



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ZARAGOZA"

"Estudio del comportamiento del Plomo en un ambiente alterado -Ex-Tiradero Santa Cruz Meyehualco- a través de la especie *LIGUSTRUM JAPONICUM THUNB*".

TESTS CON  
FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

LOPEZ MENDOZA MARIA DEL ROSARIO

Z



## **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

Página

Resumen	
Introducción .....	1
1 Contaminación por Plomo .....	3
2 Fuentes de Plomo .....	5
3 Química del Plomo .....	9
4 Distribución del Plomo .....	10
Tabla 1. Plomo en gasolina en varios países .....	12
Tabla 2. Plomo en aire en diferentes localidades .....	13
5 Plomo en suelo .....	14
Tabla 3. Plomo en suelo de diferentes localidades .....	18
6 Plomo en plantas .....	20
Tabla 4. Plomo en vegetación de diferentes localidades .....	31
7 Desechos sólidos .....	33
8 Descripción de la Zona de Estudio .....	35
Figura I. Mapa de la Zona .....	39
9 Metodología .....	40
Figura II. Esquema del Ex-Tiradero .....	43
10 Objetivos .....	44
11 Resultados .....	45
Figura III. Aspectos macroscópicos de <u>Ligustrum</u> sp. ....	49
Figura IV. a Figura XV y Tabla 5 y 6 .....	50
12 Discusión de resultados .....	64
13 Conclusiones .....	74
Anexo I. Técnica Safranina Verde-Rápido .....	77
Anexo II. Técnica del Rodizonato de Sodio .....	78
Anexo III. Digestión Ácida .....	79
Anexo IV. Descripción Anatómica y Taxonómica de <u>Ligustrum japonicum</u> thunb .....	80
Literatura Consultada .....	84

## RESUMEN

Este estudio evaluó el contenido de plomo (absorbido y adsorbido) en la especie Ligustrum japonicum thunb, vegetal introducido en el Ex-Tiradero de Santa Cruz Meyehualco. La evaluación del metal se efectuó a nivel de órganos y en tejidos de cada órgano, realizando también la cuantificación de plomo en el suelo en que se desarrolló, antes de ser transplantado, y el sustrato en que ahora se desarrolla (cubierta sanitaria), determinando también las propiedades físicas y químicas de éste.

Se efectuó una serie de tres muestreos, con fechas de Febrero, Marzo y Abril de 1986, considerando dos especímenes en cada uno de los cuatro puntos seleccionados, en cada fecha, para obtener representatividad de toda el área.

El análisis cualitativo indica que el tejido que captó más plomo fué el parénquima, en todos los órganos. En hoja, el clorénquima alcanzó los mayores porcentajes (más del 60 %). En peciolo, la acumulación en epidermis se hizo muy evidente (alrededor de 40 %, en promedio), incluyendo en ésta a los tricomas. En tallo, el córtex y xilema capturaron más plomo (cercano al 20 % en cada tejido). En raíz, la rizodermis, xilema y parénquima obtuvieron los mayores porcentajes (aproximadamente 20 %, en promedio, para cada tejido). Considerando sólo al xilema, el parénquima xilemático presentó los mayores porcentajes en todos los órganos. Esclereidas y parénquima medular capturaron siempre menores porcentajes de plomo.

El análisis cuantitativo establece que el órgano que presentó mayor concentración de plomo absorbido fué la raíz, con una media aritmética trimestral ( $\bar{X}_3$ )= 16.08 mcg/g y una media geométrica trimestral ( $G_3$ )=14.28 mcg/g ; el órgano con menor concentración del metal fué la lámina foliar, que sumando plomo adsorbido y absorbido, presenta una  $\bar{X}_3$ = 7.10 mcg/g y una  $G_3$ = 6.65 mcg/g. Aunque considerando que el término hoja es lámina foliar y peciolo juntos, este último presentó una  $\bar{X}_3$ = 7.10 mcg/g y  $G_3$ =6.65 mcg/g, que suman un promedio trimestral de 18.66 mcg/g de plomo absorbido y 2.05 mcg/g de plomo adsorbido; cifra equiparable a la que corresponde a raíz. El tallo absorbió  $\bar{X}_3$ = 12.16 mcg/g y  $G_3$ =7.66 mcg/g

El sustrato superficial del tiradero presentó pequeñas cantidades de plomo, con una  $\bar{X}_3$ = 2.4 mcg/g, comparandolo con el sustrato del vivero, en que

anteriormente se contenía a "trueno", el cual presentó altas concentraciones del metal,  $\bar{X}_3 = 44.0$  mcg/g, y parte de éste fué integrado a la cubierta sanitaria, al transplantarse en las concavidades, junto con el paquete radicular.

Las propiedades físicas y químicas de la cubierta sanitaria fueron: textura arcillosa a limo-arcillosa y pH= 7.39 ( promedio ), con una Capacidad de Intercambio Catiónico = 20.57 meq./100 g ( media aritmética trimestral ). En general el contenido de nutrientes ( Calcio, Magnesio, Fosforo y Nitrogeno ) es bajo, y la materia orgánica se presentó también en bajos porcentajes, 1.89 por ciento, en promedio.

## INTRODUCCION

La contaminación del plomo en el ambiente es parte de la problemática actual, y guarda estrecha relación con el crecimiento de las grandes urbes. La que ahora nos ocupa es la que ocurre en la Ciudad de México, ya que este metal ha sido detectado frecuentemente en altas concentraciones en el medio y sus componentes bióticos.

El plomo se encuentra en forma natural en el suelo, en concentraciones variables, pues es parte del material parental. Se considera que el valor normal de plomo para el suelo, según los legisladores, es de 16 ppm (Martin et. al., 1981). La actividad humana, a través de la minería e industria, ha explotado este metal de manera irracional, utilizando y emitiendo el plomo, alterando, así, las concentraciones normales, y encontrando que, las concentraciones más altas presentes en la atmósfera provienen de los vehículos automotores, que emplean como combustible gasolina, que contiene plomo como aditivo antidetonante, agregado en forma de tetraetilo y tetrametilo de plomo (Leff, 1990; Linzon, 1976; Little, 1976; Martín, 1981). A través de la combustión de la gasolina los vehículos emiten el plomo, esparciéndose a la atmósfera, y de aquí a todo el ecosistema, captado por los seres vivos en forma directa (desde la atmósfera, agua o suelo) o indirectamente, vía cadenas alimenticias.

Considerando lo anterior y la situación de la Ciudad de México y Zona Metropolitana (con un número aproximado de automóviles de dos y medio millones, según datos estimados para 1986 por Bravo, 1986, muchos de los cuales siguen empleando gasolina plomada), con una situación topográfica desfavorable para la dispersión de contaminantes atmosféricos (una altitud de 2240 msnm y ubicada en una cuenca), ello son factores que provocan la agudización de la problemática ambiental (Bravo, 1986; Leff, op. cit.).

En México, solo en algún tiempo se realizó el monitoreo rutinario de plomo atmosférico, y en la actualidad se realiza sólo para investigaciones específicas (Rico, 1990), posiblemente se debe a la reciente introducción al mercado de la gasolina sin plomo (Magna Sin), aunque aún muchos automóviles emplean la plomada (Nova), que según Bravo (1986), generaba 34 Ton. de plomo por día a la atmósfera, además de él que emiten las industrias relacionadas con el metal (refinerías, fundidoras, etc.), que aportan cantida-

considerables del metal en cuestión.

Cuando este metal es captado por los vegetales, y excede las concentraciones inocuas (que son variables para cada especie vegetal), puede llegar a alterar los mecanismos fisiológicos esenciales, como inhibición de la síntesis de clorofila, reducción de la fijación de bióxido de carbono, así como en la inducción del cierre estomático, provocando una disminución en la biomasa e interfiriendo en la quelación del calcio, lo cual genera que se reduzca el crecimiento vegetal (Allinson y Dzialo, 1981; Garcidueñas y Merino, 1976; Martin, et.al. 1981).

La importancia de preservar y aumentar el número de vegetales (sobre todo especies arbóreas) en los espacios urbanos, así como el impacto que les causa el introducirlos en áreas cuyo sustrato se forma de grandes masa de basura, y que han sido rehabilitados, generó la intención de realizar este estudio, evaluando básicamente la concentración de plomo, y el impacto que puede llegar a tener en la especie Ligustrum japonicum thunb, introducida en el Ex-Tiradero Santa Cruz Meyehualco, zona ahora rehabilitada, y que recibió por más de 30 años residuos sólidos de todo tipo y a la que se intentó aplicar la técnica de Relleno Sanitario (DETENAL, 1984). De manera específica este estudio surge, junto con otras investigaciones, como parte del programa Docencia-Investigación, desarrollado a partir de 1985 (85-II), para la salida terminal de Contaminación de la carrera de biología de la ENEP-Zaragoza, en acuerdo con la Delegación Política Iztapalapa, así como de la necesidad de hacer, en nuestro país, estudios evaluativos precisos de la contaminación con plomo, que en términos generales, son hasta ahora insuficientes y dispersos.

## 1. CONTAMINACION POR PLOMO

### LA CONTAMINACION EN UN ECOSISTEMA URBANO.

Una definición formal de contaminación, en cualquier medio, según Holdgate(1977), es: "La introducción por el hombre al ambiente de sustancias y/o energía que causen daños a la salud humana y a los sistemas ecológicos, alterando su equilibrio en espacio y tiempo".

Este concepto se aplica en forma universal, pero para este estudio requerimos de adicionar un concepto regional, que es el ecosistema urbano, el cual, según Toledo (1983), considera la evaluación de la eficiencia e ineficiencia de los procesos productivos, tanto primarios como industriales (captación de recursos naturales y su procesamiento), que en relación a los ritmos y componentes naturales, en nuestro modo de producción, refleja la irracionalidad de las estrategias productivas predominantes, ya que se ha generado el deterioro de los ecosistemas, fuente última de toda producción. Debido a ello se produce un desequilibrio en éstos, y por ende la contaminación. Este concepto involucra inevitablemente el abordar la dualidad problemática-solución, que se convierte fácil y erróneamente en problemática-crítica, cayendo generalmente sólo en ésta última, pues es muy común hoy en día, escuchar a quienes hacen suya la lucha por la defensa de la naturaleza (que se ha dado en llamar defensa de la ecología), quedando, muchas veces, en poses o procedimientos burocráticos, discursos políticos, etc. Es muy común explicar esta problemática basándose en el factor densidad de población (también llamados Malthusianos) y considera su solución en relación al control demográfico, y partiendo de esta tesis los teóricos ecologistas pretenden que la población es responsable de la contaminación, exclusivamente, pero preguntémoslo, dice Vitale (1983): "¿ Quienes producen y venden detergentes biológicos, pesticidas, plásticos, aerosoles?", "¿gasolina con plomo?, etc. Por supuesto que en todas las sociedades ha existido la depredación de la naturaleza, pero en el modelo de acumulación capitalista ha sido excesiva. Ya mencionó Castroviejo (1978) "La contaminación no es el precio del progreso, sino el producto de la irracionalidad ecológica del sistema".

### LEGISLACION.

Visualizar a través del tiempo la problemática llamada contaminación ha generado intentos de protección al ambiente y por tal motivo ha surgido -

la legislación ambiental en varios países. Así, para el caso de México tenemos, entre otros, el art. 4º de el Decreto del 27 de Enero de 1984 con el que se Reforman, Adicionan y Derogan diversas disposiciones a la Ley Federal de Protección al Ambiente, y que establece como contaminación "toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental que altere o modifique su composición natural o degrade su calidad (Diario Oficial, 27 de Enero de 1984). Estrictamente este artículo no posee modificación alguna al texto anterior a esta publicación, ya que se transcribió completamente, y ambos jamás han sido íntegramente respetados.

#### CLASIFICACION DE LOS CONTAMINANTES.

Según Holdgate (1979), los contaminantes se pueden clasificar considerando, principalmente, el objetivo del estudio que se quiera realizar. Así, los contaminantes pueden dividirse por su naturaleza, y para ello se considera su estado físico y su composición química ( orgánicos e inorgánicos; metálicos o no metálicos; sólidos, líquidos o gases ), por sectores ambientales ( terrestres, acuáticos, rurales, urbanos, etc.), por su origen (domésticos, industriales, etc.), por objeto y efecto.

## 2. FUENTES DE PLOMO

Una amplia clasificación de las fuentes de plomo al ambiente es: Fuentes naturales y Fuentes antropogénicas. La primera se basa en el conocimiento de que el plomo es un constituyente natural del suelo, y que las cantidades que en éste se encuentran dependen del material parental y el que se precipita como polvo cósmico (Zimbdhal y Hassett, 1980; Linzon, et. al. 1976), así como cenizas de suelos, aerosoles volcánicos, humos de fuegos forestales, aerosoles de sales de oceanos y polvos meteóricos (Zimbdhal y Hassett, 1980).

Las fuentes antropogénicas incluyen básicamente:

- a) Fuentes motoras
- b) Actividad industrial
- c) La minería

### a) Fuentes motoras.

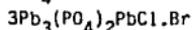
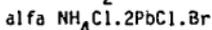
Los automotores representan la principal fuente de contaminación por plomo al ambiente en zonas urbanas, por la combustión de gasolina con aditivos plomados (Stoker, et. al. 1981; Szopa, et. al. 1973).

Proceso de combustión de gasolina.

Los aditivos que contienen plomo, comúnmente usados en las gasolinas, son los compuestos tetraetilo de plomo y tetrametilo de plomo (Stoker, op. cit.; Glater y Hernández, 1972), antidetonantes que reducen los problemas de preignición (encendido) de los automóviles (Little y Wiffen, 1976; Smith, 1976; Matt, 1972; Turk y Wittes, 1982). Así, el plomo orgánico aumenta el grado de octano de las máquinas de alta compresión (Smith, op. cit.).

