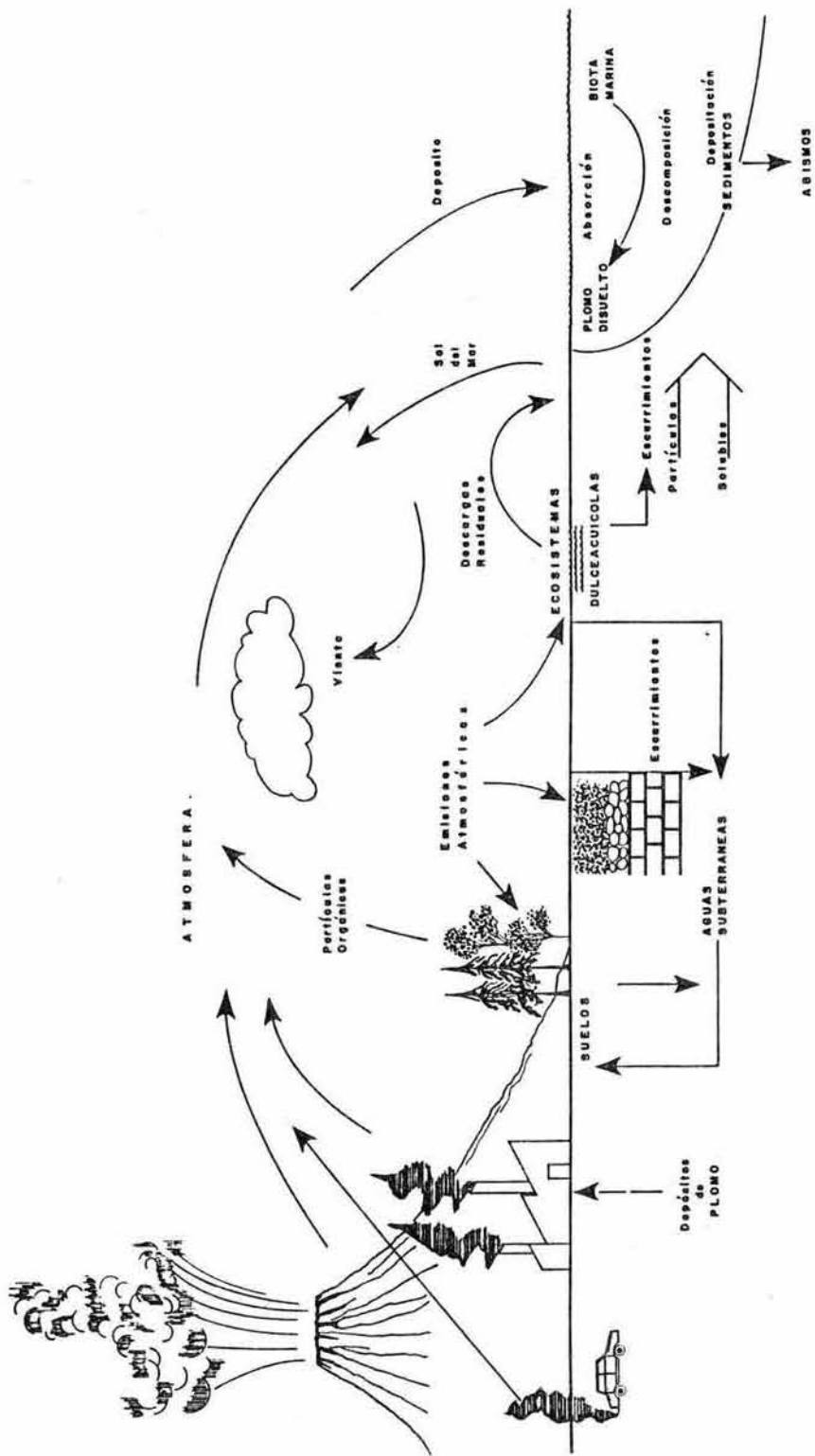


Fig. No. 1. CICLO GLOBAL DEL PLOMO .

El plomo atmosférico tiene gran importancia, no sólo porque una vez en ese medio el contaminante se transporta a otras regiones por la acción del viento sino, además, porque el aire es la fuente de exposición por inhalación para los seres vivos⁶.

2. El plomo en los suelos

En los suelos, las concentraciones de este elemento pueden variar ampliamente, desde 8 a 20 mg/kg en los suelos no contaminados^{4,12} y hasta 1 000 mg/kg en los suelos próximos a áreas industriales o carreteras. Esto último se debe a que una elevada proporción del plomo que emite a la atmósfera se deposita rápidamente en el suelo debido al gran tamaño de las partículas (> 10 μm).

Una vez que el plomo ha llegado al suelo permanece ahí indefinidamente y sólo una pequeña parte es transportada por la lluvia. Por ello, se debe considerar al suelo como uno de los principales depósitos de este contaminante.

Por otra parte, el aporte de plomo producido por las actividades antropogénicas hacia los suelos es un evento relativamente reciente (alrededor de 100 años), pero éstas se han llevado a cabo en gran escala por lo que han aumentado las concentraciones de plomo en muchos suelos a niveles que son biológicamente intolerables⁸.

En muchas áreas no perturbadas, la concentración de este elemento y de otros más es mayor en el horizonte A*. La concentración en el horizonte A proviene de las generaciones de hojas que caen al suelo y que llevan pequeñas cantidades de oligoelementos* que obtuvieron de las pequeñas concentraciones de los horizontes B o C de la roca madre⁸.

*Véase apéndice.

3. El plomo en las aguas

El plomo presente en las aguas proviene tanto de fuentes naturales como antropogénicas. De éstas últimas, las más importantes son, por un lado, la precipitación de humos y polvos que emiten vehículos e industrias y, por otro, las tuberías de plomo, que son comunes en algunas regiones. En estas zonas, la presencia de este metal en el agua potable representa un serio problema, el cual puede disminuir si dichas tuberías se reemplazan por otras de diferentes materiales.

Se ha señalado que las aguas superficiales naturales contienen generalmente menos de 0.1 µg/l de plomo¹³. Sin embargo, en la actualidad el contenido de plomo en las aguas puede ser hasta 10 veces mayor que los niveles de concentración naturales.

Por ejemplo, en los Estados Unidos se calcula que más del 90% del plomo que ahora se descarga a los ríos y lagos se debe a la acción del hombre³.

4. El plomo en los sedimentos

Está bien demostrado que los sedimentos de cualquier medio acuático son los principales receptores y depósitos de los metales pesados, incluyendo al plomo^{3,14-18}

Es por ello que los sedimentos han atraído la atención de los departamentos de los gobiernos relacionados con los problemas de contaminación y de las compañías mineras que buscan depósitos de minerales.

Las concentraciones promedio varían ampliamente, desde valores menores a 0.1 µg/g del Lago Masy hasta concentraciones de 5 000 µg/g en partes del Lago Coeur D'Alene (Idaho), el cual recibe descargas de desechos mineros.

El contenido promedio de sedimentos de lagos no contaminados es de $16 \mu\text{g/g}^8$. Por otra parte, la concentración media de plomo en sedimentos de río con evidencias de contaminación se estima en $98 \mu\text{g/g}$ en promedio⁸.

La acumulación de plomo en los sedimentos de cualquier lago se debe a diversos factores como son: los aportes de los sedimentos y las aguas de los arroyos, de los mantos freáticos, la erosión de la cuenca del lago, la precipitación de materiales provenientes del aire y las descargas municipales e industriales⁸.

Una vez que el plomo ha entrado a los cuerpos acuáticos, se fija en los sedimentos por una variedad de procesos limnológicos tales como la precipitación de las fases minerales, los sedimentos de restos orgánicos y la adsorción de la materia orgánica y de los componentes minerales inorgánicos.

La investigación de plomo en sedimentos de ríos ha encontrado diversas aplicaciones en estudios geológicos, de agricultura, de exploración minera y ecológicos.

5. El plomo y los organismos dulceacuícolas

Todos los experimentos realizados hasta la fecha tanto *in vivo* como *in vitro* muestran que el plomo tiene efectos adversos sobre el metabolismo en concentraciones tan bajas como 10^{-6} M.

Los animales representativos de los hábitat acuáticos que más han sido utilizados para determinar los efectos producidos por el plomo incluyen a 6 familias de peces (Salmonidae, Cyprinidae, Catostomidae, Ictaluridae, Poeciliidae y Centrarchidae); los invertebrados representados en

estos estudios son rotíferos, anélidos, caracoles, cladoceros, copépodos, isópodos, moscas de mayo, mosca de piedra y fríganos, además de plantas pertenecientes a los grupos de algas, desmidias y diatomeas¹⁹.

Aparentemente el plomo inorgánico puede convertirse a formas orgánicas por la actividad bacteriana; pero esto no ha sido comprobado del todo.

Carpenter en 1927 observó que el primer indicio de la contaminación de un arroyo por los desechos de una mina de plomo fue la desaparición de los moluscos. La desaparición marcada de larvas de tricópteros ocurre en la segunda fase de contaminación. También notó 3 estados en la recuperación de un arroyo después de haber cesado las actividades mineras²⁰:

- 1) Una limitada flora criptogámica y pocas larvas de insectos.
- 2) El establecimiento de algas clorofíceas y oligoquetos, turbelarios y larvas de fríganos, al igual que más tipos de insectos en los grupos ya representados arriba y la visita ocasional de peces de aguas cercanas.
- 3) El resurgimiento de plantas con flores, un asentamiento a gran escala de invertebrados ya establecidos en el segundo estado y la adición de moluscos. Finalmente, el regreso definitivo de peces al arroyo.

a) Algas. Los estudios de campo han demostrado que las algas bentónicas son capaces de atrapar y asimilar el plomo. Los compuestos orgánicos del plomo son mucho más tóxicos para las algas que los inorgánicos.

En arroyos que reciben efluentes de minas y fábricas textiles se ha informado que existe una relación inversa entre

el contenido de plomo en estos productores primarios y la distancia a la fuente de contaminación por este elemento.

En estudios de laboratorio con *Cladophora* se han encontrado que es el alga más sensible a Zn, Cu y Pb. Se ha observado que las concentraciones de plomo en el alga café *Fucus vesiculosus* y en *Laminaria digitata* reflejan la carga de plomo en el medio marino. Bryan y Hummerstone (1973)²⁰ han concluido que los análisis de *Fucus sp.* dan un índice razonable de las concentraciones promedio en las aguas estuarinas y costeras.

En aguas del Lago Ontario sólo se requiere de 100 ppb de plomo para producir un efecto inhibitorio en las algas.

Existen diversos estudios que sugieren la utilización de las algas marinas de los litorales como indicadores de la contaminación por metales pesados²⁰.

Muchas de las algas azul-verdes tienen cubiertas que contienen polisacáridos extracelulares ácidos y, algunas de ellas, pueden producir grandes cantidades de polipéptidos extracelulares; ambos grupos de polímeros pueden atrapar metales pesados, incluyendo al plomo. Así que, en algunos estudios, el plomo al parecer no es tóxico ya que estas algas lo acumulan en sus cubiertas celulares sin mostrar efectos adversos.

Las algas fucoideas marinas contienen sales de algina en las paredes celulares y los espacios intracelulares, las cuales actúan como material de intercambio iónico y tienen una fuerte afinidad por los metales divalentes.

Haug en 1961 demostró que la algina extraída de *Laminaria digitata* tiene afinidad por los metales divalentes y que esta afinidad disminuye de acuerdo con el siguiente orden ²⁰:

Pb > Cu > Cd > Ba > Sr > Ca > Co > Ni, Zn, Mn > Mg*

En la toxicidad del plomo para las algas pueden influir factores como la dureza del agua y la temperatura.

b) Plantas macrófitas. La mayoría de las macrófitas acuáticas asimilan los nutrientes a través de sus hojas, al igual que de sus raíces. Estas plantas unidas al sustrato parecen concentrar en mayor grado el plomo en las raíces, mientras que las que carecen de éstas concentran menor cantidad de este elemento.

Debido a su capacidad de concentrar metales pesados, *Scirpus americanus*; *Eleocharis smailii* y *Ridens cernua* se han considerado como agentes naturales descontaminantes ²⁰.

c) Bacterias, hongos y protozoarios. Es bien conocido que algunas bacterias son capaces de extraer cantidades importantes de plomo inorgánico (bromuro y nitrato de plomo) del ambiente sin que presenten efectos adversos para su crecimiento o viabilidad. Gran parte del plomo absorbido por células de *Micrococcus luteus* y *Azotobacter sp.* es inmovilizado en la pared celular y se asocia fuertemente con la membrana celular. *Pseudomonas sp.* aisladas de las aguas de la Bahía de Chesapeake pueden tolerar una variedad de cationes -tanto como 100 ppm* Pb²⁺ y 1,000 ppm Al³⁺- en un medio de agar. No se inhibió el cultivo de *Micrococcus luteus* y *Azotobacter sp.* a 2,500 ppm de bromuro de plomo.

Carter y Careon en 1983 han sugerido el uso del protozoario ciliado *Tetrahymena pyriformis* como uno de los organismos indicadores muy sensibles de la contaminación por metales pesados en el agua. Este organismo es muy sensible a mercurio, cobalto y zinc. Sin embargo, no lo es para el plomo ²⁰

* Véase apéndice.

d) Invertebrados. Los organismos como hidrozorios, rotíferos, nemátodos, ácaros y microcrustáceos están considerados como micro-invertebrados y se emplean en los estudios de toxicidad. Sin embargo, la taxa más importante para estos estudios es el macrobentos (moluscos, anélidos, crustáceos anfipodos, isópodos, decápodos e insectos).

Se ha propuesto que la ausencia de moluscos puede ser una consecuencia de la contaminación por metales pesados. Además, las poblaciones de algunos insectos se reducen por la falta de alimento originado por los efectos adversos del plomo y el zinc.

Los hidrozorios son útiles en las pruebas con organismos debido a que los efectos de un tóxico se pueden medir fácilmente al contar el número de pólipos en el cultivo.

Se ha informado que el cloruro de plomo inhibe la formación de membranas en los huevos de los erizos del mar²⁰.

Tatsumoto y Patterson en 1963 estimaron que el zooplancton -que contiene 5 µg/g de plomo en peso húmedo- puede acumular 2×10^{11} g ó el 50% del plomo que entra a los océanos del mundo cada año. La mayoría de este metal puede ser transportado a los sedimentos por las mudas de los copépodos. Estos hallazgos indican la importancia potencial del zooplancton en el ciclo biogeoquímico del plomo en el mar. También, existe la posibilidad que esas mudas sean ingeridas por otros organismos que viven abajo de la zona fótica²⁰.

Las branquias de los moluscos están cubiertas con una capa de carbohidratos complejos, los cuales pueden funcionar como sustrato de intercambio iónico. Los ostiones son capaces de concentrar grandes cantidades de plomo y pueden contener 400 ppm por gramo de peso húmedo.

Sin embargo, son prácticamente inexistentes los estudios que relacionen el contenido de metales pesados en sedimentos con las concentraciones de los mismos en los organismos bentónicos. Los sedimentos ingeridos pueden ser un vector muy importante en la absorción y concentración de cantidades potencialmente peligrosas de metales tóxicos para aquellos animales restringidos a este hábitat. En un estudio se colectaron cientos de ostiones del Pacífico (*Crassostrea gigas*) y muestras de lodo de 15 sitios a lo largo del Río Tamar en Tasmania y se les analizó el contenido de plomo²⁰. Los resultados mostraron que el plomo no se absorbía por un proceso fisiológico aparente y que parecía que se incorporaba al azar de las concentraciones disponibles en ese sitio. Estas concentraciones no se relacionaron con el tamaño de los ostiones.

Se ha demostrado que los gusanos tubícolas reflejan las concentraciones de elementos tóxicos encontrados en sedimentos²⁰. *Limnodrilus hoffmeisteri* y *Tubifex tubifex* colectados en los sedimentos del Río Illinois mostraron una concentración de 17 ppm con un intervalo de 6 a 39 ppm.

En otro estudio se tomaron muestras de la clase Insecta del fondo de 4 arroyos de Colorado y se analizaron en ellas Zn, Pb y Cu²⁰. Los órdenes que se analizaron fueron Díptera, Efimenoptera (moscas de mayo), Plecoptera (moscas de piedra) y Tricoptera (fríganos).

Por lo general, existió una relación directa entre los elevados niveles de concentración de metales en los diferentes órdenes de insectos y los lugares con elevadas cantidades de metales disueltos.

La acumulación de plomo por los macroinvertebrados y los peces está en función del nicho y del hábitat. Las concentraciones de plomo son generalmente superiores en animales que viven en los sedimentos o los ingieren.

e) Peces. Respecto a los estudios de metales pesados en organismos acuáticos, los peces han sido más investigados con relación a los demás grupos taxonómicos.)

El pez más sensible al plomo es la trucha, mientras que el pez sol, la carpa dorada y los guppies son menos sensibles. Jones, en 1964, sugirió que la cantidad y la naturaleza de las secreciones de las branquias pueden explicar la variación de la toxicidad del plomo en las diferentes especies de peces.

Se encontró que los peces de lago Huron contienen 1.78 $\mu\text{g/g}$ en músculo. Este elevado valor de plomo refleja la contaminación local²⁰.

En peces de agua dulce del estado de Nueva York, la mayoría de las muestras contenían menos de 1.0 $\mu\text{g/g}$ y había muy pocas con $> 2.0 \mu\text{g/g}$ de plomo. En la mayoría de los casos, el contenido de plomo en peces de Oregón fue menor a 0.20 $\mu\text{g/g}$. Las concentraciones elevadas en peces de los ríos de Wisconsin fueron de 4.31 ppm en el lucio de norte; 2.87 en el pez "chupador" y 1.12 ppm en el bagre de canal²⁰.

En peces colectados en aguas del Lago Michigan se describieron concentraciones de 0.1 a 0.9 ppm de plomo.

También se ha demostrado que el plomo interactúa con los sitios polares de las glicoproteínas en la mucosa de los peces²⁰.

6. El plomo y los organismos terrestres

Fue hasta fechas recientes que se obtuvo información respecto a los efectos del plomo sobre la vida silvestre: mamíferos, algunos invertebrados y aves, sobre todo las acuáticas.

Existe una fuerte evidencia que algunos animales silvestres tanto de los hábitats rurales como urbanos pueden obtener el plomo a partir de suelo, aire, agua, de plaguicidas o por comer otros animales. Rolfe y Haney en 1975 encontraron diferencias en las concentraciones de plomo en insectos colectados en periodos diferentes en un año y en diferentes sitios que tuvieron la misma densidad de tránsito y tipo de vegetación. Ellos encontraron que los residuos de plomo en insectos disminuyen de las áreas de alto volumen de tránsito a las áreas más alejadas del camino. También encontraron una tendencia en el aumento de las concentraciones de plomo desde los insectos chupadores-masticadores hasta los insectos depredadores. Sus datos sugieren que los insectos depredadores que se alimentan de insectos herbívoros contaminados con plomo retienen selectivamente este metal; por lo que se puede decir que existe una bioacumulación de este elemento por los insectos depredadores. No encontraron evidencias de magnificación biológica en los insectos herbívoros²¹.

Cuando se busca una posible acumulación gradual de plomo en las cadenas alimenticias sólo el esqueleto de los vertebrados es un buen índice de esta acumulación; sobre todo con los animales que se encuentran en el tope de las redes alimenticias.

Las aguas contaminadas son una fuente muy importante de plomo para los vertebrados de sangre fría, ya que estos organismos dependen en gran medida de este medio²¹.

a) Aves. La información sobre la intoxicación de faisanes que ingerieron perdigones de plomo se conoce desde hace más de 100 años. También existe información sobre otras especies ²¹.

Las aves silvestres están expuestas constantemente a cantidades subletales de plomo en sus alimentos. Así, el plomo se encuentra regularmente en el hígado y huesos de estos organismos²¹. Las concentraciones de plomo en el hígado reflejan el margen activo de exposición, mientras que el contenido en los huesos indica la exposición crónica. Generalmente, las cantidades basales de plomo en las aves silvestres son bajas. Sin embargo, las concentraciones en los huesos son mucho más elevadas y reflejan una absorción continua de plomo. En un estudio se determinaron las concentraciones de plomo en 28 especies de aves (incluyendo 17 especies de aves acuáticas). Los límites que se encontraron fueron de 0.2 a 7.0 ppm (peso seco) en el hígado. A once de estas especies se les hicieron análisis de plomo en huesos y en el intervalo de concentración fue de 0.2 a 26.0 ppm de Pb²¹.

