





## **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 está 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.

## INDICE GENERAL

INTRODUCCION	1
GENERALIDADES	3
JUSTIFICACION	55
OBJETIVOS	57
PARTE EXPERIMENTAL	58
RESULTADOS Y DISCUSION	81
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	102
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	104
ANEXOS	113

## INTRODUCCION

La tecnología ha brindado muchos beneficios a la humanidad, entre ellos la mayor disponibilidad de alimentos, aunque para lograrlo se han removido inmensas cantidades de metales de la corteza terrestre. Nuestro interés reside en la extensa distribución de plomo ocasionada por tal motivo en nuestro medio ambiente; especialmente en la forma en que éste se incorpora y afecta la salud y bienestar del hombre a largo plazo a través de su introducción en la cadena alimenticia. Si bien los compuestos del plomo pueden cambiar de estado y por tanto su toxicidad relativa, son generalmente tóxicos en todas sus formas (30).

En fechas recientes, el problema de la contaminación ambiental ha sido preocupación en todo el mundo, ya que las concentraciones de compuestos tóxicos sobrepasan enormemente los niveles naturales, incluso en lugares alejados de las ciudades. Diversos países se han visto obligados a desarrollar un complejo sistema de control capaz de permitirles conservar el equilibrio ecológico y la salud de sus habitantes (45, 53).

Existe un interés muy difundido sobre los efectos peligrosos de los diferentes contaminantes atmosféricos sobre la salud humana. El plomo es uno de los contaminantes y el metal pesado que ha

recibido mayor atención por los numerosos problemas que plantea tanto por la multiplicidad de vías de entrada en el organismo humano como por su elevada toxicidad y amplio espectro de órganos y sistemas afectados en el hombre. El interés biológico sobre el plomo se ha centrado en sus propiedades como un veneno acumulativo altamente tóxico en el hombre (55, 71).

Hay evidencias de que algunas poblaciones humanas muestran cargas corporales de plomo significativas, las cuales hacen esperar efectos adversos, aun cuando no son de una concentración lo suficientemente elevada como para producir síntomas de envenenamiento por plomo. Este es el caso de los residentes de la Ciudad de México, tal como lo demuestran los estudios realizados en este aspecto durante los últimos años. Las investigaciones muestran el impacto de la elevada contaminación ambiental predominante en nuestra ciudad, pues los niveles de plomo sanguíneo de la población son generalmente más altos que aquellos publicados para grandes ciudades europeas, asiáticas y norteamericanas (60, 61).

El 67% del plomo en la sangre de la mayoría de los habitantes adultos de las ciudades deriva de los alimentos, el 30% del agua y el 18% del aire. Este último es el principal contribuyente del contenido de plomo en alimentos debido a que contamina las superficies y de este modo se introduce en la cadena alimenticia. La fuente más importante de contaminación por plomo en el aire son los residuos de plomo emitidos a la atmósfera originados por los vehículos automotores que utilizan gasolina con plomo (53).

## GENERALIDADES

### I PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL PLOMO Y ALGUNOS DE SUS PRINCIPALES COMPUESTOS

El plomo es el elemento número 82, colocado en el grupo IV B de la tabla periódica. Sus constantes físicas se presentan en el cuadro 1. Este metal de color azul grisáceo es blando, maleable, dúctil, flexible, elástico y muy poco tenaz.

El plomo es un pobre conductor del calor y la electricidad. Tiene cuatro isótopos naturales, por orden de abundancia: 208, 207, 206 y 204. Es muy soluble en ácido nítrico diluido y en ácido sulfúrico concentrado caliente, gracias a lo cual forma sales de ion plomo bivalente. El metal forma dos series de compuestos, los "plumbosos" en los que es bivalente y aquellos en donde es tetravalente, los "plúmbicos". En compuestos inorgánicos el plomo usualmente se encuentra en estado de oxidación +2. La mayoría de las sales de plomo, óxidos de plomo y sulfuro de plomo son ligeramente solubles en agua, con excepción del acetato, el clorato y el nitrato de plomo y, en menos extensión el cloruro de plomo.

Algunas de las sales formadas con ácidos orgánicos por ejemplo, el oxalato de plomo, también son insolubles.

CUADRO 1  
Constantes Físicas del Plomo

Símbolo químico	Pb
Peso atómico	207.21
Estados de oxidación	0, +2, +4
Gravedad específica	11.34
Temperatura de fusión	327.5 °C
Temperatura de ebullición	1725.0 °C
Calor específico	0.0305 cal/gr°C
Volumen atómico	17.9
Presión de vapor	0.1 mmHg a 80°C

Algunos compuestos del plomo son de gran importancia tecnológica. Cuando es calentado al aire, se produce un monóxido de plomo, PbO. El blanco o carbonato de plomo básico,  $(\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2)$ , es preparado comercialmente por la acción de aire, CO y vapor de ácido acético sobre el plomo metálico. Otro compuesto coloreado es el cromato de plomo amarillo.

El plomo tiene habilidad para formar aleaciones con otros metales. Algunas de ellas, tal como la soldadura hecha con estaño,

son de considerable importancia industrial. Anteriormente el peltre contenía 20% o más de soldadura Pb-Sn, pero los peltres modernos contienen cantidades más pequeñas, si es que llegan a tener algo de plomo.

Algunos compuestos orgánicos de plomo son de gran significancia económica, principalmente aquellos con una amplia utilización en la industria de aditivos para combustibles. El tetraetilo de plomo,  $Pb(C_2H_5)_4$ , es un líquido incoloro a temperatura ambiente con un punto de ebullición de  $200^\circ C$  e insoluble en agua fría. Tiene propiedades antidetonantes, y es preparado de la reacción de cloruro de etilo,  $C_2H_5Cl$ , con una aleación de Pb-Na. El tetrametilo de plomo,  $Pb(CH_3)_4$ , es también un líquido incoloro a temperatura normal, con un punto de ebullición de  $110^\circ C$  e insoluble también en agua fría. Ambos compuestos organoplumados se descomponen a su temperatura de ebullición o por abajo de la misma. El análisis de los gases provenientes del escape de vehículos motorizados pone de manifiesto que el tetrametilo es más termoestable que el tetraetilo (21). La escala de temperaturas de ebullición en los hidrocarburos de la gasolina va de 20 a  $200^\circ C$ ; por tanto, la evaporación de la gasolina tiende a concentrar ambos derivados plúmbicos en el residuo líquido, pues tienen una volatilidad inferior a la de la mayoría de los componentes de la gasolina. Asimismo, ambos compuestos alquilo se descomponen por la acción de la luz ultravioleta y por microelementos químicos presentes en el aire como halógenos, ácidos o agentes oxidantes (58).

Desde una perspectiva biológica, los alimentos sirven primariamente como una fuente de nutrimentos, pero solamente una porción de los compuestos químicos presentes en ellos cumplen dicho papel; incluso algunos de los nutrientes poseen propiedades tóxicas bien conocidas, si son consumidos en exceso. La mayoría de los alimentos contienen sustancias químicas tóxicas, aunque las concentraciones en que se encuentran son a menudo tan bajas que no representan algún peligro (21, 71).

### 2.1 Contaminación en alimentos y elementos traza

El término contaminante alimenticio se refiere a aquellos materiales adicionados accidentalmente, antes, durante o después del procesamiento de un alimento. Los elementos traza son contaminantes muy frecuentes en todos los alimentos (54).

Desde el punto de vista del análisis de los alimentos, el término "elemento traza" se usa para nombrar a aquellos elementos inorgánicos, en su mayoría metales, contenidos en los alimentos en cantidades normalmente por abajo de 50 ppm y que tienen importancia toxicológica o nutricional.

Existe una clasificación de elementos traza de acuerdo a sus

efectos sobre el organismo humano: 1) elementos nutritivos esenciales, ejemplo de ellos son Co, Cu, Fe, I, Mn y Zn; 2) elementos no tóxicos ni nutritivos, entre ellos tenemos Al, B, Cr, Ni y Sn de los cuales no se sabe que produzcan efectos adversos cuando están presentes en cantidades menores de 100 ppm; y 3) elementos tóxicos no nutritivos como son Ag, Sb, Cd, F, Pb, Hg y Se, los cuales producen efectos deteriorativos cuando se encuentran presentes en la dieta en cantidades inferiores a 100 ppm (54).

La contaminación de los alimentos por metales del grupo 3 de la clasificación anterior, es probablemente la más seria de las contaminaciones alimenticias. La diferencia más obvia entre los metales tóxicos y los venenos orgánicos, radica en que el organismo no escapa de transformar los últimos en compuestos inocuos mediante procesos metabólicos tendientes a destruir estos venenos; incluso el DDT es transformado en una forma menos tóxica, aún cuando esto puede llevar años en ciertas circunstancias. En cambio el Pb, Cd, Hg, etc., pueden ejercer efectos tóxicos acumulativos en los individuos que los ingieren.

## 2.2 Contaminación alimenticia por plomo

El plomo es un ingrediente normal de nuestra dieta, lo queramos o no. Es un elemento ampliamente difundido en la naturaleza y se encuentra invariablemente en la atmósfera y por ende en los a-

limentos, ya sea como componente natural o bien como contaminante de los mismos, de tal forma que los alimentos del hombre contiene siempre trazas de plomo en mayor o menor cuantía.

#### 2.2.1 Contenido de plomo en los alimentos más comunes de la dieta

La importancia de los alimentos en la exposición del hombre al plomo se viene estudiando desde hace varios años. El primer estudio fue realizado por Kehoe y colaboradores en 1933. Ellos encontraron plomo en todos los productos alimenticios consumidos tanto por sociedades primitivas como por sociedades industriales. De una manera general puede decirse que la concentración de plomo en distintos productos alimenticios varía considerablemente; de hecho se observa tanta variación entre diferentes muestras de un mismo alimento como entre distintos alimentos (34).

Generalmente, la mayor parte de los alimentos contienen menos de 1 ppm de plomo, excepto algunas hortalizas, mariscos, vino y productos conservados en latas soldadas con plomo o en recipientes de cerámica con barniz de plomo. En el cuadro 2 se resumen los datos del contenido de plomo de las principales fuentes dietéticas del hombre. Similares datos han sido informados en varios países. Cantidades detectables de plomo son evidentes en la mayoría de los alimentos. También se observa que ciertos alimentos pueden contribuir más que otros a la ingesta total (53).

CUADRO 2  
Concentraciones de Plomo en los Principales  
Alimentos de la Dieta

ALIMENTO	CONCENTRACION DE PLOMO (ppm)	
	MEDIA	INTERVALO
Cereales y granos	0.40	0.00-01.39
Fruta fresca	0.12	0.01-00.76
Fruta enlatado	0.40	0.04-10.00
Carnes	0.20	0.00-00.37
Pescado	0.50	0.20-02.50
Mariscos (con excepción de los ostiones)	0.50	0.20-02.50
Ostiones	0.47	-
Vegetales frescos	0.22	0.01-01.50
Vegetales enlatados	0.24	0.01-01.50
Leche fresca de vaca	-	0.005-0.012
Leche evaporada (Con soldadura de plomo)	-	0.30-02.30

La concentración de plomo en el agua potable es, en general, inferior a 10 mcg/l, pero en zonas donde abundan las aguas blandas (pobres en calcio y magnesio) y, al mismo tiempo, se utilizan cañerías de plomo y tanques revestidos de plomo, la concentración puede llegar a 2 y 3 ppm (30, 58).

### 2.2.2 Fuentes de plomo en alimentos

Las fuentes de contaminación por plomo en los alimentos son múltiples y variadas como consecuencia de la gran utilización de este metal en distintas actividades industriales. No debe olvidarse que cantidades pequeñas de plomo ocurren naturalmente en muchos alimentos (47).

Al parecer, la más significativa vía de entrada del plomo en la cadena alimentaria es el depósito aéreo de los residuos de plomo atmosférico. Se depositan tanto por vía seca como por vía húmeda (lluvia) en los ecosistemas terrestres y acuáticos, haciendo de la alimentación la fuente más común de entrada del plomo al organismo. Así las cosechas de vegetales y cereales incorporan cantidades variables de plomo de acuerdo con la naturaleza del suelo, fertilizantes, tratamiento con insecticidas y proximidad a zonas industriales. El segar los alimentos con máquinas movidas por gasolinas, su trasportación a través de un tráfico pesado, especialmente en camiones abiertos, el almacenamiento de víveres antes y durante su proceso de comercialización en áreas con altos niveles de plomo va a contaminar la superficie de los alimentos (24, 61).

Una vía adicional de entrada de plomo en la cadena alimenticia es a partir de aparatos y utensilios de cocina, dado que a menudo presentan soldaduras de plomo.

Se ha identificado una fuente de plomo considerada altamente

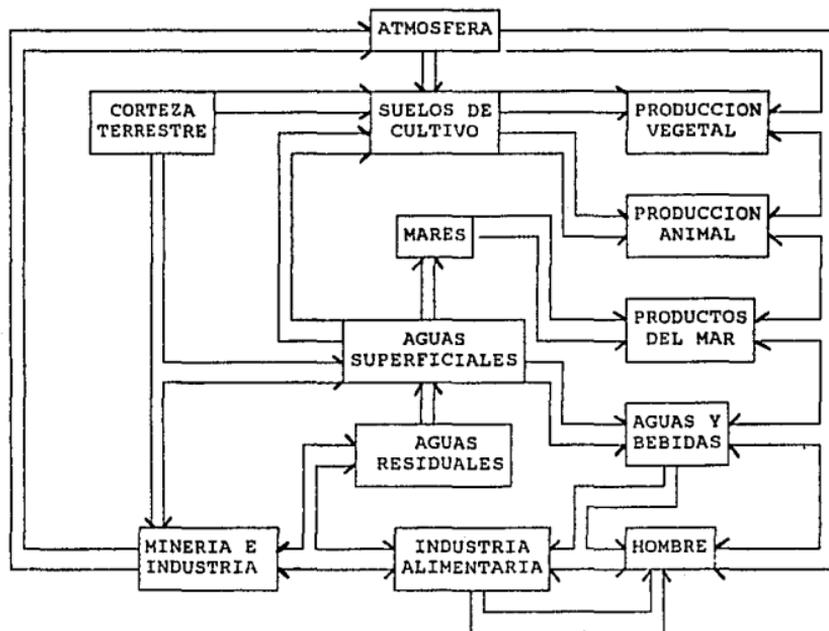
peligrosa y proveniente de ciertas costumbres del país, los recipientes de cerámica y barro inadecuadamente barnizados a base de plomo; los recipientes elaborados a baja temperatura cubiertos con barniz de plomo transmitirán plomo del recipiente a la comida preparada, cocinada, servida o almacenada en ellos. El barnizado inadecuado da lugar a la lixiviación de plomo, particularmente cuando el contenido es ácido.

El agua potable puede ser contaminada, ya sea a partir de plomo volátil en los almacenes de agua o por la transmisión de plomo desde las superficies mineralizadas del depósito mismo. El plomo puede aumentar en el agua, si ésta es conducida a los usuarios a través de tuberías hechas o soldadas con plomo. La cantidad liberada al agua depende directamente de la concentración del metal en la superficie, de la acidez del agua y de la duración del contacto.

Las fuentes consideradas hasta el momento se refieren al plomo en productos no sometidos a procesos industriales para su conservación. Ahora bien, en las diversas etapas de elaboración industrial los alimentos pueden sufrir una ulterior contaminación debido a la maquinaria utilizada, a los aditivos químicos, al agua de lavado y, particularmente, a los envases utilizados para su conservación.

Cabe mencionar, que no todos los procesos industriales tienden a aumentar la contaminación, por ejemplo, el rechazo de hojas externas, así como el lavado y cocción de los alimentos pueden in-

ducir a una reducción en el contenido del metal.



FUENTE: Catala, R., 1983

FIGURA 1. Formas de Acceso del Plomo por Medio de los Alimentos y Bebidas al Organismo Humano

Aunque el plomo este presente en el organismo humano, su papel fisiológico, si existe, no ha sido claramente elucidado, por lo que actualmente se le considera un elemento impropio del cuerpo.

Las vías de absorción del metal por el hombre son: absorción por tracto intestinal, absorción por inhalación y absorción por vía cutánea (70).

### 3.1 Absorción oral

Una gran cantidad de trabajos de investigación sobre la absorción gastrointestinal del plomo ha sido emprendida en los pasados 40-50 años. Con un trabajo que duro 30 años, Kehoe et al (63) en base a un balance detallado del metabolismo del plomo, trabajo que duró 30 años, estableció una absorción del 10 % del plomo ingerido en la dieta por el tracto gastrointestinal, en adultos, para pasar inmediatamente al torrente sanguíneo, con una retención del 5%; el resto, señaló, se excreta en las heces. Los niños absorben alrededor del 40% del plomo ingerido y retienen el 30% de este en su organismo (63). Investigaciones de varias partes del mundo, han encontrado evidencias congruentes con lo encontrado por Kehoe. Gruden y Stanic (28) en un experimento con ratas,

observaron la absorción de plomo por las paredes del duodeno, yeyuno e ileón.

La cantidad absorbida por el tracto gastrointestinal, puede variar de acuerdo con una serie de factores como la acidez, solubilidad, motilidad y otros factores fisiológicos y gastrointestinales (40, 50).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido que una ingesta diaria dietética igual a 100 mcg, contribuye con 5.4-18.3 mcg y 4.4-13 mcg al nivel de plomo sanguíneo de hombres y mujeres respectivamente (78). La ingesta dietética de plomo considerada como normal en los adultos ha sido estimada en 200-300 mcg diarios, lo cual constituye el 55-85% del aporte diario del metal al hombre; esta ingesta suministra de 20 a 30 mcg por día de plomo en la sangre (Pb-H).

### 3.2 Distribución del plomo

Después de nacer se absorbe plomo, principalmente, a partir de alimentos y bebidas o del aire. El plomo absorbido por el tracto gastrointestinal encuentra inicialmente una barrera hepática, solo de eficacia temporal, y a continuación penetra a la circulación mayor en donde se reúne con el proveniente del tracto respiratorio; el plomo circula, en su mayor parte, bajo la forma de difosfato de plomo (muy soluble). Una vez en el torrente sanguí-

neo, el plomo es transportado a todo el cuerpo. Empieza uniéndose a las células del cuerpo y del plasma. El plomo sanguíneo esta unido principalmente a los eritrocitos, en los cuales su concentración es 16 veces más alta que en el plasma; la naturaleza de esta asociación no ha sido determinada claramente; se ha postulado la existencia de diferencias en cuanto a grado de enlace, sitios de enlace dentro o sobre la célula, y tipo de enlace del plomo. Diversos estudios señalan que el plomo se une a la proteína eritrocitaria, en especial a la hemoglobina. Se han determinado concentraciones de 1 a 7 mcg de plomo en el plasma, en el cual el plomo parece asociarse a un polipéptido (42, 58).

Una dosis única de plomo se distribuye inicialmente de acuerdo con la tasa de flujo sanguíneo a los diversos órganos y sistemas; en estos la distribución es en proporción a sus respectivas afinidades por el plomo. Cuando se produce una ingestión continuada durante períodos largos se llega a un equilibrio de distribución entre los distintos sistemas. Algo del plomo absorbido es transportado al cerebro (58).

Después de pasar a través de la sangre y tejidos blandos, la mayoría del plomo absorbido es eventualmente excretado, pero algo se depósita y retiene en el esqueleto. El plomo se acumula en el tejido óseo en forma de trifosfato de plomo (poco soluble), mediante desalojamiento y sustitución del ion calcio. En condiciones habituales, pequeñas porciones del trifosfato regresan a difosfato sanguíneo y van siendo eliminadas por el riñón y por el

hígado, a través de la orina y la bilis. Según algunos autores, la reversibilidad y eliminación del plomo, se intensifican cuando se modifica el pH, específicamente hacia la acidez; y bajo ciertas condiciones de stress o de alteraciones metabólicas también (10, 21, 58).

### 3.3 Retención y acumulación del plomo en los órganos vitales

La acumulación de plomo en el organismo humano comienza desde la vida fetal. El plomo de la madre se transfiere a través de la placenta al feto y se distribuye entre los tejidos fetales de manera similar a como sucede en los adultos; al nacer su concentración sanguínea (Pb-H) es similar a la de la madre (10, 58).

A partir de estudios en el hombre se han definido con bastante claridad las características generales de la retención del plomo. El plomo se acumula en un compartimento amplio de almacén o de renovación lenta y en otro más pequeño, un compartimento intercambiable de renovación más rápida. Anatómicamente, el compartimento más grande se localiza principalmente en los huesos y en él la cantidad de plomo aumenta durante toda la vida. El compartimento menor corresponde a los tejidos blandos y a la sangre; en él, los niveles de plomo se elevan hasta comienzos de la edad adulta (20 años) y a partir de entonces se modifica muy poco.

De acuerdo a lo anterior, el esqueleto actúa como un almacén de plomo que refleja la exposición humana acumulativa a largo

plazo, mientras que los tejidos blandos y líquidos fisiológicos se equilibran rápidamente, proporcionando una medida de la exposición actual y reciente. Estos últimos en los cuales reside la carga corporal de plomointercambiable son los de mayor importancia toxicológica. El plomo en sangre forma parte de esta fracción intercambiable. De manera general, puede decirse que la concentración de plomo en sangre (Pb-H) refleja el contenido de plomo en los tejidos blandos (58,78).

Un hombre sano de 70 Kg no expuesto a una cantidad excesiva de plomo ambiental, contiene entre 100 y 400 mg de plomo, con un promedio de 120 mg, lo cual equivale a 1.7 mcg/g de tejido. De esta cantidad, 1.4 mg se encuentran en la sangre y más de 100 mg (90% del total) se localiza en los huesos (73). 70% del plomo en el esqueleto se localiza en los huesos de vascularidad densa en una forma, posiblemente inerte. El contenido plúmbico en el tejido óseo femenino es 30% mayor en comparación al masculino (58). La concentración de plomo en otros tejidos se muestra en el cuadro 3 (71).

En cuanto a los tejidos suaves, la aorta contiene la concentración más alta de plomo con un valor por arriba de 1 ppm, el cerebro y el tejido adiposo (grasa) contiene en menor contenido de plomo (menos de 0.1 ppm).