El tetraetilo de plomo es sintetizado por la reacción de Grignard, usando éter de plomo y generando  $PbCl_2$ , agregando plomo libre junto con dibromuro de etileno (Little y Wiffen, op. cit.). Se añaden también hidrocarburos clorados, que serán convertidos a sales inorgánicas durante la combustión de la gasolina (Chamberlain, 1973; Szopa, op. cit.), y salen del automóvil como haluros, hidróxidos y óxidos, con pequeñas cantidades de carbonatos y sulfatos (Zimbdhal y Hassett, 1980). Estas reacciones se efectúan muy fácilmente, debido a las altas presiones y temperaturas en el área de combustión. Los óxidos de plomo reaccionan con los hidrocarburos clorados, lo cual explica la formación de las siguientes sales de Pb que se emiten -

a la atmósfera (Stoker, et. al., 1981; Smith, 1976):



El clorobromuro de plomo es la primera sal de plomo que se libera a la atmósfera a través del escape; en general las tres primeras sales ocupan el 80% o más de las emisiones. Los complejos de amonio son de importancia secundaria y se sugiere que los haluros de plomo son convertidos primariamente a óxidos de plomo y carbonatos de plomo como:

$\text{PbCO}_3$ ,  $(\text{PbO})_2$ ,  $\text{PbCO}_3$ ,  $\text{PbO}_x$ ,  $\text{PbO.PbSO}_4$ ,  $\text{PbCl}_2$ ,  $\text{Pb(OH)Cl}$ ,  $\text{PbSO}_4$   
(Stoker, op. cit.; Smith, op. cit.; Ter Haar y Bayard, 1971).

La cantidad de plomo en gasolinas suministradas con alquillos de plomo varía de 2 a 4 g/galón en promedio, pero no todo el plomo es liberado a la atmósfera (Martin, et. al., 1981; Smith, 1976), después de la combustión un 70 a 80%, en promedio, se emite a la atmósfera en forma de aerosoles, según establece Chamberlain (1973). Para Little y Wiffen (1978), el 60% es emitido y 25% puede ser almacenado en los escapes y removido en el cambio de aceite, en la lubricación o en los filtros de aceite. Algunos estudios sugieren que los halógenos de plomo no se emiten desde el escape como sales de plomo en su totalidad, esto es, también se emiten al ambiente como aerosoles de haluros de plomo (Smit, op. cit.; Zimbdhal y Koepppe, 1976).

También se ha encontrado en la atmósfera alquillos de plomo, por la evaporación del combustible (desde los automóviles y recipientes sin cerrar), Smith, 1976.

El diámetro de las partículas que son liberadas de los escapes de los automóviles tiene un amplio rango, encontrándose que alrededor del 90% de ellas miden menos de 2 micrometros, aunque pueden llegar a medir más de 9 micrometros; y las de menor tamaño permanecen largo tiempo en los procesos

de turbulencia atmosférica y transportándose a grandes distancias. Estas partículas, además, tienen la característica de poseer altas concentraciones de plomo, en relación a las de mayor tamaño (Cantwell, et. al., 1972).

En muchos países se ha reflejado el interés por restringir el uso de aditivos plomados a la gasolina. Estados Unidos, por ejemplo, después de 1973 redujo de 2.5 a 0.5 gramos por galón (3.8 litros), reportados en el no. 182 de la revista Naturaleza. En México se añadía antes de 1984, a la gasolina Nova, 3 ml. de una solución al 60% de alquiflos de plomo por galón; pero como parte de las acciones implementadas en el Programa de Reordenación Urbana y Protección Ecológica del Distrito Federal (Septiembre 1984), se disminuyó, en promedio, a 0.75 ml. de la solución de plomo por galón de gasolina. Según Chisolam (1971), cada año se emplean de 200 000 a 300 000 toneladas de plomo en la elaboración de aditivos alquilados de plomo ( ver tabla 1).

#### b) Actividad Industrial como fuente de Plomo.

El fundido y refinado de los metales, para convertirlos en bienes de consumo, libera ciertas cantidades de éstos, así como productos secundarios, y que al ser empleados se someten a corrosión y desgaste, lo cual genera también emisiones al ambiente (Stoker, et. al. 1981; Zimbhala y Hasset, 1980; Smith, 1976).

Las principales actividades que originan emisiones al ambiente son:

- Incineración de desechos industriales ( Smith, op. cit.; Martín, et. al., 1981).
- Fabricación y combustión de carbón, muy usado en los hornos industriales y plantas generadoras de electricidad, que emiten gran cantidad de pequeñas partículas ( Martín, op. cit.).
- La manufactura de baterías y acumuladores y latón (lo emiten en forma de óxidos y como plomo metálico).
- Fabricación de municiones de armas, metal para cojinetes, cobertura de cables y plomo laminado ( se emite como óxidos y plomo metálico ).
- Fabricación de soldaduras.
- Manufactura de tipos de imprenta, rodamientos, proyectiles, rociadores automáticos para incendios, fusibles eléctricos, tuberías y tanques de productos químicos corrosivos.

- Fabricación de coberturas de cables eléctricos subterráneos o submarinos, pigmentos de pinturas, lacas, esmaltes y barnices (en forma de óxidos, carbonatos, acetatos y nitratos de plomo), datos reportados por Dickson (1986) y Stoker, et. al. (1980).
- El vidriado en la alfarería, que además libera el plomo cuando los recipientes se usan con líquidos de carácter ácido (en forma de óxidos, nitratos, acetatos y carbonatos de plomo).
- Aplicación de lodos de aguas de alcantarillado a los suelos, con fines agrícolas (Little y Wiffen, 1976; Martin, et. al., 1981; Wiener, 1979).
- Al uso de insecticidas que contienen arseniato de plomo,  $Pb_3(AsO_4)_2$ , y fertilizantes que lo contienen como Nitrato de Plomo (Martin, et. al., 1981; Matt, 1972; Motto, et. al., 1970), aunque Czuba (1980) se refiere solamente a los fertilizantes fosfatados.
- Fabricación de tabique, en donde se emite el plomo como partículas, además de cromo y arsénico (Tercer curso y simposium internacional sobre Biología de la Contaminación, 1985).

#### c) La Minería.

La minería como actividad económica primaria, donde gran parte del metal se obtiene de las menas de los depósitos subterráneos, y que expone a las rocas al ambiente, a una meteorización acelerada (Stoker, et. al., 1981; Zimbdhal y Hassett, 1980), enriqueciendo al ambiente periférico de metales como el plomo.

Considerando la producción y liberación de plomo al ambiente, en México, para 1980 y 1981 (Toneladas):

Forma de Plomo	1980	1981
Afinado	131 034	138 240
Antimonial	9 260	12 310
*Barras Impuras	4 676	6 164
Concentrados	108	333
Calcinados	311	337
Sulfato de Plomo	162	-
	<u>145 549</u>	<u>157 384</u>

\* con otros elementos - no reportado

(CONSEJO DE RECURSOS MINERALES, 1979).

### 3. QUIMICA DEL PLOMO.

El plomo se encuentra dentro del grupo de los 38 elementos que forman a los metales pesados, y que poseen una densidad de hasta  $5\text{g/cm}^3$  (Antonovics, et. al. 1971).

El plomo es el elemento más abundante de los metales pesados naturales, con números atómicos mayores de 60 y al que le corresponde el número atómico 82. Se encuentra en la naturaleza constituido por cuatro isótopos estables y en cantidades relativamente variables:

$^{206}\text{Pb}$  (de 20 a 28%),  $^{208}\text{Pb}$  (de 50 a 54%),  $^{207}\text{Pb}$  (de 20 a 23%) y  $^{204}\text{Pb}$  (de 1.2 a 1.6%); además existen cuatro isótopos radiactivos de vida corta:

$^{210}\text{Pb}$ ,  $^{211}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  y  $^{214}\text{Pb}$ , que se presentan en la naturaleza como producto de la decadencia del Uranio y del Torio (Naturaleza, 1982; Zimbdhal y Hassett, 1980).

El plomo elemental es blando y presenta coloración grisácea (Stoker, et. al., 1981).

Algunas de sus propiedades físicas y químicas son:

Peso atómico:	207.21
Número atómico:	82.0
Punto de fusión:	$327.43^{\circ}\text{C}$
Densidad:	11.34 g/cc.
Punto de ebullición:	$1620.0^{\circ}\text{C}$
Configuración:	$6s^2 6p^2$

Al contacto con el aire el plomo se oxida a  $\text{Pb}_2\text{O}$ , forma Sulfato de Plomo con Acido Sulfúrico caliente y concentrado; forma Nitrato de Plomo con el Acido Nítrico a temperatura ambiente y forma numerosas aleaciones con otros metales (Mahan, 1977).

Se extrae con facilidad de sus menas. La principal mena (mineral metálico) es el Sulfuro,  $\text{PbS}$ , comúnmente denominado galena (Stoker, op. cit.; Zimbdhal y Hassett, 1980), y Anglesita,  $\text{PbSO}_4$ . Se encuentra mayormente como  $\text{Pb}^{+2}$  y en condiciones oxidantes como  $\text{Pb}^{+4}$  en compuestos inestables (Zimbdhal y Hassett, op. cit.).

#### 4. DISTRIBUCION DEL PLOMO

Una vez que el plomo ha sido emitido al ambiente, se distribuye en la atmósfera, suelo, agua, vegetación y animales, ya sea directamente o vía cadenas alimenticias.

Los patrones de distribución del metal guardan relaciones específicas con la fuente emisora; sin embargo se consideran determinantes los siguientes factores:

- Dirección y velocidad de los vientos predominantes en el área de emisión (Getz, et. al., 1979; Little y Wiffen, 1978). Estudios realizados en los alrededores de las fuentes emisoras indican que los niveles normales de plomo se alcanzan a mayores distancias, desde la fuente, considerando el área que se encuentra en dirección del viento, y con vientos de mayor velocidad; el área que se encuentra en dirección contraria al viento logra, a menor distancia de la fuente, su concentración normal de plomo (Getz, op. cit.; Smit, 1976).

- Distancia desde las fuentes emisoras. Existe un patrón que refleja un decremento exponencial de la contaminación de plomo al aumentar la distancia a la fuente de emisión (Zimbdhal y Hassett, 1980). Autores como Smith, op. cit. y Wiener (1979) consideran que, en promedio, la concentración de plomo disminuye en la atmósfera hasta un 50% a 50 m de la fuente, aunque se ha encontrado que el desplazamiento puede ocurrir a través de mayores distancias.

- La topografía circundante a las fuentes emisoras y la estabilidad de la atmósfera son también factores determinantes en la distribución del metal. Así, por ejemplo, el agrupamiento de edificios restringe la ventilación y se genera mayor acumulación de plomo; la lluvia genera un arrastre de plomo; y la temperatura, en forma indirecta, ya que la combustión de los combustibles se efectúa mejor a altas temperaturas, disminuyendo la emisión de alquilos de plomo; y las inversiones térmicas en la atmósfera evitan la dispersión normal de los contaminantes atmosféricos (Glater y Hernández, 1972; Jauregui, 1989; Little y Wiffen, 1978).

- La estación del año. Se sabe que se concentra más plomo en la atmósfera en invierno que en verano (Smith, 1976).

- Para las fuentes motoras se considera también la densidad de tráfico, -

edad del vehículo, su velocidad y si la zona es de tipo rural o urbano, es decir, la densidad de tránsito. La atmósfera circundante a los caminos urbanos contiene de dos a veinte veces más plomo, en relación a el contenido en las áreas sin carretera (Smith, 1976).

El estado físico del plomo que es liberado al ambiente es, principalmente, en forma de partículas, y su distribución está íntimamente relacionada con su tamaño (diámetro), de hasta submicras, y básicamente afectadas por patrones de conducción, ya que los aerosoles de los escapes exhiben un tamaño de partícula, de alrededor de 0.02 micrometros (mcm), en condiciones de viaje variables y el tamaño de partícula mayormente emitido (entre 60 y 80%) es de 0.2 a 0.4 mcm, bajo condiciones de viaje constantes: velocidad, pendientes, etc. y algunos consideran que un porcentaje apreciable de partículas tienen tamaños de 5.0 mcm, y algo mayores (Little y Wiffen, 1976). Además el plomo forma asociaciones con el polvo, y se distribuye con éste en la atmósfera (Getz, et. al., 1979).

Según Smith, op. cit., un vehículo libera aproximadamente 80 mg de plomo por kilómetro recorrido, y Camberlain (1975) establece, en promedio, para las zonas urbanas, el rango de emisión por automóvil es de 13.5 mg/m/s. Ver tabla 2.

Tabla No. 1 . Niveles de Plomo en gasolina en diferentes países del mundo.

Lugar y año	Concentración	Referencia
Antes de 1970 la cantidad - de alquilos de plomo, en - promedio, para varios países	2.5 g/galón	Smith, 1976; Mar tin, et. al. 1981.
En U.S.A., en 1973 se limitó el contenido de alquilos a...	0.5 g/galón	Naturaleza, 1982.
En México, en 1984, la gaso-- lina Extra ..... gasolina Nova .....	Sin plomo 3ml. de solución de alquilos de Pb por galón (3 veces el standar de USA).	Dickson, 1986.
En México, en 1986, se redujo el plomo a	entre 1.0 y 0.5 ml - de soln. de alquilos por galón (2 a 0.7%, peso)	Leff, 1990; Na- turaleza, 1982.
En 1979, la EPA (Environmental Protection Agency) estableció	0.13 g/l , promedio.	Stocker, 1981.
En Alemania, en 1980, se redu- jo el contenido de plomo a ...	0.4 y 0.15 g/l (0.57 g/galón)	Chamberlain, - 1973.
Cada vehículo libera en promedio	80 mg de Pb por Km.	Smith, 1976.

Tabla No. 2 . Niveles de Plomo en aire en diferentes localidades del mundo.

Lugar de emisión	Concentración detectada	Referencia
<b>ZONAS URBANAS</b>		
<u>junto a caminos en:</u>		
Roma, Italia.....	89 mcg/m <sup>3</sup> (muestra única)	Smith, 1976.
Los Angeles, C.A.....	71 mcg/m <sup>3</sup>	" "
New York, USA.....	34 mcg/m <sup>3</sup>	" "
U.S. Highway I.N.J. ....	16 mcg/m <sup>3</sup>	" "
Cincinnati .....	6.8 mcg/m <sup>3</sup>	" "
Filadelfia .....	7.6 mcg/m <sup>3</sup>	" "
<u>junto a industrias en:</u>		
Fundidora en Toronto(1873).....	17 Ton. al año	Linzon, <u>et. al.</u> -
Manufactura de baterías,Toronto	6 Ton. al año	(1976).
Fundidora Toronto (1974) .....	2.1 mcg/m <sup>3</sup> prom.anual	"
<b>ZONAS SUBURBANAS</b>		
Promedio de varias ciudades ...	0.2 mcg/m <sup>3</sup>	Smith, 1976.
<b>ZONAS RURALES</b>		
Promedio de varias ciudades ...	0.02 mcg/m <sup>3</sup>	Smith, 1976.
Promedio de Zonas urbanas y - rurales de ciudades de USA.....	1 a 4 mcg/m <sup>3</sup>	Smith, 1976.
Promedio anual en ciudades de Europa.....	0.4 a 7.4 mcg/m <sup>3</sup>	"
Promedio anual en ciudades - japonesas.....	0.51 mcg/m <sup>3</sup>	"
Norma Internacional de Pb atmosférico	1.5 Kg/m <sup>3</sup> trimestral	Leff. 1990.
Nivel de fondo Urbano (background)	0.01 mg/m <sup>3</sup>	Rohbock,1980, re- portado por Coutiño,1989.
mcg microgramos.		