Recientemente, se ha investigado a las palomas como posibles indicadores de la contaminación por plomo. Un grupo de pichones capturados en la ciudad de Filadelfia se compararon con un grupo colectado en un pueblo de Pensilvania.

Los análisis en sangre de estas aves no mostraron diferencias significativas entre los dos grupos. No obstante, los huesos, plumas y riñones de los pichones de la ciudad tuvieron valores mucho más elevados a los del pueblo²¹. Los datos son los siguientes:

<u>LUGAR</u>	<u>HUESOS</u>	<u>PLUMAS</u>	<u>RIÑONES</u>
CIUDAD	90 - 475	30 - 250	10 - 220
PUEBLO	20 - 95	2 - 5	1 - 3

El envenenamiento de aves acuáticas ha aumentado considerablemente desde 1950. Esta enfermedad prevalece más en invierno y es más severa en los patos buceadores. Los patos de Pekin son más resistentes al envenenamiento con plomo que los patos silvestres domesticados y estos últimos lo son más que los patos silvestres²¹.

b) Mamíferos²¹. Las investigaciones con ratas han demostrado que hay transferencia del plomo por la vía placentaria y por la leche de la madre hacia el joven.

Existen diferencias en las especies en cuanto a la susceptibilidad al plomo y este elemento se acumula más rápidamente en los huesos de los mamíferos jóvenes que en los de los adultos.

Los riñones de mamíferos expuestos al plomo son unos de los primeros órganos que muestran signos de daño por la exposición a este metal.

En un estudio se encontró que las ratas de la ciudad de Detroit tuvieron una cantidad 20 veces mayor de plomo que lo encontrado en ratas de una comunidad granjera cerca de Ann Arbor, Michigan.

En años recientes, varios investigadores han comparado las concentraciones de plomo en mamíferos pequeños con la misma o especies similares capturadas cerca de carreteras. En un estudio realizado en 11 sitios de Huntingdonshire,

Inglaterra; a 101 mamíferos de 3 especies se les analizaron las concentraciones de plomo en hígado y en todo el cuerpo. Los animales analizados fueron ratón de agua (field vole), ratón de ribera (bank vole) y ratón de campo cola larga. También se analizó la vegetación de estos 2 sitios de colecta. El promedio de los residuos de plomo en los cuerpos de esos animales estuvo desde 4.19 ppm de peso seco en los sitios boscosos y de cultivo a 5.98 ppm en caminos de poco tránsito y a 7.00 ppm cerca de las carreteras fuertemente transitadas. Las diferencias más significativas entre las plantas fueron de: 33.4, 42.5 y 306.7 ppm de peso seco, respectivamente.

c) Animales domesticados. Las fuentes más comunes de intoxicaciones en estos animales por plomo son: el almacenamiento de cubierta de bacterias, la precipitación de polvo con plomo sobre los pastos provenientes de las fundidoras o las minas de este elemento, la utilización de pinturas a base de plomo, los desechos de petróleo, el uso de linóleos y los plaguicidas. Se ha señalado que la precipitación de los humos de los autos puede aumentar las cantidades de plomo en áreas cercanas a las carreteras y esto es una fuente potencial del metal para los animales, pero esta fuente no ha sido claramente demostrada para responder a los casos registrados en animales domesticados intoxicados. En estos términos parece que la gran mayoría de dichos casos de intoxicación por plomo se podrían evitar con una buena práctica en su manejo y una eficiente limpieza de los residuos de este tóxico²¹.

El plomo encontrado en los animales de zoológicos proviene de las pinturas de las jaulas o de la atmósfera; cuando los animales están enjaulados cerca de calles y con un tránsito muy denso.

Algunos de los factores que pueden afectar las concentraciones de plomo en los animales son: la temperatura, el oxígeno disuelto, la salinidad, la proporción de desechos arrojados y las condiciones fisiológicas del animal.

La información sobre los envenenamientos en perros es muy amplia. La pintura es la principal causa de las intoxicaciones; otras fuentes son el linóleo, materiales de plomería, partes de baterías, materiales para el piso, herramientas de plomo, en otras palabras, casi cualquier objeto que contenga plomo; y que atraiga la atención del perro²¹.

Efectos en los organismos

1. Efectos en microorganismos

Recientes estudios con *Micrococcus luteus* Sch. (células de Cohn) cultivados con un medio que contenía sales de plomo, mostraron una secuencia de cambios en la producción de lípidos celulares totales, sin provocar diferencias en la producción normal de células. La composición de lípidos de las células cultivadas 5 6 7 veces se redujo cerca de 50% (fase II). Las células cultivadas más de siete veces en un medio que contenían plomo tuvieron progresivamente mayores cantidades de lípidos (fase III). Estas células con contenidos de lípidos "re-establecidos" no mostraron efectos adicionales en exposición más prolongada a sales de plomo. Los estudios cromatográficos de los lípidos de las células de cada fase revelaron una composición de lípidos relativamente íntegra. Estos resultados indican que el plomo afecta un parámetro bioquímico común que está relacionado con la biosíntesis de lípidos²².

Actualmente, ha llamado la atención la posible metilación del plomo por las bacterias en el ambiente. Sin embargo, la evidencia de la conversión biológica de este metal no ha sido bien establecida. Las evidencias de esta metilación están siendo investigadas^{2,2}.

La concentración tóxica de plomo para bacterias aeróbicas es de 1.0 mg/l y la descomposición de la materia orgánica se inhibe con concentraciones de plomo de 0.1 a 0.5 mg/l¹.

La concentración tóxica para bacterias, flagelados e infusorios que se encuentran asociados con el tratamiento de aguas negras es de 0.5 a 1.0 mg/l^{2,2}. Esta última concentración representa las aguas contaminadas como, ya se mencionó con anterioridad.

Muchas de las investigaciones sobre la función del suelo sugieren que la influencia del plomo en este medio se limita a un corto tiempo. Generalmente los efectos son más ligeros en los suelos arcillosos o con turba. Así, los suelos tienden a resistir cambios y frecuentemente vuelven a un estado estable, pero se debe tomar en cuenta que al regresar al estado estable esto está acompañado por una microbiota cambiada por la muerte de los organismos en la fase anterior, en un microhábitat modificado. El cambio en esta microbiota, con los organismo más resistentes que generalmente dominan, puede ser muy drástico a escala micro^{2,3}.

Cantidades subletales de cloruro de plomo*(2.5 y 10.0 mg/l) tienden a retardar el crecimiento de *Platymonas subcordiformis* al demorar la división celular y la separación de las células hijas.

* Véase apéndice.

Se han propuesto los flagelos de los microorganismos como sitios de absorción del plomo dado que las células que carecen de flagelo sobreviven mejor que las formas flageladas.

En *Platymonas*, el cloruro de plomo no produce un aumento apreciable - por arriba de la frecuencia espontánea - en la incidencia de mutaciones que afectan el crecimiento y la forma de la colonia.

2. Efectos en plantas

El plomo reduce la velocidad de mitosis en las células de las raíces, especialmente al bloquear la metafase, lo cual puede explicar la reducción aparente del crecimiento²⁴.

A elevadas concentraciones, el plomo puede provocar una reducción de procesos vitales tales como la fotosíntesis, la transpiración o la absorción de agua. El plomo también puede contribuir a la deficiencia de cobre u otros nutrientes²².

Los efectos del plomo dependen de cierto número de posibles variables ambientales. Estas incluyen a los aniones y cationes asociados con la planta y el medio de crecimiento, las características físicas y químicas del suelo, etc. Otros investigadores mencionan que el pH del suelo, la temperatura, la disponibilidad de cobre y otros metales pesados, el aporte de fósforo y de sílice pueden interferir con la absorción de cualquier metal pesado.

La toxicidad del plomo para maíz (*Zea mays*, L.), frijoles, (*Phaseolus spp.*) lechuga (*Cactuca spp.*) y rábanos (*Raphanus spp.*) fue mayor cuando estos crecieron bajo condiciones de suelos ligeramente ácidos, a diferencia de los suelos calcáreos²².

Existen varios informes sobre los efectos subcelulares del plomo en los tejidos de las plantas, los cuales indican que el plomo se une a las membranas y que esta unión está probablemente asociada con ciertos efectos adversos ya observados²².

Se ha encontrado (en las reacciones de transferencia de electrones) que el plomo afecta el flujo de éstos en algunos organelos celulares, mitocondrias, cloroplastos y, que en sí, tiene un efecto nocivo en el proceso completo de la respiración y de la fotosíntesis²².

3. Efectos en animales

a) Invertebrados. La mortalidad de rotíferos probablemente se deba a la ingestión de pequeñas partículas de plomo, las cuales se encuentran en suspensión durante cierto tiempo.

En un cultivo de larvas de ostión *Ostrea edulis*, la contaminación por metales pesados fue la causa de un desarrollo pobre de estas larvas²⁰.

Existe una disminución en la respiración de *Tubifex tubifex* Mülf. y *Limnodrilus hoffmeisteri* Clap. en un medio de 10 a 60 mg/l de plomo. El mecanismo de acción probablemente se deba a una coagulación de las proteínas del moco que cubre todo el cuerpo. Lo anterior bloquea la función respiratoria o causa la inactivación de una enzima respiratoria²⁰.

✓ b) Peces. Carpenter en 1924 notificó una escasez de la fauna (especialmente peces) de algunos ríos de Gales, los cuales estaban contaminados por las actividades mineras del lavado del plomo²². Gale et al²² confirmó esto también en algunos ríos afectados por las operaciones de minería y de acuñación en la New Lead Belt de Missouri.

Datos preliminares sugieren que concentraciones tan bajas de cloruro de plomo como 10 µg/l producen deformidades letales y morfológicas en el embrión de trucha²².

Tanto Carpenter en 1927 como Jones en 1938 observaron que cuando se colocaban peces en soluciones que contenían sales de plomo en concentraciones letales²⁰, se formaba una capa de moco coagulado en todo el cuerpo; esta capa es más prominente en las branquias. El material insoluble interfiere con la función respiratoria de las branquias y esto, a su vez, provoca la muerte por asfixia. Este efecto es peculiar del plomo y se conoce como "anoxia por coagulación de la capa de moco"²⁰.

[- Las concentraciones subletales de plomo pueden dañar a las poblaciones de peces al reducir su crecimiento, el éxito reproductivo o la sobrevivencia. Después de una exposición subletal, el plomo se puede concentrar en branquias, huesos, riñón, al igual que en cerebro, hígado, bazo y vísceras; por lo tanto, la exposición a bajas concentraciones de plomo produce histopatologías demostrables²⁰.

✓ Después de una exposición subletal a plomo, se han descrito daños a los quimiorreceptores de las barbillas de los labios del bagre marrón (*Ameiurus nebulosus*) y en la tenca (*Tinca tinca*) lo que puede ocasionar una reducción en la ingestión de alimentos y, por lo tanto, un crecimiento pobre.

El fenómeno de la "cola negra" se puede deber a que el plomo interfiere directamente con el sistema nervioso central, con la vitamina C o con el metabolismo del triptofano. Lo anterior está apoyado en el argumento de Soero et al. (1976) quien demostró un aumento en la tasa metabólica *in vivo* de *Gillichthys mirabilis* expuesto al plomo. Sus resultados sugieren que los cambios metabólicos inducidos por el plomo pueden originarse en el control del sistema nervioso central más que con las enzimas o el metabolismo intermediario²⁰.

Se han detectado anemias en el bagre marrón. Esta enfermedad se caracterizó por la presencia de eritrocitos deformes y una acumulación de pigmentos hemo en hígado y bazo. Un prolongado envenenamiento con dicho elemento induce en las carpas una disminución de 38 a 23% en el hematocrito y cambios histológicos en el bazo. Las carpas envenenadas mostraron una disminución en el número de glóbulos rojos en la "médula roja" y una gran cantidad de células con pigmentaciones de color café que contienen plomo en la "médula blanca"²⁰.

Otros de los efectos subletales en los peces son la inhibición de la D-ALA (Deshidrogenasa del ác. δ -aminolevulinico) de los eritrocitos, disminución del hematocrito, disminución de las concentraciones de hemoglobina, eritrocitos deformes, disminución de los glóbulos rojos en el bazo y una acumulación en el bazo de células que contienen plomo y pigmentos hemo.

Wier y Hine en 1970 describieron el comportamiento condicionado de aprendizaje de la carpa dorada expuesta a diferentes concentraciones de nitrato de plomo durante 24 a 48 h. Se observaron cambios conductuales significativos en concentraciones tan bajas como 70 $\mu\text{g}/\text{l}$, la cual es 1/1570 de la CL_{50} para 48 h²⁰.

* Véase apéndice.

Finalmente una investigación sugiere que la intoxicación crónica con plomo es un hecho definitivo en peces por ejemplo, en guppies *Poecilia reticulata* aún en concentraciones subletales en aguas duras. Esto mismo sugiere que es muy difícil establecer las concentraciones "seguras" del plomo y otros metales pesados para los animales acuáticos²².

c) Aves. Algunas aves pierden peso y esto es un índice importante de la intoxicación con plomo. Además, a diferencia de otros metales como aluminio, antimonio, bismuto, cadmio, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plata, estaño y zinc²¹, el plomo metálico es más tóxico para estos animales.

Un síntoma característico en faisanes es el alargamiento y enflaquecimiento del proventrículo.

Una de las primeras descripciones de los síntomas de envenenamiento en aves acuáticas fueron realizadas por Ginell en 1901. Indicó que patos, gansos y cisnes eran incapaces de volar, aunque se observaban en buenas condiciones; tan débiles que fácilmente se podían capturar, tenían un ruido en la garganta y ocasionalmente había un líquido amarillento en sus picos, el cual les duraba por mucho tiempo. A los gansos les cambió la voz. Otros síntomas son una parálisis progresiva de los músculos de las patas y alas y dificultad para caminar²¹.

A nivel celular, la formación de pigmentos respiratorios (hemo y citocromos), la producción de energía y algunas funciones de la membrana son los aspectos del metabolismo más susceptibles de ser afectados adversamente por plomo.

En resumen, los efectos en aves envenenadas con plomo son: enflaquecimiento, quilla o carina prominentes, disminución en la ingesta de alimento, fatiga, diarrea, una

tendencia al aislamiento, pérdida de la capacidad para volar, incapacidad para mantener las alas en posición normal, alargamiento y flacidez del corazón, alargamiento de la vejiga de la bilis, molleja pequeña, anemia, palidez de todos los tejidos, ausencia de grasa corporal, atrofia de los músculos estriados y de los órganos internos, hemorragias, pericardias, debilidad extrema, dificultad en los movimientos, etc.²¹

d) Mamíferos. Existe una amplia información sobre los efectos de las intoxicaciones con plomo ocurridas en ganado, borregos, caballos, cerdos, perros, etc. Todos estos animales de granja y domésticos se han envenenado por diversas causas²¹.

Modo de acción del plomo en los organismos

Existen varias teorías respecto al o los mecanismos de la toxicidad del plomo para los organismos. Se piensa que el mecanismo más importante de acción tóxica es el envenenamiento de los sistemas enzimáticos. El plomo tiene una fuerte afinidad por algunas ligaduras bioquímicas como son:

- Grupo epsilon - amino de la lisina
- Grupo carboxilo del ácido glutámico
- Grupo carboxilo del ácido aspártico
- Grupos sulfhidrilos de la cisteína
- Grupo fenoxi de la tirosina
- Residuos de imidazol

Por lo tanto, este elemento puede desplazar a los metales de las enzimas, modificar la estructura terciaria de éstas y bloquear sus interacciones con el sustrato. Los metales más electronegativos como el plomo son rápidamente quelados por moléculas orgánicas y parece ser que todos los metales de transición son venenos por su reactividad con las proteínas y, especialmente, con las enzimas.

Fuentes de plomo para el hombre

Debido a que el plomo es un elemento ubicuo del medio, se encuentra en cualquier sustrato. Generalmente el aire, el agua, el suelo, los alimentos y las bebidas no contienen elevadas cantidades de plomo. No obstante, el hombre está siempre expuesto a este elemento y lo puede bioconcentrar.

La biodisponibilidad de este elemento y las cantidades necesarias para producir síntomas bioquímicos o clínicos en el hombre dependen de factores como los culturales, sociológicos y emocionales, la nutrición, el metabolismo, etc.²⁵

1. Aire

Las concentraciones de plomo en el aire varían ampliamente. La cantidad de plomo absorbida a través de los pulmones depende de la concentración de este elemento en el ambiente, el volumen de aire respirado por día, la distribución del tamaño de las partículas que contienen plomo y los factores fisiológicos individuales.

2. Agua

El agua potable contiene generalmente pequeñas cantidades de este elemento. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Departamento de Salud y Bienestar de los Estados Unidos (US DHEW), han establecido que el límite máximo-permitido para plomo en estas aguas es de 50 $\mu\text{g Pb/l}$. La utilización de tuberías y uniones soldadas con este elemento puede aumentar dramáticamente la concentración de este metal en ciertos tipos de aguas. El término "agua agresiva" se utiliza para describir a aquellas aguas que son capaces de disolver el plomo; generalmente se refiere a las aguas con pH bajo causado por la presencia de ácidos orgánicos, elevado contenido de bicarbonato o nitrato y/o a las aguas con bajo contenido de minerales.

La cantidad de plomo en el agua potable influye sobre las concentraciones de este elemento en la sangre²⁵.

La absorción de plomo a partir del agua depende de la edad, la época del año y el volumen que se consume de otro líquido diferente al agua.

3. Alimentos

Los alimentos y bebidas son la principal fuente de exposición al plomo entre los adultos. Los residuos de este metal se encuentran en los alimentos como resultado de la absorción biológica de plaguicidas a base de plomo (arsenato de plomo), del suelo, etc.; de la adición no intencional durante el procesamiento de alimentos, de la filtración de plomo a través de los envases inadecuados para almacenar ciertos productos alimenticios y a los utensilios del hogar. La preparación de alimentos en casa puede ser una fuente adicional de residuos de plomo.

La ingestión diaria de plomo se calcula entre 200 a 300 μg . En 1974 la Dirección de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (US FDA) estimó que la dieta promedio de un adulto contenía aproximadamente de 160 a 230 μg Pb/ día. Esta estimación se basó en el promedio del consumo de alimentos y la concentración de plomo en las diferentes categorías de alimentos²⁵.

En la actualidad se ha puesto mucha atención al contenido de plomo en la dieta de los niños debido a la frecuencia con la cual el plomo se halla en concentraciones elevadas y por reconocer que los niños absorben este elemento en mayores porcentajes que los adultos.

Generalmente, en los vegetales las concentraciones de plomo son más altas en las raíces, menores en los tallos y hojas y las concentraciones más bajas se hallan en flores y semillas. Una excepción a esto pueden ser los vegetales con hojas que retienen en sus superficies polvos o lodo y que no se eliminan aun lavándolas. En los frutos, el plomo parece concentrarse en la porción del tallo o en la cáscara.

Los alimentos de origen animal (por ejemplo, carne, leche no procesada y huevos) tienen un bajo contenido de plomo. Los órganos como riñón y, en menor medida, el hígado tienen concentraciones de plomo sustancialmente mayores que la carne.

Los alimentos acidificados que son envasados en latas con soldaduras a ambos lados, en las cuales la soldadura puede contener hasta un 98% de plomo, frecuentemente contienen más plomo que los alimentos no enlatados, los alimentos envasados en vidrio o en alimentos en latas cubiertas de esmalte en el interior²⁵.

4. Bebidas

El problema de las bebidas contaminadas con plomo tiene sus inicios desde los romanos. Debido a que las sidras y los vinos son ácidos y que, durante su procesamiento se pueden almacenar o pasar a través de tuberías de plomo, esto puede causar un aumento rápido en el contenido de plomo en estas bebidas²⁵.

5. Otras fuentes

A este respecto, existen otras fuentes de plomo que pueden llegar a producir una intoxicación crónica en el hombre. Las más importantes son las pinturas, los cosméticos, los cigarrillos (en los que los valores fluctúan de 2.5 a 39 ppm), enseres domésticos, etc.²⁵

Metabolismo del plomo

El metabolismo del plomo no sólo se ha estudiado en animales de experimentación sino también en el hombre. Esto se debe a que este elemento afecta numerosos órganos y sistemas en ambos tipos de organismos.