El plomo no se acumula significativamente en los tejidos blandos con una dieta moderadamente alta en su contenido plúmbico, debido al correspondiente incremento en su excreción, pero una

CUADRO 3  
Concentraciones de Plomo en los Tejidos Humanos  
(ppm, peso húmedo)

TEJIDO	HOMBRE			MUJER		
	No.	MEDIA	RANGO	No.	MEDIA	RANGO
Hueso						
Petrous T.	29	34.64	6.80-89.00	16	26.63	7.50-62.00
Calvarium	30	20.67	3.90-79.00	17	16.02	5.00-54.20
Tibia	58	23.19	3.00-73.00	36	16.13	1.50-48.00
Rib	58	8.50	0.90-25.50	36	6.77	0.85-22.60
Aorta						
Ateroma	34	2.71	0.21-17.20	17	1.12	0.09-04.20
No-Ateroma	41	1.79	0.09-12.70	22	1.70	0.07-12.20
Hígado	56	1.02	0.18-03.13	36	0.66	0.19-01.72
Riñón						
Corteza	57	0.79	0.15-01.85	35	0.55	0.10-02.20
Médula	57	0.50	0.13-01.46	36	0.38	0.11-00.97
Tejido Conectivo						
Cartilago	16	1.44	0.20-04.80	12	0.56	0.08-01.75
Nodulos linfáticos	15	0.34	0.03-00.90	11	0.37	0.10-00.86
Pancreas	56	0.38	0.09-01.42	36	0.27	0.11-00.95
Linfatico h.	54	0.46	0.06-02.20	34	0.46	0.03-01.20
Pulmón	57	0.21	0.05-00.51	36	0.22	0.04-00.55
Bazo	57	0.24	0.03-01.43	34	0.21	0.04-01.40
Sangre	51	0.20	0.03-06.79	30	0.16	0.04-00.41
Prostata	51	0.26	0.03-02.82			
Ovario				25	0.26	0.03-01.09
Tiroides	53	0.19	0.05.0145	30	0.21	0.04-01.73
Suprarrenal	52	0.16	0.01-00.62	27	0.17	0.05-00.48
Piel	24	0.19	0.01-00.60	20	0.15	0.03-00.42
Cerebro	56	0.10	0.02-00.78	34	0.15	0.01-00.67
Téjido Adiposo	21	0.08	0.01-00.40	20	0.05	0.02-00.16

P.S.I. Barry, 1973.

ingesta alta, ocasiona una depositación sustancial en los huesos, hígado, riñón y pelo (7).

Se ha demostrado un aumento en el contenido plúmbico de huesos, riñón, hígado, pulmones, páncreas, bazo y aorta al paso de los años. Los incrementos en la aorta son mínimos (16, 71, 77).

### 3.4 Excreción biológica del plomo

La ingesta de plomo esta balanceada, hasta cierto nivel, por su excreción mediante diversas vías de eliminación, dando como resultado un estado de equilibrio del contenido del metal en los tejidos del cuerpo. Las principales rutas de eliminación son las heces, la orina, el sudor, el pelo, las uñas y la exfoliación cutánea. De esta última se sabe muy poco (78).

#### HECES

Las heces representan la principal ruta de eliminación de plomo y explica el 72% del plomo excretado, del cual 90% ha pasado por el tracto gastrointestinal sin haber sido absorbido (50). El plomo al absorberse en el tracto gastrointestinal, entra en la sangre y de ahí se distribuye a los huesos y tejidos blandos, desde los cuales se excreta gradualmente, vía bilis, dentro del

intestino delgado para posteriormente ser eliminado en las heces. Entonces, el plomo fecal consiste en su mayor parte de plomo no absorbido y cantidades pequeñas de plomo que han sido previamente absorbidas en el organismo y excretadas en las heces. La excreción media diaria de plomo para un hombre adulto en las heces es de 0.22-0.32 ppm. Algo del plomo en el excremento puede ser absorbido y reexcretado dentro del tracto gastrointestinal mediante secreción pancreática y biliar, por reabsorción intestinal y por saliva.

#### ORINA

El 10% del plomo total excretado es eliminado por vía urinaria. La excreción media de plomo por día en la orina es 24 mcg aproximadamente en un hombre adulto. El mecanismo de esta eliminación aún no está bien definido, aunque el proceso de excreción renal del metal posiblemente sea esencialmente por filtración glomerular (3, 27, 74).

#### SUDOR

No se ha definido exactamente el porcentaje de eliminación de plomo por ese medio, a pesar de esto se ha determinado en el su-

dor una cantidad semejante a la detectada en la orina; pero los datos obtenidos a la fecha son contradictorios ya que la concentración puede variar de acuerdo a factores tales como la cantidad de sudor producido por cada individuo, el cual a su vez esta influenciado tanto por la actividad física como por las condiciones climáticas.

#### CABELLO Y UNAS

No esta bien definido cuanto plomo se elimina por el cabello y por las uñas, pero se han encontrado concentraciones (5 y 10ppm) superiores a las de algunos tejidos y vías de eliminación (76).

#### 3.5 Metabolismo de los derivados alquílicos del plomo

El metabolismo de los derivados alquílicos del plomo se conoce gracias a estudios con animales de laboratorio, pero aún se ignora sus detalles en el hombre (78).

Los efectos tóxicos característicos del tetraetilo y el tetrametilo de plomo, no son causados por los compuestos tetraalquílicos propiamente dichos, sino por los derivados trialquílicos formados por dealquilación en el hígado. El tetraetilo parece ser retenido preferentemente en forma de trietil. El tetraetilo de

plomo, empieza transformándose principalmente en trietilo y en menor proporción en plomo inorgánico; a continuación disminuye lentamente su concentración, incluso al cabo de varios días no se observan cantidades significativas. El comportamiento del tetrametilo de plomo es muy similar al del tetraetilo, pero es mucho menos tóxico que éste, probablemente a que se dealquila más lentamente (58).

En los últimos 300 años se han publicado varios artículos sobre el envenenamiento por plomo, sus efectos negativos sobre la salud, su tratamiento, casos reportados, etc. Pero no ha sido sino hasta la publicación del artículo " absorción y excreción normales del plomo", escrito por Kehoe y colaboradores, que se empezó a reconocer la existencia de un límite normal superior de plomo en el organismo humano. De acuerdo con Kehoe el envenenamiento clínico por plomo no ocurre por abajo de 80 mcg Pb/100 ml de sangre. Sin embargo, casos de envenenamiento por plomo, particularmente en niños, han sido reportados a niveles tan bajos como 40 mcg/100 ml. Hoy día, se considera que niveles superiores a 40 mcg/100 ml en adultos y 25 mcg/100 ml en niños representan niveles riesgosos para el organismo. La ingestión oral de 2-3 mg de plomo al día por varios meses o 5-10 mg por día en un mes pueden producir los efectos clásicos de envenenamiento con plomo en adultos (7, 71).

El grado de toxicidad del plomo y sus compuestos varía principalmente con la dosis, mientras más alta sea ésta más probable será la intensidad del daño (cuadro 4).

La relación "dosis-efecto" está dada por la dosis estimada a partir de los valores de plomo sanguíneo (Pb-II) y la intensidad de un efecto determinado en individuos.

CUADRO 4  
Concentración de Plomo en Sangre  
Sin Efecto Detectado

CONCENTRACION SIN EFECTO DETECTADO (mcg Pb/100 ml sangre)	EFECTO	POBLACION
10	Inhibición de la AAL* eritrocitaria	Adultos
20-25	PEL**	Niños
20-30	PEL	Mujeres adultas
25-35	PEL	Hombres adultos
30-40	Inhibición de la ATP- asa eritrocitaria	Población general
40	Excreción de AAL*** en orina	Adultos, niño
40	Excreción de CP**** en orina	Adultos
40	Anemia	Niños
40-50	Neuropatía periférica	Adultos
50	Anemia	Niños
50-60	Disfunción encefálica mínima	Niños
60-70	Disfunción encefálica mínima	Adultos
60-70	Encefalopatía	Niños
80	Encefalopatía	Adultos

FUENTE: FAO/OMS

\* Acido-d-aminolevulinico-dehidrasa

\*\*\*\* Coproporfirinas

\*\* Protoporfirinas eritrocitarias libres

\*\*\* Acido-d-aminolevulinico

de conducir a un nivel suficiente para la manifestación de sus efectos tóxicos, (79).

En estos tiempos, los envenenamientos agudos son escasos, con excepción de casos ocupacionales relacionados con la industria del plomo. El interés se ha centrado en los niveles subclínicos de envenenamiento plúmbico. La condición crónica puede originarse del hecho de residir en un ambiente altamente contaminado por plomo, de la ingestión excesiva o prolongada de alimentos contaminados por este metal (58).

#### 4.1 Efectos hematológicos. Sistema hematopoyético

En el sistema hematopoyético, se observan efectos a concentraciones inferiores de plomo comparadas con las detectadas en los demás sistemas; por orden de sensibilidad, los principales efectos hematológicos son: inhibición de la AALD eritrocitaria, elevación de la protoporfirina IX eritrocitaria (PP IX), aumento de la excreción urinaria de ácido-d-aminolevulínico (AAL) y de coproporfirinas (CP), inhibición de Na-K adenosín trifosfato eritrocitaria (Na-K-ATP-asa) y disminución en la concentración de hemoglobina, el descenso de la concentración de esta proteína es una clara indicación de efectos adversos. La concentración sin efecto detectado corresponde a un nivel de plomo en la sangre (Pb-H) equivalente a 50 mcg/100 ml en niños.

ETAPAS ENZIMATICAS  
INHIBIDAS POR EL  
PLOMO

VIAS METABOLICAS  
NORMALES

METABOLITOS Y  
PRODUCTOS ANOR-  
MALES ACUMULADOS  
EN EL SATURNISMO  
HUMANO

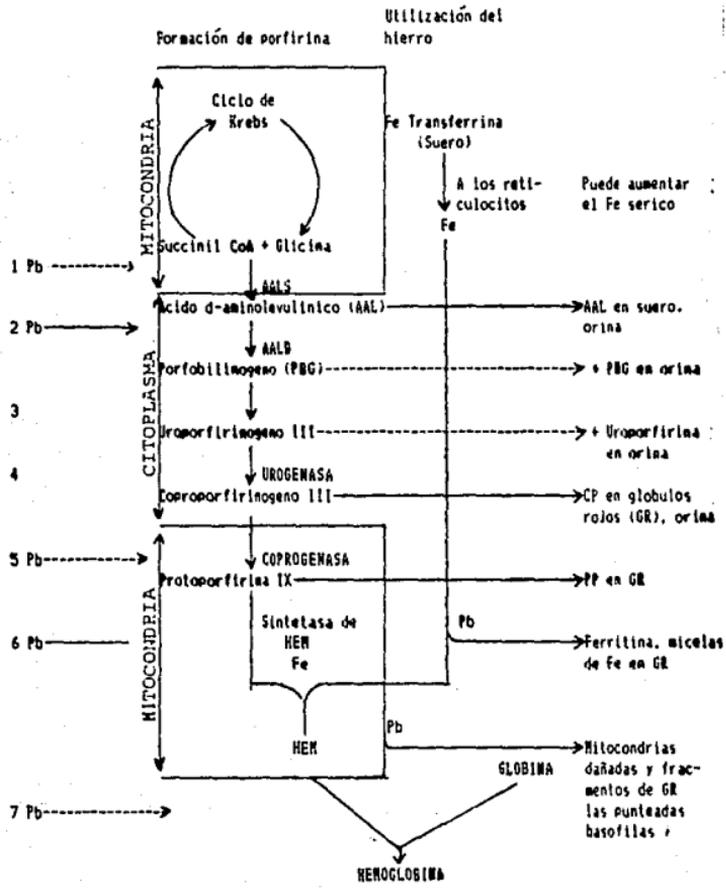


FIGURA 2. Interferencia del Plomo en la Biosíntesis del Hem

mo. Las interferencias están reguladas por mecanismos de retroalimentación poco conocidos. Por ejemplo, algunos estudios han mostrado que la mayor excreción urinaria de AAL va acompañada de un incremento de su concentración plasmática en adultos y niños; eso indica, o bien una tasa más elevada de formación de AAL o un descenso en su tasa de utilización. El segundo concepto se explica por la inhibición de la enzima AALD, mientras que la otra posibilidad puede justificarse con el aumento de la producción de AAL, presumiblemente ocasionada por una mayor actividad de la enzima AAL sintetasa (AALS). La última hipótesis ha hecho suponer una mayor tasa en la síntesis del Hem durante la anemia inducida por el plomo, de manera que deja como etapa limitante, del proceso de formación de hemoglobina, la síntesis de globina y no del Hem (19).

El mecanismo exacto por medio del cual ocurre el "acortamiento de vida de los eritrocitos" no está bien entendido. Es posible que el plomo cause incremento en la fragilidad mecánica y reduzca la resistencia osmótica en las células de la sangre. También se ha emitido la hipótesis de que esta disminución de la vida celular se deba a una pérdida de integridad de la membrana, producida por inhibición de la enzima Na-K-ATPasa; este efecto no necesariamente va acompañado de una anemia (78).

El efecto del plomo correlacionado más estrechamente con la concentración del metal en la sangre es la inhibición de la actividad de la AALD en los eritrocitos; en cuanto mayor es el con-

tenido plúmbico en la sangre, menor es la actividad de la enzima. En general, se reconoce también la frecuencia de manifestaciones de perturbación de la síntesis del Hem, sin una anemia manifiesta. La perturbación puede a su vez influir en muchas otras reacciones dependientes del Hem, por ejemplo, en los citocromos, la citocromo-c-oxidasa y las hidroxiperoxidasas que forman parte de los sistemas de transferencia de electrones para los que se requiere del Hem.

El correlato bioquímico identificado más recientemente del efecto del plomo en la sangre, es la concentración de protoporfirinas eritrocitarias libres (Pel) con un contenido mayor del 90% de protoporfirina IX. Se ha indicado que el aumento de este compuesto responde a un efecto inhibitorio del plomo sobre la síntesis del Hem producida en las células eritroides de la médula ósea, en tanto la absorción de plomo por elementos sanguíneos ocurre tanto en las células circundantes como en los eritrocitos (40).

A pesar de todos los estudios realizados sobre los efectos del plomo en las enzimas y metabolitos de la biosíntesis del Hem, la correlación con la producción de hemoglobina y el estado clínico es a menudo escasa. En ausencia de cambios significativos en la concentración de hemoglobina y otros efectos sobre el organismo, las alteraciones en las enzimas y metabolitos involucrados tiene solo una significancia medida cuestionable.

## 4.2 Efectos gastrointestinales

El plomo produce una serie de síntomas en el tracto gastrointestinal previos al saturnismo; entre otros, anorexia, náuseas, vómitos, diarrea y constipación. El efecto más clásico es un cólico inducido, seguido por una concentración espasmódica de los músculos lisos de la pared intestinal (40).

## 4.3 Efectos neurológicos. Sistema nervioso

### 4.3.1 Sistema nervioso central (S.N.C)

El sistema más importante, tanto por su impacto en el individuo como en la sociedad, es el S.N.C. Los efectos del plomo inorgánico sobre este sistema han sido objeto de un intenso estudio en los últimos años, especialmente en relación con ligeras modificaciones del comportamiento en niños, aunque también en cierta medida en lo que concierne a los adultos. Se ha determinado una "concentración sin efecto detectado" inferior a la observada en encefalopatía clásica debida al plomo; la concentración, se estima en valores de Pb-H entre 60-70 mcg/100 ml en los adultos y 50-60 mcg/100 ml en los niños, (78).

La excesiva exposición al plomo puede ocasionar una encefalo-

patía aguda. Se conocen numerosas descripciones detalladas de los síntomas de la encefalopatía saturnina en adultos; los principales síntomas son el embotamiento, desazón, insomnio, cefalalgias, temblor muscular, alucinaciones, hiperirritabilidad y pérdida de la memoria así como de la capacidad de concentración, y cambios de personalidad. Estos signos y síntomas pueden representar la extensión total del daño o culminar en manía, delirio, convulsiones, parálisis y coma, incluso provocar la muerte. En los casos de muerte por intoxicación plúmbica, edema cerebral y lesiones vasculares son los daños encefálicos producidos (56). Las concentraciones de plomo en el cerebro de paciente con enfermedades mentales son relativamente más bajas cuando se les compara con las encontradas en otros órganos; esto sugiere una sensibilidad relativamente mayor del S.N.C. En ausencia de convulsiones y estado de coma, la recuperación puede ser completa, sin secuelas. El riesgo de secuelas neurológicas permanentes se incrementa en el caso de la frecuencia de convulsiones. Actualmente, la encefalopatía saturnina es extremadamente rara en adultos, pero ocurre con más frecuencia en los niños. La incidencia de secuelas ha desaparecido sustancialmente en los últimos años, pero toda vía se pueden declarar en el S.N.C si la terapia no se inicia inmediatamente después del comienzo de la encefalopatía. Las secuelas más graves son la atrofia cortical, hidrocefalia, ataques convulsivos e idiocia; las secuelas menos perceptibles son falta de percepción sensorial, incapacidad para concentrarse e incoordinación

motriz, estas pueden ocurrir sin presentarse jamás los signos clásicos de la encefalopatía aguda (17, 44).

Aparte de la encefalopatía aguda, síntomas más leves de los efectos del plomo sobre el S.N.C pueden ocurrir, sin embargo, es muy difícil establecer una relación directa entre niveles elevados de plomo sanguíneo y efectos neurofisiológicos, especialmente subclínicos. La exposición de plomo a niveles inferiores a los reconocidas actualmente como dañinos al S.N.C, 40-50 mcg Pb/100 ml parece estar relacionada con hiperactividad, alteraciones en la capacidad intelectual global, en la coordinación visual y motora, y en el comportamiento (21, 48, 58).

El plomo a bajos niveles tiene efectos adversos en el S.N.C de los organismos en desarrollo, de igual forma sucede con las mujeres embarazadas. Los efectos del plomo en el S.N.C en desarrollo incluyen, alteraciones bioquímicas y estructurales de las neuronas y sus sinapsis, hipomielización de las fibras largas, incremento en las latencias de las respuestas sensoriales evocadas y alteraciones en la capacidad de aprendizaje y memoria. En un cuerpo creciente la exposición prenatal y postnatal temprana al plomo están asociadas con un decremento en la edad gestacional y en el peso al nacer, reflejos anormales y un retraso en el desarrollo intelectual y mental en los primeros años de vida. Los efectos mencionados se han observado con exposiciones tan bajas como 10mcgPb/100 ml de sangre. El mecanismo de acción del plomo es aún desconocido, sin embargo, se sabe que bloquea la transmi-

sión nerviosa y el desprendimiento de acetilcolina. En ratas lactantes se ha demostrado un retardo en el crecimiento cerebral, así como una reducción en el contenido de ADN del cerebelo (37).

#### 4.3.2 Sistema Nervioso Periférico (S.N.P)

El plomo inhibe de alguna manera, aún no conocida, la transmisión sináptica en el S.N.P. Se ha observado una disminución de la velocidad de conducción motriz de las fibras de los nervios, sin que necesariamente se presenten signos clínicos de intoxicación plúmbica; este cambio es reversible. Se tiene la hipótesis de que el plomo ocasiona este efecto por desmielinización segmental de los nervios periféricos y por degeneración axónica (78).

Los efectos del daño al S.N.P causados por el plomo son generalmente motrices, principalmente sobre los músculos extensores de las extremidades superiores no sensorios. El síndrome clásico es la gota de muñeca y pie, seguida de una parálisis en músculos, manos y pies, sin embargo más de la mitad de los casos pueden recuperarse completamente. Esta condición es rara en la actualidad, excepto bajo condiciones de una exposición excesiva y prolongada. La causa de la parálisis ha sido extensamente estudiada, se ha relacionado con fatiga muscular. La acción de los músculos y nervios depende de un flujo balanceado de calcio a través de las membranas celulares. El plomo interfiere con este movimiento de-

bido a la formación de lactato de plomo soluble con ácido láctico producido durante el metabolismo muscular. Este lactato de plomo penetra fácilmente al interior de las células musculares y nerviosas y de ahí se combina con fosfato - constituyente normal de los tejidos- en una forma insoluble. El fosfato de plomo formado se instala como una especie de barrera sobre las superficies celulares y bloquea el paso libre del calcio, por lo que los efectos neuromusculares de la parálisis inducida por el plomo son una consecuencia de este bloqueo.

#### 4.4 Efectos renales

Los efectos renales del plomo son de dos tipos generales. El primero es el hinchamiento de las células de revestimiento tubular proximal y cambios mitocondriales con deterioro de la función tubular proximal caracterizada por la triada de Fanconi, es decir por aminoaciduria, hiperfosfaturia y glucosuria; se produce con una exposición relativamente breve y los efectos son completamente reversibles (40). El segundo tipo se caracteriza anatómicamente por esclerosis y fibrosis intersticiales, funcionalmente, se reduce la capacidad de filtración. Estas alteraciones, de naturaleza progresiva, pueden culminar en insuficiencia renal. Las exposiciones que conducen a este tipo de nefropatía son actualmente excepcionales, incluso en casos de intoxicación ocupacional.

No se ha encontrado una "concentración sin efecto detectado". Los efectos iniciales del plomo sobre el riñón se ponen de manifiesto con la aparición de cuerpos de inclusión intracelular en las células de revestimiento tubular del riñón. Los cuerpos de inclusión, insolubles en soluciones fisiológicas, han sido identificados como complejos plomo-proteína; el 90% del plomo presente en el riñón se encuentra en forma de estos complejos.