## 5. PLOMO EN SUELO

### Niveles de Plomo.

No es posible establecer una concentración normal de plomo en suelo y aplicarla como regla universal, y a partir de ésta establecer si un suelo está o no contaminado, debido a que las concentraciones de plomo en cada localidad dependen, inicialmente, del material parental, por lo que posee un contenido inato y variable de plomo (Zimbdhal, 1980). Según Martin, et. al., 1981 y Zimbdhal, op. cit., la concentración normal de plomo en suelo es de 15 mcg/g (microgramos por gramo) o 16 ppm (partes por millón). Rolfe (1973), establece rangos más amplios para este parámetro y que va de 1 a 200 ppm, y según Boeven (1966), reportado por Czuba (1980), el rango normal de concentración va de 2 a 200 ppm. En áreas urbanas, el plomo del suelo tiene un origen básicamente antropogénico y se mide en cifras considerablemente mayores, principalmente por el aporte vehicular (uso de gasolina-plomada) y las emisiones industriales (Linzon, et. al., 1976; Little y Wilffen, 1976; Motto, et. al., 1970), ver tabla no.3.

### Distribución.

En términos generales, y de acuerdo a los autores que han estudiado la distribución de plomo en suelo, se concluye que existe una estrecha relación entre volumen de tránsito y distancia a las vías vehiculares, que es muy similar a la distribución de plomo en la atmósfera, ya que la concentración del metal es muy alta en las inmediaciones a las vías vehiculares y disminuye al aumentar la distancia a éstas, ver tabla 3, y sigue el mismo comportamiento para las fuentes industriales de plomo. En cuanto a la distribución vertical, las concentraciones más altas se detectan en el estrato superficial, disminuyendo rápidamente en los primeros centímetros (Linzon, et. al., 1976; Motto, op. cit.; Stoker, et. al., 1981; Zimbdhal y Hassett, 1980).

Las variantes para estos comportamientos son generalmente para suelos de uso agrícola, donde frecuentemente hay remoción de las porciones superficiales del suelo, por los procesos de arado y en general la preparación para cada ciclo agrícola, generando grandes movimientos del plomo depositado superficialmente, solo en la porción de los horizontes arables (Chamberlain, 1973; Czuba y Hutchinson, 1980; Martin, et. al., 1981). Czuba y Hutchinson -

(1980) y Martin, et. al.(1981) agregan que en este caso, cuando los suelos son subsidiados con nutrientes, tienen un aporte adicional de plomo, contenido en los fertilizantes agregados y, además, en los insecticidas con Arsenato de Plomo. Sugieren que son básicamente los fertilizantes fosfatados - los considerados como mayor fuente de plomo a suelos agrícolas, por lo que recomiendan que la adición de fósforo se haga en otra forma química.

Se sabe que la disminución de plomo en suelos de uso agrícola puede generarse por erosión, o drenarse por remoción hacia los cultivos (Matt, 1972).

#### Propiedades Físicas y Químicas.

De el plomo total que se incorpora al suelo, solo una pequeña porción - queda libre y disponible, para ser captado por los vegetales y la fauna edáfica, y esta disponibilidad estará determinada por las propiedades físicas y químicas del suelo, tales como: pH, Textura, Materia Orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónica (C.I.C.), concentraciones de Calcio, Fósforo y Magnesio (Allinson y Dzialo, 1981; Lagerwerff, 1971; Matt, 1972; Zimbhal y Koeppel, 1976).

En general se considera que el enriquecimiento de metales debido a la - fuente atmosférica lleva el siguiente orden:

Bi, Cu y Pb > Sn, Zn y Mo > Be, Ge, Co y Cr > V y Mn ( Zimbhal y Hassett, 1980).

-Fósforo y pH.

El plomo sale de los automóviles (escapes) como sales de haluro, que son muy solubles, y que pueden unir al fósforo de la gasolina formando compuestos fosfato-haluros, y éstos a su vez se transforman en compuestos menos solubles, por ejemplo:  $Pb_5(PO_4)_3X$ , donde X= haluro (Zimbhal y Hassett, op. cit. Y Smith, 1976), que es conocido como piromorfita de plomo, y debido a la gran afinidad química del plomo con el fósforo, más de el 50% de el plomo presente en los suelos se encuentra como compuestos de fósforo, tales - como Fosfato de Plomo,  $PbPO_4$ , encontrando también a los compuestos  $PbO$ , -  $PbO_2$ , Pb y  $PbS$ , que son formas insolubles, según indica William (1976). - Por lo anteriormente mencionado, agregar fósforo al suelo reduce la cantidad de plomo disponible (Zimbhal y Koeppel, 1976), principalmente cuando se agrega en forma de  $PO_4^{3-}$ , ya que Rolfe (1973) determinó experimentalmente, - agregando fósforo en esta forma química y altas concentraciones de plomo -

( 300 a 600 ppm), indicando que las plantas no muestran algún daño visible, ya que el plomo es inmovilizado por la insolubilidad del Fosfato de Plomo.

El grupo Hidroxilo es también un captor de plomo, insolubilizandolo como Hidróxido de Plomo,  $Pb(OH)_2$ , en condiciones de pH básico (Reddy Y Patrich, 1977).

En general la entrada de plomo a la planta disminuye cuando el pH de el suelo aumenta (Reddy y Patrich, op. cit.: Xingfu Xian, 1989), siguiendo esta misma relación cuando el potencial Redox del suelo aumenta, disminuyendo la entrada de plomo al vegetal.

Muchas sales de plomo incrementan su solubilidad con el decremento de pH por lo cual el plomo se encuentra disponible para las planta en suelos ácidos, siendo menos probable que se precipite. Los suelos con pH alto tienden a detener el lixiviado de plomo (Allinson y Dzialo, 1981; Martin, et. al., 1981).

- Capacidad de Intercambio catiónico, Materia Orgánica y pH.

El plomo se une fuertemente a las porciones orgánicas del suelo y algunos cationes (Chamberlain, 1973), principalmente en el humus, ya que los ácidos húmicos tienen gran habilidad para ligar los iones metálicos, como el  $Pb^{2+}$  (Martin, op. cit.; Rams, 1975; Zimbdhal y Hassett, 1980). Xingfu Xian op. cit., indica que cerca del 40% del plomo total está asociado a la materia orgánica, por lo que se considera una buena medida el agregar estiercol a los suelos. En la relación pH básico y altas concentraciones de materia orgánica inmovilizan al plomo.

En cuanto a la C.I.C. y la disponibilidad de plomo existe una relación inversa, por ejemplo, suelos con baja C.I.C. (2.3 meq./100g de suelo) proporcionan mayor cantidad de plomo libre y disponible, principalmente en suelos de textura fina (Miller, et. al. 1977), pues el  $Pb^{2+}$  es absorbido fácilmente por los sitios de intercambio catiónico (Abd-Elfattah y Wadakaji, 1981), y por el contrario, al encontrar pH alto, baja C.I.C. y poca materia orgánica, así como suelos de textura arenosa, puede haber lixiviación del metal a varios metros de profundidad (Allinson y Dzialo, 1981; Smith, 1976).

- Nitrógeno y Calcio.

El nitrógeno presenta afinidad química por el plomo. El agregar pequeñas cantidades de nitrógeno al suelo ( $NH_4NO_3$ ) reduce la cantidad de plomo disponible (Martin, et. al., 1981).

El plomo también reacciona con el  $\text{CO}_3^{=}$  del suelo, pues algunos estudios han demostrado que el agregar cal ( $\text{CaCO}_3$ ) disminuye el plomo disponible - (Martín, et.al., 1981; Smith, 1976). Sin embargo la práctica de adicionar de manera constante cal al suelo, según Xingfu Xian (1989), es contraproducente al paso del tiempo, pues cuando las condiciones del pH se hacen sólo un poco ácidas, los carbonatos generan una gran biodisponibilidad de plomo, por su gran solubilidad en estas condiciones.

Los suelos salinos, con alta concentración de NaCl, dan mayor movilidad al plomo, facilitando su filtración en el suelo (Martín, op. cit.).

- Biota edáfica.

Smith (1976), propone que la actividad bacteriana para la descomposición de la materia orgánica, es afectada con la excesiva entrada de metales pesados en los horizontes superficiales, estableciendo básicamente una interacción del plomo con el ciclo de la transformación microbiana del nitrógeno, hierro, fósforo y sulfato. Se ha examinado también el efecto del metal en - insectos y lombrices de tierra, observando que acumulan el plomo (bioacumulación), y lo llevan a otros, vía cadenas alimenticias.

Tabla No. 3. Niveles de Plomo en suelos de diferentes localidades del mundo.

Características de la zona estudiada	Concentración detectada	Referencia
<b>CONCENTRACIONES NATURALES DE PLOMO</b>		
Suelo sedimentario o aluvial..	0.5 a 0.06 mcg/g ...	Zimbdhal y Hassett, 1980. -
Roca ígnea ultrabásica.....	0.1 mcg/g ...	"
Rocas carboníferas .....	35.0 mcg/g ...	"
Area de mena (minera) .....	45 000 mcg/g ...	"
Suelo no contaminado (promedio)	15 mcg/g ...	"
Promedio en la corteza terrestre (horizonte superficial) ...	16 ppm ...	Martin, <u>et. al.</u> 1981.
Promedio en la corteza terrestre (horizonte superficial) ...	12.5 ppm ...	Stoker y Seager, 1981.
<b>CONCENTRACIONES LEGISLADAS</b>		
Nivel de tolerancia según la FAO .....	20.0 ppm ...	Stoker y Seager, 1981.
Niveles peligrosos e inaceptables.....	40.0 ppm ...	Martin, <u>et. al.</u> , 1981.
Suelo no contaminado.....	15 a 16 ppm ...	"
Niveles normales en Japón .....	37.0 ppm ...	Imura, 1979, reportado por Xingfu Xian, 1989. -
<b>ZONAS URBANAS</b>		
Suelo superficial de la ciudad de San Francisco .....	560.0 mcg/g ...	Zimbdhal y Hassett, 1980. -
En la ciudad de Los Angeles ...	3 357.0 mcg/g ...	"
Suelos del centro de Londres ( 0 a 15 cm de profundidad ) ..	523.0 ppm ...	Chamberlain, 1983. -

Tabla No. 3. Continuación. Plomo en suelos de diferentes localidades...

Características de la zona estudiada	Concentración detectada	Referencia
Suelos de New Haven .....	478.0 ppm ...	Smith, 1976.
<b>ZONA SUBURBANA</b>		
Junto a varios caminos sub-urbanos de Estados Unidos ..	540, 160 y 403 mcg/g	Zimbdhal y Hassett, 1980.
Localidad suburbana en Inglaterra (suelo superficial) ..	91.0 mg/Kg ...	Davies y Houghton, reportado por Coutiño, 1989.
<b>ZONAS RURALES</b>		
En Connecticut .....	10 a 15 ppm ...	Smith, 1976.
Máximo encontrado en área rural (suelo superficial) ..	100 mcg/g ...	Linzon, <u>et. al.</u> 1976.
<b>ZONAS INDUSTRIALES Y MINERAS</b>		
Junto a minas en Gales, Inglaterra .....	5 000 ppm ...	Martin, <u>et. al.</u> 1981.
Junto a fundición en U.S.A .	21 000 ppm ...	Linzon, <u>et. al.</u> 1976.
Junto a fundidora en Toronto (jardines que tenían 110 ppm)	2 600 ppm ...	Chamberlain, 1983.
<b>DISTRIBUCION VERTICAL</b>		
En NE de New Jersey, junto a avenida muy transitada .....	de 0 a 15 cm 159 ppm de 15 a 30 cm 105 ppm	Motto, <u>et. al.</u> 1970.
Junto a zona industrial, Ontario, Canada.....	de 0 a 2.5 cm 292 ppm de 10 a 15 cm 148 ppm	Linzon, <u>et. al.</u> 1976.
Promedio de plomo, calculado, depositado en todo el mundo ..	$1.7 \times 10^{-5}$ g/cm <sup>2</sup>	Zimbdhal y Hassett, 1980.
mcg/g microgramos por gramo.		

## 6. PLOMO EN PLANTAS

La importancia de evaluar el contenido de plomo en las plantas radica, en términos generales, en que muchas de ellas son parte fundamental de las cadenas alimenticias y de la economía de los países. En términos de ecosistemas urbanos, el caso de este estudio, el interés de evaluar el impacto del metal cambia considerablemente, ya que en estas áreas, generalmente, son reducidos los espacios verdes, pero de gran trascendencia para el equilibrio y apropiado ambiente de estos conglomerados humanos. Por esto, es esencial conocer las causas y consecuencias de la presencia de este metal, tóxico a los organismos, ya sea a nivel de especie o como población; para lo cual resulta también muy importante además el ubicar los fenómenos de bioacumulación y mecanismos de protección de las plantas, respecto a la presencia de éste, pudiendo, asimismo, emplearlos como sensores ambientales de plomo.

La entrada de este metal a las plantas varía en cada individuo; éste se debe básicamente a tres factores (Broger, et. al., 1972; Lagerwerff, 1971; Zimbdhal y Koeppel, 1976):

- Concentración de plomo en la atmósfera
- Cantidad de plomo disponible en el suelo
- Características morfofisiológicas del vegetal

A continuación se describe, en forma general, cada uno de éstos factores.