1. Absorción

Existen tres principales vías de absorción para el plomo: respiratoria, digestiva y cutánea.

a) Respiratoria. Del plomo que llega a la parte baja del aparato respiratorio, pasa a la sangre aproximadamente del 35 al 50% y el resto se excreta²⁶. En este caso, la absorción depende de diversos factores como el tamaño de la partícula, el ritmo respiratorio, la forma química de la partícula, la edad del individuo, su sexo, etc.^{25, 27}

b) Digestiva. Los estudios sobre la absorción de plomo por ingestión indican que sólo del 5 al 10% se absorbe por esta ruta. Sin embargo, en los niños este porcentaje es mucho mayor, ya que alcanza hasta el 53% de la cantidad ingerida²⁸.

Entre los factores que modifican esta absorción están: nutricionales, actividad metabólica, edad, sexo, y factores externos como el cultural, sociológico, etc.²⁷

c) Cutánea. A pesar del gran número de compuestos de plomo, sólo se absorben por la piel algunos compuestos orgánicos, como el tetraetilo y tetrametilo de plomo. La absorción de compuestos inorgánicos de plomo por esta ruta no tiene gran importancia²⁹.

2. Transporte y distribución

Una vez que el plomo se ha absorbido, pasa al torrente sanguíneo y, de ahí, se distribuye a todos los tejidos y órganos. El tejido óseo es el sitio en el que el plomo se almacena preferentemente por lo que contiene la mayor parte de este elemento en relación con el contenido total del organismo. Así, el plomo que se encuentra en los huesos es aproximadamente el 90% del total contenido en el cuerpo²⁷.

Además, el hígado y los riñones tienen concentraciones más altas de plomo que los demás órganos. En la sangre, el plomo se encuentra principalmente en los glóbulos rojos, en los cuales su concentración es aproximadamente 16 veces más elevada que en el plasma²⁸.

Generalmente, los adultos tienen concentraciones mayores de plomo en sus tejidos que los niños, sobre todo en los huesos, y los hombres tienden a tener cantidades más elevadas que las mujeres³⁰.

3. Excreción

Las principales vías de excreción del plomo son la bilis, la orina, la exfoliación epitelial y el cabello. A continuación se dan los porcentajes de excreción²⁸.

TABLA # 4

RUTAS DE EXCRECION DEL PLOMO ²⁷

<u>Vía</u>	<u>%</u>
Orina	76
Secreciones gastrointestinales	16
Cabello, uñas, sudor, otras vías	8

Aproximadamente el 90% del plomo que fue ingerido y no absorbido se elimina por las heces. El plomo se elimina también con la leche materna en concentraciones superiores a los 12 $\mu\text{g/l}$ ²⁸.

Efectos tóxicos en el hombre

1. Efectos locales

El plomo daña a todos los tejidos y órganos con los cuales está en contacto, pero no se ha llegado a aceptar universalmente ninguna lesión característica específica de tipo local causada por este elemento ²⁶.

2. Sistema gastrointestinal ²⁸

El síntoma principal del envenenamiento agudo por plomo es dolor de tipo gastrointestinal. Al principio se presenta anorexia, con síntomas de dispepsia y estreñimiento y, después, un ataque de dolor abdominal generalizado. La piel se torna generalmente pálida, el pulso baja y la presión

sanguínea aumenta. Otros síntomas que se presentan son diarrea, sabor metálico en la boca, náuseas y vómitos, lasitud, insomnio, debilidad, dolores en las articulaciones, irritabilidad, dolor de cabeza y vértigos.

3. Riñón

Aunque los datos al respecto aún son insuficientes, se han asociado algunos trastornos renales con la intoxicación con plomo. A largo plazo, puede causar cambios funcionales y morfológicos del riñón. Goyer en 1976 resumió los efectos como sigue: ^{28,31}

TABLA # 5

DIFERENTES ESTADOS DE INTOXICACION POR PLOMO EN EL RIÑON ^{28,31}

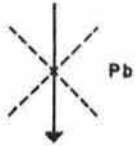
Estado I	Hinchazón de las células que recubren los túbulos proximales; cambios en las mitocondrias; inclusiones intranucleares (complejos proteínas - plomo); mal funcionamiento del túbulo proximal.
Estado II	Menores inclusiones; fibrosis intersticial intensa, atrofia tubular y dilatación.
Estado III	Tumor renal (observado sólo en ratas).

CUADRO # 1

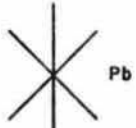
SINTESIS DEL GRUPO HEMO E INHIBICION POR PLOMO^{7,27}

CICLO DE KREBS .

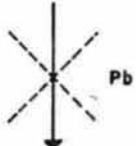
SUCCINIL Co A + GLICINA .



Ac. δ - AMINOLEVULINICO (AAL)





PORFOBILINOGENO



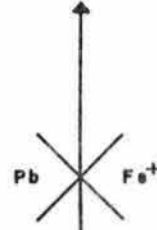
UROPORFIBILINOGENO III

EXCRETADO EN ORINA

COPROPORFIBILINOGENO III
EXCRETADO EN ORINA

 POSIBLE INHIBICION.
 INHIBICION.

GRUPO HEMO



PROTOPORFIRINA IX

5. Sistema hematopoyético

Los efectos adversos de la exposición al plomo son muy claros en este sistema. La anemia es uno de ellos y se debe a la inhibición que el plomo hace sobre la síntesis del grupo hemo de la hemoglobina. (Véase Cuadro 1).

Al principio de la intoxicación existe una disminución de la vida media de los eritrocitos y finalmente, un descenso en su número y en la cantidad de hemoglobina por eritrocito. Como consecuencia de la disminución de eritrocitos, los tejidos que los producen (médula ósea roja, bazo, ganglios linfáticos, etc.) aumentan su actividad y aparecen glóbulos rojos inmaduros en la sangre²⁹.

Además, se ha informado que trabajadores expuestos ocupacionalmente tienen concentraciones de plomo en la sangre de 40 a 80 µg/ 100 ml y algunos de ellos presentan distintos grados de anemia¹³.

6. Sistema nervioso central

Los efectos del plomo en este sistema son tanto estructurales como funcionales; en el cerebelo o en la médula dorsal y los nervios sensoriales. Los efectos en el sistema nervioso central pueden conducir a un deterioro de las funciones intelectuales, sensoriales, neuro-musculares y psicológicas³¹.

Existen numerosos informes de encefalopatías severas que han sido producidas por la exposición crónica y subcrónica a elevadas dosis de plomo inorgánico. Las principales características de la encefalopatía son torpeza, intranquilidad, irritabilidad, apatía, dolores de cabeza, vómitos esporádicos, temblor muscular, ataxia y pérdida de la memoria. Los cambios patológicos que conducen a estos efectos no se han llegado a comprender del todo²⁷. En algunos otros casos de esta enfermedad hay coma, con o sin convulsiones y, finalmente, sobreviene la muerte²⁹.

Esta enfermedad puede ocurrir en niños. Los cambios morfológicos que comúnmente se observan en el cerebro son: edema cerebral, proliferación y aumento de las células endoteliales acompañado por una dilatación de capilares y arteriolas, proliferación de células gliales y necrosis focal al igual que degeneración neural³¹.

Byers y Lord en 1943 mostraron que esta enfermedad produjo algunas secuelas irreversibles como las psicológicas y las neurológicas en 19 de 20 niños observados³¹.

Estos daños se reflejan generalmente en anomalías conductuales y educativas con o sin retraso mental.

Albert et al en 1974 y Rummo en 1974 han reafirmado los efectos perjudiciales de este envenenamiento sobre el comportamiento y las funciones intelectuales de los niños³¹.

Recientemente, diversos autores han señalado los efectos perjudiciales de este metal en niños con concentraciones moderadas de plomo (25-55 µg/dl de sangre) como disturbios en el comportamiento, reducción de la capacidad visual-motora, disminución de CI (coeficiente intelectual), hiperactividad y disminución cognoscitiva de las capacidades verbal y perceptual.^{32, 33}

Existe un interés creciente por la posibilidad de una exposición asintomática al plomo y que puede causar "mal funcionamiento mínimo del cerebro", problemas conductuales y daños neurológicos en niños expuestos a este metal en el útero y/o durante la primera niñez³¹.

David et al (1972) y David (1974) sugieren una asociación entre la exposición al plomo y la hiperactividad en niños. Los niños de los que se desconocía la causa de la hiperactividad, tuvieron concentraciones de plomo en sangre

y en todo el cuerpo más altas que los niños normales o que los niños cuya hiperactividad era de origen conocido. Sin embargo, dado que el grupo de los niños con hiperactividad de origen conocido fue muy pequeño, no se pudo desechar que la absorción de plomo en el grupo de estudio hubiera sido subsecuente a la hiperactividad³¹.

Estos estudios no son contundentes puesto que intervienen diversas variables tanto internas como externas. Además, la hiperactividad es un síndrome muy complicado con respecto a sus causas y manifestaciones.³³

El plomo también puede afectar a los sistemas auditivo y óptico.

7. Sistema nervioso periférico

La principal manifestación de la exposición a largo plazo al plomo en el sistema nervioso periférico es la debilidad en los músculos extensores. También ocurren trastornos sensoriales como son aumento en la sensación de dolor, calor, frío, etc. o insensibilidad al dolor. La lesión anatómica se caracteriza por la desmielinización segmentaria y por la degeneración del axón nervioso. Funcionalmente, la conducción nerviosa es más lenta, aún en ausencia de dolor²⁷.

8. Otros efectos

Aunque no hay evidencias de que el plomo sea carcinogénico para el hombre, hay estudios con animales de experimentación a los que han producido tumores malignos y benignos^{27,29}.

Se ha informado sobre un aumento en la tasa de abortos espontáneos como posible resultado de la exposición al plomo, pero no hay suficientes evidencias epidemiológicas que apoyen estos informes.

Con respecto a la capacidad reproductiva de los trabajadores expuestos ocupacionalmente a este metal, estudios recientes demuestran una reducción en la fertilidad del hombre, la cual se debe a una elevada frecuencia de astenospermia, hipospermia y teratospermia en estas personas²⁸.

C. ZINC

C. ZINC

Otro de los metales pesados que producen alteración en los ecosistemas es el zinc. Este es un elemento esencial para el funcionamiento de varias enzimas y se requiere en concentraciones muy pequeñas pero, como muchos otros elementos, puede ser tóxico en concentraciones excesivas.

El hombre lo ha utilizado desde hace más de 2 000 años; los romanos lo mezclaban con cobre para obtener bronce y con otros elementos para diversas aleaciones. A partir del siglo XVIII, el zinc se comenzó a utilizar para propósitos comerciales²⁸.

Fuentes de zinc

El zinc entra en el ambiente por medio de fuentes naturales y antropogénicas.

En la naturaleza se encuentra en pequeñas cantidades como componente de rocas y suelos⁵, su abundancia en la corteza terrestre se calcula en 0.013%⁶.

Por lo que toca a las fuentes antropogénicas, en la actualidad, el zinc tiene muchos usos en la industria. De éstos, los principales son^{5,26}:

- Procesos de galvanización y electrogalvanización
- Manufactura de bronce
- Procesos de fotocopiado
- Pinturas y cerámicas
- Cosméticos
- Productos químicos
- Fertilizantes

Los minerales de zinc se encuentran asociados comúnmente con minerales de plomo y cadmio. Sin embargo, la relación Zn:Pb varía entre límites muy amplios. La esfalerita (ZnS) es el mineral más importante del zinc, su contenido teórico de zinc es de 67.9%. El óxido de zinc (ZnO) y el sulfato de zinc (ZnSO₄) se emplean en diversos procesos industriales⁶. (Véase Tabla 6).

TABLA #6

CONCENTRACIONES*DE PLOMO Y ZINC EN DIVERSOS SUSTRATOS²

<u>Elemento</u>	<u>Rocas Ígneas</u>	<u>Rocas Sedimentarias</u>	<u>Suelos</u>
Plomo	12	20	10
Zinc	70	80	50

* ppm

Anteriormente la producción de zinc se incrementaba en un porcentaje aproximado del 5% anual. Así, a principios de este siglo la producción mundial era de 0.5 millones de toneladas métricas por año y, para 1972, alcanzaba una producción de 5.5 millones de toneladas. Sin embargo, en la actualidad la producción de zinc parece haberse estabilizado^{2,8}. (Véase Tabla #7).

TABLA #7
 PRODUCCION MUNDIAL DE ZINC⁹

Año	Ton x 10 ³ /año
1978	6 433.6
1979	6 344.9
1980	6 171.2
1981	6 128.5
1982	6 505.8

La Tabla 8 muestra la producción de zinc en México durante los últimos años¹⁰.

TABLA #8
 PRODUCCION MINERA EN MEXICO¹⁰

año	Ton x 10 ³ /año
1979	245
1980	238
1981	216
1982	245

El zinc en el ambiente

Cabe aclarar que por ser el zinc un elemento esencial, no se le ha puesto la debida atención como contaminante y no se han estudiado del todo sus efectos adversos en el medio ambiente; debido a ello, existen relativamente pocos datos al respecto.

1. El zinc en los suelos

Las concentraciones de zinc en los suelos varían de 10 a 300 mg/kg y aumentan en los lugares cercanos a carreteras, fábricas o fundiciones. El zinc es asimilado rápidamente por las plantas al igual que otros elementos como cadmio, boro y níquel. Se cree que estos elementos están relacionados con la mayoría de los problemas de contaminación del suelo².

De acuerdo con Lindsay en (1972), los compuestos más solubles tales como la zincita (ZnO) y la smithsonita ($ZnCO_3$) no persisten como tales en los suelos, de ahí que se les utilice adecuadamente como fertilizantes³⁴.

Algunos estudios indican que a pH inferiores a 7.7, la forma de zinc que predomina es el Zn^{2+} y que, por arriba de este nivel, lo son los compuestos neutros como el hidróxido*³⁴.

De los minerales del suelo, a excepción del zinc, este elemento se adsorbe en la superficie de calcita, dolomita, materia orgánica, óxidos metálicos y arcillas.

Como consecuencia de las reacciones de inmovilización descritas arriba, las concentraciones de zinc en la solución del suelo son generalmente bajas, especialmente en suelos

* Véase apéndice

alcalinos. Se encontraron valores de 75 ppb*de zinc en soluciones de varios suelos ácidos de Nueva York, mientras que en suelos calcáreos de Colorado valores inferiores a 2 ppb se detectaron ³⁴

2. El zinc en las aguas

El contenido de este elemento en el agua de ríos y mares es de alrededor de 10 µg/l ^{28, 35}.

El agua potable contiene aproximadamente las mismas concentraciones de zinc que el agua dulce. Un aumento considerable en el contenido de zinc en el agua (por arriba de 2 mg/l) se debe a las tuberías que contienen este elemento en sus aleaciones ³⁶.

El zinc puede encontrarse como elemento, en forma coloidal o en partículas. La concentración promedio de zinc disuelto en 726 muestras filtradas de ríos y lagos de los Estados Unidos fue de 0.02 mg/l ³⁷.

La concentración de zinc en los cuerpos acuáticos varía ampliamente según las condiciones de pH que prevalezcan en esos hábitat.

3. El zinc en los sedimentos

Al igual que el plomo, el zinc puede llegar a encontrarse en los sedimentos en cantidades excesivas y crear, por esto, serios problemas a los organismos que habitan dichos ecosistemas ¹¹.

La sedimentación del zinc en una columna de agua puede llevarse a cabo por la unión con partículas de arcilla o con hidróxido de hierro o mediante la precipitación de otros elementos. Hasta ahora no se puede generalizar con respecto

*Véase apéndice.

a cuál proceso puede conducir al depósito de partículas de zinc sobre rocas o plantas acuáticas o la influencia que éstas tengan sobre el depósito de este elemento³⁷.

4. El zinc y los organismos

a) Algas. Las alteraciones observadas en la flora común de un gran número de ríos en la Gran Bretaña y, especialmente en su fauna, se atribuyen a los efectos combinados de la acumulación en los lodos y la presencia en ellos de sales de Zn, Cu, y Pb. Debido a que en aguas duras se reduce la solubilidad del plomo, la mayor preocupación se centra en las sales de zinc y cobre, las cuales no sólo son más solubles en condiciones similares sino que también pueden mostrar efectos sinérgicos²².

En sitios con elevadas concentraciones de zinc (193 mg/l a pH 2.9) Hargreave et al (1975) encontraron 4 especies de algas: *Euglena mutabilis*, *Eunotia exigua*, *Chlamydomonas applanata* var. *acidófila* y *Zygogonium ericetorum*. Estas especies son las más predominantes en todas las cuencas ácidas³⁷.

Existen algunas especies de algas que tienen tolerancia genética a elevadas concentraciones de zinc. Estas especies son: *Horridium rivulare*, *H. flaccidum* y *H. fluitans*. Todas ellas viven tanto en zonas libres de contaminación por zinc como en zonas ya perturbadas³⁷.

Factores como la temperatura, el pH, la alcalinidad, la concentración de otros elementos, pueden influir en la toxicidad de este elemento o modificarla. El cadmio y el plomo, al igual que otros metales, parecen tener un efecto sinérgico con el zinc³⁷.

El contenido de zinc en muestras de algas provenientes del Río Danubio y del canal del mismo nombre se consideran bajas³⁷. Las concentraciones fueron de 3.81 a 9.11 µg/g. El alga *Cladophora* es muy sensible a los metales pesados, incluyendo al zinc. En contraste se indica que *Stigeoclonium* es altamente tolerante al zinc y, probablemente, a otros metales pesados. *S. tenue* se ha encontrado en sitios carentes de contaminación orgánica pero con cantidades tan altas de zinc como 20.0 mg Zn/l³⁷.

b) Plantas macrófitas. Adams et al (1973), determinaron el contenido de zinc en plantas vasculares del Delaware, Susquehanna y Allegheny. Seis de las 9 especies estudiadas (*Potamogeton illinoensis*, *Elodea canadensis*, *E. nuttallii*, *Vallisneria americana*, *Eleocharis acicularis*, *Myriophyllum exalbescens*) mostraron una elevada variación estadísticamente significativa en los sitios con zinc, lo que sugiere que estas especies puedan ser útiles como indicadores ambientales de las concentraciones de zinc. El contenido de zinc fue de 50 a 100 µg/g³⁷.

Las concentraciones normales de zinc se encuentran entre 10 a 100 mg/kg para la mayoría de las plantas de forraje y de cultivo³⁶.

Aunque la mayoría de los suelos contienen adecuadas cantidades de zinc, la absorción en las plantas depende de su solubilidad y del movimiento hacia las raíces. Los agentes quelantes que forman complejos influyen en la difusión del zinc. El zinc quelado es más efectivo que el zinc inorgánico para la mayoría de las plantas cultivables³⁴.

Esta absorción también puede estar influenciada por el pH del suelo y su textura, el contenido de materia orgánica

del suelo, la temperatura y la intensidad de la luz, la especie del cultivo. La Interacción con otros nutrientes como P, N y Fe pueden afectar la absorción³⁴.

c) Invertebrados. En una extensa revisión se encontró que los organismos con mayores concentraciones de zinc son los moluscos bivalvos. Por ejemplo, frecuentemente contenían más de 4.0 g de Zn por kg de tejido blando con base en el peso seco. Los balanos (*Balanus balanoides*) también contienen elevadas concentraciones de zinc (> 3.3 g/kg). Las concentraciones más bajas, de >0.05 a 0.04 g/kg, se encontraron en los niveles tróficos más altos en los peces teleósteos, elasmobranquios y en los mamíferos. (Véase Tabla 9).

El zinc en el medio acuático es un tóxico agudo para los organismos dulceacuícolas en concentraciones de 90 µg/l³⁵; las concentraciones más bajas para causar efectos crónicos están entre 26 y 51 µg/l.

Las especies de invertebrados del mar son más sensibles a la toxicidad aguda del zinc (anélidos, bivalvos y gasterópodos, crustáceos y equinodermos). Entre los poliquetos, los adultos son más resistentes que los individuos jóvenes³³.