Se ha sugerido que los cuerpos de inclusión acan como un mecanismo de defensa del riñón frente a los efectos de las altas concentraciones de plomo difusible, mediante un mecanismo de secuestro del metal en el citoplasma. La aparición de los cuerpos de inclusión va acompañada por aminoaciduria, glucosuria e hiperfosfaturia. En esta fase se encuentran también alteraciones morfológicas y funcionales de las células epiteliales tubulares, así como disminución de la capacidad respiratoria y de fosforilación. Si la exposición al plomo continúa, se producen cambios más graves en el epitelio tubular renal, como hiperplasia y alteraciones císticas; en esta etapa los cuerpos de inclusión están generalmente ausentes. Se observa un aumento del tejido fibroso intersticial y atrofia de las células tubulares; el cuadro patológico se convierte indistinguiblemente en nefritis intersticial. La excreción del plomo urinario puede ser deprimida. Puede ocurrir una hipertensión asociada y gota. En la gota saturnina la función renal está siempre debilitada sin guardar una proporción con la severidad de la gota; además los niveles de ácido úrico en la orina

no están marcadamente incrementados, y casi siempre esta asociada con otros efectos que impliquen una expulsión significativa tal como anormalidades metabólicas. Estos cambios son irreversibles y conducen a una tercera etapa de insuficiencia renal manifestada por azoemia e hiperuricemia (40). A niveles muy altos de plomo, la concentración de plomo urinario se incrementa; esto sugiere que una posible excreción renal máxima de plomo puede existir cuando se excede los niveles asociados con una lesión tubular renal severa seguida de una reducción en la habilidad resortiva.

Ingestas pequeñas pero regulares de plomo pueden dar origen a una enfermedad crónica del riñón. Un reporte de la WHO concluyó que una exposición prolongada al plomo con niveles sanguíneos cercanos a 70 mcg/100 ml puede dar como resultado una nefropatía crónica irreversible (17, 58).

#### 4.5 Efectos cardiovasculares

Hasta la fecha sólo se ha reportado un aumento en la permeabilidad capilar en caso de intoxicación aguda. No se sabe con certeza si los efectos vasculares del plomo son el resultado de una acción directa sobre los vasos sanguíneos o si son consecutivos a los efectos renales. Los efectos del plomo sobre el sistema cardiovascular posiblemente no conducen a una hipertensión arterial, aún en el caso de exposiciones ocupacionales (34, 40).

#### 4.6 Efectos cerebrovasculares

El plomo continua incrementando la atención en arduos debates sobre si los niveles altos de plomo en la sangre, aquellos asociados con síntomas obvios, tienen efectos adversos sobre el cerebro (76).

Existen actuales sospechas de leves aunque difusas lesiones cerebrales en niños pequeños sin encefalopatía previa, pero con exposición relativamente baja.

Se ha observado un ligero aumento de defunciones causadas por enfermedades cerebrovasculares, cuando el nivel de plomo en la sangre es mayor a 80 mcg/100 ml (78).

#### 4.7 Efectos reproductivos

La exposición excesiva al plomo se asocia, en mujeres embarazadas, con la disminución de la fertilidad y con aumento en la morbilidad neonatal y abortos espontáneos, actualmente, no se han hecho evidentes los efectos anteriores, pero existe preocupación acerca del efecto potencial sobre el feto, particularmente sobre el sistema nervioso inmaduro, ya que el plomo atraviesa fácilmente la placenta. Los bebés que al momento del parto presentan niveles de plomo alrededor de 10 mcg/100 ml muestran una edad gestacional más corta, un menor peso al nacer y un retraso en el de-

sarrollo intelectual y psicomotor. Los estudios más recientes muestran una alta proporción de recién nacidos en el Valle de México con niveles de plomo superiores a 10 mcg/100 ml (78).

Panova (52) al estudiar un grupo de mujeres que trabajaban en las industrias del plomo, encontró una incidencia más elevada de disfunción ovulatoria, principalmente ciclos anovulatorios y ciclos con anormalidad del cuerpo lúteo, en ellas que en el grupo testigo (52).

Por otro lado, tanto el saturnismo como el aumento moderado de la absorción del metal, disminuyen la fecundidad masculina lo cual ha hecho pensar en un efecto tóxico de plomo sobre las gónadas (36).

#### 4.8 Efectos carcinogenos

Aunque se han inducido tumores en ratas y ratones por vía oral y parental de varios compuestos del plomo, solo se producen con dosis altas; la dosis equivalente en el hombre seria de 550 mg de plomo en un día (58).

#### 4.9 Efectos endocrinos

En casos de saturnismo se ha registrado deterioro de las fun-

ciones tiroidea y suprarrenal. Hay indicios de que el plomo puede perturbar el metabolismo del triptofano. Han detectado una restricción en la función pituitaria, como otro efecto hormonal del plomo (58).

#### 4.10 Otros

El consumo crónico de plomo parece ser que aumenta la susceptibilidad a las infecciones e intoxicaciones.

#### 4.11 Efectos tóxicos de los derivados alquílicos de plomo

El tetraetilo de plomo (TEL), es un compuesto muy tóxico, más peligroso que el plomo metálico o sus compuestos inorgánicos; es muy volátil y su absorción es usualmente por inhalación, pero es fácilmente absorbido por vía cutánea y por el tracto gastrointestinal. Ya en el torrente sanguíneo, el TEL se distribuye en varios órganos y tejidos, particularmente en el sistema nervioso central descomponiéndose en trietil de plomo y cantidades mínimas de plomo inorgánico. Los síntomas iniciales son insomnio. El envenenamiento es usualmente agudo, se produce una psicosis tóxica, y puede ser mortal. Se cree que la acción tóxica del TEL radica en su parte orgánica (58).

## 5 FACTORES QUE MODIFICAN LA TOXICIDAD DEL PLOMO

Cada uno de los constituyentes de un alimento, ya sean propios del alimento, añadidos o accidentales, ejercen un espectro de acciones biológicas, las cuales dependen principalmente de su concentración en un fluido biológico u órgano particulares.

Existen 26 elementos esenciales para la vida, de los cuales once son elementos mayoritarios: H, C, N, O, Na, Mg, S, Cl, K, Ca y P; y 15 son elementos traza: B, Fe, Si, V, Cr, Mn, F, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Mo, Sn y I.

El boro es esencial para la vida vegetal. Recientemente se ha demostrado que trazas de Fe, Si, V, Ni y Sn, son esenciales o al menos benéficos cuando se incluyen en la dieta de animales de laboratorio. Si bien, algunos elementos como el B, Cu, F, Mn, Mo, Ni, Se y Zn ejercen funciones esenciales, muestran por encima de ciertos niveles umbrales, acciones tóxicas sobre el crecimiento de plantas y animales. No se ha descartado totalmente la posibilidad de que a bajas concentraciones el plomo actúe sobre algunas funciones vitales de modo positivo. Schwarz encontró en un experimento con ratas que el plomo es esencial para el crecimiento de estos animales. Sin embargo, datos más precisos y claros son requeridos antes de poder incluir al plomo entre los elementos traza esenciales (16, 50).

La absorción, el transporte y las biotransformaciones del plomo llevados a cabo en las plantas y animales, que forman directa

o indirectamente parte de la alimentación humana, así como los efectos que tienen sobre el mismo hombre, dependen, aparte del contenido efectivo de plomo en los alimentos, de una serie de factores; por esta razón no es fácil determinar la cantidad de plomo que el hombre puede tolerar en su dieta.

La forma en que se encuentra el plomo, la capacidad que tienen diversos elementos y nutrientes de la dieta de modificar la toxicidad del plomo, la etapa de desarrollo del individuo, su estado nutricional y su susceptibilidad al plomo, son algunos de los factores influyentes en la toxicidad del plomo; estos factores pueden agruparse en dos grupos principales: factores nutricionales y factores no nutricionales (30).

### 5.1 Factores nutricionales. Interacción con nutrientes

Cada vez es más clara la influencia del estado nutricional sobre la toxicidad del plomo en animales. Se han publicado numerosos artículos relacionados con la toxicidad del plomo, pero muy pocos abordan la influencia del estado nutricional sobre la tolerancia animal al plomo, y en general, a los metales pesados (50).

Un factor influyente en la toxicidad del plomo es su interacción metabólica con otros elementos presentes en los alimentos; esta interacción puede ocurrir a través de una variedad de meca-

nismos, en algunos casos no bien comprendidos. La absorción y retención del plomo ingerido son enormemente afectados por los niveles en la dieta de nutrientes tales como Calcio, Fósforo, Hierro, Cobre, Zinc, Fibra, proteínas, carbohidratos, lactosa y algunas vitaminas.

#### CALCIO (Ca), FOSFORO (P) Y VITAMINA D

Las primeras investigaciones (1940), indicaron que el calcio, el fósforo y la vitamina D influyen en el depósito de plomo en los huesos y tejidos blandos. Recientemente se ha informado la afección de la absorción intestinal de plomo por estos nutrientes. Un cuerpo deficiente en Ca y P dará como resultado un incremento en la absorción de plomo, y por ende, un aumento del contenido del mismo en huesos y tejidos blandos.

Se ha comprobado, en ratas, que la pérdida de plomo ya incorporados en el esqueleto es mayor cuando el Ca de la dieta esta cerca de sus requerimientos fisiológicos, que cuando es mayor o menor que ellos.

El plomo inhibe la absorción y depositación del Ca en el hueso, además de interferir con otros procesos metabólicos dependientes del calcio (71). Aparentemente, existe una similitud entre el metabolismo del plomo y del calcio. Ambos metales se encuentran en el hueso en forma cristalina, en el caso del calcio

como fosfato de calcio. Se ha detectado que con el tiempo, el plomo cada vez más se introduce dentro de la estructura del hueso, y una vez ahí su estado es permanente. Si bien, en la actualidad hay evidencias de que tal "entierro" solo tiene lugar en un período muy largo; existe el peligro potencial de que el plomo disponible persista por muchos meses después de una exposición a altos niveles de plomo. Además es posible, incluso, la movilización del plomo almacenado en los huesos bajo ciertas condiciones de shock o enfermedad (58).

No solo ingestas subnormales de calcio incrementan la retención de plomo en el cuerpo, sino también las concentraciones bajas de fósforo (P) en la dieta. En animales con deficiencia de vitamina D, menos plomo es absorbido; esto implica la estimulación de la absorción de calcio y plomo por la Vitamina D<sub>3</sub>, 1,25-dihidroxicolecalciferol, lo cual a su vez implica una competencia entre los dos cationes divalentes para ser absorbidos. Aun cuando ambos metales compiten por sitios similares, localizados en proteínas de la mucosa intestinal, el plomo se une a proteínas de elevado peso molecular, mientras que el calcio lo hace con proteínas de peso molecular más bajo. Ambos elementos se encuentran en la estructura cristalina del esqueleto. Otra diferencia entre la absorción de plomo y calcio es que el primero se absorbe en el intestino delgado distal y el segundo en el duodeno (50).

#### HIERRO (Fe)

La deficiencia del hierro aumenta la toxicidad del plomo (68); en su forma ferrosa es efectiva para contrarrestar la toxicidad del plomo (50).

En un estudio con ratas embarazadas se suplementaron alimentos con Fe para reducir el nivel de exposición al plomo; se observó una disminución del 33, 44 y 54% en leche materna, hígado y sangre respectivamente. No se conoce la forma en que interactúa el Fe con el Pb (16).

#### ZINC (Zn)

Se ha encontrado un decremento en la susceptibilidad a la toxicidad del plomo en caballos jóvenes alimentados con cantidades tóxicas de plomo y de zinc, a pesar del incremento en el contenido de plomo renal y hepático. Se ha sugerido que el Zn inhibe la absorción de Pb, Ca y P, (16, 30).

#### COBRE (Cu)

El efecto de la deficiencia de cobre sobre la absorción de plomo y su toxicidad no ha sido bien investigado, a pesar de esto

se ha encontrado una reducción de Cu en los niveles del ceruplasma y del plasma, de ratas, en la presencia de niveles muy altos de plomo en la dieta. Los niveles reducidos de Cu en la dieta han sido asociados con el incremento de plomo en los eritrocitos. Los resultados anteriores implican un antagonismo metabólico mutuo, pero se requiere de otros estudios que involucren ingestas de plomo más bajas con un amplio rango de ingestas de Cu, para establecer una relación clara respecto al incremento de las concentraciones de Cu eritrocitario.

#### OTROS

El plomo además no solo tiene efectos pronunciados sobre el metabolismo de algunos elementos indispensables mayoritarios (Ca, P, Fe, etc.), como ya se ha visto, sino también, sobre el metabolismo normal de los vestigios de elementos indispensables (elementos traza), pues se ha visto que la acción del plomo puede ser modificada por elementos como el selenio, el cual parece ser que desempeña un papel protector contra los efectos tóxicos de ciertos metales pesados. Ingestas inferiores a las normales de cadmio incrementan la toxicidad del plomo en ratas (74).

Se ha encontrado también interacciones del plomo con los integrantes no minerales de la dieta, como proteínas, carbohidratos, vitaminas y fibra.

## PROTEINAS Y CARBOHIDRATOS

La concentración y calidad de las proteínas influye sobre la toxicidad del plomo. La reducción en la toxicidad del catión esta relacionada a ciertos constituyentes de las proteínas. Se ha observado un incremento de los residuos del metal en los tejidos en ratas envenenadas con plomo y alimentadas con una dieta baja en contenido proteico; lo cual no sucedió con ratas igualmente envenenadas pero alimentadas con cantidades normales de proteína. Se ha informado de la disminución de la resistencia a las infecciones y un descenso en el desarrollo sexual de ratas hembras envenenadas con plomo y alimentadas con una dieta deficiente en proteínas (50).

Una dieta alta en carbohidratos, y escasa en proteínas promueve una tasa alta de absorción de plomo (58).

## LACTOSA

En ratas recién destetadas, se ha estudiado el incremento en la absorción de plomo y su introducción posterior en sangre, hígado, riñón y huesos, causado por la lactosa. El estudio confirmó, por tanto, la acción no específica de la enzima lactasa al actuar en el intestino, pues se sabe que la lactasa facilita la difusión positiva iónica en el ileon al incrementar la permeabi-

lidad de cationes divalentes a causa de una alteración del potencial eléctrico dependiente del sodio, catión que normalmente se opone al paso de este tipo de iones al interior de las células. La lactosa es hidrolizada y digerida lentamente, por tanto, gran cantidad de ella llega al ileon, con lo cual, se facilita la absorción de iones metálicos como el plomo y otros metales pesados (10); por consiguiente la leche en la dieta de mamíferos jóvenes, desempeña un papel complejo en la sensibilidad a un envenenamiento con plomo, pues por otro lado su alta concentración en calcio, fosforo, zinc y proteína en la leche puede reducir la retención de plomo, esto sugiere que la leche protege contra un posible envenenamiento causado por el plomo. Sin embargo, para la efectividad de tal profilaxis el plomo debe estar ausente en la leche ingerida, de hecho debe ser removido de ella para prevenir los efectos inmediatos de la lactasa sobre el transporte intestinal de metales (10).

#### VITAMINA E

Los primeros estudios sobre la interacción de la Vitamina E y el plomo fueron estimulados por la sospecha de la disminución de la actividad de la enzima ácido-d-aminolevulinico dehidrasa (AALD), una enzima reguladora en la biosíntesis del Hem, causada por una deficiencia en Vitamina E. Sin embargo, trabajos recien-

tes sugieren un papel básico de la peroxidación lipídica en el incremento de la esfericidad de los eritrocitos, en ratas deficientes en la vitamina cuestionada; dos mecanismos son concebibles para explicar el incremento en la toxicidad del plomo. Uno de ellos, supone una reacción del plomo con ciertos componentes de la membrana celular, tales como los grupos fosfatos de los fosfolípidos, para romper la estructura de la capa lipídica; de este modo los eritrocitos polinsaturados se vuelven más susceptibles a un ataque peyorativo. También, se reconoce al plomo como un catalizador débil de la peroxidación lipídica, y podría por conigüente promover una desintegración estructural (50).

#### FIBRA DIETETICA

Fibra dietética, de diferentes clases, tiene capacidad de intercambio catiónico; consecuentemente puede provocar una deficiencia en calcio, zinc y hierro (50); lo cual podría modificar la toxicidad del plomo cuando se consume gran cantidad de fibra.

## 5.2 Factores no nutricionales

El grado de toxicidad del plomo ingerido a través de los alimentos y su acumulación en el organismo humano no solo es cuestión de su interacción con los nutrientes de la dieta, sino también de su relación con ciertos factores como la combinación química del plomo al ser ingerido, su solubilidad en los fluidos vitales y el tiempo que permanece en contacto con ellos, la cantidad ingerida, según la vía por la que se realiza la absorción, la cantidad presente en la circulación a un tiempo dado, la susceptibilidad de cada individuo, así como la edad y sexo, incluso se ha mencionado la influencia de las estaciones del año.

El plomo rara vez interfiere en su forma elemental con los sistemas biológicos. La ingestión del plomo en su forma combinada es generalmente más tóxica que en su forma elemental. Las sales solubles de plomo se disocian fácilmente en el medio acuoso de las membranas biológicas, facilitando de esta forma su transporte. Son más tóxicos los compuestos solubles en el ácido clorhídrico del jugo gástrico. Las sales insolubles de plomo se introducen a las superficies biológicas adsorptivas en forma polimérica de agregación. En orden creciente de toxicidad por vía digestiva, los compuestos más tóxicos de plomo son: sulfuro de plomo, fosfato de plomo, dióxido de plomo, tetróxido de plomo, cromato de plomo, plomo metálico, sulfato de plomo, monóxido de plomo, carbonato de plomo y arseniato de plomo. El monóxido de plomo ( $PbO$ )

es más soluble en el suero sanguíneo que en el agua.

Los alimentos tiene una elevada capacidad de enlace-metal, subsecuentemente reducen la absorción de metales contenidos en ellos. Por tal motivo, la absorción de plomo es mayor cuando se consume en un periodo de ayuno.

Los efectos del plomo en el hombre varían con la dosis, mientras más alta sea está más probable será el daño o su intensidad.

Observaciones sobre la susceptibilidad al plomo sugieren la influencia de la edad, estado fisiológico y genético del individuo como factores determinantes en la toxicidad del plomo. Mientras más joven es un individuo mayor será la posibilidad de daño a cualquier dosis dada. Los niños pequeños absorben con mayor facilidad el plomo y además, son más susceptibles que los adultos en el sentido de que los efectos tóxicos ocurren a concentraciones sanguíneas de plomo más bajas (30, 50).

Mecanismos de defensa. Como todos los organismos, incluyendo al hombre han estado expuestos a los metales pesados a través de su evolución, han desarrollado mecanismos de defensa como la absorción selectiva y excreción para enfrentarse a posibles efectos tóxicos de estos metales.

Los reconocidos efectos tóxicos de los metales pesados han llevado al Comité Mixto FAO/OMS sobre Aditivos Alimentarios a establecer límites de tolerancia al aporte diario de estos elementos al organismo humano. De acuerdo con el Comité, los metales pesados que por diversas circunstancias pueden considerarse como contaminantes son arsénico, cadmio, zinc, cobre, estaño, hierro, mercurio y plomo (FAO/OMS, 1973).

El plomo es el metal que ha tenido más consideración oficial y sobre el que más se ha escrito respecto a la contaminación en alimentos por compuestos y elementos inorgánicos (78).

#### 6.1 Ingesta diaria y semanal tolerables de plomo

Se define esta expresión como la dosis diaria de un compuesto o elemento químico incapaz de ocasionar daño apreciable durante todo el tiempo que dura la vida de un ser. Se entiende que la incapacidad de daño apreciable es tomado en el sentido de una certeza práctica, de forma que no existirá riesgo alguno, aun después de estar el ser expuesto al compuesto químico, durante el periodo que dure su vida. La ingesta diaria aceptable se expresa en miligramos por kilogramo y por día (mg/Kg/día). Los miligramos se refieren a la sustancia química existente en el alimento, y

los kilogramos, al peso del cuerpo del ser que se considere. Las fuentes informativas que sirven como base para decidir sobre una ingestión diaria aceptable, son tomadas de la literatura científica publicada y de otras informaciones obtenidas de laboratorios especializados.

El Comité Mixto FAO/OMS sobre aditivos alimentarios establece que la ingesta diaria máxima aceptable de plomo debería ser nula, pero reconociendo al mismo tiempo que la contaminación de los alimentos y bebidas por plomo es al parecer inevitable, propuso una ingesta tolerable provisional semanal aproximada para un hombre adulto de 70 Kg igual a 3 mg Pb/persona ó 0.05 mg/Kg de peso corporal por semana, o aproximadamente 7 mcg/Kg de peso corporal por día.

## **6.2 Límites máximos permisibles de plomo en alimentos**

Este concepto se define como la concentración permisible de residuo en un alimentos destinado al consumo humano, para obtener este nivel residual es preciso conocer de antemano la ingestión diaria aceptable, el factor alimenticio y el promedio del peso del consumidor.

El factor alimenticio expresa la fracción promediada de la dieta total producida por el alimento o grupo de alimentos que se consideren. Es necesario conocer el régimen alimenticio de cada

pueblo o país. Para evitar posibles errores en la interpretación de este factor, el cálculo del nivel permisible debe estar relacionado solamente con la cantidad consumida de los alimentos que se consideren y en los que se ha puesto de manifiesto la presencia de tóxicos.

El nivel permisible se expresa en partes por millón de peso del alimento fresco.

Pocos países han especificado regulaciones relativas a metales en alimentos. Algunos tienen leyes generales que cubren todos los metales considerados como aditivos accidentales o intencionales en alimentos. Otros no han hecho legislaciones en esta forma, pues solamente consideran aquellos metales de significancia particular en ciertos alimentos (32).

El plomo figuró prominentemente en los primeros intentos de establecer una legislación sobre tóxicos en alimentos en la Gran Bretaña; este nación ha sido capaz de producir un sumario breve de la legislación relacionada a metales pesados en alimentos, gracias a la forma en que se encuentran formuladas sus leyes en este aspecto. Sus estatutos y límites recomendados en el documento oficial "Summary of Regulations and Recommendation for Heavy Metal for the United Kingdom", se han extendido a varios países.

Las recomendaciones y regulaciones del Reino Unido (UK) en cuanto al plomo en alimentos puede reducirse a los siguiente:

PLOMO: 2 mg/Kg es el nivel máximo permitido en alimentos para ser reducido a 1 mg/Kg, con ciertos límites para alimentos espe-

cificos (58).