### Influencia de las vías vehiculares en el contenido de plomo.

Existe una estrecha relación entre el contenido de plomo en los vegetales y la cercanía de éstos a las vías vehiculares (VV), y se establece de la siguiente forma: La concentración del metal es más alta en las plantas que se localizan junto a las VV, y disminuye al aumentar la distancia a estas. Sin embargo los vegetales que se localizan al lado del camino y en dirección donde soplan los vientos predominantes, el gradiente de la disminución de la concentración es mayor, esto es, a mayor distancia del camino hay todavía alta concentración del metal en el vegetal; ocurriendo lo contrario en la dirección opuesta al viento predominante, ya que a corta distancia de las VV los vegetales alcanzan la concentración normal. Este comportamiento se cumple generalmente para cualquier fuente emisora (Smith, -

1976; Chamberlain, 1975).

El volumen de tráfico influencia directa y proporcionalmente el contenido de plomo en los vegetales (Getz, et. al., 1979; Smith, 1976). Así, por ejemplo, Smith, op. cit., reporta pastos con concentraciones de 125 a 2 250 mcg/g (microgramos por gramo) de plomo en avenidas muy transitadas de Estados Unidos y menos de 8.75 mcg/g en avenidas poco transitadas de áreas urbanas.

#### Mecanismos de entrada del plomo al vegetal.

El plomo puede entrar al vegetal vía suelo-raíz o vía atmósfera-porciones aéreas; la vía predominante va a estar determinada por la concentración de plomo existente en el medio de la planta (Broger, et. al., 1972; Lagerwerff, 1971; Zimbdhal y Hassett, 1980).

##### a) Relación Plomo-Raíz.

La raíz capta únicamente el plomo disponible que se encuentra en el suelo, lo cual está determinado principalmente por las propiedades físicas y químicas del suelo (Broger, op. cit.; Motto, et. al., 1970; Xingfu Xian, 1989) y lo que, el comportamiento general indica, que el contenido de plomo de la planta aumenta con el incremento de la fracción de plomo disponible en el suelo, así, por ejemplo, Lagerwerff (1971), menciona que con el incremento de 10 unidades del metal en el suelo, se refleja en un incremento de dos unidades de contenido de plomo en el vegetal, presentandose el fenómeno contrario cuando aumenta el pH del suelo, debido a que la solubilidad y/o movilidad del metal disminuye (Allinson, et. al., 1981; Lagerwerff, 1971). Así, la entrada de plomo a la raíz se incrementa con el decremento del pH del suelo, ya que tiende a acumularse en estas estructuras debido a que se une en sus superficies (Reddy, et. al., 1977).

El plomo disponible en el suelo puede estar solo asociado a las estructuras externas de la raíz, y no dentro de ellas, comportamiento que se observa en el experimento realizado por Broger, et. al. (1971) en el que efectúa lavados en raíz de cebada y encuentra que, una cuarta parte del plomo adherido puede ser removido con lavados de agua simple, realizados durante 15 minutos; y que se obtiene todavía más plomo con lavados de EDTA, y más aún con soluciones fosfatadas, estableciendo la conclusión de que el plomo no lavado con estos mecanismos es la cantidad efectiva, de metal, que puede captar la planta.

Los productos metabólicos de la raíz, tales como  $H_2CO_3$  y otros materia-- les ácidos, que se secretan durante la actividad radicular, pueden bajar el pH de los rizósferos (rizospheres) e incrementar la absorción de plomo a la planta, en la forma de Carbonato de Plomo (Xingfu Xian, 1989).

Estudios experimentales, que investigan la trayectoria del plomo disponi-- ble, han detectado mayores concentraciones de éste, en la raíz de varios - cultivos, en relación a los componentes aéreos, cuando el suelo tiene, com-- parativamente, mayor cantidad de plomo que la atmósfera (Broger, et. al., - 1971; Czuba, et. al., 1980). Por ejemplo, en experimentos realizados por Kea-- ton (1937) y Liebig (1942), reportados por Motto, et. al., 1970, en suelos con 800 ppm de Pb la cebada tuvo en raíz 800 ppm y en las porciones aéreas 3 ppm ( el plomo se agregó, probablemente, como Arseniato de Plomo).

La raíz absorbe mayores cantidades de plomo a temperaturas cálidas (20 a 25°C) que a temperaturas menores a 5°C, posiblemente por el incremento de - la actividad metabólica de la raíz (Broger, op. cit.).

Algunas especies vegetales poseen mecanismos morfofisiológicos radica-- res que permiten o restringen la entrada del metal, lo cual genera grandes diferencias en la concentración de plomo entre especies, aún bajo las mis-- mas condiciones. En general, las plantas con raíces poco profundas captan - más plomo, ya que en los horizontes superficiales éste se concentra más, a diferencia de los vegetales de enraizamiento profundo, pues sus raíces más activas no tienen acceso a esta zona superficial (las secundarias y terci-- arias) y aportan la mayor cantidad de agua y minerales (Glater y Hernández, 1972). Así, las raíces primarias pueden captar dos veces más plomo que las porciones aéreas, y las raíces secundarias de 10 a 20 veces más. En áreas - mineras la raíz puede acumular más plomo que el equivalente de concentra-- ción del suelo, por el fenómeno de bioacumulación, Broger, et. al. (1972) y Chamberlain (1970). Según ellos, entre individuos de la misma especie y ed-- ad, bajo las mismas condiciones de desarrollo, puede haber apreciable dife-- rencia en la captación de plomo, explicado por la variabilidad genética.

Vegetales herbáceos como maíz, frijol, caña de azúcar, avena, rábano, le-- chuga y pasto (forraje) tienden a acumular grandes cantidades del metal des-- de la fuente edáfica (Allinson, et. al., 1981; Glater y Hernández, op. cit.; Malone, et. al., 1974; Smith, 1976; Zimbhdhal y Koeppel, 1976). Czuba (1980), - encontró en lechuga y apio, bajo condiciones experimentales, 38.2 y 34.3 -

ppm de plomo en hoja y, 53.2 y 60.0 ppm de plomo en raíz, respectivamente.

Smith (1976) indica su posición opuesta con respecto a la captación de plomo vía radicular, con investigaciones que ha realizado y considerando todas las variantes relacionadas.

#### b) Relación Plomo-Partes aéreas.

Las investigaciones sobre la captación de plomo desde las partes aéreas del vegetal coinciden que, inicialmente, se capta por sedimentación y/o por impactación, también conocida como adsorción (Smith, op. cit.) y, posteriormente penetra desde la superficie (Lagerwerff, 1971; Malone, et. al. 1974; Motto, et. al., 1970; Zimbdhal y Koepe, 1976). Gran parte del plomo que se deposita en forma de partículas puede ser lavado, y de no ser así se transporta hacia el tejido cuticular (Czuba, et. al., 1980). Según Chamberlain (1973), la entrada de plomo, a través de la lámina foliar, ocurre principalmente en plantas cuya área foliar es grande, por unidad de masa. Los factores que influyen esta captación son: Las características anatómicas del vegetal (y que serán explicadas adelante), cercanía a las fuentes del metal y tamaño de las partículas de plomo (Zimbdhal y Koepe, op. cit.), ya que las partículas de diámetro pequeño se fijan más fuerte en las células epidérmicas, y son más difíciles de remover por el aire o el agua (Godzik, et. al., 1979).

Las partes aéreas, a comparación de la raíz, acumulan menos cantidad de plomo, aunque existen plantas indicadores de plomo atmosférico, como la avena, por ejemplo, que acumula grandes cantidades de plomo atmosférico (Rams, 1975). Como éste hay otros vegetales bioindicadores, como el caso de Ligustrum japonicum, para la presencia de plomo (Calva y Corona, 1990).

Según Ter Harr (1969), 46% del plomo contenido en lámina foliar es obtenido del suelo, y la captación aérea es menor.

En términos generales los árboles tienen la capacidad evidente de reducir la cantidad de plomo de el aire que pasa por ellos (Calva y Corona, op. cit.; Szopa et. al., 1973), dato de considerable importancia para preservar y fomentar las áreas verdes en zonas densamente pobladas.

#### Características morfológicas que determinan la captación de plomo.

En general, para todos los órganos aéreos, las características que se consideran selectivas para la captación y acumulación de metales son: Tex--

tura, talla, forma y pubescencia (Little y Wiffen, 1976; Martin, et. al., -1981; Zimbdhal y Koepe, 1976).

-Hoja.

Broger, et. al. (1972), al investigar los niveles de plomo en vegetales, menciona que cuando las concentraciones del metal son más altas en la atmósfera que en el suelo, el vegetal acumula más plomo en las porciones aéreas que en la raíz, por observaciones hechas en peciolo y limbo.

Las características de la superficie foliar relevantes para facilitar o dificultar la depositación de plomo, pues Carlson, et. al. (1976), observó - que, bajo las mismas condiciones, las hojas pubescentes (con pelo liso y suave) captan hasta siete veces más partículas de plomo que las hojas glabrescentes (lisas y cerosas). Los renúevos y bástagos captan también altas cantidades de plomo, sobre todo si tienen superficies rugosas (Little y Wiffen, op. cit.).

Algunas hojas tienen igual despositación en la superficie adaxial y abaxial y puede ocurrir mayor depositación en la abaxial en algunas especies, y es un comportamiento contrario a la idea general que al respecto se tiene en cuanto a que el haz capta más que el envés (Little y Wiffen, 1976). Se sabe también que el área de cruce entre peciolo y hoja es una región de gran captación del metal (Chamberlain, 1973).

-Estomas.

No existe un acuerdo general sobre si el plomo entra o no por los estomas, aunque Motto, et. al. (1970), propone que las partículas de plomo de menor tamaño sí entran fácilmente a los estomas abiertos, depositándose así dentro de la planta. Martin, et. al. (1981), sugiere que el cierre estomático es un mecanismo que protege al vegetal de la contaminación, idea apoyada por Mansfield, et. al. (1970). Aunque cuando las partículas de plomo se acumulan en las hojas pueden causar efectos fisiológicos adversos, ya que pueden bloquear los estomas e interferir en el intercambio normal de gases entre la hoja y el aire circundante, por lo que se genera una alteración en la fotosíntesis (Carlson, et. al., 1976).

El cierre estomático se ve afectado por la alta concentración de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en la mayoría de las especies, ya que se ha observado que en tales condiciones estos se cierran. Considerando la estrecha relación entre combustión de hidrocarburos y producción de CO<sub>2</sub>, y la respectiva emisión de plomo

mo, existe un continuo estímulo al cierre de estómas, en las áreas de gran actividad motora, es decir, hay una continua promoción del cierre estomático, que parecería ser positivo, debido a que se impide la captación de plomo por los estómas (Mansfield, et.al., 1970). También en condiciones de poca humedad el  $SO_2$ , en concentraciones mayores a 0.5 ppm, inhibe la apertura de los estómas, y sucede lo opuesto en condiciones de mayor humedad, generando daños a la planta, por la entrada de contaminantes. Considerando que los estómas se cierran con concentraciones de  $CO_2$  mayores a 300 ppm (valor promedio normal), existe frecuentemente una disminución en la transpiración. Cuando gran cantidad de contaminantes se acumulan en las células ocultas los estómas se lesionan, ya que se pierde la capacidad de turgencia de éstas, y si esto ocurre por largos períodos, o permanentemente, se modifica la ruta del  $CO_2$  que ingresa al vegetal, bloqueando el mecanismo de fotosíntesis, afectando así considerablemente a la planta (Mansfield, op. cit.; Garduñeas, et.al., 1979).

Existen otros mecanismos relacionados con los estomas para proteger al vegetal de la entrada del contaminante, por ejemplo, en algunas especies arbóreas como Pinus silvestres L., en que están cubiertos de finos cristales de cera, que protegen bloqueando esta ruta de entrada (Godzik, et. al., 1979).

#### - Tallo.

La rugosidad de la corteza de los árboles y pubescencia del tallo representan áreas de captación de plomo (Szopa, et. al., 1973; Malone, et. al., 1974), principalmente como partículas de Clorobromuro de Plomo (Szopa, op. cit.).

Se ha detectado que la velocidad de depositación en tallos y en peciolo es más densa que en la lámina foliar y en ésta se acumula más en la punta y en las margenes (Chamberlain, 1970; Smith, 1976), aunque Little y Wiffen (1976) hicieron experimentos en donde la hoja capta más plomo que el tallo. La textura de tallos y peciolo también ejerce influencia en la depositación de plomo, pues tallos tomentosos (de pubescencia densa) concentran más plomo que tallos lustrosos (cerosos), así como los rugosos captan más que los tallos lisos (Little y Wiffen, op. cit.).

La concentración de plomo en tallo nunca excede el 15% del total depositado en la planta, pero tallo y peciolo juntos pueden acumular de 12 al 26%

(Chamberlain, 1970; Little y Wiffen, 1976; Smith, 1976).

#### Captación de plomo en relación a la edad.

La longevidad es una característica importante en la acumulación de plomo, y las plantas leñosas han recibido menos atención con respecto a los cultivos, pastos y forrajes.

En relación a sus componentes, las partes leñosas son las que acumulan menos plomo, a diferencia de la corteza y retoños, que acumulan hasta 100 y 200 veces el nivel normal que es de 1 a 4 mcg/g para leña. En general las plantas con mayor edad, senscentes, acumulan más plomo, debido a que han estado más tiempo expuestas a este metal presente en el ambiente, y probablemente a que sus cutículas pueden tener porciones dañadas o desgastadas, y son vía de fácil acceso para el plomo; por lo cual las plantas caducifolias pueden tener menos concentración de plomo que las perennifolias (Crum, et. al. 1980; Little y Wiffen, 1976), aunque ciertas especies acumulan más plomo que otras, bajo las mismas condiciones, sin que esto implique que sean anuales o perennes (Getz, et. al., 1979).

#### Translocación.

El fenómeno de translocación se refiere al movimiento que ocurre básicamente de los componentes o sustancias que entran al vegetal (Malone, et. al., 1974; Zimbdhal y Koeppe, 1976). Este proceso ocurre gracias a la asociación espacial y fisiológica del cambium y el floema, lo cual origina una transferencia lateral de solutos del xilema a el floema, y viceversa.

Existen otros tejidos que también intervienen en la translocación, por ejemplo, en la raíz algunos elementos y iones cruzan sus tejidos corticales, la endodermis y las células del cilindro central, hasta llegar a el xilema, todo esto explicado por gradientes de difusión, desde epidermis hasta cilindro central, y debido también a las bajas tensiones de oxígeno del xilema; aunque en general se debe considerar el concepto de espacio libre aparente de la célula, ya que es el lugar donde el solvente y el soluto de la solución externa llega fácilmente, en contraste con el volumen osmótico, en donde solamente llega el solvente a ocupar tales espacios (Richardson, 1979).