La edad y el sexo del organismo, al igual que la época y la localización geográfica pueden influir en la acumulación de zinc en los organismos marinos; los sitios específicos de acumulación de este elemento son los riñones de los moluscos, el hepatopáncreas de los crustáceos, etc.³⁸

Existen muchos cambios en los porcentajes de acumulación de este metal para los diferentes organismos los cuales están gobernados significativamente por la temperatura del agua, las concentraciones de zinc en el medio, la duración de la

exposición y los factores internos, la saturación fisiológica y la detoxificación³⁸.

✓ d) Peces. Se ha encontrado que generalmente todas las sales metálicas son menos perjudiciales a los peces en aguas duras, alcalinas y bien oxigenadas. Doudoroff y Katz (1953) señalan que las concentraciones de zinc de 0.3 y 0.4 mg/l son tóxicas para peces²¹.

✓ Los peces son más resistentes al zinc en pH bajos. Cuando Zn^{2+} es la forma más dominante, algunas carpas son tres veces más tolerantes al zinc a pH 6.1 que a pH 8.0. Si aumenta la dureza, disminuye la toxicidad³⁹.

Efectos en los organismos

1. Efectos en plantas

Las concentraciones mínimas que inhiben el crecimiento entre las especies de microalgas fueron de 50 $\mu g/l$; *Skeletonema costatum* fue la especie más sensible de las que se analizaron³⁵. A esta concentración, el zinc también interactúa con el Cu para afectar el crecimiento. La tolerancia máxima entre las algas fue de 25 000 $\mu g/l$ en *Phaeodactylum tricornutum*.

Las algas café y rojas son los organismos que más bioacumulan zinc.

Varios estudios indican que los efectos adversos del zinc en los cultivos de avena, rábano y trébol comienzan con concentraciones de 200 mg/g de zinc en el suelo. La lechuga es mucho más susceptible al contenido de zinc en los suelos, ya que su crecimiento se inhibe con concentraciones del orden de los 60 mg/g.

TABLA 9

FACTORES DE BIOCONCENTRACION EN DIVERSOS ORGANISMOS (FBC)³³

<u>Especie</u>	<u>FBC</u>
<u>Peces de agua dulce</u>	
<i>Cyprinus carpio</i> (carpa)	8
<u>Peces de agua salada</u>	
<i>Pleuronectes platessa</i> (platija)	373
<u>Moluscos de agua salada</u>	
<i>Mercenaria mercenaria</i> (almeja de concha dura)	85
<i>Mya arenaria</i> (almeja de concha suave)	85
<i>Tapes japonica</i> (almeja)	500
<i>Aequipecten irradians</i> (Escalopas)	282 - 321
<i>Crassostrea virginica</i> (Ostión)	15 290 - 27 000
<i>Ostrea edulis</i> (ostras)	450
<i>Nytilus edulis</i> (mejillón)	130 - 310
<u>Decápodos de agua salada</u>	
<i>Carcinus maenas</i> (cangrejo)	8 000 - 9 000
<i>Honarus vulgaris</i> (langosta)	142

2. Efectos en animales

Varios investigadores japoneses encontraron que el ^{65}Zn proveniente de la precipitación radiactiva fue concentrado fuertemente por atunes. Posteriormente, este radionúclido se ha encontrado en muchas otras especies de organismos marinos³⁸.

Allen (1968) describió un envenenamiento por zinc en ganado. La exposición duró sólo un par de días y se debió a la ingestión de nueces, las cuales contenían 20 g/kg de zinc. Los hallazgos *post-mortem* mostraron severo enfisema pulmonar con cambios en el miocardio, riñones e hígado. Hubo también indicios que las cantidades de cobre estuvieron por debajo de lo normal. Las concentraciones de zinc en hígado fueron de 1 430 a 2 040 mg/kg en peso seco, pero sólo se analizaron 2 hígados³⁵.

En ratas se demostró que una dieta de zinc a concentraciones de 2 000 mg/kg producía abortos e inhibición del crecimiento post-natal³⁵.

El zinc es tan inhibidor para la ATPasa del Na^+ y K^+ del riñón de rata como el cadmio³⁸ y para la fosforilación oxidativa de la mitocondria es más inhibidor que el Hg^{2+} .

Las lombrices de tierra acumulan el zinc que adquieren de suelos contaminados, por lo que pueden ser una de las rutas de entrada del zinc a las cadenas alimenticias.²

No se han realizado muchas investigaciones sobre los efectos del zinc en los animales. Sin embargo, en un estudio realizado con cerdos, a los cuales se les dió alimento con cantidades excesivas de zinc, los cerdos mostraron artritis, debilidad e inflamación del tracto digestivo. Estos mismos síntomas se detectaron en caballos que estuvieron expuestos a condiciones similares²⁸.

Fuentes de zinc para el hombre

1. Aire

Los datos recabados por el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC) mostraron que las concentraciones de zinc en el aire de ese país son menores a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las mayores concentraciones se han descrito en los lugares cercanos a las fundiciones³⁵.

2. Agua

El NRC concluyó que en el agua potable las concentraciones deben estar por debajo de los 5 mg/l.

Tanto en los cuerpos acuáticos como en el agua potable las concentraciones de zinc son generalmente bajas, pero pueden aumentar debido a la contaminación de los sistemas acuáticos y por la liberación de este metal de los sistemas de distribución y de las tuberías domésticas³⁵.

3. Alimentos

Se ha observado que los productos cárnicos contienen mayores cantidades de zinc, mientras que las frutas y verduras tienen pequeñas proporciones y casi no contribuyen a la ingestión diaria. La leche tiene pequeñas cantidades pero la absorción es elevada a partir de ella y, por lo tanto, este alimento puede contribuir de manera importante a la ingestión diaria de este metal³³.

Conforme a los datos obtenidos por Mahaffey et al (1975), se calculó que las carnes de pescado y pollo contenían 24.5 mg/kg de zinc, mientras que los granos (productos con cereales) y papas sólo aportaban de 8 a 6 mg/kg, respectivamente³⁵.

Los límites recomendados por el NRC para el zinc en la dieta son:

TABLA 10
INGESTION DIARIA DE ZINC³⁵

	<u>Ingestión diaria</u>
Niños (6 meses a 3 años)	3 mg
Adolescentes	10 mg
Adultos	15 mg
Mujeres embarazadas	20 mg
Mujeres en lactancia	25 mg

4. Otras fuentes

En el cigarro y otros productos del tabaco, las concentraciones de zinc varían de 12.5 a 70 $\mu\text{g/g}$ ³⁵.

Metabolismo del zinc

1. Absorción

a) Respiratoria. La ruta de las partículas inhaladas que contengan zinc depende del tamaño de la partícula y de la solubilidad de la misma, así como del estado funcional de los pulmones.

Hasta el momento no existen datos cuantitativos sobre el depósito y absorción de los compuestos de zinc por esta ruta. Sólo se sabe que parte del material inhalado se transporta al sistema gastrointestinal por la actividad ciliar y una parte del metal se absorbe por esta ruta.

b) Digestiva. La absorción por esta vía depende principalmente del status de zinc en el organismo. La presencia o ausencia de otros constituyentes nutricionales pueden influenciar dicha absorción.

Se ha estimado que el porcentaje de absorción de zinc es del 50%, pero existe un amplio rango (20-80%). Es difícil conocer con exactitud la absorción de este micronutriente dado que por la bilis, (hacia el intestino) hay una considerable excreción del zinc absorbido.

El contenido de proteínas de la dieta puede afectar la absorción de zinc. En estudios llevados a cabo con personas con deficiencia en zinc, se notó un aumento de este elemento al administrárseles proteínas simultáneamente³⁵.

Los mecanismos de absorción del zinc son controlados homeostáticamente; los datos obtenidos en experimentos con animales sugieren que varias proteínas y compuestos de bajo peso molecular pueden estar relacionados con el proceso de absorción. Existen evidencias que las metalotioneínas (unas proteínas de bajo peso molecular que se unen con metales) de la mucosa Intestinal pueden unirse con el zinc.

c) Cutánea. Keen y Hurley en 1977 demostraron que, en ratas, las sales de zinc se pueden absorber a través de la piel. De acuerdo con estos autores, la cantidad de zinc absorbido fue mayor en animales con deficiencia de este metal y su magnitud fue clínicamente significativa³⁵.

2. Transporte y distribución

Después de ser absorbido, el zinc se transporta por la sangre a todos los tejidos y órganos. En los seres humanos, la mayor proporción de este elemento se encuentra en los músculos y huesos, aunque también el hígado, el riñón, el páncreas y algunas glándulas endocrinas como la tiroides, contienen altas concentraciones de zinc. En varias especies de animales se han encontrado cantidades elevadas de zinc en la próstata y el semen²⁷.

El zinc se encuentra en los eritrocitos debido a la presencia de la metalo-enzima anhidrasa carbónica y en los leucocitos donde se concentran varias metalo-enzimas. En el plasma se encuentra unido a la albúmina. Aproximadamente un tercio de zinc presente en el suero está unido a la α_2 -macroglobulina y un pequeño porcentaje a los aminoácidos.

3. Excreción

La principal ruta de excreción del zinc es el tracto digestivo, aunque parte de este zinc se reabsorbe. Las secreciones pancreáticas contienen cantidades importantes de zinc y en la bilis hay pequeñas concentraciones de él. Aproximadamente las tres cuartas partes del zinc se excretan en las heces y el resto por vía urinaria^{27, 35}.

La excreción por vía urinaria es relativamente pequeña y sólo durante ciertas condiciones (calor o ejercicio extremos) se pueden aumentar. El zinc también se excreta por el pelo y la leche y en las hembras hay transferencia a través de la placenta hacia el feto³⁵.

También hay pérdidas de zinc por la piel, aproximadamente de 20 a 40 μg por día. Esto sólo es 1/10 de la excreción urinaria³⁵.

4. Metalotioneínas

Durante los últimos años se ha puesto un particular interés sobre estas proteínas. La metaloproteína de mamíferos es una proteína con peso molecular bajo, de 6 000 a 7 000, la cual se caracteriza por una composición muy especial de aminoácidos -un elevado contenido de cisteína- y que carece de aminoácidos aromáticos e histidina. Se descubrió por primera vez en la corteza renal de equinos en 1957 y se ha señalado que se encuentra en casi todos los tejidos de mamíferos y algunos otros organismos inferiores. El contenido total de metales en esta proteína puede alcanzar de 6 a 7 átomos-gramos por mol. Los metales que generalmente se unen a ella son zinc, cobre y cadmio. La incidencia de estos metales depende de varios factores, los cuales pueden influir sobre la síntesis de dichas proteínas.

La síntesis de metalotioneínas es inducida directamente por factores que pueden intervenir en el metabolismo del zinc. Así, el estrés ambiental (de diversos tipos) puede inducir esta síntesis³⁵.

Se ha visto que la administración parenteral de zinc causa un aumento en la síntesis de metalotioneínas. Otros de los factores que influyen son:

- Concentración en el hígado
- Calor o frío
- Quemaduras
- Ejercicio
- Infecciones bacterianas
- Restricciones alimentarias
- Glucocorticoides (*in vitro*)

Todo lo anterior hace suponer que las metalotioneinas sirven como reguladoras de las concentraciones de zinc en el plasma y que constituyen un reservorio de zinc para ciertas situaciones³⁵.

5. El zinc como elemento esencial

En los seres humanos, el zinc es necesario para el crecimiento normal y para el buen desarrollo de las gónadas.

El cabello se utiliza como un índice de las concentraciones de zinc en el organismo. La razón de los síntomas causados por la deficiencia del zinc todavía no es muy clara. No obstante, se conocen una variedad de estudios en los que se señala al zinc como constituyente de metaloenzimas, entre las cuales están:

- Alcoholdehidrogenasa
- Carboxipeptidasa
- Leucinaminopeptidasa
- Fosfatasa alcalina
- Anhidrasa carbónica
- RNA polimerasa
- DNA polimerasa
- Timidinquinasa

Al parecer, el zinc interviene en la síntesis y catabolismo de ARN y ADN³⁵.

Efectos tóxicos en el hombre

La información sobre los efectos adversos causados por este elemento es escasa. Una razón probable es que el zinc ha sido generalmente aceptado como una sustancia benéfica y que la posibilidad de que cause efectos adversos ni siquiera se ha tomado en cuenta.

1. Efectos agudos

Gran parte de estos efectos se presentan como la "fiebre de humos metálicos", por su relación con la exposición a humos de óxido de zinc. Esta enfermedad no es única del zinc sino también de otros humos metálicos que producen síntomas similares.

La "fiebre de humos metálicos" ocurre horas después de la exposición. Los síntomas pueden persistir por uno o dos días y se caracteriza por síntomas semejantes a la influenza: dolor de cabeza, fiebre, hiperpnea, sudoración y dolores musculares. También se puede presentar leucocitosis. Estos padecimientos se conocen de igual forma con el nombre de "fiebre del lunes" debido a que ocurre al inicio de la semana laborable y el trabajador no ha estado expuesto durante el fin de semana y la exposición posterior provoca un tipo de inmunidad³⁵.

Existe daño grave al pulmón después de la inhalación de cloruro de zinc, que se ve agravada por el ácido clorhídrico formado. Tales efectos son la pneumonitis y el edema pulmonar³⁵.

Los efectos nocivos de la ingestión de altas concentraciones de zinc no son tan evidentes en comparación con los que se observan con otros elementos, pero han ocurrido envenenamientos accidentales por la ingestión de alimentos o bebidas ácidas contenidos en recipientes galvanizados²⁷.

Los síntomas pueden ocurrir después de 3 a 10 horas y son: diarrea severa con calambres abdominales, náuseas; el vómito no es tan común.

En 1977, Brocks et al señalaron un caso de envenenamiento debido a un error en la prescripción. En un lapso de 60 horas, la paciente ingirió 7.4 g de sulfato de zinc y sufrió edema pulmonar, ictericia y oliguria, entre otros síntomas. La concentración de zinc en el suero fue de 42 mg/l. A pesar del tratamiento, la paciente no mejoró su función renal y murió a los 47 días después de la enfermedad³⁵.

2. Efectos crónicos

- La fibrosis pulmonar es característica de la exposición a largo plazo al zinc.

Interacción con otros metales

El zinc interactúa con otros elementos. Se ha demostrado que la ingestión de cantidades elevadas de este metal puede influir en el metabolismo del hierro y del cobre, pero también que la elevada ingestión de estos 2 últimos influye en el metabolismo del zinc.

La exposición al cadmio puede causar cambios en la distribución del zinc con un aumento en el hígado y riñones, en donde también se acumula el cadmio.

El zinc también puede influir en el metabolismo del calcio, interactuar con el plomo y medicamentos como las píldoras anticonceptivas y las drogas con propiedades quelantes. El alcohol influye en el metabolismo del zinc³⁵.

D. AREA DE ESTUDIO

AREA DE ESTUDIO

Situación geográfica y datos climáticos⁴⁰

La cuenca del Río Blanco se encuentra en la República Mexicana en la región del Golfo de México. El Río Blanco nace en los límites del estado de Puebla y Veracruz en la población de Acultzingo. Su dirección es de Oeste a Este y atraviesa tanto la zona montañosa como la planicie costera de la parte central del estado de Veracruz para desembocar en el Golfo de México en el complejo lagunar de Alvarado. Tiene una superficie aproximada de 3 000 km² y geográficamente se ubica entre las coordenadas 95°50'W, 97°20'NW y 19°10'N.

La cuenca está comprendida entre las isotermas medias que van desde los 16° hasta los 24°C. La precipitación anual en la cuenca varía desde los 800 hasta los 2 500 mm y la precipitación promedio es de 1 500 mm al año. El volumen anual de lluvia es de 4 500 millones de metros cúbicos. (Véase Mapa #1).

Después de su nacimiento y antes de llegar al mar, este río toca las ciudades industriales de Orizaba, Córdoba, Nogales, Cd. Mendoza y otras de menor importancia.

Presa Tuxpango

La Presa Tuxpango se construyó en 1905 para la generación de energía eléctrica y se localiza en el cauce del Río Blanco en la población de Ixtaczoquitlán, Ver., a 5 kms de la ciudad de Orizaba. Actualmente existe una gran concentración de sólidos en el vaso de la presa que se debe, principalmente, a los sólidos contenidos en las descargas de aguas residuales de la mayoría de las industrias localizadas en la parte superior del cauce del Río Blanco y otros y, en menor medida, a la erosión de zonas aguas arriba de la presa.

MAPA #1
SITUACION GEOGRAFICA
DEL AREA DE ESTUDIO



Fuentes de contaminación del área de estudio

El Río Blanco y la Presa Tuxpango se contaminan por diversas fuentes que vierten sus desechos a ellos en forma directa e indirecta. Entre estas fuentes hay descargas municipales y de varias industrias: papeleras, de productos químicos, tenerías, cerveceras, de textiles, beneficios del café, etc. (Véase Mapa #2).

En los últimos años, se han tratado de eliminar periódicamente los sólidos en la Presa mediante la apertura de las compuertas. Esta descarga con altas concentraciones de sólidos trae como consecuencia inmediata un aumento súbito de la contaminación del Río Blanco, aguas abajo de la Presa, lo que abate bruscamente la concentración de oxígeno disuelto por un aumento en la demanda química de oxígeno, y provoca la muerte de numerosos organismos del río, a la vez que afecta a 16 poblaciones que utilizan el agua para el riego y para uso doméstico y pecuario⁴¹.

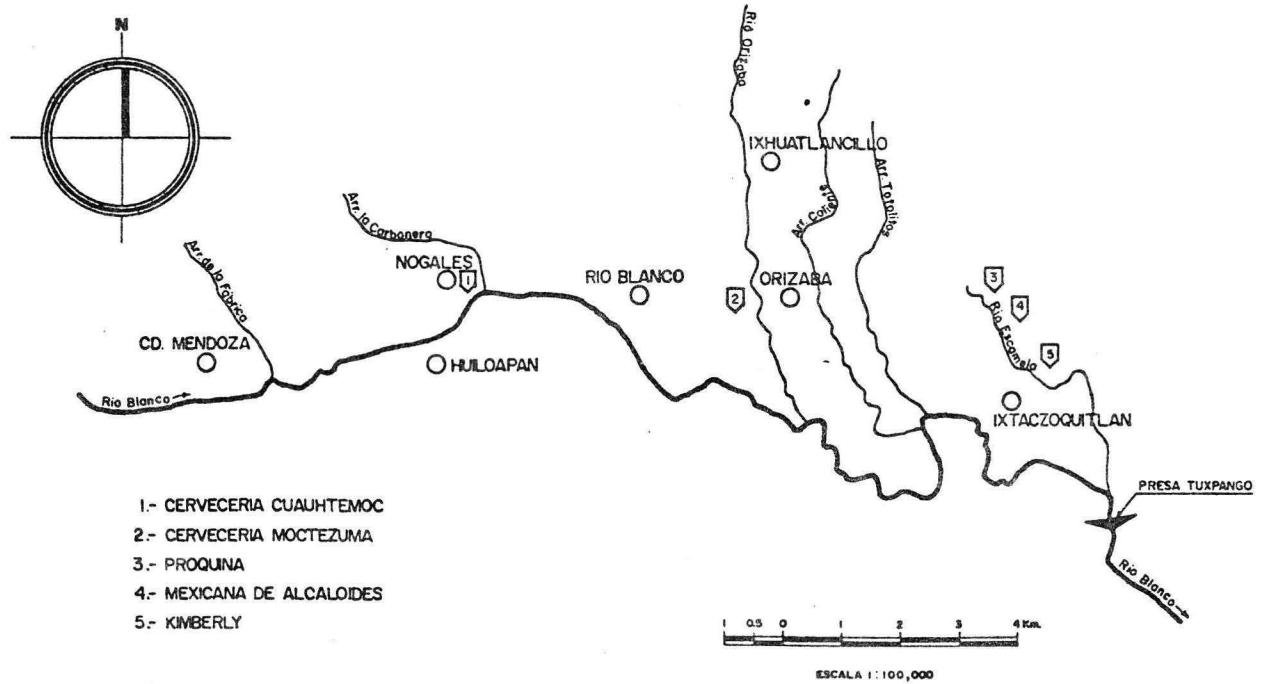
Como consecuencia de las aperturas de 1973 y 1974 los peces muertos fueron de 5,147 y 9,461 kg de pez muerto, respectivamente⁴¹.