El siguiente sumario presenta las regulaciones gubernamentales de otros países (58).

CUADRO 5  
Cantidades Máximas Permitidas de Plomo en Varios Países

PAIS	ALIMENTO	ppm Pb
Sudafrica	La mayoría de bebidas alcohólicas	1.0
	Otros alimentos	5.0
	Gelatina	50.0
Canadá	La mayoría de las bebidas	0.2
	Vegetales frescos	2.0
	Gelatina	7.0
	Productos del mar	10.0
Australia	Pescado en lata de estaño	5.5
	Otros alimentos	1.5
	Gelatina	10.0
	Fruta seca	15.0
Nueva Zelanda	Todas las bebidas	0.2
	Alimentos enlatados (excluyendo las bebidas)	4.0
	Gelatina	7.0
	Vegetales	2.5
España	Zumos de uvas	1.0
	Aguas naturales	0.1
	Brandy	1.0
	Ron y Whisky	1.0
	Sal común de mesa	2.0
	Cerveza	0.1
	Colorantes	0.01%
	Productos de pesca	3.0
	Licores, aguardiente	1.0
	Aceites vegetales	0.1
	Galletas	1.0

Reilly, C., 1981

## JUSTIFICACION

Los niveles de plomo en el ambiente del Valle de México son altos, lo que se refleja en la sangre de sus residentes, de acuerdo con recientes investigaciones tanto nacionales como extranjeras. A la fecha, no se conoce con certeza cuales son las fuentes principales, así como los grados con que cada una contribuye a la carga de plomo de la población de la Ciudad de México. Nuestro interés se ha centrado en la extensa distribución de plomo en el ambiente de la Ciudad de México, ocasionado por los aproximadamente 2.5 millones de vehiculos automotores que utilizan gasolina con tetraetilo de plomo (ANEXO I).

En las estaciones de monitoreo de la Secretaria de Desarrollo urbano y Ecológico (SEDUE), se han llegado a medir niveles mensuales promedio de plomo que exceden el máximo permitido (1.5 mcg/m<sup>3</sup>). Aunque en México se ha implementado el uso de convertidores catalíticos, los cuales requieren de gasolina sin plomo, un porcentaje significativo de vehiculos automotores seguirán arrojando considerables cantidades de plomo (300 ppm) a la atmósfera.

En base a lo anterior es un hecho la incidencia del plomo atmosférico sobre los alimentos preparados y expendidos en la vía pública, mediante deposición aérea de los residuos de plomo emi-

tidos a la atmósfera.

Cabe señalar la existencia de casi 20,000 (ANEXO 2) puestos metálicos situados sobre la vía pública del Distrito Federal. Considerando que alrededor de 400 personas acuden diariamente a un expendio de este tipo, tenemos como resultado un elevado consumo de alimentos expendidos en dichos puestos, dado que aproximadamente ocho millones de personas, en su mayoría pertenecientes a los sectores obrero y estudiantil, se ven muchas veces obligados a su consumo debido al ritmo de vida actual, el cual ejerce cierta presión para que cada día más gente coma fuera de su hogar.

Es de hacer notar una absorción del 8-10% del plomo ingerido en los adultos, con una retención del 5%, por lo que, una ingesta prolongada de pequeñas cantidades de plomo provenientes de alimentos contaminados por este metal puede llevar a un nivel suficiente para la manifestación de sus efectos negativos sobre el organismo humano. De ahí la importancia de evaluar y medir el contenido de plomo en los alimentos expuestos al plomo ambiental.

Resumiendo, la elevada carga de plomo en la sangre de los residentes de la Ciudad de México, los altos niveles de plomo atmosféricos registrados diariamente, y el elevado consumo de alimentos expendidos en la vía pública, con tendencias a incrementarse, justifican el porque del presente trabajo.

## OBJETIVOS

- Cuantificar el contenido de plomo en alimentos preparados y expendidos en puestos situados sobre sitios de elevada densidad vehicular en la vía pública de la Ciudad de México.

- Establecer una referencia para estimar la ingesta diaria aproximada de plomo en individuos consumidores de alimentos que se expenden en la vía pública, y relacionar los resultados con los niveles máximos tolerables.

- Determinar la influencia de los altos niveles de plomo atmosférico imperantes en la Ciudad de México sobre los alimentos expuestos a los mismos.

- Comparar el contenido en plomo de los siguientes grupos de alimentos: a) alimentos que se expenden en la vía pública, b) alimentos enlatados y c) alimentos preparados en casa.

## PARTE EXPERIMENTAL

### 1 DISEÑO DE MUESTREO

Se analizaron por duplicado sesenta muestras, las cuales incluían cuatro alimentos más consumidos en la vía pública de la Ciudad de México (cuadro 6). Las muestras procedían de puestos

CUADRO 6  
Alimentos Muestreados Para Cuantificar el Contenido  
de Plomo en Alimentos Expendidos en la Vía Pública  
de la Ciudad de México

		No. DE MUESTRAS
Alimento A	Tortas de salchicha	15
Alimento B	Tacos de suadero	15
Alimento C	Licuados de fresa	15
Alimento D	Jugos de naranja	15
TOTAL =		60

fijos localizados en sitios de alta densidad vehicular (avenidas, terminales y cruceros), en la mayoría de los casos adyacentes a una estación del metro. El muestreo se realizó entre octubre de 1989 y febrero de 1990.

Con el propósito de obtener una visión panorámica del grado de contaminación por plomo de los alimentos expendidos en la vía pública, se dividió al Distrito Federal en cinco zonas, Noroeste (NO), Noreste (NE), Centro (C), Suroeste (SO) y Sureste (SE). La recolección de muestras se realizó en 30 sitios diferentes, distribuidos en las cinco zonas. El cuadro 7 y la figura 3 presentan las zonas y puntos de muestreo.

En cada zona se recolectaron por triplicado, aplicando un muestreo aleatorio simple, los diferentes alimentos elegidos.

CUADRO 7  
Puntos de Muestreo Localizados en las Zonas  
del Distrito Federal

ZONA NOROESTE		ZONA NORESTE	
1	Cuitlahuac	7	La Villa
2	Tacuba	8	Aragón
3	Vallejo	9	Indios Verdes
4	Cuatro Caminos	10	Martín Carrera
5	Terminal del Norte	11	Oceanía
6	Politécnico	12	Unidad Morelos
ZONA CENTRO			
	13	Hidalgo	
	14	Pino Suárez	
	15	Chapultepec	
	16	Insurgentes	
	17	Niños Héroes	
	18	Juárez	
ZONA SOROESTE		ZONA SURESTE	
19	San Angel	25	Ermita
20	Tacubaya	26	Pantitlán
21	San Antonio	27	Aeropuerto
22	Zapata	28	Calz. de la Viga
23	Copilco	29	Rojo Gómez
24	Barranca del Muerto	30	Del. Iztacalco

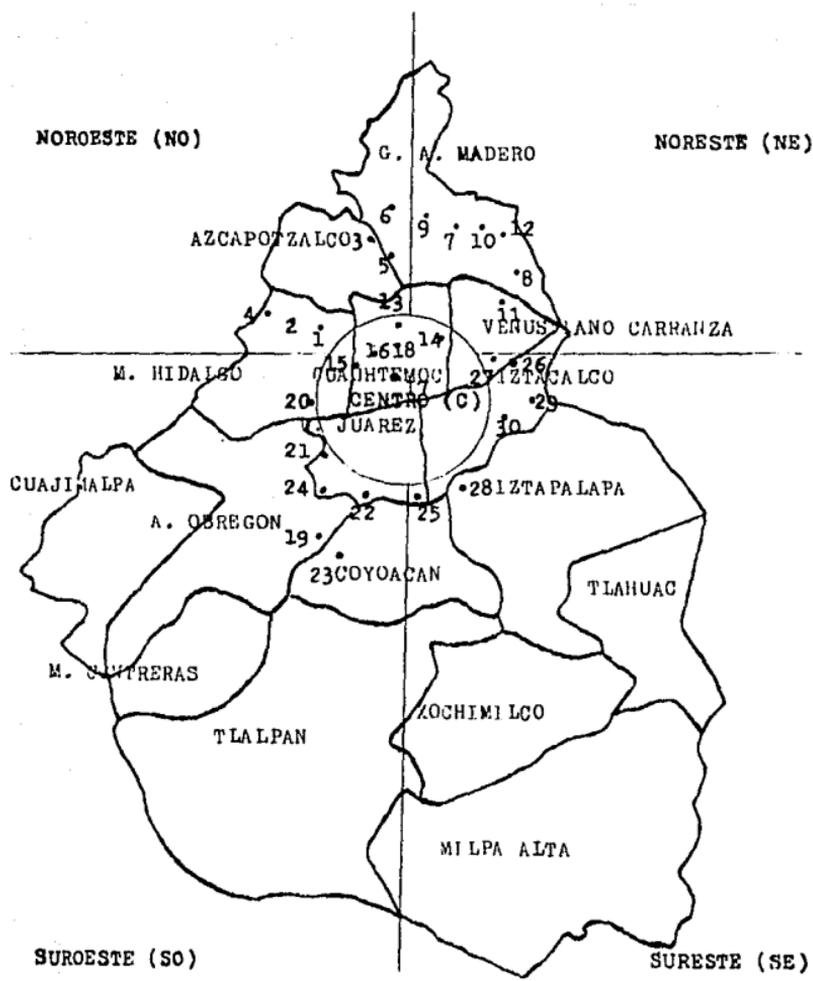


FIGURA 3. Delineamiento de las Zonas y Localización de los Puntos de Muestreo en el Distrito Federal

2 REACTIVOS

(a) Soluciones estándar de plomo:

- Solución de plomo concentrada: 1000 mcg/ml.- 1.5985 g de  $Pb(NO_3)_2$  recristalizado se disolvieron en agua destilada, se adicionaron 10 ml de  $HNO_3$  conc. (grav. esp. 1.40), y se diluyó a un litro a 20°C con agua destilada.

- Solución de plomo diluida: 10 mcg/ml.- Se diluyeron 10 ml de la solución anterior a un litro a 20°C con agua destilada.

(b) Acido nítrico 1%

(c) Acido cítrico. Grado reactivo

(d) Soluciones de trabajo de ditizona. Se prepararon soluciones que contenían 10 y 25 mg/l de ditizona en cloroformo. Se preparan el día de uso.

(e) Mezcla de  $CN-NH_3$  : a 100 ml de KCN 10% libre de fosfatos colocados en un matraz aforado de 500 ml se les adiciono una cantidad adecuada de  $NH_4OH$  correspondiente a 19.1 g de  $NH_3$ , y se diluyo al volumen con agua destilada.

(f) Hidróxido de amonio concentrado

(g) Acido perclorico 60% (p/p)

(h) Acido nítrico concentrado

(i) Acido clorhídrico 5M

(j) Papel filtro WATMAN 40 libre de plomo

### 3 EQUIPO Y MATERIAL

- Espectrofotómetro. Spectronic 20, Baush & Lomb
- Estufa con termostato. Represa
- Mufla eléctrica. Termolyne U.S.A, Modelo F-B1525
- Digestor microkjahl. Labconco
- Estufa con vacío. Thelco, Modelo 19
- Balanza analítica. Mettler
- Material básico de laboratorio

Todo el material empleado en el análisis se mantuvo previamente en ácido nítrico al 10% (v/v) durante 24 horas, se elimina el ácido y se enjuaga tres veces con agua desionizada y destilada para eliminar el plomo.

Pocos alimentos pueden analizarse directamente, siendo necesario, en la mayor parte de los casos, la eliminación total o parcial de la materia orgánica y el acondicionamiento de la muestra a las exigencias instrumentales.

La destrucción de la materia orgánica, se efectúa por oxidación, bien por vía húmeda, con empleo de ácidos oxidantes, o bien por incineración (vía seca). El empleo de una u otra técnica depende del metal y de la naturaleza del alimento.

La mineralización por vía seca presenta, entre otras, las siguientes ventajas:

- Permite el uso de gran cantidad de muestra, con la consiguiente mejora de los límites de detección.

- Introduce poca contaminación, dado el bajo empleo de reactivos.

- No requiere la presencia constante del operador durante el proceso.

Como inconveniente hay que hacer constar la posibilidad de pérdidas por volatilización y, también, el largo tiempo generalmente necesario para completar la oxidación de la materia orgánica, lo que dificulta la aplicación de esta técnica al control analítico en serie.

La mineralización por vía húmeda (digestión) es aplicable a todo tipo de alimentos sin limitación, lo que unido a su rapidez y a la reducción de las pérdidas por volatilización que conllevan los tratamientos de incineración, hace que estas técnicas tengan una amplia difusión e interés práctico. Sin embargo, también se presentan algunos problemas prácticos que deben ser valorados, tales como la necesidad de emplear reactivos de alta pureza, siempre caros y con peligro de introducir contaminación, así como la pérdida del elemento por la mayor manipulación. Entre los oxidantes empleados están los ácidos sulfúrico, nítrico y perclórico, así como el peróxido de hidrógeno. El ácido nítrico es uno de los reactivos más ampliamente utilizados, ya que se comercializa con un alto grado de pureza y forma sales solubles con casi todos los metales. El uso del ácido sulfúrico se ve limitado por problemas prácticos, ya que forma compuestos insolubles con los elementos alcalinotérreos, con lo que se forman precipitados durante el proceso de mineralización que engloban trazas de otros elementos entre ellos el plomo.

Para la estimación del plomo se procedió de acuerdo al Método General de la Ditizona recomendado por el AOAC en sus referencias 25.119 a 25.127 (4). Se realizó una pequeña modificación respecto a la obtención de las cenizas. El AOAC hace uso de la calcinación en seco, pero por ser más rápido aunque con más riesgo se prefirió la digestión con ácido nítrico concentrado y ácido perclórico 60% (p/p) recomendado por el Analytical Methods Commi-

te (AMC) of Society for Analytical Chemistry (58). Las precauciones y recomendaciones señaladas por el AOAC en sus referencias 25.084 a 25.085 fueron consideradas durante el desarrollo experimental. La figura 4 esquematiza el procedimiento llevado a cabo.

Los métodos que utilizan ditizona tienen la habilidad de detectar cantidades muy pequeñas de plomo. La ditizona es el nombre corto para la difeniltiocarbazona. Forma soluciones verdes con cloroformo. El complejo que forma con el plomo (ditizonato de plomo) es rojo y es soluble en cloroformo así como en soluciones ácidas diluidas, pero prácticamente insoluble en amoníaco diluido mientras que la ditizona es soluble en este medio pero insoluble en soluciones ácidas diluidas. La ditizona no es específica para el plomo, dado que forma complejos coloridos con 14 metales más, sin embargo estos complejos se diferencian en el color y en el pH óptimo para la reacción.

En base a estos factores, los diversos métodos que utilizan ditizona para la separación y subsecuente determinación de plomo se pueden realizar.

La naturaleza de la reacción que tiene lugar entre la ditizona y la sal metálica, así como la estructura del compuesto resultante no son bien conocidas pero es probable que el hidrógeno del grupo  $NH_2$  adyacente al grupo fenil sea reemplazado por el ión metálico y un complejo ceto interno se forme con el nitrógeno del

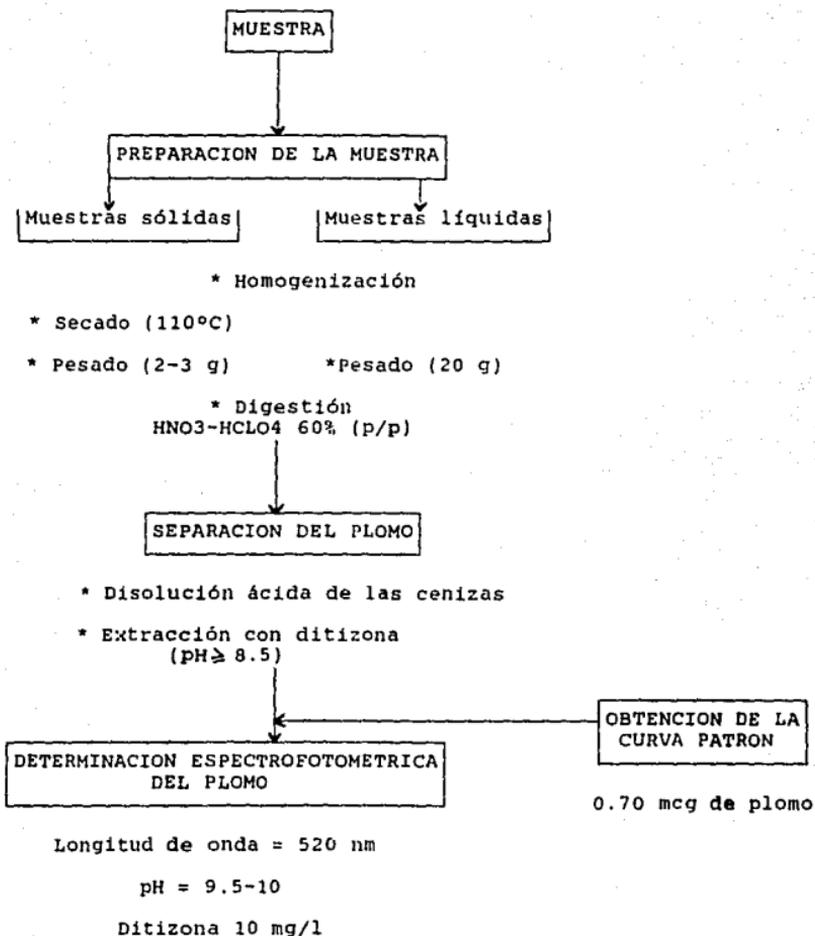


FIGURA 4. Diagrama de Bloques del Método Analítico  
MÉTODO GENERAL DE LA DITIZONA

grupo azo adyacente al grupo fenil. Un complejo enol puede producirse, en el cual un ión metal adicional está unido a un átomo de carbono central y un nitrógeno.

#### 4.1 Preparación de la muestra

En los siguientes incisos se explica la preparación de las muestras correspondientes a tortas y tacos.

a) La muestra íntegra se pesa en una cápsula de porcelana grande previamente puesta a peso constante a 110°C, registrándose el valor obtenido (peso húmedo).

b) Se somete a un secado a 110°C hasta peso constante, registrándose nuevamente el valor obtenido (peso seco).

c) Una vez seca la muestra, ésta se tritura y homogeneiza en un mortero de porcelana.

d) Se pesa exactamente 2-3 g de una muestra representativa en balanza analítica. El resto de la muestra se guarda en un recipiente de plástico perfectamente limpio y con cierre hermético para prevenir que adquieran humedad del ambiente. Esta precaución hace posible tener muestra disponible, si análisis posteriores fueran requeridos.

e) Digestión de la muestra. La muestra pesada se adiciona cuantitativamente a un matraz Kjeldahl de 200 ml. Se adicionan 25

ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y se procede a hervir gentilmente por 30 minutos. Se enfría el contenido del matraz y se adicionan, lentamente y enfriando, 15 ml de ácido perclórico 60% (p/p), y nuevamente se procede a hervir gentilmente hasta que la mezcla es más o menos incolora o cuando vapores blancos espesos sean visibles. Se continúa hirviendo por una hora, siempre con una constante supervisión para prevenir la sequedad del contenido y así evitar una posible explosión.

En el caso de licuados y jugos, la preparación de la muestra incluyó los siguientes pasos:

a) La muestra se homogeniza perfectamente en el recipiente contenedor.

b) Se pesan exactamente 25-30 g en un vaso de precipitados de 50 ml.

c) La digestión de la muestra se realiza en la misma forma en que se llevó la digestión de tortas y tacos.

#### **4.2 Separación del plomo**

a) Disolución ácida de las cenizas. Cuando la digestión ya ha sido completa, se enfría y se adicionan 5 ml de agua destilada. Se transfiere la solución de cenizas a un matraz erlenmeyer de 250 ml lavando con dos porciones de 5 ml de agua el matraz original. Se adicionan 10 ml de HCL 5M al matraz Kjeldahl, se hierven

porciones de 5 ml de agua destilada.

b) Extracción con ditizona. Al matraz que contiene la solución de cenizas se le agregan 10 g de ácido cítrico y unas gotas de indicador azul de bromotimol con lo cual la solución se torna amarilla. Ajustar el pH a  $> 8.5$  con  $\text{NH}_4\text{OH}$  concentrado (a este pH la solución vira a una coloración que va de azul-azulverdoso a azul), manteniendo la solución fría y dejar reposar por 1-2 min. El ácido cítrico y el  $\text{NH}_4\text{OH}$  forman una solución amortiguadora de amonio-citrato.

Una vez ajustado el pH adicionar 5 ml de solución de KCN 10%. Disolver el  $\text{KClO}_4$  formado con aproximadamente 200 ml de agua. Inmediatamente transferir la solución de cenizas a un embudo de separación de 500 ml, y extraer con porciones de 20 ml del reactivo de ditizona, usando las soluciones más diluidas (10 mg/l), a menos que cantidades excepcionalmente grandes de plomo estén presentes. Agitar por 30 segundos, dejar separar las capas y observar el color de la fase clorofórmica.

Los radicales citrato y cianuro en medio alcalino eliminan la interferencia de otros cationes.

Drenar los extractos directamente dentro de un segundo embudo de separación que contenga 25 ml de  $\text{HNO}_3$  1%. Cuando la extracción sea completa (fracción clorofórmica verde), agitar los extractos combinados en el embudo de separación y drenar la fase orgánica dentro de un tercer embudo de separación que contenga otros 25 ml de  $\text{HNO}_3$  1%. Agitar, dejar que las capas se separen, y descargar

de HNO<sub>3</sub> 1%. Agitar, dejar que las capas se separen, y descargar la fracción clorofórmica. Filtrar los extractos ácidos que contienen el plomo a través de un trozo de algodón insertado en un embudo de vidrio, dentro de un matraz aforado de 500 ml. Usar el segundo extracto ácido para enjuagar el embudo de separación en el cual la primera extracción se realizó. Completar alguna deficiencia en volumen con HNO<sub>3</sub> 1%.