Otros factores que van a determinar la entrada de plomo a la planta y su translocación son: la especie vegetal, su edad y sus características ambientales (Zimbdhal y Hassett, 1980).

El plomo puede translocarse en forma radial o vertical y esto sucede en diferentes proporciones en cada especie vegetal, aunque se considera que en la mayoría de los casos se da en bajas cantidades y de manera muy lenta. - Así, por ejemplo, la endodermis de la raíz (rizodermis) funciona como regulador de la entrada de plomo, y su translocación está relacionada con el movimiento de transpiración (Richardson, 1979; Zimbdhal y Hassett, 1976). - Martin, et. al. (1981) la considera como barrera de translocación, coincidiendo con Lagerwerff (1971), pues mencionan que la translocación de plomo desde la raíz es muy limitada y lenta. Dollar y Lepp (1980) comentan que ello puede deberse a la gran afinidad de plomo ( $Pb^{2+}$ ) por la celulosa y los y los grupos  $PO_4^{=}$  y  $SO_4^{=}$  de pared y membrana celular, impidiendo así su movilidad; aunque existen excepciones al respecto, como el rábano comestible, que es un buen captor de plomo edáfico y lo transloca fácilmente a las porciones aéreas (Lagerwerff, op. cit.) así como en lechuga y avena, a diferencia de otras especies, en donde no se aprecia mucho movimiento (Miller, et. al., 1977; Smith, 1976), quedando retenido en vesículas, vacuolas, cloroplastos, microcuerpos y plasmodesmos (Ernst, 1976).

Según Rains (1975), algunas plantas translocan grandes cantidades de plomo cuando envejecen y se encuentran en suelos muy contaminados. Chamberlain (1973) agrega a esta condición que en la etapa invernal hay mayor translocación.

#### Tolerancia a metales pesados.

Un fenómeno que ocurre con algunas plantas es el conocido como tolerancia a los metales pesados, que se refiere básicamente a que los vegetales pueden desarrollarse en ambientes con altas concentraciones de metales pesados, y evitar su entrada, o bien desarrollar mecanismos metabólicos propios, para "inactivar" a éstos, aún dentro del vegetal, por lo que se hace una división de estos dos mecanismos, basándose en el tipo de acción:

- Mecanismos Externos o de evasión
- Mecanismos Internos (Antonovics, et. al., 1971).

Los mecanismos externos, que no son necesariamente estrategias de la planta, evitan la entrada de iones metálicos, básicamente en cinco formas:

- \* Cuando el metal o compuesto metálico es muy soluble en agua y se encuentra en grandes cantidades, se genera una dilución y entra muy poco a la planta, o bien, es o se encuentra en forma insoluble.

- \* Carencia de permeabilidad del suelo o condiciones específicas de pH - que inmovilizan el plomo (Miller, et. al., 1977).
  - \* Efectos de iones tóxicos reducidos por otros iones presentes (sinergismo), por ejemplo, el plomo no se acumula en los vegetales cuando hay - grandes concentraciones de Cu en el suelo, y éste a su vez minimiza la entrada de Ni (Antonovics, et. al., 1971; Ernst, 1976; Malone, et. al., 1974). La presencia de Pb, propicia la acumulación de Zn, Fe y Na en - algunas especies (Smith, 1976). El Pb en el suelo aumenta la concentra - ción de Cd en el tejido de algunas plantas, y cuando hay Cd en el sue - lo disminuye la concentración de Pb en los tejidos (Allinson, et. al., 1981).
  - \* Grandes concentraciones de Ca y P, también baja C.I.C. de la raíz (An - tonovics, op. cit.; Ernst, op. cit.).
  - \* Lavado de plomo por lluvia en las partes aéreas, por ejemplo, puede - mover hasta la mitad del plomo depositado (Motto, et. al., 1970), de - pendiendo de la morfología del vegetal y del tamaño de las partículas de plomo, ya que plantas como maíz no remueven prácticamente nada del metal al ser lavadas (Godzic, et. al., 1979). Hay que considerar que la lluvia también tiene plomo, y según Wiener (1979), en promedio, 8.4 - mcg/l de plomo en lluvia se registraron en el sur de California, ade - más de otros metales como Pb, Cu y Mg.
- Según Little y Wieffen (1976) y Smith (1976), la lluvia puede remover del 30 al 50% de plomo depositado en las hojas, y el que no es lavado permanece en la cutícula, disponible para el vegetal. Además, la llu - via lava menos plomo en la corteza que en cualquier otra porción de la planta (Martin, et. al., 1981; Smith, op. cit.).

Mecanismos internos pueden dividirse en:

- \* Un intenso transporte entre vacuolas y pared celular, situadas entre - plasmalema y tonoplasto (entre pared y plasma), Ernst, 1976; Malone, - et. al., 1974).
- \* Evolución de enzimas específicas para resistencia a los metales (Ernst op. cit.).
- \* Alteración del metabolismo de la célula (Antonovics, et. al., 1971; - Ernst, 1976).

Para el primer mecanismo se ha desarrollado, en investigaciones de laboratorio y de campo, que una considerable cantidad de plomo queda adherido a las paredes del tallo y raíz, y en cutícula de células de órganos aéreos, en forma de cristales, posiblemente por la influencia de algún organelo celular o simplemente por afinidad de materiales. El plomo que entra a la raíz es concentrado en vacuólas dictiosómicas, que contienen material de las paredes celulares y que se fusionan para encerrar los depósitos de plomo que circunden la membrana y que tienden a emigrar hacia la superficie de las células y concentrando y fusionando estas vesículas en la pared celular, llevando así el metal a la pared, fuera del plasmalema, en forma inversa a la pinocitosis. Todo este mecanismo ocurre en todos los tejidos de las plantas, y es conocido como bioacumulación, explicando por que la concentración de este metal puede ser mayor que el encontrado en el ambiente, así como la forma en que la célula se protege de éste tóxico (Ernst, 1976; Malone, et. al., 1974; Morteja, et. al., 1978). Tal forma de captación de plomo requiere el uso de energía, lo cual es un indicador de transporte activo, aunque también ocurre el transporte pasivo de plomo en membrana y pared celular (Zimbdhaj y Koeppe, 1976).

En cuanto a la evolución de enzimas específicas resistentes a los metales pesados, se ha comprobado la existencia de nitrato-reductasa (NR), isocitrato glucosa-6- fosfatasa (66p-DH), malatodeshidrogenasa (MDH), peroxidasa (PO) y fosfatasa ácida en especies resistentes, aunque algunas enzimas como NR son menos resistentes a los metales pesados. Se sabe, por experimentos realizados, que la presencia de metales estimula la producción de enzimas (Ernst, op. cit.).

Para el tercer mecanismo, se ha detectado que las plantas tolerantes remueven los iones metálicos tóxicos, transformándolos a una forma química inocua o cambiando la estructura de las enzimas (Antonovics, et. al., 1971)

La tolerancia a un metal no produce tolerancia a otros, y además se puede desarrollar sólo en las poblaciones cercanas a las áreas contaminadas. Las plantas de vida larga, tales como arbustos y árboles, no desarrollan eco tipos tolerantes a los metales, afirma Antonovics, op. cit., presentando considerable clorosis o necrosis, a diferencia de hierbas y algunas dicotiledóneas que pueden crecer en estas áreas y desarrollar los mecanismos de tolerancia (Antonovics, et. al., 1971; Malone et. al., 1974).

### Alteraciones fisiológicas causadas por el plomo.

La reacción de los vegetales con el plomo es diferente en cada especie vegetal y aún en cada variedad. En plantas como la lechuga, en concentraciones mayores de 50 ppm, se presentan reducciones en la producción de materia seca, aunque requiere mayores concentraciones para causar síntomas de toxicidad, ya que se restringe la síntesis de clorofila y reducción de la fijación de CO<sub>2</sub> e inhibiendo la fosforilación fotosintética, que puede atribuirse a la inducción del plomo al cierre estomático. Puede, además, disminuir el crecimiento por expansión celular, al interferir en la producción y mecanismo del ácido indol-3-acético (IAA) que es una hormona vegetal, y pertenece al grupo de las auxinas, que funcionan quelando el Calcio, proceso en el que interviene el plomo, lo que genera, en conjunto, una disminución de la productividad (Allinson, et. al., 1981; Garcidueñas, et. al., 1979; Martin, et. al., 1981).

Xingfu Xian (1989) reporta que, el crecimiento de haba se restringe con altos niveles de metales pesados, cuya vía principal es la adáfica.

En una evaluación hecha en el bosque del Monte Parnis, al norte de Atenas, Grecia, se ha establecido que la alta concentración de metales, entre ellos el plomo, han contribuido a la declinación del bosque, reduciendo el crecimiento de especies arbóreas (Heliotis, et. al., 1988).

### Alteraciones causadas en la germinación.

La presencia de plomo en el suelo tiene efectos inhibitorios en la germinación de semillas de algunas especies, reduciendo el crecimiento de la raíz que emerge de la radícula, así como las raíces secundarias, disminuyen su capacidad para sujetarse al suelo, y, a su vez, creando dificultad en la captación del agua y sales, causando, además, clorosis en los cotiledones y lesiones necróticas en general Allinson, et. al., 1981; Martin, et. al. 1981).

La capa protectora de las semillas capta y minimiza la entrada de plomo, haciendo que ésta sea la estructura con menor contenido de metal (Broger, et. al., 1972; Chamberlain, 1970).

Tabla No. 4 . Niveles de plomo en vegetales de diferentes localidades - del mundo.

Organo vegetal y características de la zona donde se desarrolla	Concentración detectada	Referencia
<b>CONCENTRACIONES LEGISLADAS</b>		
Concentración normal en plantas...	5 ppm	... Dickson, 1986; González, 1981; Stoker, 1981.
Promed. aceptado en vegetales comestibles (USA) .....	0.1 a 1.0 mcg/g	Zimbdhal y Koeppel, 1976.
Concetración aceptada para cultivos agrícolas.....	5.0 mcg/g	... Smith, 1976.
Concentración aceptada para vegetales comestibles (OMS), peso fesco.	2.0 ppm	... Martin, <u>et. al.</u> 1981.
Conc. aceptada en leña y forraje - de árboles.....	1 a 4 mcg/g	... Smith, 1976.
Conc. aceptada para vegetales frescos en Canadá .....	2.0 ppm	... Czuba, 1980.
Conc. aceptada en frutas frescas - en Canadá .....	7.0 ppm	... "
<b>REGISTRADOS EN ZONAS URBANAS</b>		
En papas que crecen junto a caminos muy transitados.....	30.0 mcg/g	... Dickson, 1986.
En papas que crecen junto a caminos muy transitados .....	45.0 mcg/g	... Zimbdhal y Koeppel, 1976.
En raíz de cebada que crece junto a camino muy transitado .....	800 mcg/g	... "
Raíz de limón que crece junto a caminos muy transitados .....	890 mcg/g	... "
En inflorescencias de maíz que crece junto a caminos muy transitados.	1 740 mcg/g	... Smith, 1976.
Corteza y retoños de árboles junto a caminos muy transitados .....	100 a 400 mcg/g	"
Pastos en una avenida de Estados - Unidos .....	125 a 2 250 ppm	"

Tabla No. 4 Continuación. Niveles de plomo en vegetales de diferentes -  
localidades del mundo

Organo vegetal y características de la zona donde se desarrolla	Concentración detectada	Referencia
<b>EN ZONAS RURALES</b>		
En heno de áreas rurales.....	2.0 a 3.0 mcg/g	... Zimbdhal y - Koeppel, 1976.
En maíz y soya de áreas rurales ..	8.0 mcg/g	... Getz, <u>et. al.</u> , 1979.
En maíz y soya junto a caminos ru- rales .....	30.0 mcg/g	... "
Granos de maíz y soya junto a ca- minos rurales .....	2.0 mcg/g	... "
Pastos de áreas rurales en Scotland	5.0 ppm	... Chamberlain,- 1983.
<b>EN ZONAS INDUSTRIALES</b>		
Follaje de varios vegetales junto a fundición, no lavado (Pb adsorbido más absorbido).....	3 500 mcg/g	... Linzon, 1976.
Follaje de varios vegetales junto a fundición, lavado (absorbido).....	2 700 mcg/g	... "
Hojas lavadas de <u>Quercus robur</u> jun- to a fundidora .....	359 ± 20	... <u>Godzik, et.- al., 1979.</u>
Acículas lavadas de <u>Pinus silvestris</u> junto a fundidora .....	1 969 ± 71	... "
<b>EN TEJIDOS VEGETALES</b>		
En xilema de árboles desarrollados junto a caminos muy transitados ..	0.4 a 6.5 ppm	... Szopa, 1973.
En xilema de árboles desarrollados junto a caminos poco transitados .	0.4 a 1.2 ppm	... "
Córtex, ramas y hojas de árboles .	200 a 400 ppm	... Smith, 1976

mcg/g microgramos por gramo

## 7. DESECHOS SÓLIDOS

En las últimas décadas la contaminación del suelo de áreas urbanas, y periferia de éstas, ha aumentado considerablemente, debido básicamente a las actividades industriales y de servicio que en ellas se desarrollan. Los desperdicios sólidos, líquidos y gaseosos que se generan forman parte de esta problemática, que se agudiza en nuestro país, ya que estos desperdicios se vierten al suelo sin tratamiento previo alguno, combinando todo tipo de desecho: de origen doméstico, industrial y agrícola (Barbosa y García, 1982).

El método más antiguo y rudimentario que se ha utilizado, para eliminar la basura, ha sido el vertedero libre (tiraderos al aire libre), realizado por procedimientos simples de descarga, en excavaciones antiguas, canteras abandonadas o terrenos amplios alejados de las poblaciones. Estos depósitos de basura, sin control, permiten favorecer la fermentación, según su composición, de tipo aerobia y posteriormente anaerobia, por lo que se producen gases como metano, y se reduce la concentración de oxígeno del suelo, que genera la posibilidad de incendios, por el alto poder de autocombustión dañando, además, a la vegetación que en estos lugares se desarrolla, así como la emanación de olores repugnantes. La basura también estimula la proliferación de insectos y roedores, además de serios problemas en la contaminación de aire y agua (López, 1980; Turk y Turk, 1980).