Se estima que, con este tipo de prácticas, la producción pesquera del Río Blanco ha disminuido ya que, por algunos estudios⁴² se calcula que el período que existe entre la apertura de las compuertas y la autopurificación del río es de 6 meses, lo que no permite el desarrollo óptimo de varias especies.

Por otra parte, a la altura de Nogales, Ver., las aguas del Río Blanco se desvían y el 90% de su caudal se toma para los procesos industriales; los desechos de estas industrias regresan al río y llegan a la Presa Tuxpango que sirve como depósito de las aguas y los sólidos residuales. Por esta causa, se considera a este río como uno de los más contaminados del país⁴⁰.

De las Industrias antes mencionadas, las que producen los efectos adversos más graves son -en ese orden- azucareras, cerveceras y en seguida, las papeleras. Las aguas negras provenientes de las zonas urbanas también contribuyen, aunque en menor medida a la contaminación del Rfo Blanco. Los datos hasta ahora recabados no consideraban la presencia de la compañía Kimberly-Clark, cuya construcción se terminó en los últimos siete años⁴³ y cuyos desechos pueden afectar notablemente el balance antes descrito.

Mapa 2
LOCALIZACION DE ALGUNAS INDUSTRIAS
EN EL AREA DE ESTUDIO.



SITUACION EN MEXICO

El plomo se utiliza en un gran número de procesos industriales que se realizan en nuestro país; como se mencionó con anterioridad, puede producir graves efectos tóxicos y es acumulativo, por lo que se le considera como uno de los contaminantes ambientales más peligrosos para todos los seres vivos. Por sus efectos nocivos, este elemento se encuentra en la lista preliminar de productos perjudiciales para la salud y el ambiente⁴³. Es por ello que en este estudio el plomo se ha escogido como uno de los indicadores de la contaminación del Río Blanco, la cual, como ya se señaló, se debe principalmente a los desechos industriales y municipales que se vierten al Río y a la Presa Tuxpango.

Las concentraciones de metales (plomo y zinc) encontradas en los sedimentos superficiales por Alvarez⁴⁴ son del orden de 61.7 a 158.3 ug/g de Zn y para plomo de 18.2 a 48.8 ug/g.

No obstante en ese estudio se señala que no existía contaminación por metales pesados y que no representaba peligro para la biota⁴⁴. Sin embargo, Magaña en 1981 señaló que había una elevada mortandad de peces en sus pruebas de toxicidad con los diferentes efluentes de las fábricas que estudió⁴⁰.

El zinc es otro elemento que en concentraciones excesivas llega a producir daños al organismo y que es utilizado en la industria en grandes cantidades en México. Este elemento es esencial, por lo que su deficiencia causa serios trastornos, tanto a los animales como a los seres humanos; pero, si se ingiere en cantidades excesivas, causa daños digestivos y, por vía respiratoria, provoca graves trastornos pulmonares.

Las concentraciones excesivas de zinc en el suelo inhiben el crecimiento de algunos cultivos por lo que, tomando en cuenta que a lo largo del cauce del Río Blanco, sus aguas se utilizan para el riego agrícola en cultivos de arroz, maíz, etc., es importante determinar la presencia y la cantidad de este microelemento.

Las industrias que se localizan en el alto Río Blanco entre ellas, como ya se mencionó, beneficiadoras de café, etc., utilizan en sus diferentes procesos una variedad notable de metales o compuestos de los mismos que, sin tener algún tratamiento especial, se vierten al río junto con las aguas de desecho de estas industrias. Estos desechos llegan a la Presa Tuxpango donde son retenidos, las partículas que se mezclan con las aguas de desecho, se precipitan y pasan a formar parte del sedimento de esta presa por tiempo indefinido. Debido a que el sedimento tiene la capacidad de almacenar y retener a metales como el plomo y el zinc se esperó encontrar un alto contenido de estos elementos en las muestras de sedimentos, al igual que de organismos, del Río Blanco, Veracruz.

Sustratos elegidos

Si la determinación de estos elementos se hace en las aguas del río, las concentraciones pueden variar notablemente de una muestra a otra y, con más razón de una fecha a otra, además es difícil establecer que los datos sean reproducibles. Por esto muchos autores^{3,14-18,45} recomiendan el análisis de estos contaminantes en los sedimentos, ya que, tal como se indicó antes, estos son un depósito permanente e importante de los metales pesados, por lo que proporcionan un mejor indicador de la contaminación que las aguas.

Por otra parte, en este sustrato las concentraciones de estos elementos pueden determinarse con mayor facilidad debido a que son de 1 000 a 100 000 veces mayores que en la fase acuosa¹⁵ y en este sustrato se encuentran diversos organismos que pueden ser la vía por la cual los metales pesados llegan a las cadenas tróficas.

Como ya se indicó, algunos organismos pueden llegar a acumular concentraciones elevadas de metales pesados y pueden servir como indicadores de la contaminación por estos elementos

(Véase Tabla 9). Por ello, los análisis en los organismos son importantes y éstos también sirven para conocer el estado de las cadenas alimenticias en los hábitat acuáticos.

Además, se escogieron peces de la región puesto que su pesca tiene fines de subsistencia y , en algunos casos, comercial. Las plantas se escogieron ya que son representativas de estos lugares y el conocimineto sobre sus concentraciones de metales pesados contribuirá a proporcionar datos sobre este ecosistema.

En cuanto a los efectos potenciales a largo plazo de la presencia de concentraciones elevadas de plomo y zinc en esta área de estudio, ya se han mencionado con anterioridad. Además, de otros de los efectos son la bioacumulación en las cadenas alimenticias y el posible riesgo de bioconcentración para los individuos que ingieran los organismos así contaminados.

Cabe señalar también que se carece en México de suficiente personal capacitado en el área de contaminación ambiental, por lo cual este trabajo sirvió para favorecer la formación de recursos humanos en cuanto al manejo de aparatos de alta precisión, adaptación de técnicas para el análisis de metales tóxicos en sedimentos y organismos de acuerdo a las condiciones de este país, el manejo adecuado de la información científica y técnica y para la elaboración de un informe sobre la contaminación actual del Río Blanco y la Presa Tuxpango.

En nuestro país se carece en gran medida de la información necesaria respecto al estado del ambiente para que se puedan tomar las medidas preventivas, correctivas y adecuadas en cuanto a la contaminación. Con este trabajo se pretendió contribuir a subsanar este tipo de carencias con el aporte de datos sobre la contaminación por plomo y zinc en sedimentos y organismos del Río Blanco.

OBJETIVOS

Por lo antes expuesto se realizó el presente estudio, cuyos objetivos fueron:

- Determinar las concentraciones de plomo y zinc en muestras de sedimentos y organismos del Rfo Blanco.
- Entre los organismos colectados, seleccionar los indicadores biológicos vegetales y animales más apropiados por la contaminación de estos metales.
- Indicar los peligros que podrían sufrir los diferentes organismos, incluyendo a la población humana, y sus cultivos aguas abajo de la Presa Tuxpango y en la zona cercana a ésta, así como los riesgos de las poblaciones distantes que consumen alimentos producidos en la región afectada.
- Proponer algunos estudios posteriores que se deben realizar en la zona.
- Informar de los resultados a las autoridades responsables.

II PARTE EXPERIMENTAL

A. MATERIAL Y APARATOS

A. MATERIAL Y APARATOS

a) Reactivos

Acido nítrico concentrado, (J.T. Baker) 0.000 000 1% Plomo
Nitrato de plomo, (J.T. Baker) 100.00% Pureza
Sulfato de zinc, (J.T. Baker) 100.10% Pureza
Acido perclórico concentrado, (J.T. Baker) 70.3% Pureza
Acido fluorhídrico concentrado, (J.T. Baker) 48 - 51% Pureza
Acido clorhídrico concentrado, (J.T. Baker) 60 - 65% Pureza

b) Otros

Agua destilada desionizada,
Extrán, líquido (Merck).

c) Equipo

Desionizador con columna de intercambio iónico,
(Millipore, Corp.)
Estufa (Marsa, Mwd. HDP - 334)
Congelador (American. Mod. CV 250)
Mufla (Lindberg, Mod. 51828)
Campana de extracción de gases (Veco)
Agitador mecánico de rodillos (U.S. Stoneware)
Cortadora-picadora horizontal
(Hobart Dayton Mexicana)
Molino para hojas (Arthur H. Thomas, Co.)
Homogeneizador Omni-mixer (Sorvall, Inc., Mod. 17220)
Parrilla eléctrica (Lindberg, Mod. 53016)

d) Equipo y accesorios para espectrofotometría de absorción atómica.

Espectrofotómetro de absorción atómica (Varian Techtron Pty, Ltd., Mod. 1275).

Lámpara de cátodo hueco de plomo (Varian Techtron Pty, Ltd).

Lámpara de cátodo hueco de zinc (Varian Techtron Pty, Ltd.)

e) Material de colecta

Bolsas de polietileno

Toallas de papel

Marcadores

Ligas

Soga

Draga Tipo Van-Veen

Guantes de hule

Hielera de plástico

Hielo

Cinta métrica

Regla

Masking tape

f) Materiales diversos

Material de vidrio (Pyrex, Kimax)

Botellas de polietileno

Lámina de teflón 300x 300x 1mm (Chesterton de México)

Plástico autoadherible (EGA-PAC)

Vasos de teflón (20 ml de capacidad aprox.)

Tamiz # de malla 20 (Mont-inox)

Tamiz # de malla 80 (Mont-inox)

g) Gases comprimidos

Acetileno (Infra del Centro, S.A.)

Aire, exento de humedad (Infra del Centro, S.A.)

B. METODOLOGIA PARA SEDIMENTOS

B. METODOLOGIA PARA SEDIMENTOS

a) Lavado de material

Todo el material se lavó con una solución de detergente neutro al 2% (Extrán), se enjuagó con abundante agua de la llave y, al final, con agua destilada. Después, se sumergió por una noche en una solución acuosa de ácido nítrico al 10%; por último, se enjuagó con agua desionizada, se dejó secar en la estufa a 110°C, se dejó enfriar y se tapó con plástico autoadherible (EGA-PAC).

b) Obtención de las muestras

El área de estudio comprendió 22 puntos, once de las muestras dentro de la Presa Tuxpango; dos de ellas correspondientes al Río Escamela, dos al Río Blanco cerca de la población de Ciudad Mendoza; cinco obtenidas en las orillas de la misma presa y las últimas en el Canal Camelpo (Véanse Mapas 3, 4 y Tabla 11).

Las muestras de sedimento se colectaron en la primera quincena de mayo de 1983. En cada estación de colecta se tomó aproximadamente un kilogramo de sedimento.

c) Transporte y almacenamiento

Todas las muestras se colocaron en una hielera con hielo y se trasladaron al laboratorio, en donde se almacenaron en un congelador, a -20°C, hasta el momento de su preparación para el análisis.

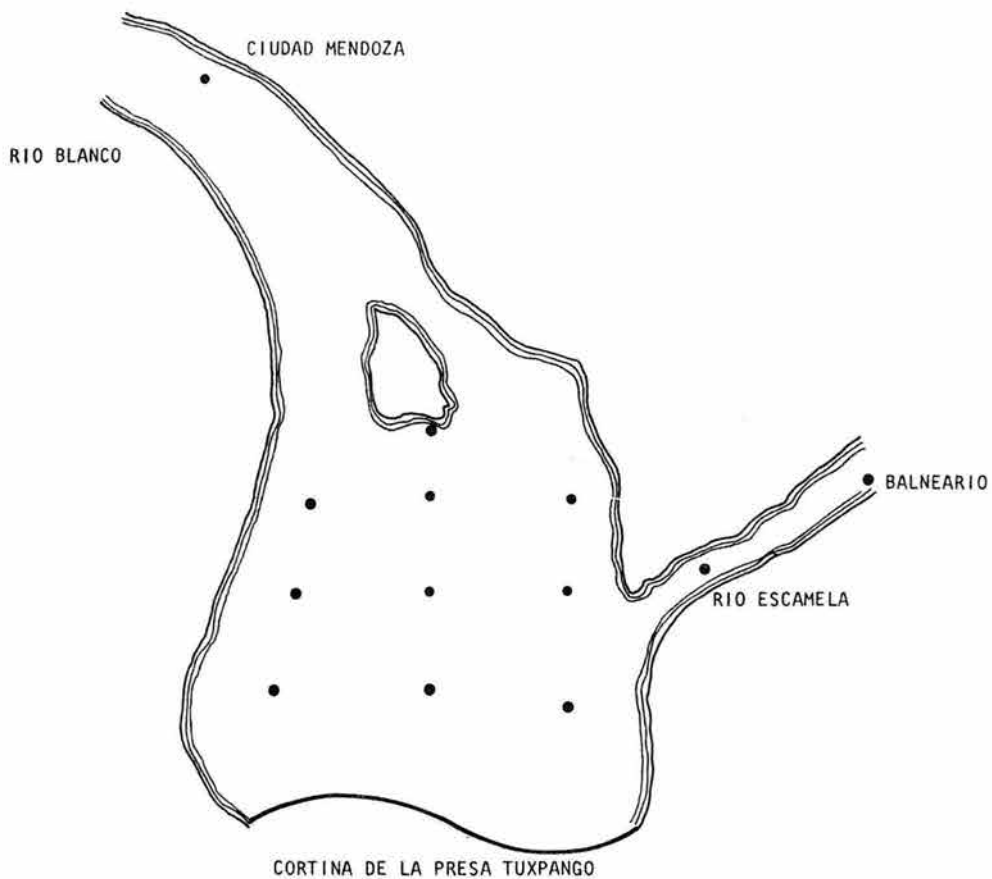
TABLA 11

AREA DE ESTUDIO

No. de muestras	Lugar de colecta
2	Río Escamela*
2	Ciudad Mendoza*
5	Presa Tuxpango (orillas)*
11	Presa Tuxpango (vaso)*
2	Canal Camelpo**

* Véase Mapa 3

** Véase Mapa 4



CORTINA DE LA PRESA TUXPANGO

PUNTO DE COLECTA

MAPA # 3
ZONA DE COLECTA

MAPA 4. ZONA DE MUESTREO DE ORGANISMOS.

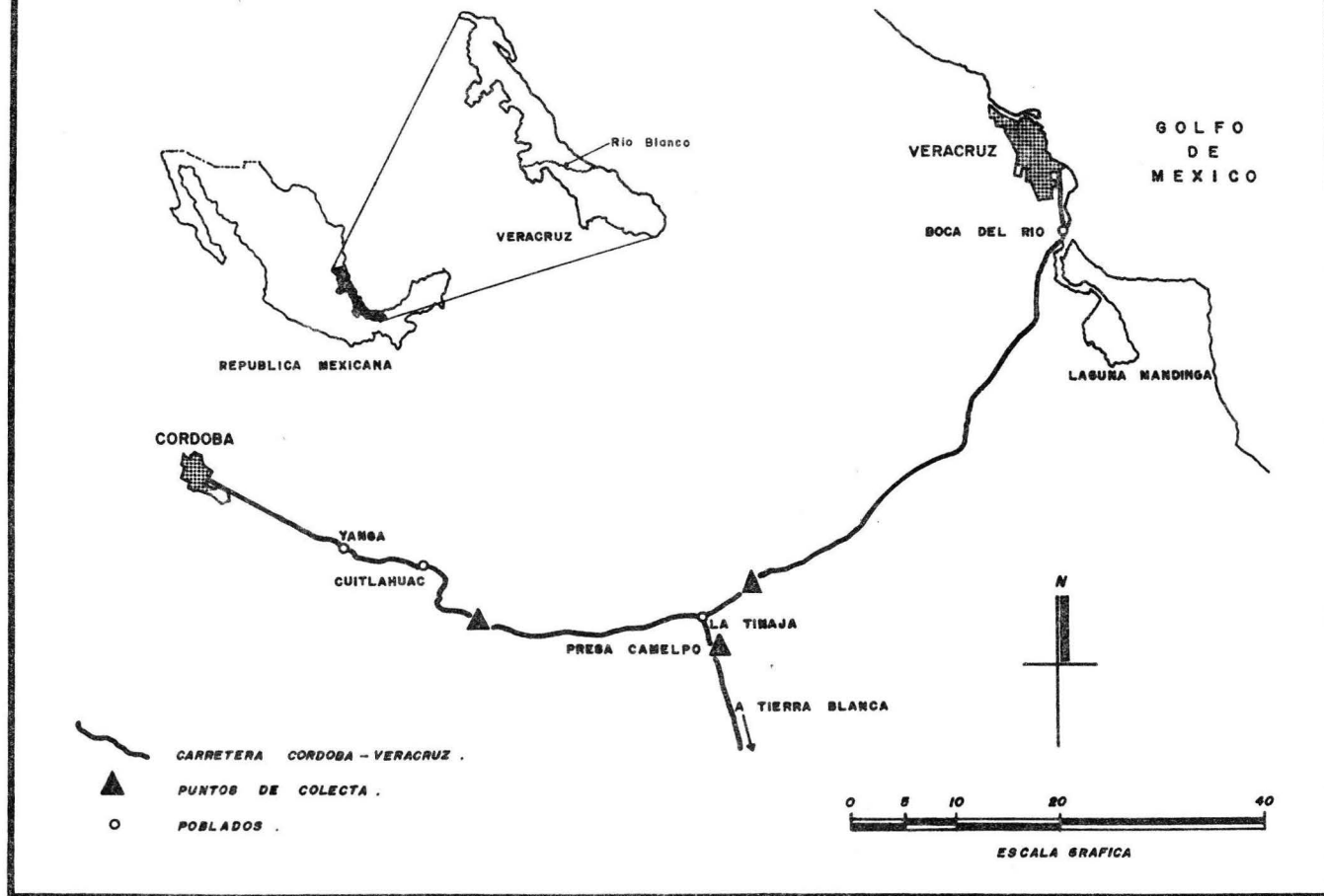


TABLA 12

OPTIMIZACION DE LA FLAMA

- I. Fuente de luz y óptica
 - Optimización de la energía
 - 1. Lámpara de cátodo hueco
 - a) Corriente
 - b) Alineación
 - 2. Longitud de onda
 - 3. Banda espectral (amplitud de la ventana "slit")
- II. Quemador/Nebulizador
 1. Alineación del quemador
 - a) Rotacional
 - b) Horizontal
 - c) Vertical
 2. Ajuste de la esfera de impacto
 3. Ajuste de la mezcla del combustible/oxidante
 4. Ajuste del nebulizador

TABLA 13

CONDICIONES DE OPERACION PARA PLOMO Y ZINC

Tipo de condiciones	Pb	Zn
Corriente de la lámpara	6 mA	5 mA
Gas soporte (aire)	4.2 kg/cm ²	4.2 kg/cm ²
Gas combustible (acetileno)	7.5 kg/cm ²	7.5 kg/cm ²
Longitud de onda	217 nm	213.9 nm
Apertura de la rejilla	1.0 nm	0.2 nm
Tiempo de respuesta	1 seg c/corrida media	1 seg c/corrida media
Sensibilidad	1 ppm	0.2 ppm

La técnica que se empleó se tomó del "Manual para la Determinación de Metales en Muestras Ambientales"^{4,6}. A continuación se describen los pasos que se siguieron en esta metodología.

Metales totales en sedimentos

- i) Se pesaron 0.5 g de sedimento y se colocaron en los recipientes de teflón.
- ii) Se añadieron 15 ml de ácido nítrico (HNO_3) concentrado y se calentaron estos vasos en una parrilla eléctrica. Se puso una placa de asbesto entre la parrilla y los vasos de teflón y se cubrieron con un vidrio de reloj para cada uno.
- iii) Después que el HNO_3 hirvió durante 2 minutos, se agregaron 10 ml de ácido perclórico (HClO_4). La ebullición de HNO_3 se indicó por la presencia de humos café.
- iv) En este punto se quitaron los vidrios de reloj.
- v) Después que todo el HNO_3 se eliminó, el HClO_4 comenzó a hervir con la formación de humos blancos densos (Véase Nota a).
- vi) Al precipitado blanco de sílice, se le añadieron 10 ml de ácido fluorhídrico (HF); se continuó con el calentamiento hasta que el residuo se disolvió (Véase Nota b).

NOTAS:

PRECAUCION

Nota a: No se debe calentar a sequedad, ya que los percloratos metálicos pueden explotar bajo calor intenso.