#### 4.3 ~~Determinación colorimétrica con ditizona~~

Tomar una alícuota, o los 50 ml de HNO<sub>3</sub> 1% que contienen al plomo y depositarlos en un embudo de separación de 150 ml. Si se toma una alícuota, aforar a 50 ml con HNO<sub>3</sub> 1%. Adicionar 10 ml de la mezcla de NH<sub>3</sub>-CN, mezclar. El pH resultante debe ser alrededor de 9.7 ( el pH óptimo se encuentra entre 9.5-10). Desarrollar el color por agitación, durante un minuto, con 25 ml de solución de ditizona cuya concentración será de 10 mg/l. Dejar reposar pocos minutos, filtrar la fase clorofórmica a través de papel preparado, en la misma forma como se realizó con los estándares de la curva patrón. Llenar la misma celda que se utilizó para la curva patrón con el extracto clorofórmico. Determinar el CT, leyendo contra el blanco.

Si la escala del aparato es excedida, repetir con una alícuota más pequeña, o reextraer y repetir con ditizona estandarizada. Si

sólo sustraerle al plomo encontrado, el plomo del blanco.

Una vez obtenida las lecturas de absorción, y construída la curva de calibración, se interpolan los microgramos de plomo de dicha curva. Los valores obtenidos se aplican en las siguientes fórmulas para determinar la concentración de plomo en la muestra húmeda respectiva, expresada en partes por millón (ppm).

Licuados y jugos:

$$\text{ppm Pb en peso húmedo} = \frac{[(\text{mcg Pb interpolados} \times 50\text{ml/L}) - B] \times (100 - \%H)}{100 M}$$

Tortas y tacos

$$\text{ppm Pb en peso húmedo} = \frac{[(\text{mcg Pb interpolados} \times 50\text{ml/L}) - B] \times (100 - \%H)}{100 M}$$

donde: B = mcg de plomo en el blanco  
M = Peso de muestra en gramos  
L = alicuota en mililitros  
%H= Porcentaje de humedad en la muestra

#### 4.4 Curva de calibración

La curva de calibración se preparó de acuerdo a las instrucciones del Método General de la Ditizona indicado por el AOAC en su referencia 25.124, (4).

Transferir con bureta 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 ml de la solución estándar de plomo diluida a una serie de embudos de separación y adicionar  $\text{HNO}_3$  1% de tal forma que el volumen total sea siempre de 50 ml (adicionar primero el ácido). Saturar cada mezcla con 2 ml de cloroformo por agitación. Permitir que reposen por unos minutos, girando el embudo con el fin de llevar hacia el interior los glóbulos de cloroformo pegados a la pared del embudo. Drenar la fase clorofórmica completamente, tener cuidado de no drenar algo de la fase acuosa. Remover los residuos de cloroformo adheridos al tallo con un pedazo de algodón o papel filtro. Adicionar 10 ml de la mezcla  $\text{NH}_3$ -CN, y mezclar. El pH resultante debe ser aproximadamente de 9.7. Inmediatamente adicionar 25 ml de la solución estándar de ditizona de concentración igual a 10 mg/l. Desarrollar el color por agitación de los embudos durante un minuto. Dejar reposar unos minutos, filtrar las fases orgánicas a través de papel filtro sin plomo. Llenar la celda con los extractos filtrados y determinar el %T. Leer contra una celda que contenga el blanco de la curva. Tomar el promedio de 5 lecturas. Graficar absorbancia (A) contra microgramos de plomo (mcg Pb) para obtener la curva de calibración.

CUADRO 8  
Datos Experimentales de la Curva Patrón

No.	CONCENTRACION DE PLOMO (mcg/ml)	ABSORBANCIA (520 nm)
1	0	0.00
2	10	0.10
3	20	0.210
4	30	0.315
5	40	0.421
6	50	0.526
7	60	0.631
8	70	0.736

La curva se ajusto por el método de mínimos cuadrados, obteniéndose la siguiente ecuación lineal:

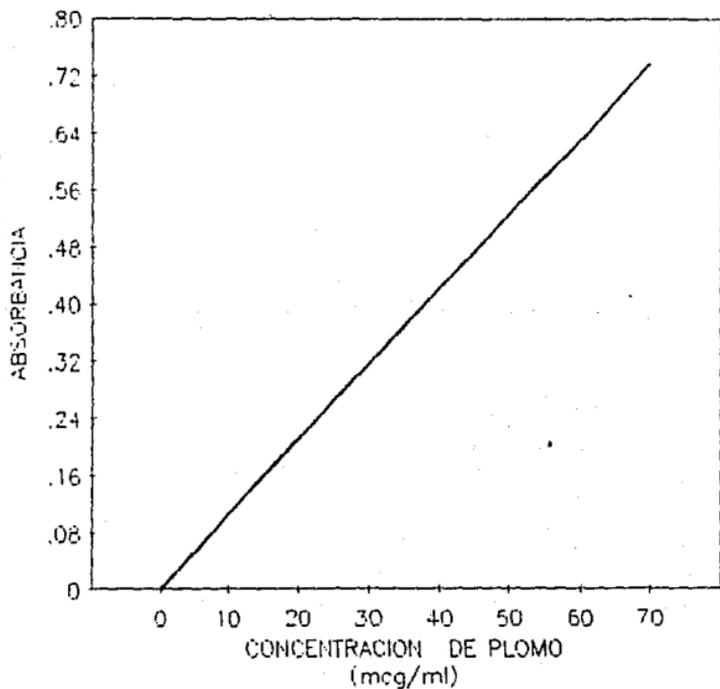
$$y = 0.0105x - 8.52 \times 10^{-4}$$

con un coeficiente de correlación igual a:

$$r = 0.999997$$

El valor del coeficiente de correlación, prácticamente igual a uno, indica un buen ajuste entre los datos experimentales.

GRAFICA 1  
CURVA DE CALIBRACION



#### 4.5 Porcentaje de recuperación de plomo

Con el fin de cuantificar el porcentaje de recuperación de plomo por el método espectrofotométrico de la ditizona, se procedió de la siguiente forma:

- Se pesaron dos porciones de 1-3 g de cada una de tres muestras escogidas al azar correspondientes a tacos y tortas, y se tomaron dos alicuotas de 15-30 g de cada una de tres muestras correspondientes a enlatados, jugos y licuados.

- Se determinó previamente el contenido de plomo de las muestras elegidas para tener una referencia al estimar el contenido de plomo esperado en las mismas después de adicionar una cantidad conocida del plomo.

- Se adicionaron 2 y 4 ml por separado de la solución diluida de plomo (10 mcg/ml) a cada una de las dos submuestras, respectivamente.

Para calcular el contenido de plomo esperado se recurrió a la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración de Pb} = \frac{\text{Cantidad de Pb presentes en la muestra} + \text{Cantidad de Pb adicionada}}{\text{Peso total}}$$

muestras con adición

El porcentaje de recuperación de plomo por el método aplicado, se calculo haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{\text{Concentración determinada (100)}}{\text{Concentración esperada}}$$

#### 4.6 Precisión del método

Se estimo a partir del coeficiente de variación (cv) para 10 análisis independientes de una misma muestra.

### 5 ESTIMACION DE LA INGESTA DIARIA Y SEMANAL DE PLOMO EN ADULTOS A TRAVES DEL CONSUMO DE ALIMENTOS EXPENDIDOS EN LA VIA PUBLICA DE LA CIUDAD DE MEXICO

La cantidad de alimentos preparados en los puestos situados en la vía pública de la Ciudad de México ingerida por individuos adultos varia ampliamente, en el cuadro 9 se muestran las cantidades normalmente consumidas.

CUADRO 9  
 Cantidades de Alimentos Expendidos en Puestos  
 Metálicos más Comúnmente Consumidas

No. ALIMENTO	UNIDADES CONSUMIDAS		CANTIDAD DE ALIMENTO INGERIDO	
	DIA	SEMANA	DIARIA	SEMANAL
A	2	10	100	500
	3	15	150	750
	5	25	250	1250
	6	30	300	1500
	8	40	400	2000
	10	50	500	2500
B	1	5	150	750
	2	10	300	1500
C	1*	5	255	1275
	2*	10	510	2550
D	1*	5	250	1250
	2*	10	500	2500

\* Vasos

De acuerdo a las cantidades de alimento ingerido se estimó la ingesta diaria y semanal de plomo con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ingesta de Pb/persona/día} = (A) \times (x)$$

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Ingesta de Pb/persona/día = (B) x (x)

dónde: A = Cantidad de alimento ingerido al día

B = Cantidad de alimento ingerido en una semana

x = Media del contenido de plomo en el alimento húmedo

6 EVALUACION DEL CONTENIDO DE PLOMO EN LOS ALIMENTOS  
ANALIZADOS, ALIMENTOS ENLATADOS Y ALIMENTOS PREPARADOS  
EN CASA

Con el fin de realizar una comparación entre el contenido de plomo encontrado en los alimentos expuestos en la vía pública del Valle de México y el detectado en productos enlatados, así como el de alimentos preparados de manera usual, se determinó el contenido de los últimos dos grupos por el método ya mencionado para que la comparación fuera más confiable.

Se adquirieron en el mercado del Distrito federal las siguientes muestras de productos enlatados.

- Leche evaporada
- Rajas de jalapeño en escabeche
- Consomé de res (sopa condensada)

- Ensalada de legumbres
- Jugo de naranja

Cada producto se adquirió por triplicado en tiendas ubicadas en distintos rumbos. Cada una de las muestras se analizó por duplicado.

Al contenido de las latas se le determinó el pH antes de la determinación analítica de su contenido en plomo. La preparación de las muestras se hizo de la misma manera que en el caso de jugos y licuados, aunque para chiles y legumbres se hizo un previo homegeneizado del contenido total de la lata.

En cuanto a los alimentos caseros, se prepararon por triplicado de manera usual los siguientes alimentos:

- Tortas de salchicha (Alimento A)
- Tacos de suadero (Alimento B)
- Licuados de fresa (Alimento C)
- Jugos de naranja (Alimento D)

El tratamiento de las muestras para la determinación de su contenido plumbeo fue idéntico al que recibieron los alimentos preparados y expendidos en la vía pública.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 1 PRECISION DEL METODO

La precisión con la cual el plomo pudo ser medido cuantitativamente con el Método General de la Ditizona (MGD) bajo las condiciones de trabajo que se tenían, se muestran en el cuadro 10.

CUADRO 10  
Presición del Método General  
de la Ditizona (Datos Experimentales)

No.	ppm Pb
1	1.8530
2	2.2825
3	2.0844
4	1.6734
5	1.9504
6	1.9083
7	1.9648
8	1.9074

$$n = 8$$

$$\bar{x} = 1.9529$$

$$S_{n-1} = 0.1763$$

$$cv = 9.03\%$$

2 PORCENTAJE DE RECUPERACION

Los resultados del porcentaje de recuperación se visualizan a continuación.

CUADRO 11  
Porcentaje de Recuperación de Plomo

No. ALIMENTO	mcg Pb ADICIONADOS	ppm ESPERADOS	ppm Pb DETECTADOS (520 nm)	PORCENTAJE DE RECUPERACION
1	20	8.7737	8.2790	94.36%
2	40	15.6839	14.8619	94.76%
3	20	8.0221	7.7711	96.87%
4	40	14.5718	13.3634	91.71%
5	20	1.1936	1.2182	102.06%
6	40	1.8733	1.7314	92.42%
7	20	1.3570	1.2845	94.66%
8	40	2.2877	2.0873	91.24%
9	20	5.7990	4.1065	70.81%
10	40	2.2488	2.2276	98.83%
11	20	1.3961	1.2681	90.83%
12	40	2.6600	2.5621	96.32%

A la vista de los resultados, se observa que, con la excepción

hecha para las muestras 5 y 9, los porcentajes de recuperación se encuentran dentro del orden de precisión del MGD; se consideran satisfactorios por lo cual procede la determinación cuantitativa del plomo por el MGD para los diferentes alimentos analizados.

3      CONTENIDO DE PLOMO EN LOS ALIMENTOS EXPENDIDOS EN PUESTOS  
METALICOS SITUADOS SOBRE LA VIA PUBLICA DE LA CIUDAD DE  
MEXICO

En los cuadros 12 a 16 figuran los valores de la media, de la mediana y de la moda obtenidos con indicación de los valores máximos y mínimos y el número de valores considerados en cada caso; las gráficas correspondientes a los valores medios presentan por medio de barras la magnitud de plomo contenido en los alimentos analizados.

En la gráfica 2 (cuadro 12), se observa que los contenidos encontrados en los alimentos, en general, son del orden de 0.03 a 10.3 ppm de plomo con una media igual a 0.92 ppm; el contenido más frecuente en estos alimentos es superior a 1 ppm.

Si se considera por separado a cada uno de los alimentos analizados (gráfica 3, cuadro 13), las tortas muestran el mayor contenido de plomo, desde 0.19 a 10.4 ppm; las altas concentraciones detectadas quedan explicada por el aporte individual de sus ingredientes, en particular el correspondiente chiles enlatados, pues tales productos presentan una elevada concentración de plomo debido a su levada acidez, y a que en ocasiones están contenidos en lata con soldadura de plomo. En contraste, el alimento menos contaminado por el metal resultaron ser los jugos de naranja, con una media por abajo de 0.2 ppm de Pb, pues están sujetos a una menor manipulación y su preparación no requiere ni de ingre-

dientes extraños, excepto aquellos acompañados con huevo y jerez, ni de la utilización de un número excesivo de utensilios de cocina, como es en el caso de los demás alimentos muestreados.

Se aprecia en la gráfica 4, al centro como la zona en la cual se expenden los alimentos con el mayor contenido de plomo, de acuerdo a la media cuyo valor es superior a 1.6 ppm con un valor máximo y mínimo de 10.36 y 0.11 ppm de plomo, respectivamente. El posible causal pueden ser los altos niveles de plomo atmosférico originados por el gran número de vehículos particulares y unidades del transporte público, consumidores aun de gasolina con tetraetilo de plomo como antidetonante. Los alimentos con la concentración de Pb más baja se localizan en el Noreste, la zona menos contaminada del Distrito Federal según la SEDUE; su concentración varía de 0.02 a 1.15 ppm.

La gráfica 5 (cuadro 16) permite ampliar la discusión anterior dado que dejan entre ver cual de los cuatro alimentos muestreados, es el más contaminado por plomo en la zona respectiva; en general las tortas y los licuados son los alimentos más contaminados. Esto confirma lo dicho al inicio de la discusión. Por otro lado los jugos implican un menor riesgo de ingerir elevadas cantidades de plomo en las diferentes zonas de la Ciudad de México.

Los puestos metálicos situados sobre un cruceo (gráfica 6, cuadro 15), de acuerdo a la media con valores extremos de 0.10 a 10.3 ppm de plomo, expenden los alimentos más contaminados por

plomo; la densidad vehicular elevada y constante en ese sitio puede ser el causal principal de las altas concentraciones encontradas. Sin embargo los valores de la mediana y de la moda colocan a los puestos situados en las avenidas con tal característica, pero su rango es más estrecho. Los puestos cercanos a una terminal, sin discrepancia entre los valores de las medidas de tendencia central, venden los alimentos con menor contenido plumbico, posiblemente a que la circulación es menor.

Aun cuando en los comentarios anteriores se ha manifestado la posibilidad de que las partículas de plomo atmosférico, provenientes del escape de vehículos automotores, sean una fuente significativa del contenido de plomo en los alimentos consumidos en los puestos metálicos, debe recalcar el hecho de que los ingredientes, utensilios, equipo y agua involucrados en su preparación son las principales fuentes de contaminación pero a la vez, como se menciona en las generalidades, el plomo atmosférico también es el principal contribuyente por depositación en estos materiales.

CUADRO 12  
 Contenidos de Plomo en los Alimentos Expendidos  
 en la Vía Pública de la Ciudad de México

BASE	N	MEDIA	Sn-1	MEDIANA	MODA	INTERVALO
Húmeda (ppm Pb)	60	0.92	1.63	0.47	0.25	0.03-10.36

CUADRO 13  
 Contenido de Plomo en los Principales Alimentos  
 Consumidos en la vía pública de la Ciudad de México

No. ALIMENTO	N	ppm, peso húmedo				
		MEDIA	Sn-1	MEDIANA	MODA	INTERVALO
A	15	1.64	2.57	0.83	0.80	0.20-10.3
B	15	0.70	0.46	0.64	0.65	0.23-2.11
C	15	1.15	1.77	0.26	0.15	0.04-6.34
D	15	0.20	0.14	0.21	0.25	0.03-0.46

N = Número de muestras

CUADRO 14  
Contaminación Alimenticia por Plomo  
en las Diferentes Zonas del Distrito Federal

ZONA	No. MUESTRAS	ppm, peso húmedo				
		MEDIA	Sn-1	MEDIANA	MODA	INTERVALO
NO	12	1.11	1.32	0.76	0.35	0.04-04.02
NE	12	0.44	0.35	0.43	0.40	0.03-01.16
C	12	1.68	3.24	0.28	0.20	0.11-10.36
SO	12	0.84	0.70	0.71	1.05	0.03-02.09
SE	12	0.54	0.60	0.34	0.15	0.05-02.11

CUADRO 15  
Contenido de Plomo en los Alimentos Expendidos en la Vía  
Pública en Función de la Densidad Vehicular

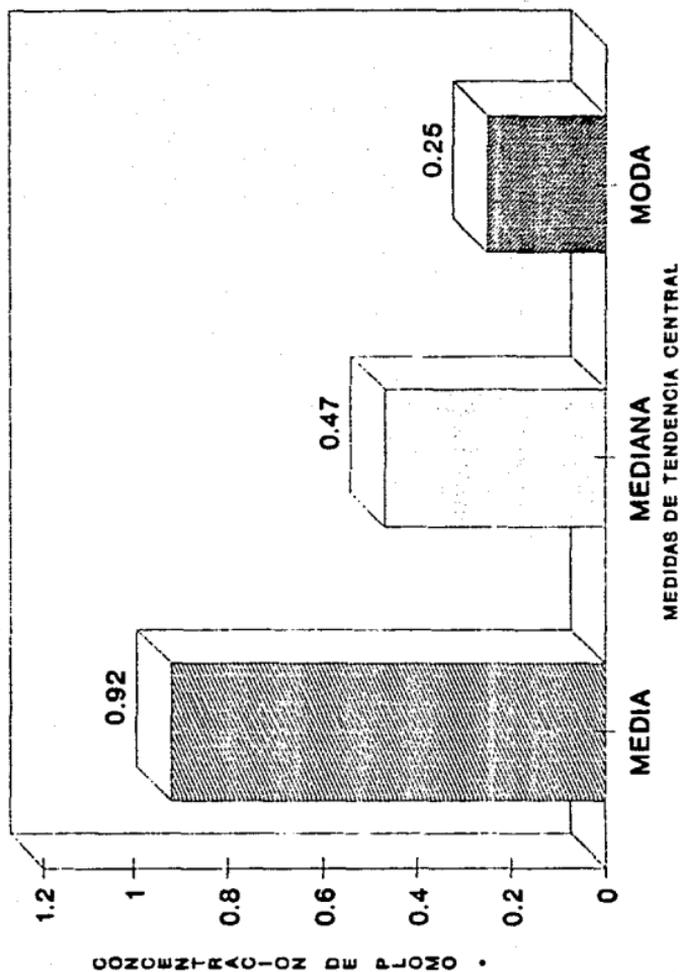
TRAFICO	No. MUESTRAS	ppm Pb, peso húmedo				
		MEDIA	Sn-1	MEDIANA	MODA	INTERVALO
Avenida	19	0.68	0.52	1.63	0.40	0.03-02.11
Crucero	22	1.54	2.52	0.37	0.15	0.11-10.36
Terminal	19	0.49	0.51	0.38	0.05	0.03-02.05

**CUADRO 16**  
**Contenido de Plomo en los Principales Alimentos Expendidos**  
**la Vía Pública de Acuerdo con la zona en que se localizan**

ZONA	ALIMENTO	No MUESTRAS	ppm Pb, peso húmedo			
			MEDIA	MEDIANA	MODA	INTERVALO
NO	A	3	1.68	0.82	1.72	0.21-4.02
	B	3	0.84	0.80	0.75	0.72-1.00
	C	3	1.66	1.36	1.65	0.04-3.57
	D	3	0.25	0.27	0.25	0.04-0.44
NE	A	3	0.82	0.83	0.82	0.48-1.16
	B	3	0.57	0.52	0.58	0.38-0.800
	C	3	0.29	0.26	0.32	0.11-0.50
	D	3	0.10	0.06	0.05	0.03-0.20
C	A	3	3.78	0.77	3.75	0.20-10.36
	B	3	0.45	0.31	0.45	0.25-0.80
	C	3	2.31	0.43	2.32	0.16-6.34
	D	3	0.19	0.23	0.25	0.11-0.24
SO	A	3	1.08	1.10	1.05	0.77-1.38
	B	3	0.68	0.64	0.68	0.54-0.86
	C	3	1.40	2.05	2.05	0.05-2.09
	D	3	0.19	0.20	0.22	0.03-0.33
SE	A	3	0.82	0.68	0.82	0.53-1.25
	B	3	0.96	0.53	0.98	0.23-2.11
	C	3	0.11	0.11	0.15	0.05-0.18
	D	3	0.27	0.21	0.28	0.13-0.46

## GRAFICA No.2

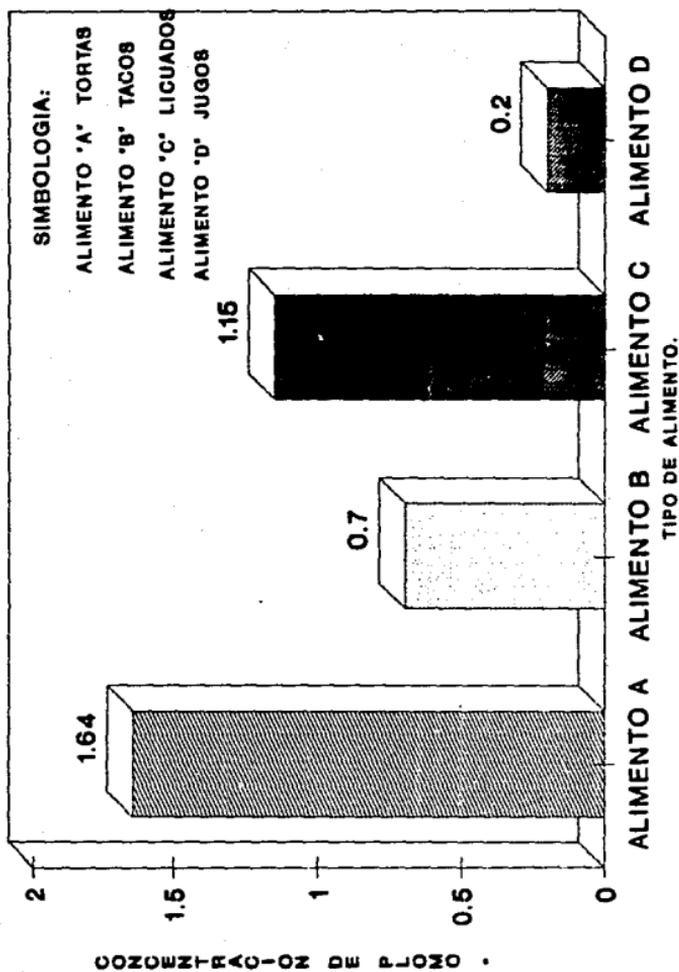
CONTENIDO DE PLOMO EN LOS ALIMENTOS QUE SE EXPENDEN EN LA VIA PUBLICA DE LA CIUDAD DE MEXICO.