Un método más apropiado de eliminación terrestre de sólidos, es el relleno higiénico, o relleno sanitario, en el que cada capa de desechos es cubierta con una capa de tierra, arcilla o grava. Este método reduce a un mínimo los peligros contra la salud y algunas formas de contaminación, ya que los desechos no están expuestos al aire, a los roedores, insectos, etc., pero sí están sujetos a la descomposición bacteriana, básicamente como biodegradación aerobia, pues con la adecuada selección del relleno se permite la oxigenación del suelo (López, op. cit.; Stoker, et. al., 1981; Turk y Turk, op. cit.).

Hay dos aspectos de la eliminación terrestre que merecen particular atención, uno de ellos es que esta técnica representa una pérdida efectiva de metales, especialmente Cobre, Zinc y Plomo. El segundo es que el carácter de el suelo cambia completamente (Dickson, 1986; Turk y Turk, 1982).

En los últimos años se han ensayado otras formas de tratar los desechos sólidos: transformación de basura en composta (abono orgánico), la incineración y el reciclado, básicamente.

La composta se obtiene efectuando determinado tratamiento a la basura, - para obtener un material que sea alto en contenido de materia orgánica, en nutrientes como Nitrógeno, Fósforo y Potasio, además de microelementos fundamentales. Todo esto con el fin de que pueda ser empleado para aplicar a suelos, aportando a éstos materia orgánica, mayor cantidad de humus y mejorar la estructura física y química de los suelos y elevar así su fertilidad (López, et. al., 1980). Al respecto, algunos autores creen que éste es un - buen método para la fertilización, siempre y cuando no se realice como una práctica intensiva, sobre todo en suelos de uso agrícola, ya que la composta lleva también integrados cierta cantidad de metales pesados, entre ellos el plomo, y algunos otros componentes tóxicos de la basura (Willes, 1977).

### B. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO:

El Ex-Tiradero de Santa Cruz Meyehualco se encuentra en la Ciudad de México, dentro del perímetro de la Delegación Política Iztapalapa, entre los paralelos  $19^{\circ}21'$  y  $19^{\circ}22'$  Latitud Norte y los meridianos  $99^{\circ}02'$  y  $99^{\circ}03'$  de Longitud Oeste. La localidad es conocida como Santa Cruz Meyehualco y se encuentra al sureste del área metropolitana del Distrito Federal.

Antiguamente ocupaba una extensión mayor a 144 hectáreas, en que fueron depositados más de 30 millones de toneladas de desechos de todo tipo, durante un período mayor a 30 años, durante el cual ha contaminado la atmósfera del área, por los incendios que aquí se presentaban; el suelo, por los desechos a la interperie; así como la degradación de la calidad del agua de los mantos acuíferos de las zonas aledañas, debido en parte a la lixiviación del agua de lluvia y su infiltración en las estructuras geológicas del área. Además, los problemas de salud pública por fauna nociva, molestia sanitarias y malos olores desprendidos del tiradero (DETENAL, 1984).

#### Ubicación.

El área colinda en su lado Norte con tierras de propiedad Federal (Agrupamiento a caballo), al Sur con la Avenida Santa Cruz Meyehualco de la Unidad Habitacional del mismo nombre, por el Oriente colinda con la calle conocida como Cuitláhuac (ahora Flores Alatorre) de la colonia Ejidal Santa María Astahuacan y por el Poniente con la calle Carlos L. Gráncidas de la Unidad Habitacional Vicente Guerrero y con la Colonia Renovación (fig. 1).

#### Análisis Histórico.

En la historia de las poblaciones humanas los tiraderos a cielo abierto han sido ubicados en las márgenes de las manchas urbanas, y este caso no fue la excepción, ya que fue ubicado en 1948 en las orillas del Distrito Federal, en la zona que ahora corresponde a la Delegación Iztapalapa. Debido al crecimiento urbano y demográfico acelerado, los asentamientos humanos alcanzaron y rodearon el área del tiradero, además se inició sin ningún método de control de residuos.

En 1975, al abrirse otros sitios de captación, era empleado por las Delegaciones Cuauhtemoc, Iztacalco, Iztapalapa, Coyoacán, Ilalpan, Venustiano Carranza, Benito Juárez, y Gustavo A. Madero y hasta antes de su clausura solo seis de ellas.

### Características.

Tiradero a cielo abierto, rodeado de asentamientos humanos que ocupó, hasta 1984, un área de 1 481 188 m<sup>2</sup>. En 1985 se cercó para tener un control adecuado, con dos salidas únicamente, una al Sur (a la que nos referimos en este estudio) y otra al Poniente (fig. 2).

No se aplicaba ningún método de control para los residuos sólidos que ahí se depositaban. Si bien se intentó en los años sesentas, llevando a cabo un procedimiento parecido al relleno sanitario, por el método de zanjas, Esta práctica fué abandonada a fines de los 60's o principio de los 70's, y la zona se convirtió de nuevo en un tiradero a cielo abierta hasta la clausura definitiva en 1983.

Un cálculo aproximado, según información bibliográfica, la cantidad de residuos depositados aquí, durante todo el período de operación, asciende a 44 712 500 Ton., a razón de 500 Ton. diarias en los primeros años y 6000 Ton. al final de las operaciones (de 1972 a 1982 había 3 500 a 5 000 pepenadores, respectivamente, además de sus familias).

El suelo original de esta zona está totalmente contaminado, existiendo una completa saturación, por lo que también los líquidos que aquí se generan o se captan, se saturan de contaminantes y se percolan, llegando a las aguas subterráneas sin alteración en su composición y concentración, por lo cual, mientras exista un flujo descendente, los contaminantes serán arrastrados hacia el manto acuífero, degradando su calidad.

Se ha determinado que la forma más adecuada de controlar los lixiviados consiste en seleccionar el material de cubierta sanitaria adecuado, que consiste en la aplicación de un sustrato con un coeficiente de permeabilidad de  $1.7 \times 10^{-7}$  cm/seg., con lo que la filtración de agua de lluvia hacia los estratos inferiores será prácticamente nula (DETENAL, 1984).

### Geología.

Litológicamente esta área del Ex-Tiradero está constituida por formaciones aluviales y lacustres, ambos pertenecientes a la edad cuaternaria. El material de relleno de la zona consiste en abanicos aluviales, que se depositó sobre el Valle, formado por la lava incandescente de la formación Tarrango y de las Sierras. Hay grandes concentraciones de arcilla con arena o con limo, teniendo una permeabilidad media en los primeros 25 cm de profundidad.

La zona representa, por sus características geológicas, un potencial importante como fuente de abastecimiento de agua subterránea.

#### Morfología.

El Ex-Tiradero está ubicado en la zona plana, al pie de las cordilleras y lomeríos que circundan la zona de Iztapalapa. Está comprendido entre las cotas de 2240 a 2250 m.s.n.m. y se caracteriza por presentar pendientes poco pronunciadas, regularmente menores al 5 %.

#### Edafología.

Según el sistema de clasificación FAO/UNESCO 1970 (modificado por DETE--NAL), el tipo de suelo predominante es Regosol Eútrico y con suelos secundarios como Solonchak mólicos y los Fezem Háplicos. El nivel freático de la zona es alto.

#### Climatología.

Clima Templado Subhúmedo. La temperatura media anual varía de 15 a 17°C. La temperatura del mes más frío de -3 a 18°C. Esta zona es la más seca de los templados sub-húmedos, con lluvias en verano (SARH, 1978).

##### -Precipitaciones.

El período de lluvias de la zona inicia con escasas precipitaciones en el mes de abril, continuando con mayor intensidad en los meses Mayo-Junio-Julio, siendo el más lluvioso Agosto-Septiembre-Octubre y declinando considerablemente para el mes de Noviembre. La precipitación media anual es de 598.4 mm (1955-1981). La temporada seca es de Diciembre a Marzo.

##### -Temperatura.

Temp. media anual más baja es de 15.7°C y la más alta 17.0°C .

Promedio de temp. máxima 32°C y la mínima 3.0°C.

##### -Vientos.

La mayoría de los vientos máximos son del Norte, siguiendo en importancia los del Este y Noreste.

##### - Evaporación y Evapotranspiración.

Por ser aún tan escasa la vegetación que aquí se desarrolla, la evapotranspiración no es considerable. La evaporación de la zona es superior en más de 300 % de la precipitación. La evaporación media anual es de 1 954.5 mm .

Los resultados de los análisis de agua de algunos pozos aledaños a esta zona indican:

Presencia de sólidos totales en cantidades inaceptables, además de plomo y otros elementos contaminantes que da a esta agua el carácter de no aceptable para consumo humano.

Los datos del sondeo registrados en el Ex-Tiradero, hecho en Junio de 1983, en profundidad, después del primer relleno son:

Profundidad (m)	Contenido
0.60	Relleno limo-arenoso café con piedras
1.20	Relleno arcilla-limosa café oscuro y basura
1.80	" " " " " "
2.40	" " " " " "
3.00	Relleno limo-arenoso café con basura
3.60	Relleno basura
4.20	" "
4.80	" "
5.40	" "
Hasta 8.40 constante cada 60 cm.	
9.0	Relleno arcilla café oscura piedras y basura
9.60	Basura
10.20	Relleno basura
10.80	Relleno arcilla limo café oscura con basura

(DETENAL, 1984).



Figura 1. Mapa en que se denota con la flecha negra la zona de estudio.  
 Ex-Tiradero Santa Cruz Meyehualco. Escala 1:10 000.

## 9. METODOLOGIA

El trabajo experimental realizado en este estudio se dividió básicamente en tres partes: 1) Trabajo de campo; 2) Trabajo de laboratorio y 3) Manejo estadístico y matemático de los datos obtenidos.

1).- Trabajo de campo. La zona de estudio (el Ex-Tiradero de Santa Cruz Meyehualco) se dividió en cuatro áreas de aproximadamente 150 m<sup>2</sup> cada una, distribuidas homogéneamente, con el fin de que los muestreos fueran representativos de toda la zona en que se plantaron a los árboles de "trueno", denotando a cada área como sitio A, B, C y D (fig. II). La especie muestreada es Ligustrum japonicum thunb, que fué introducida en esta zona con el fin de crear áreas verdes y zonas de recreo, desde 1985. Los muestreos se efectuaron en los meses de Febrero, Marzo y Abril de 1986, como continuación de los muestreos realizados para otro trabajo y que se realizaron de Agosto de 1985 a Enero de 1986, y que son complementarios. Se hicieron mediciones previas en el área y muestreos de la especie, para identificación taxonómica y anatómica. De cada sitio se tomaron muestras de dos árboles, tomando de cada uno lámina foliar, peciolo, tallos y raíz, así como su correspondiente muestra de suelo, en que éstos se desarrollan, así como del suelo del vivero donde crecían anteriormente. Todo el material colectado fué guardado en bolsas de polietileno, limpias y secas, y llevado al laboratorio, manteniéndolas en refrigeración hasta efectuar el tratamiento correspondiente. Para las muestras de suelo se hicieron mezclas compuestas de cada sitio (sólo el relleno sanitario) y se secaron a temperatura ambiente, cubriéndolas con papel.

2).- Trabajo de laboratorio. Este consistió en la descripción taxonómica y anatómica de lámina foliar, peciolo, tallo y raíz, que se efectuó realizando cortes de cada órgano, con navajas de acero inoxidable, que fueron teñidos empleando la técnica Safranina-verde-rápido, que recomienda Sass (1961) para tejidos frescos (ver técnica en Anexo I) y cuyo fundamento básico es teñir (con Safranina) a los tejidos lignificados, y el verde-rápido tiñe a los no lignificados.

La evaluación cualitativa de plomo en los tejidos del vegetal se realizó haciendo cortes transversales de cada órgano, con navajas de acero inoxidable, y tratándose por separado según la técnica propuesta por Glater y Her-

-- nández (1972), que usa Rodizonato de Sodio y con el que se colorean los cristales y agrupamientos amorfos de plomo que se encuentran en los tejidos. La coloración va desde rosa oscuro para los pequeños cristales o agrupaciones, hasta el rojo escarlata para las concentraciones mayores. Se efectuó un conteo de cristales, considerando tamaño y tejido en que se encuentran, para cada órgano y en cada sitio por duplicado (haciendo un total de ocho muestras de cada órgano, en cada uno de los dos árboles, de cada sitio de muestreo en cada mes). Todas las observaciones se hicieron en Microscopio Óptico (Anexo II).

La cuantificación de plomo adsorbido (depositado) en cada órgano aéreo de trueno se efectuó inicialmente haciendo un lavado de cada órgano, por separado, en una solución de Acido Nítrico al 5.0% en agua desionizada (según recomienda Rams, 1975). Esta solución (lavado) se guardó en frascos limpios (lavados con agua desionizada) y se refrigeraron hasta su tratamiento, que es la digestión ácida (Acido nítrico y Acido Perclórico. Ver Anexo III) - efectuando posteriormente la cuantificación de plomo con Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Cuantificación de Plomo absorbido. Las muestras lavadas del punto anterior se secaron en estufa a 60°C, se pesaron y maceraron por separado, guardándolas en bolsas de polietileno, para ser tratadas, como los lavados, con digestión ácida (Anexo III) y cuantificación de plomo.

En este análisis se incluyó a la raíz, que fué lavada con agua corriente y después con una solución ácida al 5.0% de Acido Nítrico en agua desionizada, secándose y macerándose para la posterior cuantificación de plomo (Anexo III).

Las muestras de suelo de cada sitio se secaron, tamizaron y pesaron, para ser tratadas con digestión ácida y cuantificación de plomo, al igual que los órganos. En cada sitio de muestreo se tomaron dos porciones de suelo, haciendo la mezcla compuesta, y efectuando el análisis por duplicado para cada sitio.

Se determinaron los parámetros físicos y químicos del suelo en cada sitio y en las tres fechas de muestreo.

El tratamiento y análisis de los datos obtenidos consiste en: Para la cuantificación de cristales, los datos obtenidos para cada órgano se sumaron y se considero ese total como un 100% (suma de cristales en to-

dos los tejidos del órgano) y para cada fecha de muestreo, obteniendo así - el porcentaje que corresponde a cada tejido, por el número de cristales que presentó. Debido a que es un análisis cualitativo, los resultados de este - se expresan porcentualmente. Estos datos se graficaron en microcomputadora (PC), empleando el programa Harvard Graphics, que se muestra con su respectivo esquema de corte transversal, señalando el tejido de cada órgano en - cuestión (fig. IV a VIII).