Si después de la digestión con HClO_4 el sedimento está gris o blanco, ya no se requiere más HClO_4 debido a que el sedimento se deshidrató y se convirtió en cenizas.

Nota b: Si no se disuelve se tiene que agregar más HF

Nota c: No debe hervir.

vii) Se deja evaporar la mayor parte del HF. Después se agregaron 5 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y 20 ml de agua destilada desionizada. Se calentó la solución para disolver las sales (Véase Nota c). Cuando todo el residuo se disolvió, se transfirió a matraces volumétricos de 100 ml y se llevó al aforo con agua destilada desionizada.

5. Análisis por absorción atómica

Esta técnica consiste básicamente en utilizar el fenómeno mediante el cual los átomos absorben radiaciones en una longitud de onda característica. El grado de absorción depende de la concentración de los átomos en la muestra.

Los pasos seguidos fueron los siguientes:

1. Se ajustaron las condiciones de operación y calibración del espectrofotómetro de absorción atómica⁴⁷. (Véanse Tablas 12 y 13).
2. Una vez ajustadas estas condiciones, se procedió a tomar las lecturas de todos los extractos ácidos.
3. Los datos obtenidos de los estándares se ajustaron por mínimos cuadrados para obtener la curva de calibración.
4. Por último, se interpolaron los datos obtenidos de las muestras y se calcularon las concentraciones equivalentes.

PROCEDIMIENTO

1. Soluciones patrón

a) Solución de plomo. Se disuelve 1.5985 g de nitrato de plomo en una solución acuosa de ácido nítrico al 10% y se lleva a un volumen de 1 000 ml con dicha solución. La concentración final de plomo en esta solución es de 1 000 µg/ml

b) Solución de zinc. Se disuelven 2.7450 g de sulfato de zinc ($ZnSO_4 \cdot H_2O$) en una solución acuosa de ácido nítrico al 10% y se lleva a un volumen de 1 000 ml con la misma solución. La concentración final de zinc en esta solución es de 1000 µg/ml

2. Soluciones diluidas

a) Plomo. A partir de la solución patrón se tomaron 10 y 40 ml y se llevaron a un volumen de 50 ml c/u en un matraz aforado, para obtener soluciones de 200 y 800 µg/ml, respectivamente.

b) Zinc. De la solución patrón se tomaron 2 y 4 ml y se llevaron a un volumen de 50 ml c/u en un matraz aforado, para obtener soluciones diluidas de 40 y 80 µg/ml respectivamente.

De estas soluciones se tomaron alícuotas para llevar a cabo la digestión.

3. Preparación de la muestra

La muestra de sedimento se descongeló a temperatura ambiente. Después de tamizó para retirar ramas, rocas, etc., y obtener la fracción de interés. Para facilitar esto se utilizó agua desionizada y tamices de malla Nos. 20 y 80. Las partículas se recogieron en charolas de teflón y se pusieron a secar hasta peso constante en la estufa y a una temperatura

de 110°C. Se dejó enfriar y se maceró ligeramente para deshacer los aglomerados y obtener la muestra en polvo⁴⁶.

Los sedimentos así preparados se almacenaron en bolsas de polietileno, previamente lavadas, en el congelador a -20°C, hasta que se llevó a cabo la digestión.

4. Digestión

La muestra de sedimento se homogeneizó en un recipiente de polietileno en un agitador mecánico de rodillos durante una hora. Luego, se pesaron en la balanza analítica 0.5 g de sedimento y se pasaron a cada uno de los vasos de teflón. Se procedió de igual manera con cada una de las muestras. Los componentes al inicio de la digestión fueron los siguientes:

<u>Vaso #1</u>	<u>Vaso #2</u>	<u>Vaso #3</u>
(Blanco)	(Muestra)	(Duplicado de la muestra)
2 ml HCl* 5%	0.5 g de sedimento 2 ml HCl 5%	0.5 g de sedimento 2 ml HCl 5%

* HCl = ácido clorhídrico

Además hay otros vasos que se ocuparon en los análisis de control que posteriormente se explican.

Análisis de control

Todos estos análisis se realizaron por duplicado y para cada muestra con el objeto de observar la exactitud de los resultados.

1. Curva de calibración.

Independientemente del análisis de la muestra, se requiere construir la curva de calibración del elemento de interés para conocer la concentración equivalente de la muestra.

2. Análisis de recuperación

Las recuperaciones consisten en agregar estándares de concentración conocida a las muestras (o sea vasos 4 y 5 en este caso), este análisis nos proporciona la precisión de los resultados y nos permite conocer si el plomo o el zinc presentes en cada muestra se transfirieron cuantitativamente a las soluciones finales de la digestión. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 14. Para ellos se requirieron los siguientes componentes al inicio de la digestión:

Vaso 4 (recuperación 1)	Vaso 5 (recuperación 2)
0.5 g de sedimento	0.5 g de sedimento
1 ml, sol. de Pb 200 ppm	1 ml, sol. de Pb 800 ppm
1 ml, sol. de Zn 40 ppm	1 ml, sol. de Zn 80 ppm
Vaso 6 (curva de calibración)	Vaso 7 (curva de calibración)
1 ml, sol. de Pb 200 ppm	1 ml, sol. de Pb 800 ppm
1 ml, sol. de Zn 40 ppm	1 ml, sol. de Zn 80 ppm

En estos casos se procedió de la misma forma que para las muestras (o sea vasos 1, 2 y 3).

3. Análisis en blanco.

Cabe aclarar que el vaso 1 (blanco) sirvió, en todos los casos, para llevar a cabo el ajuste y la calibración del aparato de absorción atómica. Este análisis sirvió también, al mismo tiempo, para controlar la pureza de los reactivos empleados y la contaminación por plomo que pudiera ocurrir durante el proceso de la digestión.

Con este análisis se garantiza que el plomo y el zinc detectados provienen de las muestras y que no se trata de impurezas de los reactivos o del material¹².

En esta parte de la metodología se incluyen los resultados de los análisis de control. A continuación se presentan los porcentajes de recuperación promedio obtenidos durante el análisis cuantitativo para cada metal y conforme al tipo de muestra.

TABLA 14

RECUPERACIONES PROMEDIO EN SEDIMENTOS

Metal	Nivel de concentraciones	Recuperaciones* ($\bar{x} \pm s$)
Plomo	2 ppm	96.9 \pm 8.7
	8 ppm	95.9 \pm 9.0
Zinc	0.4 ppm	90.8 \pm 9.0
	0.8 ppm	88.1 \pm 7.1

* %

C. METODOLOGIA PARA ORGANISMOS

C. METODOLOGIA PARA ORGANISMOS

Lavado de material

Se procedió de la misma forma que en los sedimentos.

Obtención de las muestras

El área de estudio para los organismos comprendió 3 puntos:

- (a) Puente colgante hacia la congregación de Matatenatitos, 400 m a la derecha del km 38 de la carretera Córdoba-Veracruz.
- (b) Vaso de la Presa Camelpo, cerca del poblado de Tinajas, 4 km a la derecha del km 59 de la carretera Córdoba-Veracruz.
- (c) Infiernillo, al norte como Río Blanco y al sur como Río de las Pozas, cerca de Piedras Negras, Ver. (Véase Mapa 4).

La obtención de las muestras se llevó a cabo durante la segunda quincena de mayo de 1985 y se colectó aproximadamente 1 kg de planta acuática (peso húmedo).

En el punto (a) no se colectaron peces. En el punto (b) se colectaron 8 peces del género *Oreochromis*; estas muestras se obtuvieron con un arpón casero. Las muestras del punto (c) corresponden a 13 peces del género *Rhamdia*, los cuales se obtuvieron por medio de pescadores de la región.

También, se tomaron ejemplares de las plantas acuáticas para la colección del Herbario del INIREB para llevar a cabo su identificación taxonómica.

Cabe aclarar que los lugares de colecta para sedimentos y para organismos fueron diferentes, ya que en la Presa Tuxpango y lugares cercanos no se encontraron este tipo de organismos; es decir que estos sitios carecen casi por completo de peces y plantas acuáticas debido a las condiciones anaeróbicas del lugar. Como lo demuestran datos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en 1972, en donde la distribución de *Cichlasoma gadovii* se inicia prácticamente después del Ingenio San Nicolás cerca de la Presa Camello⁴⁰.

Transporte y almacenamiento

Todas las muestras se colocaron en una hielera a una temperatura de 0°C aproximadamente y se trasladaron de inmediato al laboratorio, en donde se almacenaron en un congelador a -20°C hasta el momento de su preparación para el análisis.

Identificación taxonómica

Para conocer las especies de organismos con los cuales se trabajó, se realizó la identificación taxonómica. Los resultados de este análisis fueron:

El material vegetal correspondiente a los puntos de colecta (a) y (b) pertenece a *Heteranthera reniformis*, Ruiz y Pavón de la familia Pontederiaceae y la planta del punto (c) pertenece a *Pontederia rotundifolia*, L. de la misma familia⁴⁸.

Por lo que respecta a los peces, los obtenidos en el punto (c) corresponden a *Oreochromis aureus* (antes *Tilapia nilótica*) (Steindachner, 1864)⁴⁹, de la familia Cichlidae; para el punto (b) corresponden a *Rhamdia guatemalensis* (Gunther, 1864)⁵⁰, de la familia Pinelodidae.

Las muestras que sirvieron para la identificación se depositaron en la colección Ictiológica del Instituto de Biología, UNAM con los siguientes números de catálogo:

<i>Oreochromis aureus</i>	1338
<i>Rhamdia gutemalensis</i>	1339

Preparación de las muestras de peces

1. Procedimiento

Después de haber realizado la identificación taxonómica se procedió de la siguiente forma:

- a) Los peces se lavaron con agua desionizada para eliminar el mucus.
- b) Se les quitaron escamas, cabeza y cola.
- c) Se separó toda la carne del esqueleto y se partió en pequeños trozos.
- d) Los trozos se depositaron en los vasos del homogeneizador Omni-mixer.

NOTA: El paso de la homogeneización es muy importante, ya que se requiere que las muestras sean uniformes para evitar errores.

2. Digestión ácida

Una vez obtenida una pasta homogénea, se pesó 7 g de muestra y se transfirió a los vasos de teflón.

- a) A cada vaso de teflón se agregaron 10 ml de HNO_3 concentrado (90% de pureza). Al final se taparon con un vidrio de reloj.

b) Las muestras se calentaron suavemente en una parrilla eléctrica hasta que se logró una sequedad total (10 a 16 h). En caso de que la digestión fuese incompleta se agregaron 5 ml más de HNO_3 concentrado.

c) Los vasos de teflón se dejaron enfriar a temperatura ambiente. A continuación y con ayuda de una pipeta Pasteur, se enjuagaron los vidrios de reloj y las paredes de los vasos con agua desionizada.

d) La muestra digerida se transfirió cuantitativamente a un matraz volumétrico de 10 ml y se llevó al aforo con agua desionizada.

e) Este mismo procedimiento se llevó a cabo para el blanco, los estándares, para la curva de calibración y las recuperaciones (Véase Análisis de control).

Análisis de control

La curva de calibración, el análisis de recuperación y el análisis en blanco se realizaron de igual forma para los sedimentos o sea:

Vaso #4 (Recuperación 1)	Vaso #5 (Recuperación 2)
10 ml de HNO_3 concentrado	10 ml de HNO_3 concentrado
1 ml 20 ppm Pb	1 ml 80 ppm Pb
1 ml 4 ppm Zn	1 ml 8 ppm Zn
7 g de muestra	7 g de muestra

Vaso #6 (Curva de calibración)	Vaso #7 (curva de calibración)
10 ml de HNO_3 concentrado	10 ml de HNO_3 concentrado
1 ml 20 ppm Pb	1 ml 80 ppm Pb
1 ml 4 ppm Zn	1 ml 8 ppm Zn

En la Tabla 15 se presentan dos recuperaciones para cada tipo de muestra ya que, se utilizaron dos niveles de concentración; de 2 ppm y 8 ppm de plomo, y, para zinc, de 0.4 y 0.8 ppm en las soluciones finales de los extractos digeridos. Estas concentraciones son las que representan el intervalo de trabajo para las líneas de resonancia previamente definidas para cada elemento; en la Tabla 13 se muestran las condiciones de operación.

TABLA 15

RECUPERACIONES PROMEDIO EN PECES

Metal	Nivel de concentración	Recuperaciones $\bar{x} \pm s$
Plomo	2 ppm	101.2 \pm 15.0
	8 ppm	105.3 \pm 14.5
Zinc	0.4 ppm	100.1 \pm 12.0
	0.8 ppm	98.3 \pm 16.5

Preparación de las muestras de plantas

En el caso de las muestras de vegetales se prefirió trabajar con la técnica de digestión ácida húmeda.

1. Procedimiento

- a) Se lava toda la planta con abundante agua corriente durante 3 a 5 minutos o hasta que las muestras presenten un aspecto totalmente limpio y, al final, se enjuaga con agua desionizada.
- b) Se muele toda la planta en la cortadora-picadora horizontal.
- c) Se coloca todo el lote de plantas trituradas en una charola Pyrex y se secan durante 12 h a una temperatura de 110°C.
- d) Ya seca la planta, se vuelve a moler cuidadosamente en un molino para hojas.

e) Posteriormente, se almacenan hasta su digestión en bolsas de plástico, previamente lavadas y se conservan en congelador a una temperatura de -20°C aproximadamente.

2. Digestión y análisis por espectrofotometría de absorción atómica.

La digestión y el análisis por espectrofotometría de absorción atómica se realizaron en forma semejante que para las muestras de sedimentos y peces.

Análisis de control

Se procedió de la misma forma que para las muestras de sedimentos y peces. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 16.

TABLA 16

RECUPERACIONES PROMEDIO EN PLANTAS

Metal	Nivel de concentración	Recuperación $\bar{x} \pm s$
Plomo	2 ppm	103.8 ± 4.9
	8 ppm	106.1 ± 15.0
Zinc	0.4 ppm	97.3 ± 11.8
	0.8 ppm	101.0 ± 14.6

La contaminación por metales pesados en todos los sustratos ambientales es un hecho innegable sobre todo, en las regiones industriales de la República Mexicana. Por lo que toca al plomo, éste se presenta con mayor frecuencia debido a su muy extendido uso en la industria.

Como ya se mencionó, tanto el zinc como el plomo llegan a producir efectos deletéreos a los organismos cuando éstos los acumulan en concentraciones elevadas.

El análisis de estos contaminantes en los sedimentos es muy importante, ya que proporcionan un índice confiable de la contaminación en el tiempo y el espacio, a diferencia de otros sustratos en los que esto no ocurre. El análisis de estos metales en los organismos permite conocer si ha existido una transferencia de los metales hacia ellos. Esto es, si son biodisponibles, o bien que grado de contaminación existe en las cadenas alimenticias de los ecosistemas acuáticos.

El objetivo de este trabajo fue realizar una evaluación preliminar sobre el contenido de estos elementos en sedimentos, peces y plantas del Rfo Blanco, Veracruz.

Además, se trató de comparar las concentraciones de plomo y zinc obtenidas para dicho ecosistema acuático con los resultados de otras investigaciones.

En México se han realizado pocos estudios sobre la presencia de estos contaminantes en dichos sustratos, por lo que se consideró que este trabajo aportaría datos al estudio ambiental de esta región y del país en general.

SEDIMENTOS

Como ya se mencionó, el número de muestras analizadas para este sustrato, fue de 22; dos de ellas correspondientes al Rfo Escamela (afluente del Rfo Blanco que converge a la altura de la Presa Tuxpango); dos al Rfo Blanco, cerca de la población de Ciudad Mendoza; cinco que fueron obtenidas en las orillas de la presa; once en el vaso de la misma y las dos últimas en el Canal Camelpo, a 80 km aproximadamente sobre el Rfo Blanco (Véanse Mapas 3 y 4 y Tabla 11).

En la Tabla 17 se muestran los resultados del análisis cuantitativo de plomo y zinc de dichas muestras. Las concentraciones están calculadas en $\mu\text{g/g}$ con base en el peso seco de las muestras.

En las Tablas 18 y 19 se presentan los límites de concentración (intervalo), el promedio y la desviación estándar de dichos resultados. El valor más alto encontrado para plomo correspondió al vaso de la Presa Tuxpango con 267.4 $\mu\text{g/g}$ y, el más bajo, al Canal Camelpo con 5.8 ppm. Por lo que respecta a los valores de zinc, los más altos correspondieron también al vaso de la Presa con 321.8 ppm y el más bajo a las orillas de la Presa con 97.8 ppm.

TABLA 17
ANALISIS CUANTITATIVO
PLOMO Y ZINC EN SEDIMENTOS

Muestra No.	Concentraciones *	
	Plomo	Zinc
1	66.5	197.8
2	112.0	134.0
3	97.2	137.0
4	93.1	97.8**
5	91.2	130.3
6	85.2	150.8
7	127.8	321.8**
8	64.8	273.9
9	37.9	148.1
10	112.9	155.6
11	127.8	188.5
12	267.4**	171.8
13	97.2	169.3
14	65.2	285.0
15	67.5	203.3
16	97.2	135.0
17	62.8	259.1
18	37.9	221.0
19	91.2	137.5
20	5.8**	181.4
21	51.9	259.8
22	122.8	289.6

* $\mu\text{g/g}$ (ppm) peso seco

** Valores extremos

TABLA 18
 CONCENTRACIONES DE PLOMO EN SEDIMENTOS DEL RIO BLANCO, VER.
 (EN RELACION AL LUGAR DE COLECTA)*

Lugar de colecta	Intervalo	$\bar{x} \pm s$
Ciudad Mendoza	55.8-69.8	Insuf.**
Río Escamela	69.8-136.0	Insuf.
Presa Tuxpango (orillas)	85.2-122.8	95.20 \pm 12.04
Presa Tuxpango (vaso)	52.7-167.4	96.94 \pm 25.55
Canal Camelpo (R.B.)	5.4-53.8	Insuf.

* $\mu\text{g/g}$ (ppm) peso seco

** Datos insuficientes para obtener un promedio significativo
 R.B. Río Blanco.

TABLA 19

CONCENTRACIONES DE ZINC EN SEDIMENTOS DEL RIO BLANCO, VER.
(EN RELACION AL LUGAR DE COLECTA)*

Lugar	Intervalo	$\bar{x} \pm s$
Ciudad Mendoza	195.5 - 223.4	Insuf.**
Río Escamela	112.0 - 146.6	Insuf.
Presa Tuxpango (orillas)	82.4 - 309.6	135.65 \pm 15.52
Presa Tuxpango (vaso)	134.0 - 332.6	192.65 \pm 47.29
Canal Camelpo (R.B.)	181.0 - 270.4	Insuf.

* $\mu\text{g/g}$ (ppm) peso seco

** Datos insuficientes para obtener un promedio significativo

R.B. Río Blanco

ORGANISMOS

1. Peces

Los organismos colectados fueron *Oreochromis aureus* (Tilapia) en el punto (c) del muestreo, con ocho organismos y *Rhamdia guatemalensis* (juile) en el punto (b) con trece organismos (Véanse Mapa 4 e inciso C de la metodología para organismos). Además, son especies características de la zona estudiada.

La concentración promedio para la primera especie fue de 2.27 µg/g de plomo y 6.91 µg/g de zinc; para la segunda especie, la concentración de plomo fue de 3.88 µg/g y la de zinc de 26.15 µg/g (Véase Tabla 20). Los resultados del análisis cuantitativo de plomo y zinc en peces se muestran en la Tabla 21. Estos resultados son con base en el peso húmedo de las muestras.

TABLA 20
CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PLOMO Y ZINC EN PECES
DEL RIO BLANCO, VER.

Especie	Plomo* $\bar{x} \pm s$	Zinc* $\bar{x} \pm s$
<i>Oreochromis aureus</i> (tilapia)	2.27 ± 1.03	6.91 ± 1.94
<i>Rhamdia guatemalensis</i> (juile)	3.88 ± 4.33	26.15 ± 17.07

* µg/g (ppm), peso húmedo.

TABLA 21
ANALISIS CUANTITATIVO DE PLOMO Y ZINC
EN PECES DEL RIO BLANCO, VER.