• ppm, peso húmedo.

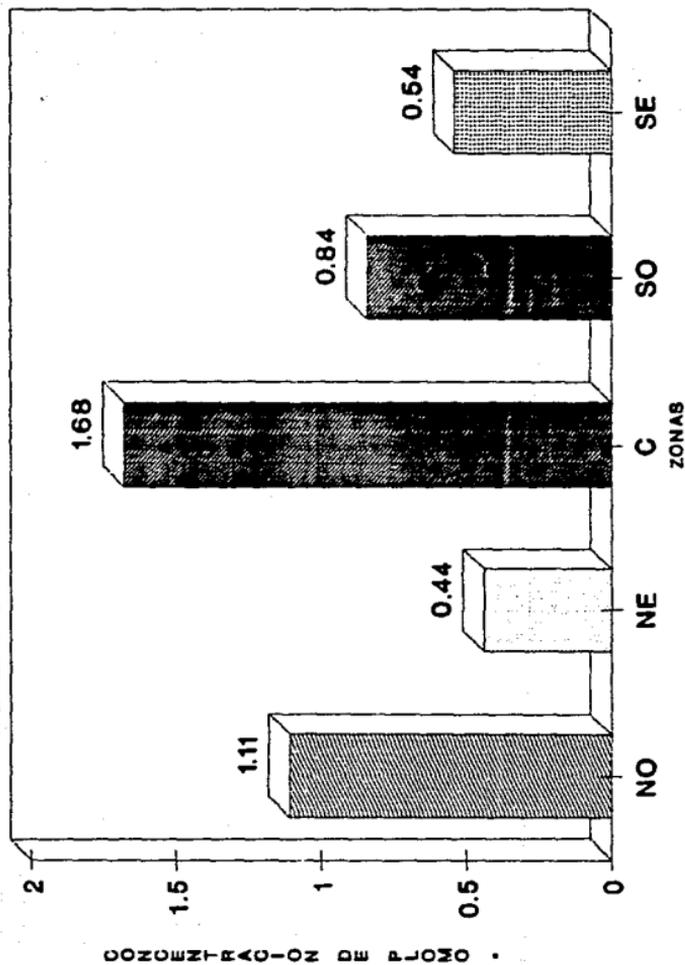
### GRAFICA No.3

CONTENIDO DE PLOMO EN LOS PRINCIPALES ALIMENTOS QUE SE EXPENDEN EN LA VIA PUBLICA DE LA CIUDAD DE MEXICO.



• ppm, peso húmedo.

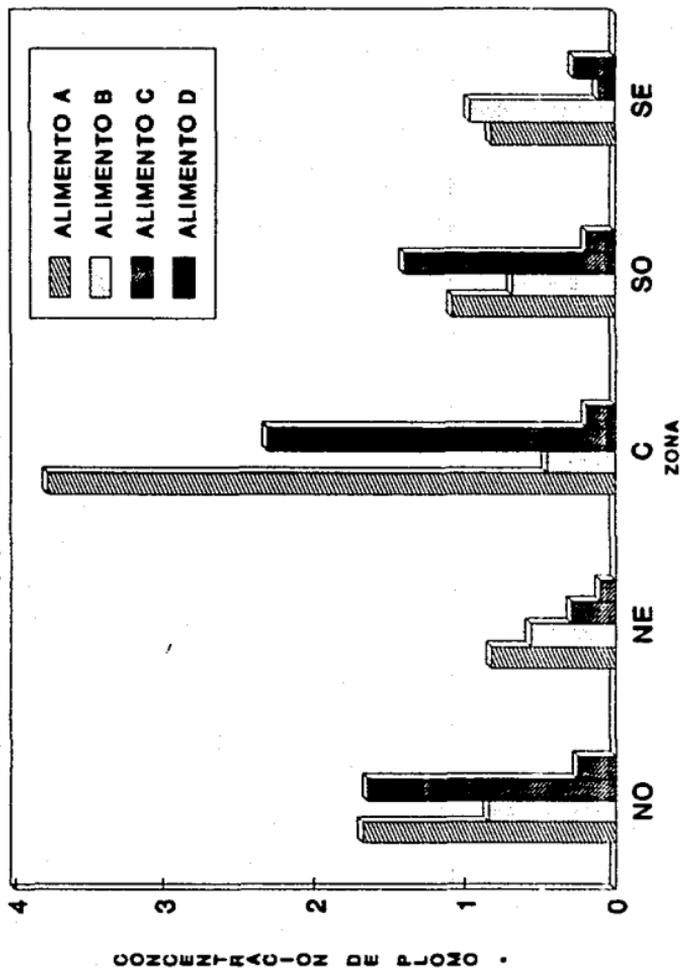
**GRAFICA No.4**  
**CONTAMINACION ALIMENTICIA POR PLOMO EN LAS**  
**DIFERENTES ZONAS DEL DISTRITO FEDERAL.**



• ppm, peso húmedo.

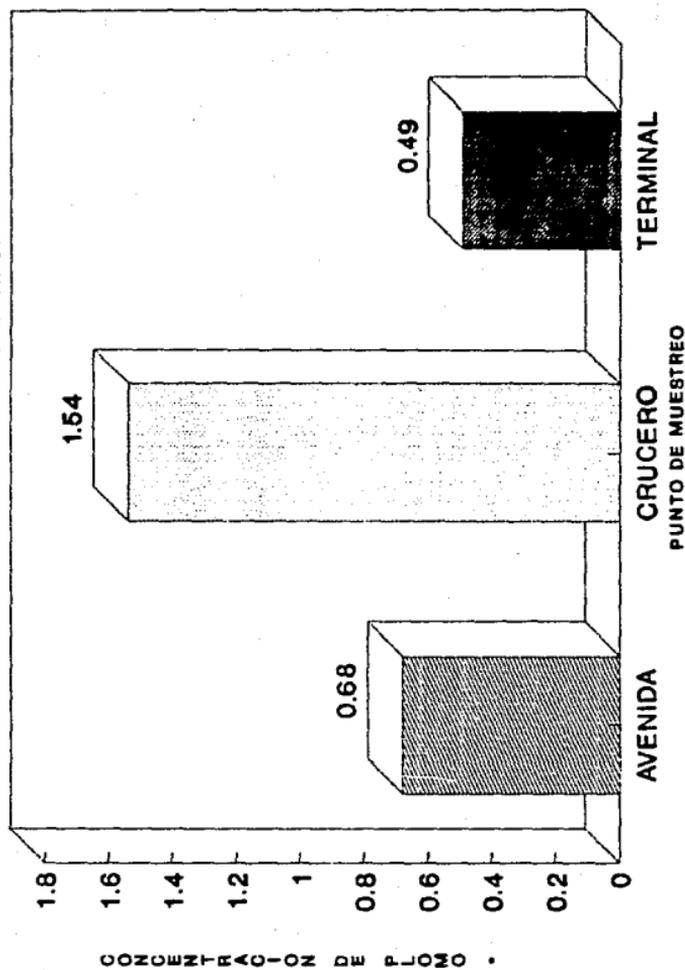
# GRAFICA No.5

CONTENIDO DE PLOMO EN LOS DIFERENTES ALIMENTOS EXPENDIDOS EN LA VIA PUBLICA DE LAS CORRESPONDIENTES ZONAS DEL D.F.



\* ppm, peso húmedo.

**GRAFICA No.6**  
**CONTAMINACION ALIMENTICIA POR PLOMO**  
**EN FUNCION DEL PUNTO DE MUESTREO.**



• ppm, peso húmedo.

#### 4 INGESTA DIARIA Y SEMANAL DE PLOMO A TRAVÉS DEL CONSUMO DE ALIMENTOS EXPENDIDOS EN LA VÍA PÚBLICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

La cantidad diaria y semanal de alimentos preparados en puestos metálicos ingerida por adultos, varía ampliamente, no obstante y de acuerdo a las cantidades más consumidas (cuadro 17). A continuación se discute la contribución de estos alimentos a la ingesta diaria y semanal de plomo si llegaran a ser consumidos.

Únicamente en el caso de ingerir dos tortas o dos licuados al día una persona adulta de 70 Kg estará ingiriendo una cantidad de plomo similar a la ingesta diaria tolerable (0.50 mg). Respecto a la ingesta semanal solo en el caso de ingerir diariamente 2 licuados durante una semana, se estará muy cerca de la ingesta semanal tolerable (3 mg).

Aun cuando el consumo de alimentos expendidos en la vía pública, en general, no igualan o rebasan, en general, las cifras de los límites de ingesta provisional de plomo proveniente de alimentos y bebidas, establecidas por el Comité Mixto FAO/OMS, si representan, con excepción de los jugos, una contribución relativamente alta a la ingesta total de plomo para aproximarse a dichos límites. Por ejemplo, si se consumen cinco tacos o una torta o un licuado en un día, consumo normal, se tiene una contribución del 34%, 48% y 56% respectivamente, suponiendo que la ingesta total es igual al nivel tolerable, es decir: 0.50 mg de plomo por día. Debe tenerse en cuenta que las investigaciones toxicoló-

gicas mas recientes han descubierto efectos nocivos para la salud humana por plomo a concentraciones cada vez menores.

A continuación se discuten las posibles fuentes mayoritarias de contaminación plumbica en los alimentos expendidos en puestos metálicos situados en el Valle de México.

En orden de importancia, el depósito aéreo del plomo atmosférico proveniente del escape de vehículos automotores sobre los alimentos y utensilios expuestos a la intemperie, el uso de ingredientes y agua contaminados por la misma fuente, y la utilización de utensilios y equipo contaminados o con aleaciones de plomo, son las principales fuentes de contaminación plumbica en los alimentos analizados.

CUADRO 17  
 Estimación de la Ingesta Diaria y Semanal de Plomo  
 a Través de Alimentos Preparados en Puestos Metálicos

No. ALIMENTO	UNIDADES CONSUMIDAS		CONTENIDO DE Pb EN EL ALIMENTO (ppm, p.h)	INGESTA DE Pb POR PERSONA (mg)	
	DIA	SEMANA		DIARIA	SEMANAL
A	2	10	0.7	0.07	0.35
	3	15		0.10	0.52
	5	25		0.17	0.87
	6	30		0.21	1.05
	8	4		1.28	1.40
	10	50		0.35	1.75
B	1	5	1.6	0.24	1.20
	2	10		0.48	2.40
C	1*	5	1.1	0.28	1.4
	2*	10		0.56	2.80
D	1*	5	0.2	0.05	0.25
	2*	10		0.10	0.50

\* Vasos

p.h = Peso húmedo

5 EVALUACION DEL CONTENIDO DE PLOMO EN LOS DIFERENTES  
ALIMENTOS DE LA DIETA DE LOS RESIDENTES DE LA CIUDAD  
DE MEXICO.

Enseguida se presentan los resultados en la determinación del pH y el contenido medio en plomo tanto de los productos enlatados como de los alimentos preparados en casa.

CUADRO 18  
Contenido de Plomo de los Alimentos Enlatados

ALIMENTO	No. MUESTRAS	VALORES LIMITES DE pH	CONTENIDO DE Pb (ppm, p.h)
Leche evaporada	3	6.6-6.7	0.63
Rajas de jalapeño	3	3.5-4.5	1.91
Consome de res	3	6.2-6.4	0.01
Ensalada de legumbres	3	4.5-4.7	0.41
Jugo de naranja	3	3.1-4.4	3.06

p.h = Peso húmedo

CUADRO 19  
 Contenido de Plomo en Alimentos Caseros

No. ALIMENTO	No. MUESTRAS	CONTENIDO DE Pb (ppm, p.h)
A	3	0.34
B	3	0.24
C	3	0.37
D	3	0.10

En general, las concentraciones medias de plomo en los diferentes productos enlatados concuerdan con las informadas en la bibliografía.

En el caso de los alimentos caseros las concentraciones de plomo son bajas, inferiores a 1 ppm.

Al evaluar los contenidos de plomo que presentan los diferentes grupos de alimentos analizados, encontramos que los más contaminados por el metal son los enlatados, principalmente los ácidos como es el caso de jugos, chiles y legumbres. La concentración de plomo en los alimentos preparados de manera usual son inferiores a la encontrada en los alimentos expendidos en la vía pública, esto implica como posible fuente de contaminación la deposición area del plomo atmosférico en los alimentos o superficies en las que se preparan.

## CONCLUSIONES

- El contenido de plomo de los alimentos más consumidos en puestos situados sobre la vía pública de la Ciudad de México varía de 0.03 a 10.36 ppm. El contenido más frecuente resultó ser igual a 0.25 mg/Kg.

- Las tortas con una media igual a 1.6 ppm de plomo, son los alimentos más contaminados que se consumen en la vía pública, con una contribución de plomo a la ingesta total de este metal cercana al 50% de la ingesta diaria tolerable actualmente.

- Los jugos preparados a la intemperie muestran el menor contenido de plomo entre los diferentes alimentos que se expenden en la vía pública, entre 0.03ppm y 0.46 ppm.

- Es evidente que los altos niveles de plomo predominantes en la atmósfera de la Ciudad de México, influyen directa e indirectamente en el contenido de plomo de los alimentos preparados en la vía, esta influencia se deja ver en los siguientes dos párrafos.

- La zona Noreste del Distrito Federal, la que presente los menores niveles de contaminación atmosférica, es la menos afectada en lo referente a la contaminación plumbica de los alimentos preparados en la vía pública.

- Los puestos metálicos situados en un crucero son los que, espenden los alimentos con la mayor concentración de plomo.

- La contaminación de alimentos industrializados y frescos con plomo se presenta en la Ciudad de México.

## RECOMENDACIONES

Los alimentos estudiados (alimentos expendidos en la vía pública, productos enlatados y alimentos preparados en casa) muestran contenidos de plomo, si no elevados si de cierta importancia desde el punto de vista de la salud pública. Esta situación hace indispensable ampliar este tipo de estudios tanto en productos industrializados como frescos para conocer el origen de la contaminación así como para establecer la reglamentación oficial necesaria para evitar que tal elemento se convierta en un peligro para la salud del consumidor.

En vista de los datos existentes acerca del Valle de México que indican una alta proporción de individuos con niveles de plomo sanguíneo peligrosos, el tomar muestras sanguíneas para evaluar las concentraciones, podría considerarse como una práctica conservadora. Si se detectan niveles elevados, se puede como ayuda intentar la identificación de las fuentes probables de plomo, para reducir de una manera sustancial la carga de plomo.

Las fuentes más probables del metal en los residentes del valle son el aire, los alimentos, el agua y el polvo contaminados. Muchas de estas fuentes pueden ser evitadas si se consideran las siguientes recomendaciones.

Hay que evitar el consumo de alimentos preparados y expuestos al plomo ambiental, desde luego, esto no quiere decir que neguemos una forma honesta de trabajar a los comerciantes de la calle, sino que una alternativa para ellos sería que no aumenten su número y sean ubicados en lugares estratégicos y seguros contra posibles contaminaciones plumbicas.

Los alimentos frescos deben ser lavados con agua limpia y jabón y tallados cuando sea posible. Esto permite remover la contaminación superficial.

Es aconsejable evitar los alimentos procesados y enlatados en latas con soldadura de plomo.

Hay que procurar no almacenar, cocinar o servir alimentos o en recipientes con plomo; entre estos se incluyen cerámica cocida a bajas temperaturas, ollas de peltre de baja calidad, utensilios para cocinar, servir y comer de estaño con partes soldadas, recipientes industriales (latas viejas de pintura), utensilios y platos con superficies pintadas.

Se sugiere una mayor atención al problema de contaminación por plomo debida a fuentes móviles. Es muy importante realizar, de manera paralela y no como sustituto de la racionalización del transporte urbano, el mejoramiento de la calidad de los combustibles, ya que de esta depende críticamente el nivel mismo de la contaminación.

## BIBLIOGRAFIA

- ( 1 ) Academia Nacional de Ciencias (1972). Comité Sobre Efectos Biológicos de los Contaminantes atmosféricos.
- ( 2 ) Adamson, L.F. (1973). The Effect of Lead on Susceptibility to Infection: A Review, The Environment defense Fund, Washington, D.C.
- ( 3 ) Alexander, W.F. and T.H. Delves (1972). Deaths From Acute Lead Poisoning, Arch. Dis. Child (USA), 47:445-448.
- ( 4 ) AOAC (1984). Lead in food: General Dithizone Method, fourteenth edition, published by Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Inc., Washington, D.C., USA, pp. 460,464-468.
- ( 5 ) Badui, D.S. (1988). Diccionario de Tecnología de los Alimentos, Alhambra Mexicana, México, 1988.
- ( 6 ) Baluja, M.G. (1968). La toxicidad de los Plaguicidas en los Alimentos, Ind. Alim. (Méx.), Enero-Febrero de 1968, Núm. 16.
- ( 7 ) Barry, P.S.I. (1973). Medical Aspects of Lead Absorption in Industrial Process, Lead Development Association, Londres, Inglaterra.

- ( 8 ) Bravo, A.H. (1986). El Aire Nuestro de Cada Día, Información Científica y Tecnológica (Méx.), 8:115:7-19.
- ( 9 ) Burgos, R.A. (1986). Partículas Suspensas, Información Científica y Tecnológica (Méx.), 8:115:22-25.
- (10) Bushnell, J.P. and H.F. De Luca (1981). Lactose Facilitates the Intestinal Absorption of Lead in Weanling Rats, Science, 211:4477:61-63.
- (11) Cacheux, L. (1986). Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Valle de México, Información Científica y Tecnológica (Méx.), 8:115:41-45.
- (12) Cantarrow, A., M. Trumper (1944). Lead Poisoning, Williams and Wilkins Co., Baltimore, USA.
- (13) Carboné, B.R. (1987). Los Análisis de Alimentos y sus Derivaciones legales, Alimentaria (España), 24:179:23-24.
- (14) Catalá, R., R. Montoro y N. Ybáñez (1983). Contaminación de Metales en Productos Cárnicos, Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment. 23:202-216.
- (15) Cerklewski, F.L. and M. Forbes R. (1976). Influence of Dietary Zinc on Lead Toxicity in the Rat, J. Nutr., 106:689-696.
- (16) Cerklewski, F.L. (1980). Reduction in Neonatal Lead Exposure by Supplemental Dietary Iron During Gestation and Lactation in the Rat, J. Nutr., 110:1453-1457.
- (17) Chisolm, J. J. (1975). Dose-Effect and Dose-Response Relationships for Lead in Children, J. Pediatr., 87:1152.

- (18) Codex Alimentarius. (1973). Lista de Dosis Máximas de Contaminantes, Recomendada por la Comisión Mixta FAO/OMS del Codex Alimentarius.
- (19) Cramer, K., A.R. Goyer, R. Jagenburg [et al.] (1974). Renal Ultrastructure Renal Function, and Parameters of Lead Toxicity in Workers with Different Period of Lead Exposure, Br. J. Ind. Med. 18:277-282.
- (20) Crosby, M.T. (1977). Determination of Metals in Foods: a Review, Analyst (London, England) 102:225-268.
- (21) De la Burdé, B. and S.M. Choats (1975). Early Asymptomatic Lead Exposure and Development at School Age, J. Pediatr., 87:638.
- (22) FAO/WHO (1972). Comité de Expertos en Aditivos Alimentarios.
- (23) Ferreira, E. (1987). El plomo que los Ciudadinos Llevamos dentro, Información Científica y Tecnológica (Méx.), 9:130:12-15.
- (24) Gloag, D. (1981). Sources of Lead Pollution, Brit. Med. J. 282:6257:41-44.
- (25) González, E.E. (1986). La Contaminación Muerte Lenta, Información Científica y Tecnológica (Méx.), 8:115:38-41.
- (26) Gorsuch, T. T. (1970). The destruction of Organic Matter, Pergamon Press, Oxford.
- (27) Gross, S.B. (1979). Oral and inhalation Lead Exposures in Human Subjects, Lead Industries Association Inc., New York, USA.