Los resultados de los tratamientos efectuados, en cuanto a cuantifica-- ción de plomo, se presentan en la tabla 5 (datos originales, media aritmé-- tica y media geométrica), denotando por separado plomo adsorbido y absorbi-- do en cada órgano.

Las graficas IX y XI de barras y la X, circular, están expresadas porcen-- tualmente e indican el comportamiento de los órganos con respecto al plomo adsorbido y absorbido. La figura XII es una grafica que conjunta todos los datos de los puntos anteriores ( fig IX a XI), y en ella se usaron las mis-- mas unidades y media aritmética para todas las líneas, indicando órganos y fechas. La figura XIII muestra la tendencia del comportamiento del plomo - adsorbido para órganos aereos, y la figura XIV globaliza, en términos por-- centuales, el comportamiento general en los dos análisis cuantitativos para todos los órganos.

Los resultados de los análisis del sustrato (cubierta sanitaria), conte-- nido de plomo y propiedades físicas y químicas, se vacían en la tabla 6, y se hace una correlación entre el plomo del suelo (sustrato) y plomo en raiz - -, correspondiendo este último a la figura IX.

Los parámetros que se midieron en el suelo, son los que estan íntimamen-- te relacionados con la captación y disponibilidad de plomo, en plantas y - suelo, respectivamente.

Propiedad Federal  
(agrupamiento a caballo)

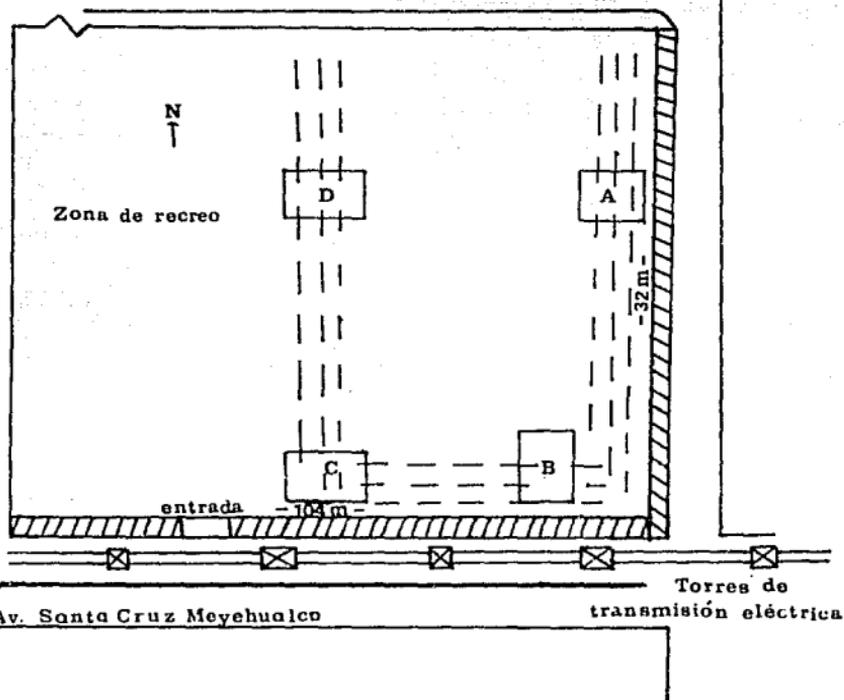


Figura II. Esquema en que se muestra el área de estudio -Ex-Tiradero - Santa Cruz Meyehualco- y en el que se denotan, con rectángulos, los sitios de muestreo A, B, C y D. Las líneas discontinuas indican la distribución de los árboles de "trueno".

## 10. OBJETIVOS

### Objetivo General.

Evaluar el comportamiento del Plomo en un ambiente alterado a través de la especie Ligustrum japonicum thunb.

### Objetivos Particulares.

- 1.- Cuantificar el plomo total adsorbido en hoja, tallo y raíz de Ligustrum sp.
- 2.- Cuantificar el plomo total adsorbido en órganos aéreos de Ligustrum sp.
- 3.- Evaluar, de manera cualitativa, el plomo contenido en los tejidos que conforman a Ligustrum sp.
- 4.- Cuantificar el plomo total del sustrato en que se desarrolla el vegetal.
- 5.- Efectuar la caracterización física y química del sustrato en que se desarrolla el vegetal.

a).- La descripción taxonómica y anatómica de Ligustrum japonicum -  
thunb se localiza en el Anexo IV , y se representa en la fig. III.

b).- EVALUACION CUALITATIVA DE PLOMO EN TEJIDOS.

I. Distribución de plomo en Lámina Foliar (Mesófilo y Vena Central).

-Mesófilo.

En esta porción de la lámina foliar la frecuencia de cristales de plomo fué muy notable en el tejido fotosintético, presentandose en un 22 a 31 % en parénquima empalizada y en un 25 a 31 % en parénquima esponjoso, ocurriendo una distribución muy similar en las tres fechas de muestreo ( fig. IB. B). La epidermis, adaxial y abaxial (ep. ad. y ep. ab., respectivamente), presentaron bajos porcentajes de cristales. En la cutícula, la ep. ab. obtuvo mayor porcentaje de plomo (64 %) que en las células epidérmicas ( - cels. epi.), ocurriendo el comportamiento opuesto en la ep. ad., en cuyo tejido las cels. epi. captaron más plomo (más del 49 %) que la cutícula y estomas, estructuras que manifestaron un porcentaje mayor al 10 % (fig. IB.B<sub>1</sub> y IV.B<sub>2</sub>).

- Vena Central.

Esta estructura ofreció, considerablemente, menor porcentaje de cristales en relación a la lámina foliar ( hasta cuatro veces menos ). En el parénquima y xilema se acumuló el mayor porcentaje de cristales, 25 y 20 % - respectivamente (fig. V.B). La ep. ad. y ep. ab. mostraron porcentajes similares en sus componentes (fig. V.B<sub>1</sub> y V.B<sub>3</sub>). Analizando el tejido xilemático, se observa que el parénquima xilemático exhibió el mayor porcentaje de cristales (66 %) y el resto se distribuyó en vasos y fibras (fig. V.B<sub>2</sub>).

II. Distribución de plomo en Pecíolo.

En este órgano los tejidos que presentaron el más alto porcentaje de - cristales de plomo fueron la epidermis y el parénquima (56.6 y 31.6 %, respectivamente). El parénquima medular (par. med.) obtuvo el menor porcentaje , 8.8 % (fig. VI.B).

Considerando a la epidermis, la cutícula ostentó el mayor porcentaje (69 %), fig. VI.B<sub>1</sub>. En xilema se situaron pequeños porcentajes del metal, que

se concentró básicamente en el parénquima xilemático ( fig. VI.B<sub>2</sub>).

### III. Distribución de plomo en Tallo.

En este órgano se apreció mayor porcentaje de cristales de plomo acumulados en cortex y xilema (20 a 30 % en el primero y 20 a 27 % en el segundo). El porcentaje más bajo lo presentaron las esclereidas y el parénquima medular, hasta 7 % en el primero y un máximo de 10 % en el segundo ( fig. VII. B). La distribución porcentual en los componentes del xilema indicó, que el parénquima xilemático presentó el mayor porcentaje de cristales (49 %), fig VII.B<sub>1</sub>.

### IV. Distribución de plomo en Raíz.

En esta estructura la segregación de cristales de plomo fué considerablemente uniforme, ya que rizodermis, parénquima y xilema manifestaron alrededor de 20% cada uno. Al igual que en tallo, las esclereidas y par. med. - mostraron porcentajes mínimos, menores al 5 % y hasta de 2.8 %, presentándose sólo un evento extremo de 26.7 % en las esclereidas (fig. VIII.B). En cuanto a los componentes del xilema, el porcentaje mayor de plomo se observó en el parénquima xilemático, con un 55 % (fig. VIII.B<sub>1</sub>).

## c).- EVALUACION CUANTITATIVA DE PLOMO ADSORBIDO.

### I. Lámina Foliar.

Esta estructura fué la que presentó la menor concentración de plomo, con una media aritmética trimestral ( $\bar{x}_3$ ) de 0.69 mcg/g y una media geométrica trimestral ( $G_3$ ) de 0.64 mcg/g (microgramos por gramo), con un valor máximo de 1.1 y un mínimo de 0.09 mcg/g (tabla 5 y fig. XI. A, B y C).

### II. Pecíolo.

Manifestó una concentración de plomo de  $\bar{x}_3 = 1.36$  mcg/g y una  $G_3 = 1.09$  mcg/g, indicando valores intermedios entre tallo y hoja. El valor máximo para la concentración de plomo adsorbido fué de 4.0 y el mínimo de 0.6 mcg/g. (fig. XIII).

### III. Tallo.

En este órgano la depositación de plomo alcanzó una  $\bar{x}_3 = 4.32$  mcg/g y una

$\bar{G}_3 = 1.96$  mcg/g, con valores extremos de 13.0 y 0.1 mcg/g (tabla 5).

En términos porcentuales y en forma comparativa, para los tres órganos - aereos, la lámina foliar presentó el menor porcentaje de plomo depositado - ( 7 y 22 %, mínimo y máximo), y el tallo los mayores porcentajes ( 29 y 75 %, mínimo y máximo), quedando el peciolo con valores intermedios (fig. XI.- A, B y C).

#### d).- EVALUACION CUANTITATIVA DE PLOMO ABSORBIDO.

##### I. Lámina Foliar.

Considerando al plomo absorbido en hoja, la lámina foliar manifestó las concentraciones más bajas, con una  $\bar{X}_3 = 12.16$  mcg/g y una  $\bar{G}_3 = 6.01$  mcg/g. - Los valores extremos son de 10.0 y 2.0 mcg/g, máximo y mínimo, respectivamente (tabla 5).

##### II. Peciolo.

De los órganos que componen a Ligustrum japonicum thunb, el peciolo fué el segundo órgano con mayor concentración de plomo, con una  $\bar{X}_3 = 12.16$  mcg/g y una  $\bar{G}_3 = 11.36$  mcg/g, con un máximo de 20.0 y un mínimo de 7.0 mcg/g (tabla 5 ).

##### III. Tallo

Este órgano mantuvo valores menores que los presentes en peciolo y raíz, con una  $\bar{X}_3 = 7.66$  mcg/g y una  $\bar{G}_3 = 6.75$  mcg/g. El valor máximo fué de 20.0 - y el mínimo de 2.0 mcg/g (tabla 5).

##### IV. Raíz.

En relación a los demás órganos de Ligustrum sp. la raíz contuvo la mayor concentración del metal, con una  $\bar{X}_3 = 16.08$  mcg/g y una  $\bar{G}_3 = 14.29$  mcg/g, con valores extremos de 32.0 y 8.0 mcg/g, máximo y mínimo, respectivamente.

Expresado en forma porcentual, el plomo absorbido en las estructuras vegetales, la raíz presentó los mayores valores, desde 25 a 52 %, siguiendo en orden decreciente el peciolo, con valores que van de 26 a 33 %. El tallo con valores entre 11 y 27 %, y con los menores valores a la lámina foliar, 11 y hasta 19 % ( fig. X.A, B y C).

e).- CUANTIFICACION DE PLOMO EN SUSTRATO.

Los valores de plomo total detectados en el sustrato superficial del tiradero (cubierta sanitaria) tienen una  $\bar{X}_3 = 2.09$  mcg/g y una  $\bar{S}_3 = 1.91$  mcg/g, con un máximo y mínimo de 5.2 y 1.1 mcg/g, respectivamente.

El suelo del vivero, de donde proviene el "trueno", presentó los valores más altos del metal (plomo total), con una  $\bar{X}_3 = 44.0$  mcg/g y una  $\bar{S}_3 = 44.4$  mcg/g (fig. XV y tabla 6).

f).- ANALISIS FISICO Y QUIMICO DEL SUSTRATO.

Para el pH los valores promedio fueron de 7.39 el activo, y de 4.01 para el potencial. La Capacidad de Intercambio Catiónico ( C.I.C. ) presentó una cifra promedio de 20.57 meq./100 g, y para la Materia Orgánica el promedio es de 1.90% ; la Textura predominante es Limo-arcillosa (tabla 6).

Los nutrientes como  $Ca^{+2}$  presentaron valores que van de 10.4 a 4.4 meq./100 g, y una media de 7.76. Para  $Mg^{+2}$  los valores extremos son 12.4 y 6.8 meq./100g, y en promedio 7.99. Para el fósforo ( $PO_4$ ) van de 0.60 a 1.20 ppm. En cuanto a nitrógeno ( $NO_3$ ) de 1.4 a 8.0 ppm, máximo y mínimo, respectivamente (tabla 6).

# *Ligustrum Japonicum* thunb

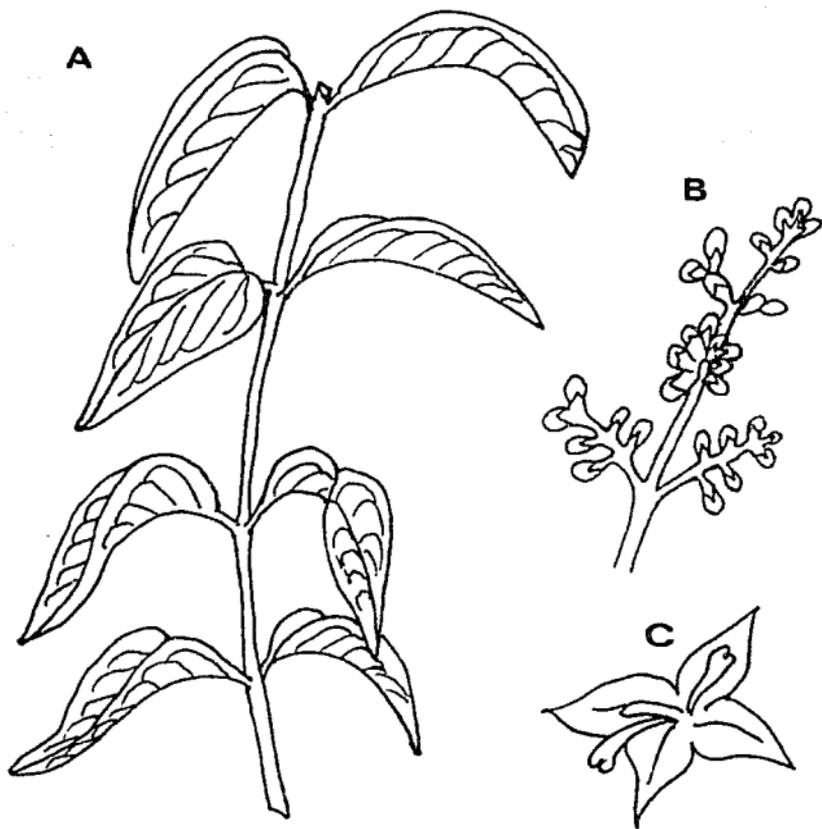
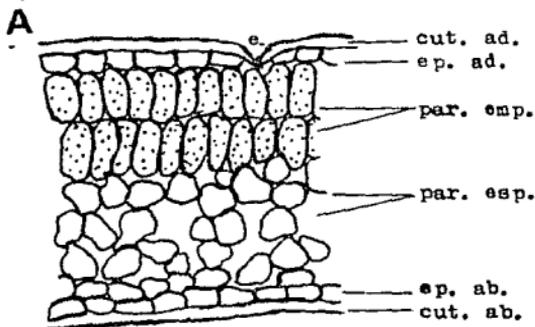


Figura III. Dibujo que muestra los aspectos anatómicos macroscópicos de "trueno" . A.- Aspecto de una rama, en que se observa la distribución bilateral y helicoidal de las hojas, así como la venación y forma de éstas. B.- Distribución de las flores. C.- Aspecto de la flor.