Especie	Muestra No.	Concentraciones [*]	
		Plomo	Zinc
<i>Oreochromis aureus</i> (tilapia)	1	3.28	9.82
	2	2.97	5.50
	3	1.62	5.93
	4	1.61	6.31
	5	1.09	5.76
	6	4.05	6.49
	7	2.10	9.48
	8	1.49	4.88
<i>Rhamdia guatemalensis</i> (bagre, juile)	1	14.00	39.97
	2	2.24	23.22
	3	2.20	16.94
	4	0.95	33.51
	5	0.69	13.24
	6	4.39	56.96
	7	5.03	33.94
	8	1.07	9.90
	9	1.87	6.31
	10	12.35	54.02
	11	2.29	9.49
	12	0.93	31.82
	13	2.48	10.68

* $\mu\text{g/g}$ (ppm) peso húmedo.

2. Plantas

De acuerdo a la identificación taxonómica, las plantas que corresponden a los puntos de colecta (a) y (b) pertenecen a la especie *Heteranthera reniformis* y *Pontederia rotundifolia* corresponde al punto de colecta (c) (Véase Mapa 4).

Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 22; para la primera especie los valores corresponden a 12.73 ppm de plomo y 74.18 µg/g de zinc; mientras que para la segunda especie, fueron de 7.0 µg/g de plomo y 63.93 µg/g de zinc.

TABLA 22
ANÁLISIS CUANTITATIVO PARA PLANTAS DEL
RIO BLANCO, VER.

Especie	Concentraciones*	
	Plomo	Zinc
<i>Heteranthera reniformis</i> , R. y P.	12.73	74.18
<i>Pontederia rotundifolia</i> , L.	7.30	63.93

* µg/g (ppm) peso seco.

IV. DISCUSION DE RESULTADOS

SEDIMENTOS

De manera semejante a lo que ocurre en los suelos de los ecosistemas terrestres, los sedimentos son el principal receptor y depósito de los metales pesados en los ambientes acuáticos.

El plomo en este sustrato se ha venido utilizando como un buen indicador de los estudios de las relaciones que intervienen en los sistemas de sedimentación, de rocas ígneas y de contaminación en el tiempo y el espacio⁸.

En este estudio, los resultados muestran que el contenido promedio de plomo en las muestras de sedimento estudiadas fue de 90.15 ± 50.53 $\mu\text{g/g}$ de muestra y que, para zinc, el valor promedio fue de 193.10 ± 62.90 $\mu\text{g/g}$.

Como ya se había mencionado, los valores más altos de este estudio, para ambos metales, correspondieron a la Presa Tuxpango lo que permite suponer que estos valores elevados se deben a la presencia de gran parte de las industrias y poblaciones que se encuentran asentadas en la parte alta del Río Blanco y cercanas a la Presa; este lugar sirve como receptor y depósito de la mayoría de las aguas negras que se vierten al Río.

Por otra parte, en cuanto a la zona de muestreo las concentraciones promedio para plomo en las orillas de la Presa Tuxpango fueron de 95.20 ± 12.04 $\mu\text{g/g}$ de muestra y, para zinc, de 135.65 ± 15.52 $\mu\text{g/g}$. Para el vaso de la misma, en cuanto a plomo dicha concentración fue de 96.94 ± 25.55 $\mu\text{g/g}$ y, para zinc, de 192.65 ± 47.29 ppm. Por lo que respecta a las demás zonas de muestreo no fue posible obtener promedios, ya que el número de muestras no fue suficiente para este fin. Sin embargo, los valores máximos para estos sedimentos fueron de 267.4 ppm de plomo y 321.8 ppm de zinc (Véase Tabla 17).

A partir de datos publicados en diversas partes del mundo se pudo estimar que el contenido de plomo en sedimentos con evidencias de contaminación es de 98 $\mu\text{g/g}$, como valor promedio, para arroyos y ríos⁸, mientras que para sedimentos de lagos no contaminados, la concentración promedio de plomo es de aproximadamente 16 ppm⁸.

En relación con ésto y en lo que se refiere a los resultados de este trabajo, seis de las 22 muestras estudiadas sobrepasan el límite antes descrito para ríos contaminados (27.3%). Cinco de ellas pertenecen al vaso de la Presa Tuxpango (5/12 ó 41.6%). Por lo que toca al resto de las muestras (72.7%), todas se encuentran por arriba del límite para lagos no contaminados; es decir, que están en un nivel transitorio superior al característico para cuerpos de agua no contaminados y que muestran evidencias de contaminación por plomo.

En cuanto a la literatura revisada para zinc, no se encontró en ella ningún dato sobre concentraciones que pudieran demostrar contaminación por este elemento y para este sustrato.

por otra parte, al hacer la comparación de estos resultados con los encontrados en otros ríos o lagos de diversas regiones del mundo y con otro estudio realizado en esa región⁴⁴ se puede decir que:

- Tanto para zinc como para plomo, las concentraciones más elevadas descritas en la literatura corresponden al Río Oker de Alemania del Oeste; en este río se llevan a cabo actividades mineras y a ésto se atribuyen los niveles de concentración tan elevados

- Las concentraciones de plomo y zinc encontradas en el Río Rhin también son elevadas en comparación con los resultados de este estudio. El Rhin fluye a través de la áreas más industrializadas de Europa central entre el Lago Constanza y el Mar del Norte y recoge los desechos de estas áreas; la concentración de plomo en los sedimentos de dicho río ha aumentado de 500 a más de 800 ppm⁸ (Véanse Gráficas 1 y 2).

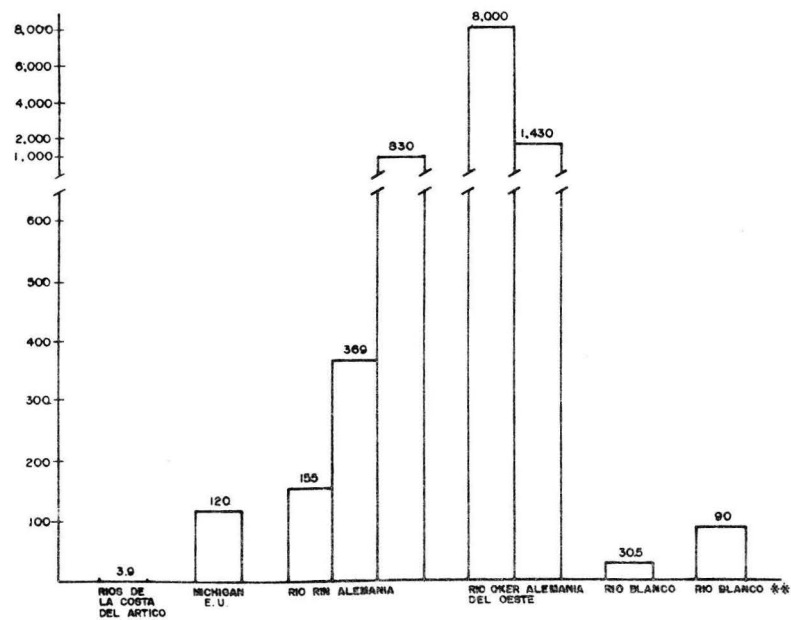
Sin embargo, debe hacerse notar que, a diferencia de estos ríos contaminados que no se utilizan para el riego ni para otros fines, el Río Blanco se sigue utilizando para ello. Esto es muy grave, ya que, si se continua la utilización de sus aguas para fines agrícolas, pesqueros y de abasto doméstico como hasta ahora se hace, ésto representa un peligro potencial a largo plazo para el ambiente y para la población de la zona.

Por lo que toca a las concentraciones encontradas por Alvarez, U.⁴⁴ en 1983 para esta misma región, en el caso de plomo y zinc estas concentraciones fueron inferiores a las obtenidas en este estudio. En primera instancia, ésto puede deberse a que este autor promedió los resultados de sus estaciones a lo largo del río (parte alta, media y baja; su número total de muestras fue de 12), mientras que los de este trabajo corresponden solamente a la parte conocida como alta.

Adicionalmente, las concentraciones promedio de Alvarez, U.⁴⁴ correspondientes sólo a la parte alta también fueron menores con respecto a las de esta investigación (Véase Tabla 23). El número de muestras para este caso corresponden a 8 muestras, mientras que los resultados de este trabajo a 22 como número total.

Gráfica 1

CONCENTRACIONES DE PLOMO EN SEDIMENTOS DE ALGUNOS LAGOS Y RIOS DEL MUNDO .



FUENTES :

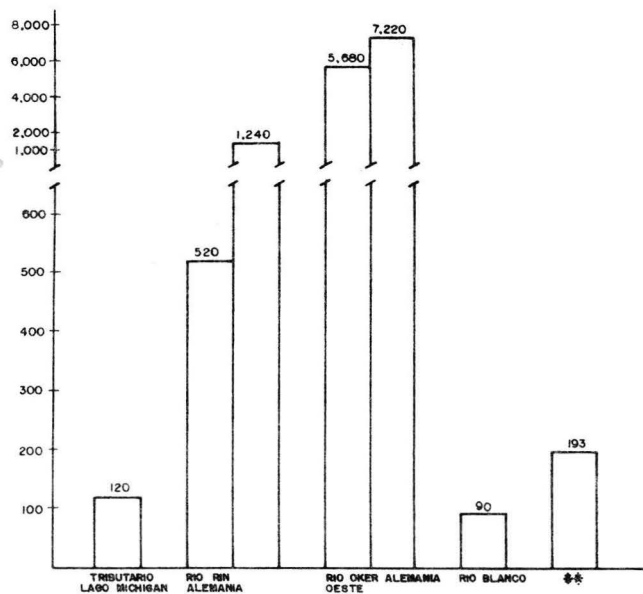
- a) Förstner, U. y Wittmann, G.T.W., (1979)
- b) Nriagu, J.O., (1978)
- c) Alvarez, U., (1983)

* µg/g (ppm.)

** Este estudio

Gráfica II

CONCENTRACIONES DE ZINC EN SEDIMENTOS DE ALGUNOS LAGOS Y RIOS DEL MUNDO*



FUENTES :

- a) Förstner, U. y Wittmann, G.T.W., (1979).
- b) Alvarez, U., (1983)

* $\mu\text{g/g}$ (ppm.)

** Este estudio

T A B L A 2 3

COMPARACION DE RESULTADOS DE SEDIMENTOS DE LA
PARTE ALTA DEL RIO BLANCO, VERACRUZ*

Elemento	Alvarez ^{4, 6}	Este Estudio
Plomo	35.16 ± 4.15	90.15 ± 50.53
Zinc	91.15 ± 18.59	193.10 ± 62.90

* µg/g de muestra seca

Además, dicho autor en sus análisis utiliza toda la muestra de sedimento sin tamizarla, mientras que con la técnica que aquí se describió para este sustrato se utilizaron tamices y así se eliminó la "interferencia del grano". Esto se debe a que el contenido de metales en el sedimento es una función de la distribución del tamaño de la partícula (área de superficie). Incluso, se han encontrado que en las partículas que pasan a través de la malla 80 (aproximadamente partículas menores a 180 µm) se elimina la dependencia entre el contenido de metales y el tamaño de las partículas. Así, si se utiliza esta porción del sedimento, el análisis con respecto al tipo de muestra (arcillas, arenas, y limos) se normaliza^{4, 6}.

Posiblemente esta diferente metodología y el período de colecta de las muestras hayan contribuido para que las concentraciones halladas por Alvarez, U.^{4, 6} (1983) fuesen bajas en relación con las de este estudio.

ORGANISMOS

1. Peces

Como ya se mencionó, los peces son el grupo taxonómico que más se ha estudiado en las pruebas de toxicidad de metales pesados²⁰, y ésto puede dar la pauta para conocer si son organismos indicadores de contaminación. Para este caso en particular, un bioindicador de metales pesados es quel organismo que tiene la capacidad de concentrar estos elementos tóxicos en mayor proporción que otros organismos y que pueden ser utilizados para conocer el grado de contaminación de cierto ecosistema. También sirven para conocer si se exceden los límites permisibles.

Con respecto a las concentraciones promedio para ambos metales, los valores para el juile (*Rhamdia guatemalensis*) fueron mayores a los encontrados para la tilapia (*Oreochromis aureus*). Esta diferencia se debe posiblemente al tipo de alimentación ya que el juile es un organismo detritívoro, mientras que la tilapia es un organismo omnívoro.

El valor de plomo más elevado para *Oreochromis aureus* fue de 4.05 µg/g y el más bajo fue de 1.09 ppm de muestra con base en el peso húmedo. Los resultados para esta misma especie para zinc fueron de 9.82 ppm y 4.88 ppm (límite superior e inferior, respectivamente).

Para *Rhamdia guatemalensis* los valores de plomo correspondieron a 0.69 ppm como la concentración más baja y 14.0 ppm como la más alta. El límite para zinc fue de 6.31 a 56.96 ppm de este elemento (inferior y superior, respectivamente).

Como lo mencionaron Wong et al en 1978, los valores de plomo en peces del Lago Huron (bahía de Toronto) en concentraciones superiores a 1.78 ppm de tejido muscular (carne) podían refle-

jar la contaminación local²⁰. Este valor es elevado, ya que peces de agua dulce del estado de Nueva York contenían menos de 1.00 ppm de plomo y muy pocos >2.00 ppm de este elemento. Además, el contenido de peces del estado de Oregon, en la mayoría de los casos, fue menor a 0.20 ppm y los peces de los Grandes Lagos tuvieron cantidades menores a 0.5 mg/kg de carne, independientemente de la localidad o la especie con la que se trabajó²⁰.

Por otra parte y como ya se había señalado en los antecedentes, aún las concentraciones subletales de plomo pueden dañar a las poblaciones de peces, por ejemplo; al reducir su crecimiento, el éxito reproductivo, etc²⁰ o bien, que lleguen a acumularlo en los órganos "blanco"²⁰. Incluso, en concentraciones de 10 µg/l de cloruro de plomo se ha visto que este metal produce deformidades letales y morfológicas en el embrión de trucha²². Otro de los efectos subletales en peces pueden ser cambios bioquímicos en sangre o eritrocitos²⁰. Además, Wier y Hine en 1970 describieron cambios en el comportamiento condicionado para el aprendizaje de la carpa dorada²⁰.

El valor de los peces del Lago Huron se tomó para comparar los resultados de este estudio y mostró que, para *Oreochromis aureus* el 62,5 % (5/8) de las muestras sobrepasa este límite (Véase Tabla 21). También, el 69,2 % (9/13) de las muestras de *Rhamdia guatemalensis* rebasó el límite antes mencionado. Esto confirma que estos peces se encuentran en una zona ya contaminada con plomo y que pueden reflejar el impacto ambiental que tiene dicho metal en ese ecosistema, aunado a que estos peces deben presentar los efectos subletales que ya se mencionaron.

Por lo que toca al zinc se puede mencionar que no se ha determinado aún un límite "seguro" que denote falta de contaminación, ya que todavía es necesaria mucha información acerca de la presencia de este elemento en este tipo de organismos y se desconoce hasta que punto deja de ser esencial para convertirse en tóxico.

Además, no hay que olvidar que se cree que el porcentaje y el nivel de acumulación de los metales pesados por los organismos acuáticos a partir de los sedimentos contaminados depende de diversos factores como la forma química y la concentración de los metales, el tamaño de la partícula y la agitación del sedimento, los hábitos alimenticios y las características fisiológicas de los organismos.

Independientemente de ello, en este trabajo no se puede hacer la comparación de la acumulación de metales pesados en los organismos, ya que la toma de muestra procede tanto de lugares como de fechas diferentes y si se realiza ésta se caería en la subjetividad.

Análisis detallados de diferentes tejidos y órganos en el pez *Platichthys flesus* han demostrado que los niveles de plomo en el músculo rara vez exceden el 20 % de las concentraciones encontradas en tejidos de hígado, corazón o riñón (aprox. 20-30 ppm) y las concentraciones más altas (38.5 a 43.6 ppm) se observaron en el cerebro²⁰.

Lo anterior demuestra que si se han encontrado elevadas concentraciones de metales en el tejido muscular de los peces de este estudio, es de esperarse que los órganos "blanco" contengan aún mayores concentraciones de estos elementos tóxicos y mostrar algún tipo de daño histopatológico.

Por otra parte, debido a que estos organismos se consumen en la región como alimento y de acuerdo a los límites de ingestión diaria permisibles del Reino Unido (1 mg/kg), se puede mencionar que estos organismos no son recomendables para el consumo humano, ya que sus concentraciones exceden de 2 o hasta casi 4 veces este límite (en promedio), aunque hubo organismos que lo excedieron hasta 14 veces.

Por lo tanto, estos organismos pueden llegar a causar problemas a largo plazo a las personas que los consuman regularmente, ya que estos peces pueden constituir una fuente importante de estos elementos tóxicos.

2. Plantas

La información sobre el contenido de metales pesados en plantas vasculares sumergidas (como es este caso) en algunas aguas "ricas" en estos elementos es escasa, a pesar de que hay muchos ejemplos de angiospermas terrestres que se han asociado a suelos con elevadas cantidades de metales tóxicos²⁰. Por esto, entre otras causas, en la actualidad se están llevando a cabo este tipo de estudios en diversos países.

Además, como ya se señaló, se han observado efectos deletéreos del zinc en cultivos de avena, rábano y trébol en concentraciones de 200 mg/g de suelo. Uno de los cultivos más susceptibles es la lechuga porque se inhibe su crecimiento a los 60 mg/g³⁵. Estos datos son muy importantes ya que las aguas del Río Blanco se utilizan para el Distrito de Riego 82 y esto puede causar que el zinc se acumule en los suelos agrícolas. Aunque esta actividad está cada vez más restringida debido a la renuencia de los agricultores que consideran un alto grado de contaminación en esas aguas⁵¹.

Los datos encontrados por Stawinski (1982) en México para el lirio acuático *Eichhornia crassipes* son de 5.5 ppm de planta seca⁵²; En relación con los resultados de este trabajo, los datos para ambas especies son mayores. Cabe aclarar que este autor trabajó en la parte alta del Rfo Lerma que también se encuentra en una zona altamente industrializada.

Además, estos organismos pertenecen a la misma familia que el lirio acuático y esta especie se ha utilizado como un buen indicador de la contaminación por metales pesados; es decir que, tomando en cuenta los resultados analizados aquí, estas plantas sí pueden ayudar al conocimiento sobre el estado ambiental de dicho ecosistema acuático, a pesar de las limitaciones ya descritas.

Como información adicional, cabe señalar que en algunos trabajos científicos sólo hay observaciones sobre las plantas presentes en los sitios de colecta, la composición de las especies, la abundancia, etc. Sin embargo, en la mayoría de los estudios es imposible tratar de relacionar la composición de especies o su abundancia con los niveles de concentración de zinc, ya que no se puede estar seguro que cierto efecto observado sólo se deba al zinc y no a otros metales u otros factores potencialmente tóxicos³⁷ y, mucho menos, si existen efectos sinérgicos o antagónicos.

Sin embargo, los datos de Adams et al en 1973 indican que seis de las nueve especies estudiadas de plantas acuáticas (*Potamogeton illinoensis*, *Elodea canadensis*, *E. muttallii*, *Vallisneria americana*, *Eleocharis acicularis* y *Myriophyllum exalbescens*) mostraron una elevada variación en los sitios con elevadas cantidades de zinc, ya que su contenido fluctuó de 50

a 100 μg de este elemento³⁷. Con respecto a los resultados de este estudio para zinc en plantas, los datos se encuentran en el mismo nivel que los hallados por Adams et al (para *Heteranthera reniformis* con 74.18 $\mu\text{g/g}$ y para *Pontederia rotundifolia* de 63.93 $\mu\text{g/g}$), por lo que estas plantas también pueden servir como indicadores ambientales de las concentraciones de zinc, ya que pueden tolerar elevadas concentraciones de dicho elemento.

No obstante, es importante recalcar que existen otros factores que pueden modificar en forma drástica las condiciones ecológicas o el hábitat de estas plantas, las que inclusive pueden llegar a desaparecerlas como ya sucedió con *Pontederia rotundifolia*, L. (flor de agua)⁵³ en gran parte del Valle de México, debido al desarrollo de los centros urbanos y con *Heteranthera limosa* (especie del mismo género de la estudiada en esta investigación) que se encuentra en peligro de desaparición en dicho Valle⁵⁴.

Discusion general

Como se puede apreciar en las Tablas 14, 15 y 16 los resultados del análisis de recuperación para los diferentes sustratos con los que se trabajó demuestran que los análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica reflejan las concentraciones de las muestras y que no se trata de contaminación durante el procesamiento ni a otro tipo de factores. Igualmente, estos resultados demuestran la eficiencia del método que fue por arriba del 95 %.