- (28) Gruden, N. and M. Stanic. Lead gastrointestinal Absorption in Rats, Sci. Total Environ., 3:228.
- (29) Hubbard, W.A. (1978). Food Surveillance in the U.K., Nutr. Rev., 36:7:224-230.
- (30) Huisingh, D.J. and J. Huisingh (1975). Factores que Influyen en la Toxicidad de los Metales Pesados en los Alimentos, Rev. Tecnol. Aliment. (Méx.), 10:145-158.
- (31) Hursh, J.B., J. Suomella (1969). Absorption of Lead from the Gastrointestinal Tract of Man, Acta Radiol., 7:108.
- (32) Jacobs B., Morris (1973). Chemical Analysis of Foods and Food Products, third Edition, Krieger Publishing, N.Y., USA.
- (33) Jiménez, M.A., M.A. Herrador y A.G. Asuero (1984). Elementos Traza en Alimentos I: Aspectos Metodológicos de su Determinación, Alimentaria (España), 21:152:107-112.
- (34) Kehoe, R.A. (1961). The Metabolism of Lead in Health and Disease, J. R. Inst. Public Health Hyg., 24:81-96.
- (35) Keller, C.H. and A.R. Doherty (1980). Bone Lead Mobilization in Lacting Mice and Lead Transfer to Suckling Offspring, Toxicol. Appl. Pharmacol. 55:220-228.
- (36) Kirkpatrick, D.C. (1980). The Trace Element Content on Canadian Baby Foods and Estimation of Trace Elements Intake Infants, Can Inst. Food Sci. Technol. J. 12:4:154-161.

- (37) Krigman, U.R., J.U. Druse, D.T. Taylor [et al.] (1974). Lead Encephalopathy in the Developing rat: Effect Upon Myelination, J. Neurophatol. Exp. Neurol., 33:58-78.
- (38) Lamn, H.S., B. Cole, K. Glynn [et al.] (1973). Lead Contamination in Milks Fed to Infants: 1971-1972, N. Eng. J. Med. 289:11:574.
- (39) Lamn, H.S., J.F. Rosen (1974). Lead Contamination in Milks Fed to Infants: 1972-1973, Pediatrics, 53:2:137.
- (40) Lerner, S. (1978). Health Maintenance of Workers Exposed to Inorganic Lead, Lead Industries Association Inc., New York (USA).
- (41) Livingston, D.M. and E.W. Wacker (1975). Trace Metal Determination: Method for Nutritional Analysis. Am. J. Clin. Nutr., 24:1082-1085.
- (42) Mahaffey, R.K. (1977). The Relationships Between Quantities of Lead Ingested and Health Effects of Lead in Humans, D. Pediatrics, 59:3:448-454.
- (43) Mitchell, J.W. (19829). Purification of Analytical Reagents, Talanta, 29:993-1002.
- (44) Moore, R.M. (1980). Exposure to Lead in Child Food: The Persisting Effects, Nature, 283:5745:334-335.
- (45) Murozumi, M., J.T. Chow and C. Patterson (1969). Chemical Concentrations of Pollutant Lead Aerosols, Terrestrial Dusts, Sea Salts in Greenland and Antarctic Snow Strata, Geoch Cosmochi, Acta 33-1247-1294.

- (46) Murthy, G.K. (1971). Cadmio, Cooper, Iron, Lead, Manganeso and Zinc in Evaporated Milk, Infant Products and Human Milk, J. Dairy Sci., 54:1001-1005.
- (47) Navas, J.M., M.A. Jiménez, N. Ybáñez [et al.] (1987). Elementos Traza en Alimentos II: Metales Tóxicos, Alimentaria (España), 21:153:61-66.
- (48) Needleman, H.L., C. Gonnoe (1979). Deficits in Psychologic and Classroom Performance of Children with Elevated Dentine Lead Levels, N. Eng. J. Med. 300:589.
- (49) Ocampo, Z.M. (1986). Inversión Térmica y Contaminación, Informac. Cientif. y Tecnol. (Méx.), 8:115:19-22.
- (50) Omayate, T.S. (1982). Heavy Metal-Nutrient Interaction, Food Tech., 36:10:96-98.
- (51) Ortega, R.J.A. (1986). La Contaminación Nos Devora, ICYT (Méx.), 8:115:45-49.
- (52) Panova, L. (1972). Early Changes in the Ovarian Function of Women in Occupational Contact with Inorganic Lead, Work Unites Res. Inst. Hyg. Ind. Saf. (Sofía), 23:161-166.
- (53) Parada, A.E., O. Velasco y M. Avila (1975). Determinación del Contenido de Plomo en Alimentos Enlatados, Rev. Technol. Aliment. (Méx.), 10:170-173.
- (54) Pearson, D. (1959). Food Analysis Techniques. Interpretation and Legal Aspects, Lab. Practice: Trace Elements in Food, 55-57, 91-95 pp.

- (55) Pearson, D. (1976). The Chemical Analysis of Foods, Seven Edition, Churchill Livingstone, London, 73-103 pp.
- (56) Piomelli, S. (1977). Metabolic Evidence of lead Toxicity in Normal Urban Children, Clin. Res., 25:459A.
- (57) Rabinowitz, M.B., W.G. Wetherill and D.J. Kopple (1974). Studies of human Lead Metabolism by Use of Stable I-  
sotope tracers, Environ. Health Perspect. Exp. Issue., 7:145-155.
- (58) Reilly, C. (1981). Metal Contamination of Food II: The Individual Metals, Applied Science Publishers, Ltd., London, England, 116-171 pp.
- (59) Rosen, J.F. and E.E. Trinidad (1974). Environ Health Perspect., Exp. Issue. 7:139.
- (60) Rothenberg, J.S. (1989). Estudio de Plomo, Colegio Alemán, pp.1-5.
- (61) Rothenberg, J.S., L. Schnaas-Arrieta, I.A. Pérez-Guerrero [et al.] (1989). Evaluación del Riesgo Potencial de la Exposición Perinatal al Plomo en el Valle de México, Perinatol Reprod. Hum., 3:1:48-61.
- (62) Ruschink, R.K. (1975). Determination of Lead in Food by Absorption Spectrophotometry, Nestlé Res. News, pp. 95-99.
- (63) Schaffner, R.M. (1981). Lead in Canned Foods, Food Technol., 35:12:60-62,64.

- (64) Schroeder, H.A. (1968). The Human Body Burden of Lead, Arch. Environ, Health., 17:965-978.
- (65) SEDUE. Indice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECAL, Asesoría Técnica.
- (66) SEDUE (1986). Informe Sobre el Estado del Medio Ambiente en México, pp.59.
- (67) Servicio Meteorológico Nacional (1986). Información Climatológica Básica, Inform. Cientif. y Tecnol. (Méx.), 8:115:32-36.
- (68) Six, K.M. and R.A. Goyer (1972). The Influence of Iron Deficiency on Tissue Content and Toxicity of Ingested Lead in the Rat, J. Lab. Clin. Med., 79:128-136.
- (69) Suárez, B.G., INAINE (1989). Consideraciones para Usar Alcohol de Caña como Antidetonante en Combustibles Automotrices.
- (70) Somers, E. (1974). The Toxic Potencial of Trace Elements in Foods, J. Food Sci. 39:215.
- (71) Taylor, L.S. (1982). An Overview of Interactions Between Foodborne Toxicants and Nutrients, Food Tech. 36:10:91-94.
- (72) UNAM (1988). Programa Universitario de Energía, Racionalidad Energetica en el Sector Transporte en México, Coordinación de Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

- (73) Underwood, E.J. (1971). Trace Elements in Human and Animal Nutrition, 4 th Ed., Academic Press, N.Y. (USA), p. 545.
- (74) Underwood, E.J. (1973). Trace Elements in Toxicans Occurring Naturally in Foods, Committe on Food Protection, Food an Nutrition Board, National Research Council, National Academy of Science, Washington, D.C.
- (75) Velazco, L.A. (1982). La Contaminación Atmosférica de la Ciudad de México, Ciencia y Desarrollo (Méx.), 5:59-68.
- (76) Walker, B. (1980). Lead Content of Milk and Infant Formula, J. Food Prot. 43:3:178-180.
- (77) Webster, I. (1979). Contaminación Ambiental: Sus Efectos en la Salud, Air Poll., pp.1-12.
- (78) WHO (1977). Environmental Health Criterio 3-Lead (Ginebral), 66-84 pp.
- (79) Ybañez, N.R., R. Montoro, R. Catalá [et al.] (1982). Contenido de Cadmio, Plomo y Cobre de Productos Cárnicos, Rev. Agroquim. Technol. Aliment., 22:3:419-425.
- (80) Ziegler E. E. and B. Edwards (1978). Absorption and Retention of Lead by Infants, Pediat. Res., 12:29-34.

**ANEXO 1**

## CONTAMINACION PLUMBICA EN LA CIUDAD DE MEXICO

La importancia del control y prevención de la contaminación radica en el hecho de que ésta no solo constituye un deterioro de las condiciones naturales del entorno sino una amenaza a la salud humana y a la calidad de vida de la población (66).

La contaminación ambiental se origina principalmente por el crecimiento no planificado de los centros de población, de las actividades industriales y de las transformaciones en los hábitos de comportamiento orientados al consumismo.

### Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se entiende como la presencia en el aire de toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas que al incorporarse o actuar en la atmósfera altera o modifica su composición y condición natural.

Existen varios criterios para clasificar los contaminantes atmosféricos, tal como se muestra en el siguiente cuadro. De acuerdo a esas clasificaciones existen un gran número de contaminantes en el aire, los más importantes por la cantidad y frecuencia con

que se encuentran en el aire de la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM) son : dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), ozono (O<sub>3</sub>), plomo (Pb), y partículas suspendidas totales (PST). Se entiende por partículas suspendidas los materiales flotantes en el aire cuyo diámetro es menor a 10 micrones.

#### Clasificación de los Contaminantes Atmosféricos

ESTADO FISICO		ESTADO QUIMICO	
Gases	Partículas	Orgánicos	Inorgánicos
ORIGEN			
<u>Contaminante Primario</u>		<u>Contaminante Secundario</u>	
Directamente emitido a la atmósfera por:		Formado por reacciones entre:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuentes fijas o industrial</li> <li>- Fuentes móviles o vehiculares</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primario + Primario</li> <li>- Primario + Agua</li> <li>- Primario + Energía solar</li> </ul>	

FUENTE: SEDUE, IMECA

La calidad del aire o la concentración de los diferentes contaminantes en la atmósfera, sobre una determinada área, depende fundamentalmente de los factores que se enumeran a continuación:

- 1) consumo de energéticos fósiles y la quema de otros combustibles,
- 2) la eficiencia de los procesos de combustión,
- 3) el alcance del control de las emisiones,
- 4) la erosión eólica de los

suelos, 5) las condiciones meteorológicas que determinan la disposición de los contaminantes, 6) la radiación ultravioleta del sol, y 7) la actividad fotoquímica en la atmósfera. En nuestro país existen normas de calidad del aire (cantidades de contaminantes que se permiten en el ambiente sin causar daños a la salud de la población o al medio).

Normas o Criterios Mexicanos  
Para Evaluar la Calidad del Aire

CONTAMINANTE	MAXIMO PERMISIBLE	TIEMPO DE EXPOSICION
CO	14.872 g/m <sup>3</sup> (13 ppm)	Promedio máximo en 8 horas
NOx	395 g/m <sup>3</sup> (0.21 ppm)	Promedio máximo horario
SO <sub>2</sub>	340 g/m <sup>3</sup> (0.13 ppm)	Promedio diario
Pb	1.5 g/m <sup>3</sup>	Durante 3 meses
O <sub>3</sub>	216 g/m <sup>3</sup> (0.11 ppm)	Promedio máximo horario
Hidrocarburos	160 g/m <sup>3</sup> (0.24 ppm)	Promedio máximo horario
PST	275 g/m <sup>3</sup>	Promedi diario

FUENTE: SEDUE

La calidad del aire de la ZMCM se mide a través de la red automática de monitoreo atmosférico de la Secretaría de Desarrollo

Urbano y Ecología (SEDUE), la cual registra a lo largo del día la concentración de los diferentes contaminantes en partes por millón (ppm) o en microgramos por metro cúbico (mcg/m<sup>3</sup>). Los resultados se reportan por medio del Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA), el cual permite relacionar el grado de contaminación atmosférica con los posibles efectos en la salud. El índice IMECA traduce esos registros a un lenguaje accesible, a fin de poder ser comprendidos y comparados fácilmente por la población. Dado que su función es mantener informada a la población sobre la calidad del aire en la zona metropolitana, observar el comportamiento o las tendencias de la contaminación atmosférica en zonas metropolitanas y comparar la calidad del aire entre otras zonas que utilizan índices similares (ANEXO 1). Cabe mencionar, que el IMECA considera sólo cinco contaminantes (PST, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y O<sub>3</sub>) y el producto de dos de ellos, PST y SO<sub>2</sub>. El plomo y otros metales pesados se detectan en PST (65).

A nivel nacional, la contaminación atmosférica se limita a las zonas de alta densidad demográfica o industrial. Las emisiones anuales de contaminantes en el país son superiores a 16 millones de toneladas, de las cuales 65% son de origen vehicular y 35% provienen de fuentes industriales. En la Ciudad de México se genera el 23.6% de dichas emisiones, en Guadalajara el 3.5% y en Monterrey el 3% (66). La siguiente figura muestra las ciudades industriales más contaminadas del país señalando las principales fuentes de emisión. En ella se observa que el Distrito Federal

(D.F) presenta el problema más grave de contaminación ambiental.



### Ciudad de México

La degradación del ambiente en la capital mexicana se inicio con la industrialización del país allá por la década de los cincuenta. La contaminación solo presentaba un riesgo potencial para la salud.

Actualmente, el Distrito Federal es considerada una de las ciudades más contaminadas del mundo.

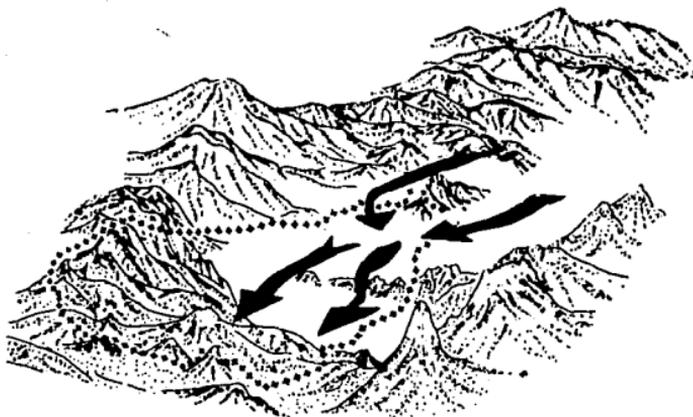
Las condiciones socioeconómicas del país, resultantes entre otros factores de la concentración de la población, de las actividades económicas, y de la adopción de un modelo de desarrollo sin adaptación previa a las características naturales y culturales del país son el principal elemento en la degradación del ambiente (66).

La situación geográfica, y por ende los factores climáticos y meteorológicos, es desfavorable para la dispersión de contaminantes, lo que motiva su fuerte acumulación. Este factor junto con la consecuente frecuencia de inversiones de temperatura, la alta concentración demográfica, la densidad de industrias y el elevado tránsito de vehículos, debido al uso intensivo y creciente de vehículos, producen altos niveles de contaminación en el Valle de México.

#### SITUACION GEOGRAFICA

El D.F por su latitud norte (19°30'), longitud oeste (99°40') y altitud promedio de 2 240 m, posee un clima templado con una estación de lluvias de junio a septiembre y una estación de secas durante el resto del año. Las temperaturas oscilan entre 5.3 °C (promedio temperatura mínima en enero) y más de 26.5°C (promedio

temperatura máxima en abril y mayo). Los vientos dominantes soplan en general de noreste (zona donde se encuentra la mayor parte de la industria) a suroeste, barriando los contaminantes sobre la mancha urbana.



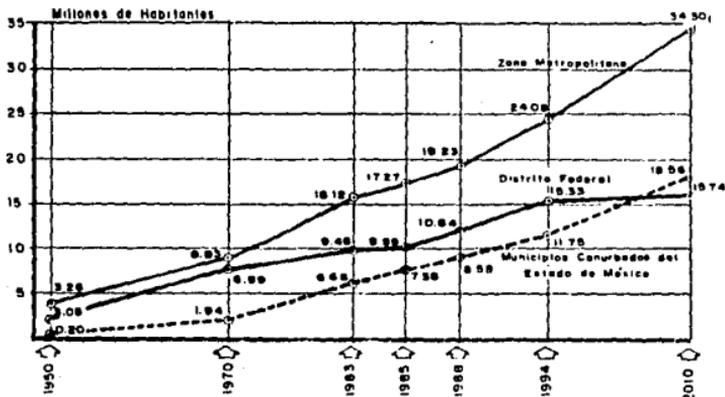
Patrón de Flujo de Vientos Matutino más Frecuente en la Cuenca del Valle de México

Esta situación geográfica de la ZMCM propicia la formación de inversiones térmicas a nivel superficial por la presencia de masas de aire frío estacionarias sobre la ciudad. Durante las inversiones, que se dan principalmente en invierno, los contaminantes se acumulan en una capa de aire poco profunda, lo que dete-

riora la calidad del aire.

### CONCENTRACION DEMOGRAFICA

Las estimaciones oficiales de la población del D.F. fluctúan entre 15 y 20 millones, que para fines del siglo posiblemente serán ¿34 millones?.



Incremento Demográfico de la Ciudad de México

Anualmente llegan a esta capital más de 1.5 millones de provincianos a radicar en ella, buscando mejores condiciones de vida. En este sentido, el principal factor para que el D.F. se haya

convertido en un punto de interés para los provincianos, es la subvención masiva de los servicios públicos metropolitanos, por lo que millones de mexicanos piensan que la ciudad es una incomparable alternativa. El ilógico subsidio es otro factor que perturba el incremento acelerado de la población, ya que la tortilla, el transporte y otros servicios básicos tienen un precio muy por debajo del que se cobra en el resto de la República Mexicana.

#### DENSIDAD INDUSTRIAL

El crecimiento industrial, aunque actualmente está prohibido crear nuevas fábricas, creció desmesuradamente durante los años sesenta, y a pesar de todo ello, sigue desarrollándose en el D.F. y alrededores, la mayor parte de la actividad productiva del país.

El 47% de la industria química se ubica en esta ciudad, y de igual forma, el 52% del total de la producción industrial se genera en ella. Al mismo tiempo más de 30 mil industrias altamente contaminante se localizan dentro del perímetro metropolitano.

Las fuentes fijas de contaminación se concentran en el norte de la ciudad y su área conurbada, como ya se ha mencionado con anterioridad. Algo que agrava la situación es que los vientos dominantes entran por el norte, realizan un recorrido parecido al de una "C" y salen por el sur, en Milpa Alta. De ahí lo perjudi-

cial de la ubicación de las fábricas.

#### PARQUE VEHICULAR

En el siguiente cuadro se aprecia que la mayor contribución al deterioro atmosférico proviene del transporte metropolitano, en segundo lugar el sector energético y en tercer lugar la industria.

Emisiones por Sector de Actividad, 1988  
(Porcentajes)

	TRANSPORTE	ENERGIA	INDUSTRIA	SERVICIOS	SUELO	TOTAL
NOX	54.7	25.7	18.8	0.9	0.0	100
HC	82.8	5.2	11.8	0.0	0.0	100
SO2	11.8	43.3	41.5	3.3	0.0	100
CO	98.6	0.8	0.6	0.0	0.0	100
Pb	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100
PST	11.5	14.5	14.7	0.1	59.1	100

FUENTE: Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas (INAINE)

Algunas cifras clave que ilustran el porque de la enorme contribución de contaminantes atmosféricos, provenientes de los vehículos automotores, se presentan a continuación:

Parque vehicular	- Más de 2,225,571 autos registra- dos (42% del total del país)
Colectivos y ruta 100	- 43,106 unidades
Rendimiento aproximado promedio por vehículo	- 8 Km/lt
Consumo de gasolina en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México	- 15,900,000 lt/día

Además de la enorme concentración de vehículos que circulan en las calles de la ZMCM, el deficiente estado e infraestructura de las vías de comunicación, una excesiva red de semáforos, topes y uno que otro suceso fortuito que obstaculiza la circulación, son algunos de los principales factores que causan una viabilidad cada vez más lenta, hasta llegar a los continuos y constantes embotellamientos o tráfico lento, así como los famosos cuellos de botella o agostamientos de vías anchas, lo que provoca taponamiento en la circulación. El constante acelerar y frenar de los autos trae un aumento directo en el consumo de combustible aumentando así la emisión de contaminantes.

## Principales fuentes de contaminación por plomo en el medio ambiente

La capital de la República Mexicana, como ya se ha señalado, tiene un grado muy alto de contaminación atmosférica. Las Partículas Suspendidas Totales (PST) predominan en el Noreste. La región Noroeste padece gran concentración de  $SO_2$ , ya que es asiento de muchas industrias y sus combustibles son derivados del petróleo. En el Centro los principales agentes contaminantes son los automóviles y el transporte público, así que predominan el CO y los óxidos de nitrógeno, igual que el plomo; aunque también se presentan ozono cuya concentración más importante se da hacia el sur (6).

En el caso del plomo existen otras con niveles más altos, pero resulta que se trata de ciudades industriales en las cuales la producción e industrialización del plomo es alta.

En las estaciones de monitoreo de la SEDUE, en la ZMCM, se han llegado a medir en la década de los ochenta, niveles mensuales promedio de plomo que exceden los 4 mcg/m<sup>3</sup> cifra que rebasa el máximo permitido, correspondiente a 1.5 mcg/m<sup>3</sup>.

Según el Grupo Internacional de Estudios sobre Plomo y el Zinc, y la Oficina Mundial de Estadística Sobre Metales, México produce aproximadamente 163 000 toneladas anuales lo que representa el 4.5% de la producción mundial total por lo cual ocupa el cuarto lugar de producción a dicho nivel.

Aunque en México no existen estudios publicados sobre el consumo de plomo, la siguiente información se ha obtenido de estudios llevados a cabo en otras partes del mundo y puede ser utilizada como guía respecto a los principales usos del plomo.

#### Contaminación ambiental por fuentes naturales

La contribución de las fuentes naturales a la contaminación ambiental por plomo es reducida. A efectos de exposición humana, estas fuentes son insignificantes. El nivel de plomo natural en el aire ha sido estimado en 0.0005 mcg/m<sup>3</sup>.

Las principales fuentes de plomo atmosférico son el polvo de silicato, los aerosoles, halógenos volcánicos, los incendios forestales, los humos procedentes de meteoros y meteoritos y el plomo producido por desintegración del radón.

#### Contaminación ambiental por fuentes antropogénicas

##### Contaminación derivada de la producción de plomo

La minería, la fundición y la refinación, así como la producción de compuestos y artículos que contienen plomo, pueden dar lugar a emisiones de plomo.

Esta bien reconocido que las fundiciones de mineral de plomo crean problemas de contaminación. Su influencia en el aire y suelo circundantes dependen, en gran medida, de la altura de la chimenea, los dispositivos de depuración de los mismos, la topografía y otras características locales.

Las fundiciones productoras de plomo secundario a partir de desechos son comparativamente pequeñas y numerosas y se encuentran frecuentemente próximas a asentamientos humanos.

#### Contaminación por el consumo y uso del plomo

El consumo de plomo esta en enormemente influido por el crecimiento de la industria automovilística, que en los años sesenta utilizo cerca del 56% del consumo total.

La fabricación de acumuladores eléctricos representa la categoría de mayor consumo de plomo, como lo ratifica el cuadro 4. Se ha estimado que casi todo el plomo usado en baterías es reciclado en un lapso de cuatro años.

El acumulador de plomo probablemente mantendrá, en un futuro previsible, su posición como fuente adecuada de electricidad. El acumulador de níquel y cadmio tiene algunas ventajas, pero es aproximadamente tres veces más caro. Si se perfeccionan el diseño de los acumuladores y los sistemas eléctricos de los automóviles, o disminuyen los kilometrajes debido al costo más elevado de la

gasolina, puede hacerse más lenta la tasa de crecimiento del consumo de plomo por la industria de los acumuladores.

En cambio, nuevas aplicaciones de los acumuladores puede incrementar la demanda.

Los usos del plomo se agrupan en dos grupos principales: (a) en forma metálica, y (b) en compuestos químicos de los cuales la mayor proporción esta dirigida para la producción de aditivos del petróleo (58).

Porcentaje del Consumo Total de Plomo por Distintas Industrias en Seis Importantes Países Industriales

INDUSTRIA	PORCENTAJE
Acumuladores	44.00%
Derivados alquifícos de plomo	12.00%
Revestimientos de cables	9.20%
Pigmentos químicos	12.00%
Aleaciones	10.80%
Productos semielaborados	12.00%

Basado en datos proporcionados por Stubbs, R.L., y Asociación de Fomento de Plomo, Londres.

Los combustibles alquilo del plomo se vienen utilizando como aditivos antidetonantes en la gasolina desde hace casi sesenta años.

El uso del plomo en aditivos de combustibles probablemente ira disminuyendo a medida que aumente el número de automóviles con catalizadores, los cuales deben utilizar gasolina sin plomo. Además, las reglamentaciones sobre las concentraciones máximas de

plomo admisibles en la gasolina afectaran aún más su consumo en los combustibles. En Estados Unidos se ha reducido a 0.13 gramos el contenido de plomo por litro de gasolina. El contenido máximo autorizado en la República Federal de Alemania es de 0.15 gramos y en Japón de 0.31. Algunos países europeos han instituido límites de 0.4 gramos por litro, pero la mayoría de los gobiernos europeos ha diferido su decisión debido a las consecuencias económicas que entraña la reducción del contenido de plomo.

La importancia de la industria de cables como consumidora de plomo ha declinado considerablemente, debido principalmente a la introducción de revestimientos y aislamientos de plástico. Sin embargo, sigue siendo notable la cantidad de plomo que utiliza.

El uso de compuestos orgánicos e inorgánicos del plomo, es extenso y continuamente está creciendo.

Aunque todavía se produce una amplia gama de pigmentos a base de plomo, se están sustituyendo por otros menos tóxicos debido a las restricciones impuestas en algunos países. El rojo de plomo o minio ( $Pb_3O_4$ ) se utiliza mucho en la pintura de estructuras de acero y el cromato de plomo se usa a menudo como pigmento amarillo.

El arseniato de plomo fue, en otro tiempo, un insecticida importante, pero actualmente se utiliza poco y no se conoce las cifras del consumo actual.

Las industrias de la edificación y construcción utilizan láminas de plomo para techados y cubrejuntas, revestimientos de pare-

des e insonorización. También el plomo, por formar aleaciones sin dificultad, se utiliza en soldaduras, cojinetes, objetos de bronce, tipos de imprenta, tubos plegables y blindaje contra radiaciones. La industria de las municiones es otra gran consumidora de plomo.

#### Contaminación ambiental debido a los derivados alquíl del plomo

La combustión de aditivos a base de derivados alquílicos del plomo en combustibles para motores es la causante de la mayor parte de las descargas de plomo inorgánico.

Se estima que más del 70% del plomo utilizado para la fabricación de derivados alquílicos pasa probablemente al medio ambiente inmediatamente después de la combustión y el resto queda retenido en los sistemas de lubricación y escape de los vehículos. Además, parte del plomo retenido en el aceite lubricante acaba incorporándose al medio por distintas vías. Como es natural, el grado de contaminación por combustión de derivados alquílicos depende de la densidad vehicular.

A continuación se presenta las estimaciones de toneladas de plomo que cada año se emite en la atmósfera por los vehículos automotores circulantes en la Ciudad de México (69).

Emisión de plomo por vehículos automotores  
en la ZMCM, 1988

FUENTE	Pb (Miles de toneladas)
Autos privados	0.90
Vehículos de servicio público a gasolina	0.15
Vehículos de carga a gasolina	0.07
TOTAL	1.12

FUENTE: INAINE, 1988

No se sabe mucho acerca de la forma química en que se encuentra el plomo en el aire ambiental. En 1971, Ter Haar y Bayard estudiaron la composición de partículas de plomo atmosférico mediante un analizador con microsonda de electrones (77). Estos autores estudiaron partículas recolectadas directamente del tubo de escape de un automóvil y también del aire a distintas distancias de una carretera con tránsito intenso. sus resultados indican que el plomo de los tubos de escape se compone inicialmente de haluros que se convierten con el tiempo en óxidos, sulfatos y carbonos.

También en el aire se encuentran vapores de plomo alquílico debido a que parte del plomo presente en la gasolina escapa a la combustión.

Se ha encontrado que las concentraciones de plomo orgánico en

la atmósfera de áreas urbanas no rebasa el 10% de los niveles de plomo inorgánico. Se añade que además son demasiado bajas como para tener efectos adversos sobre la salud en general. A pesar de esto, el TEP de los combustibles contribuye a grandes porciones de plomo inorgánico al medio ambiente.

Aunque varios estudios sostiene que el plomo emitido del escape de los automóviles es depositado en lugares cercanos al punto de emisión y de que tales emisiones no inducen directamente a un incremento significativo en los niveles del metal, un reporte preparado por científicos norteamericanos mostró que el plomo emitido podría contaminar el medio ambiente indirectamente a una escala inesperada. Ellos encontraron que arriba del 50% el plomo proveniente de aditivos antidetonantes es depositado sobre el pavimento y a 400 m de las avenidas, y la parte restante puede ser conducida lejos de la fuente de emisión (58).

Respecto a la fabricación de acumuladores, ésta emite cantidades menores de plomo con respecto al principal emisor de plomo ambiental, la combustión de los derivados alquílicos de plomo, y menos aún la producción de óxido de plomo, pigmentos de plomo, metal de tipografía, soldadura, etc. No se ha estudiado la cantidad de efluentes producida por estas industrias.

Un uso, que debe tenerse en cuenta, de las sales de plomo es en el barnizado de cerámicas y en la manufactura de vidrio tanto para fabricar cristal de alta calidad como para tubos de televisión y fluorescentes. Aunque, los últimos se han reemplazado por

plásticos, algunos como el cloruro de polivinilos (PVC) requiere sales de plomo como estabilizador.

Es difícil evaluar la contaminación producida por los numerosos artículos que contienen plomo y están sujetos a la acción de la intemperie o se descomponen con el tiempo. De acuerdo con una estimación cerca del 50% de la pintura en superficies protegidas con pigmentos a base de plomo se desprende en un lapso de unos siete años de que se vuelva a pintarlas. Se ha observado repetidas veces una intensa contaminación del polvo y el suelo en torno a viviendas pintadas con pintura a base de plomo.

Se ignora, aunque es probablemente pequeña la cantidad que pasa del medio ambiente del plomo utilizado en forma metálica para producir láminas, cables, tipos de imprenta, etc.

La presencia de plomo en el tabaco se ha atribuido a residuos existentes en los suelos tabacales a causa de que antes se empleaba arseniato de plomo como insecticida.

La cantidad de plomo liberado por la incineración de cantidades desconocidas de productos de consumo desechables que contienen plomo, por ejemplo, tubos plegables, tapas de botellas, chatarra de cables, cajas de acumuladores y productos pintados con pigmentos de plomo; puede ser considerable según el tipo de horno y dispositivos depuradores.

El aceite lubricante usado está contaminado a causa de la combustión de derivados alquílicos del plomo. Más del 50% del aceite se desecha o se utiliza para el asfalto de carreteras.

Hay muchos otros usos menores del plomo, por ejemplo las balas pero son insignificantes comparados con el principal uso de este metal en la actualidad, los aditivos del petróleo. Las consecuencias de tales usos para la salud mundial, y en particular para el incremento de plomo en nuestra dieta son considerables y han sido punto de discusión en arduos debates por muchos años.

La calidad, formulación y octanaje de las gasolinas influye en forma determinada en la producción de diferentes productos de combustión emitidos por el escape de los automóviles. Si el índice de octano es bajo, hay menor eficiencia y mayor consumo, si el índice de octano es alto hay mayor eficiencia, y menor consumo y, como consecuencia, menor emisión de contaminantes.

El método para elevar el índice de octano en los pasados años fue: una apropiada selección de la mezcla de hidrocarburos y la adición de TEP. Sin embargo, aun en estas condiciones se presentan emisiones de compuestos contaminantes.

En los países desarrollados se ha implementado el uso de ciertos aditamentos (convertidores catalíticos) que eliminan algunos de estos compuestos, siempre y cuando la gasolina no contenga tetraetilo de plomo, dado que el plomo envenena estos aditamentos.

Sin embargo, todavía en México el TEP continua siendo uno de los compuestos más baratos para incrementar el índice de octano, sólo que esto resulta cierto sino se contabiliza el costo para la sociedad, por daños a la salud.

A continuación se presentan algunas características de los

combustibles actualmente más utilizados para uso automotriz en México.

COMBUSTIBLE	TEP	OCTANO
Gasolina Nova Plus	0.5 ml/gal	81
Gasolina Extra	0.1 ml/gal	92

FUENTE: PEMEX

El siguiente cuadro muestra datos de 1987 y las tendencias a corto plazo, que reflejan el comportamiento tendencial de la década pasada, si bien no son un problema desde el punto de vista

COMBUSTIBLE	MILES DE BARRILES/DIA	
	1987	1992
Gasolina Nova	96	103
Gasolina Extra	3	9

FUENTE: PEMEX, SEDUE, 1987

de abasto de energía implican un incremento de los contaminantes asociados, en condiciones ya de por sí críticas.

Con el fin de realizar una comparación entre el consumo de gasolinas en México y otros países de distintos contextos durante 1985, se muestran las siguientes cifras.

Consumo de Gasolinas en Varios Países

CONSUMO	MEXICO	BRASIL	FRANCIA	INDIA
Total (millones lt)	18 865	8 136	24 666	3 127
Por automóvil	33 785	781	1 180	1 787
Por habitante (lt)	244	60	447	4

FUENTE: INAINE

Se puede apreciar que México tiene un consumo de gasolina similar al observado en países desarrollados, sin embargo el consumo por automóvil es de los más altos del mundo, casi cuatro veces el consumo de Francia, lo que refleja el desperdicio e ineficiencia del funcionamiento de vehículos y sistemas viales.

## Transporte y distribución del plomo en el medio ambiente

Desde el punto de vista del equilibrio de masa, la atmósfera es la vía principal para el transporte y distribución del plomo desde fuentes estacionarias o móviles a otros medios ambientales. También pueden haber directamente abundantes descargas en aguas naturales y en los suelos, pero en estos casos, el plomo tiende a localizarse cerca de los puntos de descarga, debido a la bajísima solubilidad de los compuestos que se forman al contacto con el suelo y el agua. La transferencia masiva de plomo desde el aire a otros medios aún no se ha podido definir con precisión y no se conoce a fondo los distintos mecanismos e interacciones en la eliminación del plomo del aire. Aunque, a juzgar por ciertos datos, una importante proporción del plomo se elimina por sedimentación, el mecanismo más eficaz es probablemente la lluvia.

En un estudio realizado en los Estados Unidos de Norteamérica (EUA), se registro un promedio de 34 mcg/l de plomo en agua de lluvia en zonas de alta densidad demográfica.

El plomo se elimina rápidamente del agua cuando ésta atraviesa el suelo y los sedimentos inferiores. Ello se debe a la gran capacidad de las sustancias orgánicas para establecer uniones firmes con el plomo. Gracias a este mecanismo de depuración, las concentraciones en el agua natural y en el agua de suministro son generalmente bajas, estas últimas siempre y cuando no pasen por tuberías hechas de alguna aleación de plomo.

Si los resultados de un estudio realizado en la cuenca de los Angeles en EUA (1975), que es una zona de tránsito motorizado excepcionalmente denso, cuyos datos figuran en el siguiente cuadro, son aproximadamente válidos para otras zonas metropolitanas; cabe decir que la contaminación del suelo y el agua ocasionada por la precipitación del plomo emitido por automotores está limitada a la zona metropolitana inmediata. Las pequeñas partículas acarreadas fuera de la zona transportadas por el aire, probablemente se dispersan y diluyen ampliamente, si su permanencia en la atmósfera es bastante prolongada.

Distribución del plomo procedente de  
automotores en la cuenca de los Angeles

AREA AMBIENTAL	PORCENTAJE
Retención en el automóvil	25%
Precipitación cercana	40%
Precipitación distante	8%
Transporte por el aire	24%
Sin determinar	3%

FUENTE: WHO, adaptado de Huntzicker et al.  
1975

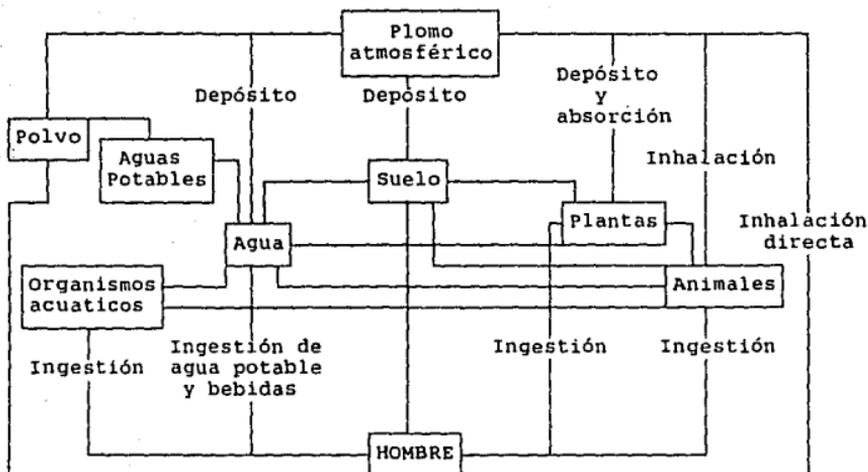
Se ha estimado que las partículas transportadas por el aire permanecen de seis a dos semanas en la troposfera inferior y de dos a cuatro semanas en la troposfera superior. Este lapso varía en función de distintos factores, como los vientos y la lluvia. La turbidez atmosférica varía inversamente con la precipitación pluvial, debido al efecto de lavado de lluvia.

A pesar de la gran dilución del plomo atmosférico que se produce durante su transporte desde los centros de actividad humana, existen datos indicativos de que ha habido una acumulación global del plomo a largo plazo. Dicha acumulación ha sido estudiada en hielo de glaciares y depósitos de nieve.

La transferencia del plomo atmosférico a la biota puede ser directa o indirecta. En el caso de las plantas el aporte de plomo depositado puede ser directo, a través de las hojas y ramas, o indirecto, por conducto del suelo. Parece que el estado de crecimiento influye considerablemente en el modo y grado de acumulación.

La transferencia del plomo desde las plantas a los animales no está bien definida. Sin embargo, la concentración de plomo en carne y huevos es bastante similar, en peso húmedo, a la concentración observada en legumbres y cereales. No hay pruebas de acumulación biológica desde las plantas a los animales.

En la siguiente figura se indican las vías potenciales de transporte del plomo atmosférico al hombre.



Vías Potenciales Para el Transporte del Plomo Atmosférico al Hombre

Se tiene escasa información sobre la biotransformación del plomo por microorganismos en el medio ambiente; Sin embargo, se ha observado que los microorganismos en sedimentos lacustres pueden transformar ciertos compuestos inorgánicos del plomo en tetrametilo de plomo volátil, pero no se ha podido explicar completamente los ciclos de esta transformación (78).

**ANEXO 2**

NUMERO DE PUESTOS FIJOS CON PERMISO AUTORIZADO  
 PARA VENDER EN LA VIA PUBLICA  
 OCTUBRE, 1989

DELEGACION POLITICA	PUESTOS FIJOS EN LA VIA PUBLICA
Alvaro Obregón	1,235
Azcapotzalco	375
Benito Juárez	3,500
Coyoacan	300
Cuajimalpa	136
Cuauhtemoc	4,200
Gustavo A. Madero	2,000
Iztacalco	1,500
Iztapalapa	480
Magdalena Contreras	36
Miguel Hidalgo	2,000
Milpa Alta	20
Tlahuac	190
Tlalpan	1,300
Venustiano Carranza	1,900
Xochimilco	700
<b>TOTAL</b>	<b>29,872</b>

## ANEXO 3

## GLOSARIO

AAL. Acido-d-aminolevulinico.

AALD. Enzima ácido-d-aminolevulinico deshidratasa.

Aerosol. Partículas atomizadas suspendidas en el aire.

Agente quelante. Compuestos orgánico, en el cual los átomos forman más de una unión coordinada con metales que los mantienen en solución.

Alergia. Tipo de reacción antígeno-anticuerpo con una respuesta fisiológica exagerada a una sustancia en individuos sensibilizados.

Alteraciones císticas. Cambios sufridos por la vesícula urinaria debido a alguna anomalía en el Sistema Renal.

Aminoaciduria. Presencia de aminoácidos en la urea.

Anemia. Trastorno patológico en el que disminuye el número de eritrocitos, su volumen o el contenido en hemoglobina de los mismos.

Anorexia. falta anormal de apetito.

Antidetonante. Producto añadido a la gasolina para evitar la explosión prematura de la mezcla.

Atmósfera. Masa de aire que rodea la Tierra.

Atrofia. Falta de nutrición de un órgano, región o tejido que se manifiesta como la disminución de sus dimensiones debido

a la reducción del número de células o de su volumen.

Azoemia. Presencia de Nitrógeno o productos nitrogenados en la sangre.

Biota. Animales, plantas y microorganismos vivos que caracterizan una región.

Cefalagia. Dolor sensitivo localizado, ocasionado por la irritación de un nervio.

Células epiteliales tubulares. Células de los túbulos renales encargados de la resorción y secreción selectiva de sustancias provenientes del plasma sanguíneo que ya han pasado por la filtración glomerular.

Ciclos anovulatorios. Ausencia de ovulación durante el ciclo menstrual.

Constipación. Tránsito intestinal retrasado con evacuaciones poco profundas y heces excesivamente duras o secas.

Convulsiones. Contracción violenta e involuntaria de los músculos.

Cuadro Clínico. Suma de signos y síntomas clínicos de una enfermedad.

Degeneración axónica. Deterioro del cilindro-eje de un nervio, el cual se vuelve turgente, fragmentado y sufre una disolución.

Delirio. Perturbación mental causada por la calentura, o una enfermedad, caracterizada por un mayor o menor grado de incoherencia y de confusión mental, con gran excitación nerviosa, a-

lucinaciones o ilusiones no sistematizadas y de carácter más o menos transitorio.

Desazón. Inquietud y molestia.

Desmielinización. Desaparición de la mielina que cubre las fibras nerviosas.

Ecosistema. Sistema funcional que incluye a los organismos de una comunidad natural y su medio.

Edema. acumulación excesiva de líquido en los espacios tisulares.

Expectoración. Expulsión al exterior mediante el reflejo de la tos de alguna materia contenida en el aparato respiratorio.

Fagocitosis. Medio de defensa que implica la eliminación de partículas extrañas al organismo, como bacterias, polvo atmosférico y diversos coloides.

Filtración glomerular. Mecanismo por medio del cual el riñón filtra la sangre a través de los glomérulos para así formar la orina primaria y excretar los productos terminales del metabolismo.

Globina. Fracción proteínica incolora de la hemoglobina, ésta formada por cuatro cadenas: 2 alfa con 141 aminoácidos c/u y 2 beta con 146. se combina con la ferroprotoporfirina para producir la hemoglobina.

Gónadas. Glándulas sexuales.

HEM (hemol). Es el precursor de la hemoglobina formado por un núcleo de protoporfirina III unida a un átomo de hierro.

Hemoglobina. Cromoproteína, principal componente de los eritrocitos, responsable de su color rojo y del transporte de oxígeno de los pulmones a los tejidos.

Hidrocefalia. Acumulación anómala de líquidos serosos cefalorraquídeos.

Hiperplasia. Desarrollo exagerado de un órgano o parte del cuerpo por proliferación anómala de elementos histicos.

Hipertensión arterial. Aumento de la tensión arterial por encima de los valores normales.

Hiperuricemia. acumulación de ácido úrico en la sangre.

Idiocia. falta de capacidad de educación.

Manía. Trastorno mental parcial caracterizado por un estado de excitación intensa e incontrolada.

Pb-H. Concentración de plomo en la sangre.

PEL. Protoporfirina eritrocitaria libre.

Plasma sanguíneo. La parte líquida en los espacios tisulares.

Potable. adecuado para beber.

Suero sanguíneo. Líquido que se expela del coágulo sanguíneo o del plasma sanguíneo coagulado.

Susceptibilidad. Predisposición a una enfermedad.

Tejido. Estructura formada por células.

Vomito. Expulsión violenta de sustancias contenidas en el estómago.