Por otra parte, se utilizó un blanco para cada análisis y las muestras se analizaron por duplicado; así los resultados que aquí se presentan se refieren al promedio de dichos análisis.

En un ecosistema dulceacuícola, los metales pesados pueden provenir de diversas fuentes, ya sea por el arrastre de los ríos u otros aportes, a través de la atmósfera, etc. Una vez en estos hábitat, estos elementos se pueden unir a la materia particulada y/o a la biomasa muerta (plantas, peces, microorganismos, etc.) y llegan a asentarse en el fondo; de ahí, los metales tóxicos entran a los sedimentos. Esto promueve que el contenido de metales disminuya de una manera considerable en el agua⁵⁴ y que, por factores físicos, químicos, etc., éstos puedan bioconcentrarlos. También, se puede llevar a cabo la biomagnificación a través de las cadenas alimenticias. Lo anterior trata de esquematizar en una forma somera el transporte de los metales pesados en un hábitat acuático (Véase Fig 1).

Por lo anterior cabe resaltar que, siempre existirá una relación entre los sedimentos, plantas y los peces y las concentraciones de metales pesados; por lo que toca a este trabajo es difícil poder evaluar los factores de concentración de un nivel trófico a otro y relacionar las concentraciones de estos elementos en los sedimentos y las concentraciones en los organismos, ya que las fecha de colecta de los sedimentos y los lugares para ambos sustratos fueron diferentes.

También, cabe mencionar que, estudios realizados desde 1974 por la SARH en esta área de estudio han mencionado que existe contaminación por sólidos suspendidos que son arrojados por las industrias y los asentamientos humanos. Esto ha propiciado que en la Presa Tuxpango se lleguen a formar condiciones anaeróbicas en

algunas zonas del vaso, lo cual se corroboró por la presencia de gas (ácido sulfídrico, H_2S). También la materia flotante contribuye a la baja concentración de oxígeno disuelto. Por lo que respecta al plancton, la presencia del género dominante Navícula denota la entrada de aguas residuales domésticas e industriales ⁵¹.

En algunas ocasiones con la apertura de las compuertas de la Presa se ha ocasionado, aguas abajo, que la concentración de lodos llegue hasta valores tan elevados como 64.3 g/l ⁵¹.

Lo anterior ha causado la muerte de peces en elevados porcentajes, de estos estudios se desprende que las descargas al Río Blanco en su parte alta se deben en un 83 % a las industrias y el 17 % restante a las descargas municipales ⁵¹.

Independientemente de lo anterior, en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados en un ecosistema dulceacuático existen algunas interrogantes que aún no se resuelven como: ¿Cuáles son los mecanismos de biometilación del plomo en los sedimentos?, ¿Cuáles son los efectos cuantitativos de la temperatura, el potencial redox, el pH y otros factores químicos y físicos sobre la regeneración de los metales a partir de los sedimentos?, ¿Qué papel tienen las bacterias en el ciclo ecológico del plomo y otros metales?. etc.

También se conoce muy poco acerca de la transferencia de los metales a lo largo de los niveles tróficos. Algunos metales, como el mercurio, se sabe que se concentran en cada uno de estos niveles. Sin embargo, otros metales como el plomo y el zinc se ha notado que disminuyen sus concentraciones por unidad de masa al aumentar en los niveles tróficos de las cadenas alimenticias marinas²⁰; Driefmeyer y Odum en 1975 mostraron que el plomo tendía a disminuir marcadamente al aumentar de nivel trófico tanto en cadenas alimenticias detritívoras como herbívoras en una laguna dragada²⁰.

Por otra parte, los peces que aquí se analizaron si pueden servir como organismos indicadores de contaminación siempre y cuando existan límites conocidos y aceptados que permitan distinguir un sitio no contaminado de otro contaminado y que estos límites se relacionen con las concentraciones de ingestión diarias permitidas para el consumo humano de los elementos en estudio.

Por lo referente a las plantas, con los resultados obtenidos se puede decir que las especies elegidas para este estudio si pueden servir como indicadores de contaminación; Sin embargo, se recomienda aumentar el número de muestras y los sitios de muestreo, de tal modo que se puedan relacionar más ampliamente los resultados obtenidos para plantas y sedimentos.

Además, con respecto a los resultados en este estudio se puede decir que son elevados para todos los sustratos, y que las concentraciones encontradas corresponden a las que son representativas de lugares contaminados por desechos industriales y urbanos. No obstante, esto denota el daño irreparable al que se enfrentará en poco tiempo este ecosistema y toda la región sino se toman las medidas correctivas necesarias.

En síntesis, se puede decir que el Río Blanco es una zona contaminada por metales pesados en los diversos sustratos y han empezado a causar problemas al ambiente y/o a los organismos de esta zona.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por todo lo expuesto en este trabajo se puede concluir que:

- Las concentraciones de plomo y zinc en los sedimentos representan un peligro potencial a largo plazo para los organismos de la zona que es regada por el Río Blanco y los lugares adyacentes del Estado de Veracruz.
- Los niveles actuales de concentración de estos metales en peces son representativos de lugares contaminados.
- Los peces de esta zona no se recomiendan para el consumo humano debido a que sobrepasan los límites permisibles para su ingestión.
- Las concentraciones de estos elementos tóxicos en plantas características de este ecosistema son elevadas y corresponden a una zona contaminada por industrias.
- La zona del Río Blanco, sobre todo en su parte alta, se encuentra contaminada con metales pesados por el gran asentamiento de fábricas.

Tomando en cuenta los riesgos que representa este tipo de elementos para la población humana y para el equilibrio ecológico de la zona y debido a su permanencia en el ambiente, su capacidad para dispersarse y bioacumularse, sus efectos tóxicos, etc., se consideró igualmente, necesario hacer las siguientes recomendaciones:

- En primera instancia, se recomienda realizar más investigaciones de este tipo, puesto que la zona no ha sido estudiada con profundidad.

- Se recomienda igualmente, aumentar el número de muestras y los sitios de colecta para los sedimentos, peces plantas y otro tipo de organismos.
- Se deben iniciar estudios en la zona agrícola en donde se utilizan las aguas del Río Blanco para conocer la transferencia de los metales pesados hacia los suelos y los cultivos de dicha zona y del Distrito de Riego 82.
- Es urgente realizar estudios en la zona pesquera del Complejo Lagunar de Alvarado, Ver. para evaluar el impacto que tienen los aportes industriales y municipales de estos elementos sobre las especies que se explotan comercialmente en esa zona y conocer la repercusión económica que ésto tiene. Un estudio sobre este último punto se está llevando a cabo por parte del INIREB como resultado directo del trabajo que aquí se presenta.
- Se tienen que realizar estudios toxicológicos para conocer cuál es el papel que tiene cada elemento y para determinar los efectos sinérgicos o antagónicos que puedan existir entre estos metales pesados y otros más.
- Es necesario indicar a las diversas autoridades responsables en el ámbito estatal y federal que se requiere de plantas de tratamiento de desechos en las industrias asentadas a lo largo del Río Blanco, sobre todo antes de la Presa Tuxpango.
- Aunado al punto anterior, señalar a dichas autoridades que se requiere definir y fijar las condiciones de descarga a los diferentes cuerpos emisores de aguas contaminadas.

- Para completar los estudios de zinc, se recomienda localizar en la zona la presencia de algas de los géneros *Cladophora* o *Strigeoclonium* como indicadores de los efectos biológicos por zinc en medios acuáticos.

Por último, es muy importante recordar y entender la relación que siempre ha existido entre el medio ambiente y el hombre; relación que no se puede desligar y que a últimas fechas se ha olvidado por completo, ya que lo que le hagamos al ambiente tarde o temprano nos repercutirá a todos de una manera determinante y adversa.

Falta página

N° 129

Cloruro de plomo	$PbCl_2$
CL_{50}	Concentración letal media, cantidad a la cual una sustancia puede causar la muerte a la mitad de la población.
Hidróxido de zinc	$Zn(OH)_2$
Horizonte A	Se denomina en edafología al sustrato que se encuentra más cerca de la superficie y generalmente adquiere un color oscuro debido a la acumulación de materia orgánica.
Horizonte B	Estrato del suelo abajo del horizonte A, en el cual se acumulan las partículas coloidales. Entre las principales se encuentran las arcillas, materia orgánica y óxidos de fierro y aluminio.
Horizonte C	Zona con material no consolidado; se encuentra abajo del horizonte B.
Metal pesado	Todo aquel elemento químico que tiene una densidad mayor a los no metales y cuyo valor exceda a los 5.0 g/cm^3 .
Oligoelemento	Elementos químicos necesarios para el buen desarrollo y funcionamiento normal de un organismo y que se requieran sólo en cantidades ínfimas, normalmente de menos del 0.05 % de la masa total del organismo. También, se les llama microelementos, elementos traza o microconstituyentes.

ppm	Abreviatura de una parte por millón, equivale a 1 mg/kg, 1 µg/g, 1 g/t ó 10 ⁻⁴ %.
ppb	Abreviatura de una parte por billón, equivale a 1 ng/g en la clasificación inglesa.
Ba	Abreviatura del elemento bario
Ca	Abreviatura del elemento calcio
Cd	Abreviatura del elemento Cadmio
Co	Abreviatura del elemento cobalto
Cu	Abreviatura del elemento cobre
Mn	Abreviatura del elemento manganeso
Mg	Abreviatura del elemento magnesio
Ni	Abreviatura del elemento níquel
Pb	Abreviatura del elemento plomo
Sr	Abreviatura del elemento estroncio
Va	Abreviatura del elemento vanadio
Zn	Abreviatura del elemento zinc

VII. BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. Lambou, V. y Lim, B., "Hazards of Lead in the Environment with Particular Reference to the Aquatic Environment", Federal Water Quality Administration, p. 1, 23, Washington, D.C. (1976).
2. Purves, D., "Trace-Element Contamination of the Environment", Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam, p. 12-19 (1977).
3. Hutzinger, O., "The Handbook of Environmental Chemistry", 1: 46, 191, 193, Springer-Verlag, Berlin (1980).
4. OPS/OMS, "Riesgos del Ambiente Humano para la Salud", Pub. Cientif. # 388, p. 24, 101-105, 122, Ginebra (1979).
5. GESAMP, "Review of Harmful Substances", Reports and Studies, 2:15-39, Ginebra (1976).
6. Kirk, R.E. y Othmer, D., "Enciclopedia de Tecnología Química", 1a. ed., UTEHA, 4:583-584 y 12:708-711, México (1962).
7. Tsuchiya, K., "Lead", In: Handbook on the Toxicology of Metals, Friberg, L. ed., Elsevier, p. 451-184, Amsterdam (1979).
8. Nriagu, J.O., "The Biogeochemistry of Lead on the Environment, Part A, Ecological Cycles", 1a. ed., Elsevier, p. 24, 73, 137, 143, Amsterdam (1978).
9. World Bureau of Metal Statistics, "World Metal Statistics". 36 (10):69, 103, Londres (1983).
10. Instituto Mexicano del Zinc, Plomo y Coproductos, A.C., Boletín Informativo, México, (Ene.-Jun. 1983)
11. WHO/DANIDA, "WHO Training Course on Coastal Pollution Control". 3:591, Copenhage (1978).

12. García, M.M.R., "Determinación del plomo en el cabello de niños mexicanos", Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Puebla, p.16, Puebla (1977),
13. OPS/OMS, "Criterios de Salud Ambiental, #3, Plomo", Pub. Científ. # 388, p. 24, 101-105, 122, Ginebra (1979).
14. Baldi, F., Bargali, R. y Renzoni, A., "The Distribution of Mercury in the Superficial Sediments of the Northern Tyrrhenian Sea", Marine Poll. Bull., 10(10): 301-303 (1979).
15. Cros, M.LI. y García, R.J., "Contenido de mercurio de los sedimentos marinos cercanos a la desembocadura del Rfo Besós y de un colector de aguas residuales de Barcelona", Inv. Pesq., 44(2): 331-336 (1980).
16. Shiber, J.G., "Metal Concentrations in Marine Sediments from Lebanon", Water, Air and Soil Poll. 13: 35-43 (1980).
17. Harding, J.P.C. y Whitton, B.A., "Zinc Cadmium and Lead in Water, Sediments and Submerged Plants of the Derwent Reservoir, Northern England", Water Research, 12: 307-316 (1978).
18. BerryLions, W.M. Y Fitzgerald, W.M.F., "Trace Metal Fluxes to Nearshore Long Inland Sound Sediments", Marine Poll. Bull. 11(6): 157-161 (1980).
19. US. EPA, "Lead, Ambient Water Quality Criteria", Criteria and Standards Division, Office of Water Planning and Standards, p. B-1, Washington, D.C.
20. Wong, P.T.S., Silverberg, B.A., Chaud, Y.K. y Hodson, P.V., "Lead and the Aquatic Biota", In: Biogeochemistry of Lead in the Environment. Part. B Biological Effects, Nriagu, J.O. ed., 1a. ed., Elsevier, p. 279-341, Amsterdam (1978).

21. Forbes, R.M. y Sanderson G.C., "Lead Toxicity in Domestic Animals and Wildlife", In: Biogeochemistry of Lead in the Environment. Part B. Biological Effects., Nriagu, J.O., ed 1a. ed., Elsevier, p. 225-277, Amsterdam (1978).
22. Tornabene, T.G., Gale, N.L., Koeppe, D.E., Zimdahl, R.L. y Forbes, R.M., "Effects on Microorganisms, Plantas and Animals", In: Lead in the Environment, Boggess, W.R., ed., 1a. ed., Castle House Pub., p. 181-193, Austin (1979).
23. Doelman, P., "Lead and Terrestrial Microbiota", In: Biogeochemistry of Lead in the Environment, Part B. Biological Effects, Nriagu, J.O., ed, 1a. ed., Elsevier, p. 343-353, Amsterdam (1978).
24. Peterson, P.J., "Lead and Vegetation", In: Biogeochemistry of Lead in the Environment. Part B. Biological Effects, Nriagu, J.O., ed., 1a. ed. Elsevier, p. 355-383, Amsterdam (1978).
25. Mahaffey, K.R., "Environmental Exposure to Lead", In: Biogeochemistry of Lead in the Environment. Part B. Biological Effects, Nriagu, J.O., ed., 1a. ed., Elsevier, p. 7-36, Amsterdam (1978).
26. Finkel, A.L., Hamilton, A. y Hardy, H.L., "Hamilton and Hardy's Industrial Toxicology", 4a. ed., John Wright, PSG Inc., p. 68-76, 142, Boston (1983).
27. Doull, J., ed., "Casarett and Doull's Toxicology, The Basic Science of Poisons", 2a. ed., Macmillan Pub. Co., p.415-421, Nueva York (1980).
28. Friberg, L., Nordberg, G.F. y Vouk, V.B., "Handbook on the Toxicology of Metals". Elsevier, p. 451-484, Amsterdam (1979).

29. Sax, I.N., "Dangerous Properties of Industrial Materials", 5a. ed., Van Nostrand Reinhold, p. 766-767, 1101, Nueva York (1979).
30. Barry, P.S.I., "Distribution and Storage of Lead in Human Tissues", In: Biogeochemistry of Lead in the Environment. Part B. Biological Effects, Nriagu, J.O., ed., 1a. ed., Elsevier, p. 97-105. Amsterdam (1978).
31. Posner, H.S., Damstra, T. y Nriagu, J.O., "Human Health Effects of Lead", In: Biogeochemistry of Lead in the Environment. Part B. Biological Effects, Nriagu, J.O. ed., 1a. ed., Elsevier, p. 173-223, Amsterdam (1978).
32. Odenbro, A., Greenberg, N., Vroegh, K., Bederka, J. y Kihlström, J-E., "Functional Disturbances in Lead-exposed children", AMBIO 12(1): 40-44 (1983).
33. David, J.O., Hoffman, S.P., Clark, J., Grad, G. y Suerd, J., "The Relationships of Hiperactivity to Moderately Elevated Lead Levels", Archives of Environmental Health, 38(6): 341-359 (1983).
34. Giordano, P.M. y Mortvedt, J.J., "Zinc Uptake and Accumulation by Agricultural Crops", In: Zinc in the Environment, Part 2, Health Effects, Nriagu, J.O. ed., 1a. ed., Wiley-Interscience Pub., p. 401-414, Nueva York (1980).
35. US-EPA, "Zinc, Ambient Water Quality Criteria", Criteria and Standards Division, Office of Water Planning and Standards, Washington, D.C.
36. Elinder, C.G. y Piscator, M., "Zinc", In: Handbook on the Toxicology of Metals, Friberg, ed., Elsevier, p. 674-685, Amsterdam (1979).

37. Whitton B.A., "Zinc and Plants in Rivers and Streams", In: Zinc in the Environment. Part 2. Health Effects, Nriagu, J.O., ed., 1a. ed., Wiley-Interscience Pub., p. 364-400, Nueva York (1980).
38. Eisler, R., "Accumulation of Zinc by Marine Biota", In: Zinc in the Environment. Part 2. Health Effects, Nriagu, J.O. ed., 1a. ed., Wiley-Interscience Pub., p.259-351, Nueva York (1980).
39. Pagenkopf, G.K., "Zinc Speciation and Toxicity to Fish", In: Zinc in the Environment. Part 2. Health Effects, Nriagu, J. O., 1a. ed., Wiley-Interscience Pub., p. 353-361, Nueva York (1980).
40. Magaña, M.P., "Bioensayos preliminares para evaluar la toxicidad de las descargas industriales (papelera, tenería, productos químicos e ingenios) con los peces *Cichlasoma gadevii* y *Sarotherodon mossambicus* en la Cuenca del Río Blanco", Tesis Profesional, UNAM, p. 11-12, 14, 19, México (1981).
41. Guerrero, C.R., "Fenómeno de Afectación de la Calidad de las aguas del Río Blanco por la Apertura de las Compuertas de la Presa Tuxpango", Memorias del XIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria, p.6, México (1974).
42. Ahuja, O., Comunicación personal (1981).
43. Weiser, T., "Contaminación del Río Blanco y azolvamiento en plantas hidroeléctricas por los desechos sólidos", Diario Uno más Uno, Lunes 30 de Abril de 1984.
44. Alvarez, R.U., "Distribución de Metales Pesados en Sedimentos del Río Blanco, Veracruz", Tesis de Maestría, UNAM, p. 46-46, México (1983).

45. Förstner, U. y Wittmann, G.T.W., "Metal Pollution in the Aquatic Environment", Springer-Verlag, p. 112-, 302, Berlin (1979).
46. Aldana, P., Albert, L., Dominguez, J. y Martínez, M., "Manual para la Determinación de Metales en Muestras Ambientales", INIREB, p. 164-170, Xalapa (1981).
47. Stratton, A. et al., "Manual de Prácticas de Espectrofotometría de Absorción Atómica", ENCB-IPN, México (1981).
48. Cronquist, A., "How to Know the Seed Plants", The Pictured Key Nature Series, Nueva York (1979).
49. Arredondo, F.J.L. y Guzmán, A.M., "Situación Taxonómica de la Tribu Tilapiini (Pisces Cichlidae), con énfasis en las especies introducidas en México", Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, (en prensa).
50. Alvarez, J., "Claves para la determinación de especies en los peces de las aguas continentales mexicanas", Dirección General de Pesca e Industrias Conexas, Secretaría de Marina, México (1950).
51. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Distrito de Control de Calidad del Agua en el Alto Río Blanco, Ver., CIFSA Consultores.
52. Stawinski, T., "Metales tóxicos en el lfrío acuático", Resúmenes del II Congreso sobre Problemas Ambientales de México, ENCB-IPN, p. 52, México (1982).
53. Sanchez, S.O., "La Flora del Valle de México", 4a. ed., ed. Herrero, S.A., p. 80-90, México (1978).
54. Rzedowski, J. y Rzedowski, G., "Flora Fanerogámica del Valle de México", CECSA, 1:43-44, México (1979).

55. Richard, D.T. y Nriagu, J.O., "Aqueous Environmental Chemistry of Lead", In: Biogeochemistry of Lead in the Environment. Part A. Ecological Cycles, Nriagu, J.O. ed., 1a. ed., Elsevier, p. 219-284, Amsterdam (1978).