# LAMINA FOLIAR

## Mesófilo



B<sub>1</sub> - Epidermis Abaxial  
X 1000 del mismo detalle



B<sub>2</sub> - Epidermis Adaxial  
X 1000 del mismo detalle



Figura IV. A.-Corte transversal de lámina foliar- zona media del mesófilo- de *Ligustrum japonicum* thunb en que se observa: Estomas (e), cutícula adaxial (cut. ad.), epidermis adaxial (ep. ad.), parénquima en empalizada (par. emp.), parénquima esponjoso (par. esp.), epidermis abaxial (ep. ab.) y cutícula abaxial (cut. ab.). B.- Gráfica que muestra la distribución cualitativa de plomo particulado, detectado histoquímicamente en mesófilo. B<sub>1</sub>.- De talle de la distribución de plomo en los componentes de la epidermis abaxial. B<sub>2</sub>.- Detalle de la distribución de plomo en componentes de la epidermis adaxial.

# LAMINA FOLIAR

## Vena Central

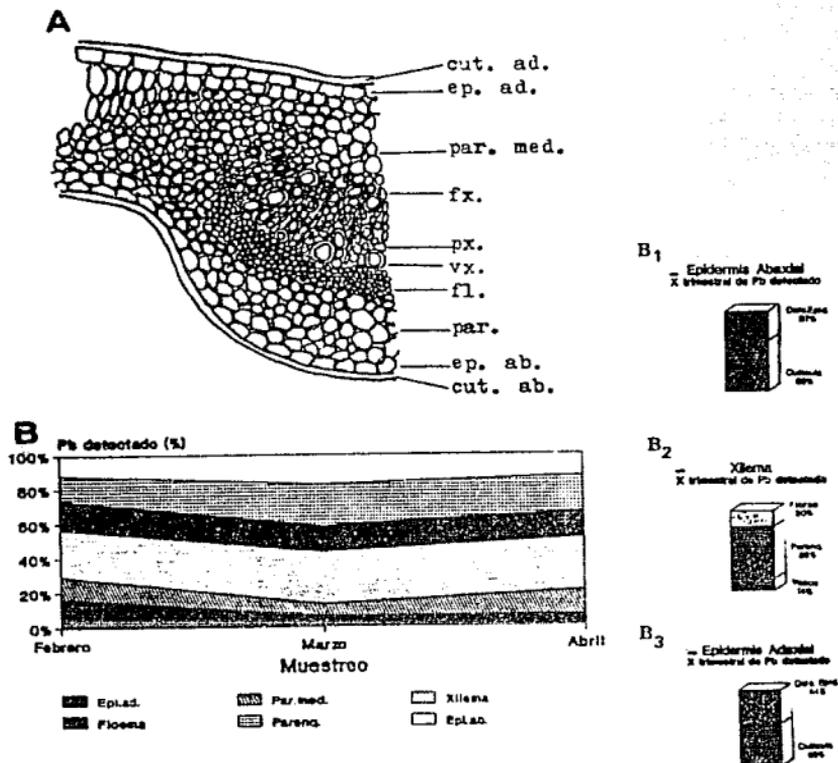
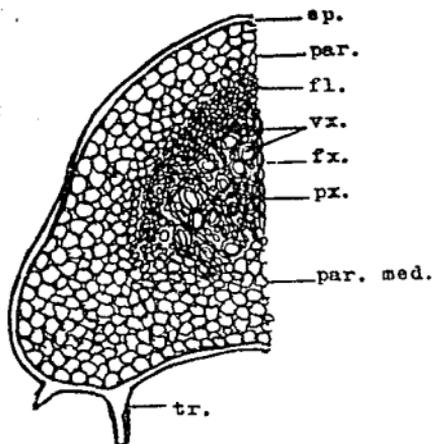


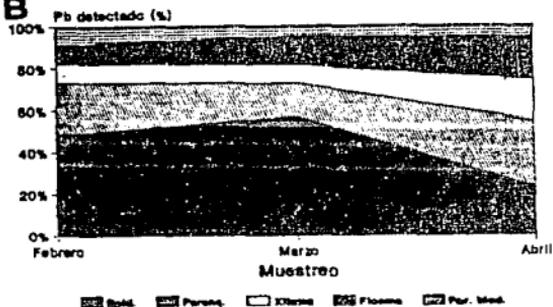
Figura V. A.- Corte transversal de lámina foliar- zona media de la vena central- de *Ligustrum japonicum* thunb en que se observa: Cutícula adaxial (cut. ad.), epidermis adaxial (ep. ad.), parénquima medular (par. med.), fibras xilemáticas (fx.), vasos xilemáticos (vx.), parénquima xilemático (px.), floema (fl.), parénquima (par.), epidermis abaxial (ep. ab.) y cutícula abaxial (cut. ab.). B.- Gráfica que muestra la distribución cualitativa de plomo particulado, detectado histoquímicamente en vena central. B<sub>1</sub>- Detalle de la distribución de plomo en los componentes de la epidermis abaxial. B<sub>2</sub>- Detalle de la distribución de plomo en los componentes del xilema. B<sub>3</sub>- Detalle de la distribución de plomo en los componentes de la epidermis adaxial.

# PECIOLO

A



B



B<sub>1</sub>

Epidermis  
X transversal de Pb detectado



B<sub>2</sub>

Xilema  
X transversal de Pb detectado



Figura VI. A.- Corte transversal de peciolo -zona media- de *Ligustrum japonicum thunb* en que se observa: Epidermis (ep.), parénquima (par.), floema (fl.), vasos xilemáticos (vx.), fibras xilemáticas (fx.), parénquima xilemático (px.), parénquima medular ( par. med.) y tricomas (tr.). B.-Gráfica que muestra la distribución cualitativa de plomo particulado, detectado histoquímicamente, a nivel de tejidos. B<sub>1</sub>.- Detalle de la distribución de plomo en los componentes de la epidermis. B<sub>2</sub>.- Detalle de la distribución de plomo en los componentes del xilema.

# TALLO

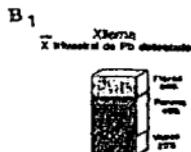
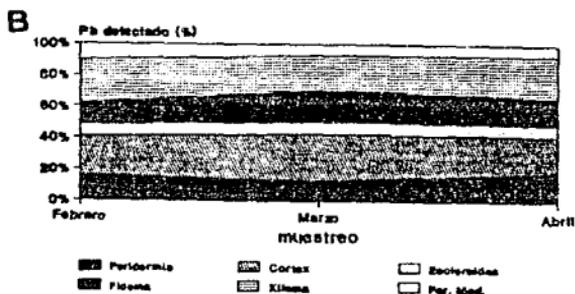
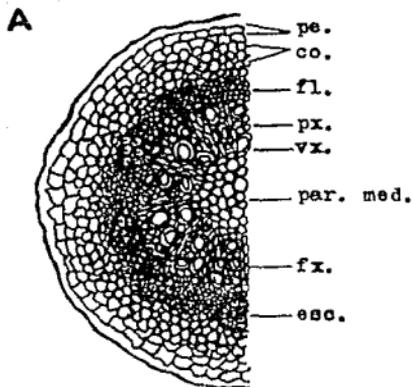


Figura VII. A.- Corte transversal de tallo-rama con diámetro aproximado de 5 mm- de *Ligustrum japonicum thunb.* en que se observa: Peridermis (pe.), - córtex (co.), floema (fl.), parénquima xilemático (px.), vasos xilemáticos (vx.), parénquima medular (par. med.), fibras xilemáticas (fx.) y escleridas (esc.). B.- Gráfica que muestra la distribución cualitativa de plomo -particulado, detectado histoquímicamente, en los tejidos que componen al tallo. B<sub>1</sub>.- Detalle de la distribución de plomo en los componentes del xilema.

# RAIZ

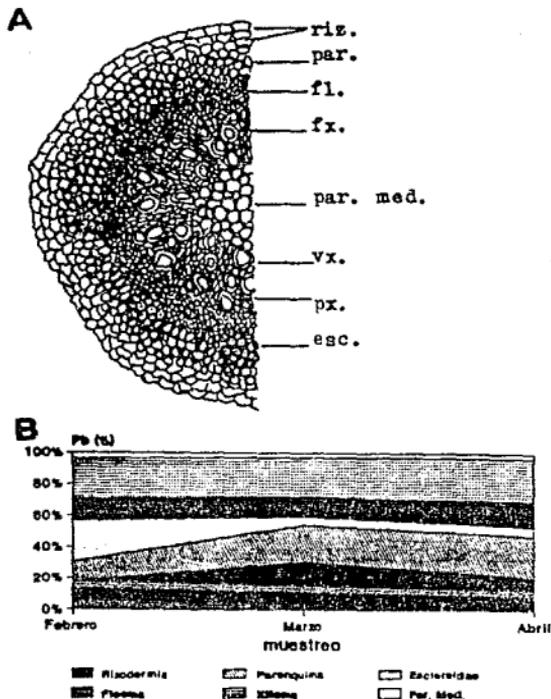


Figura VIII. A.- Corte transversal de raíz- de tipo terciario cuyo diámetro aproximado es de 3mm- de *Ligustrum japonicum thunb.*, en que se observa: Rizodermis (riz.), parénquima (par.), floema (fl.), fibras xilemáticas (fx.), parénquima medular (par. med.), vasos xilemáticos (vx.), parénquima xilemático (px.) y esclereidas (esc). B.- Gráfica que muestra la distribución cualitativa de plomo particulado, detectado histoquímicamente, en los tejidos que componen a la raíz. B<sub>1</sub>.- Detalle de la distribución del plomo en los componentes del xilema.

Tabla no. 5. Concentración de plomo detectado en los órganos de Ligustrum japonicum thunb. en que se indica además media aritmética mensual ( $\bar{X}$ ) y trimestral ( $\bar{X}_3$ ), media geométrica mensual ( $\bar{G}$ ) y trimestral ( $\bar{G}_3$ ).

PLOMO ABSORBIDO (microgramos por gramo)							
SITIO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		
LAMINA	A	10.0	5.0		7.0		
	B	6.0	6.0		6.0		
	C	7.0	$\bar{X}=7.75$	5.0	$\bar{X}=6.25$	2.0	$\bar{X}=5.50$
	D	8.0	$\bar{G}=7.61$	9.0	$\bar{G}=6.06$	7.0	$\bar{G}=4.73$
						$\bar{X}_3=6.50$	$\bar{G}_3=6.01$
PECIOLLO	A	7.0	11.0		9.0		
	B	10.0	20.0		19.0		
	C	20.0	$\bar{X}=11.25$	7.0	$\bar{X}=14.5$	12.0	$\bar{X}=12.75$
	D	8.0	$\bar{G}=10.28$	20.0	$\bar{G}=11.65$	11.0	$\bar{G}=12.25$
						$\bar{X}_3=12.16$	$\bar{G}_3=11.36$
TALLO	A	20.0	6.0		8.0		
	B	11.0	7.0		2.0		
	C	6.0	$\bar{X}=11.0$	6.0	$\bar{X}=6.25$	7.0	$\bar{X}=5.50$
	D	7.0	$\bar{G}=9.80$	7.0	$\bar{G}=6.48$	5.0	$\bar{G}=4.86$
						$\bar{X}_3=7.66$	$\bar{G}_3=6.75$
RAIZ	A	9.0	12.0		30.0		
	B	11.0	8.0		24.0		
	C	8.0	$\bar{X}=10.0$	21.0	$\bar{X}=13.0$	32.0	$\bar{X}=25.25$
	D	12.0	$\bar{G}=9.87$	11.0	$\bar{G}=12.20$	15.0	$\bar{G}=24.24$
						$\bar{X}_3=16.08$	$\bar{G}_3=14.28$
PLOMO ADSORBIDO (microgramos por gramo)							
LAMINA	A	0.8	0.5		1.1		
	B	0.6	0.6		0.8	$\bar{X}=0.9$	$\bar{X}_3=0.69$
	C	0.2	$\bar{X}=0.65$	1.0	$\bar{X}=0.54$	0.7	$\bar{G}=0.88$
	D	1.0	$\bar{G}=0.56$	0.09	$\bar{G}=0.54$	1.0	
						$\bar{G}_3=0.64$	
PECIOLLO	A	0.7	1.0		3.0		
	B	4.0	1.1		1.1		
	C	1.2	$\bar{X}=1.60$	2.0	$\bar{X}=1.20$	0.6	$\bar{X}=0.9$
	D	0.6	$\bar{G}=1.19$	0.7	$\bar{G}=1.11$	0.5	$\bar{G}=0.88$
						$\bar{X}_3=1.36$	$\bar{G}_3=1.09$
TALLO	A	12.0	0.7		2.0		
	B	2.0	0.1		2.0		
	C	7.0	$\bar{X}=7.0$	0.1	$\bar{X}=0.7$	4.0	$\bar{X}=5.25$
	D	7.0	$\bar{G}=5.85$	2.0	$\bar{G}=0.34$	13.0	$\bar{G}=3.79$
						$\bar{X}_3=4.32$	$\bar{G}_3=1.96$

## Pb absorbido en

### *Ligustrum Japonicum thunb*

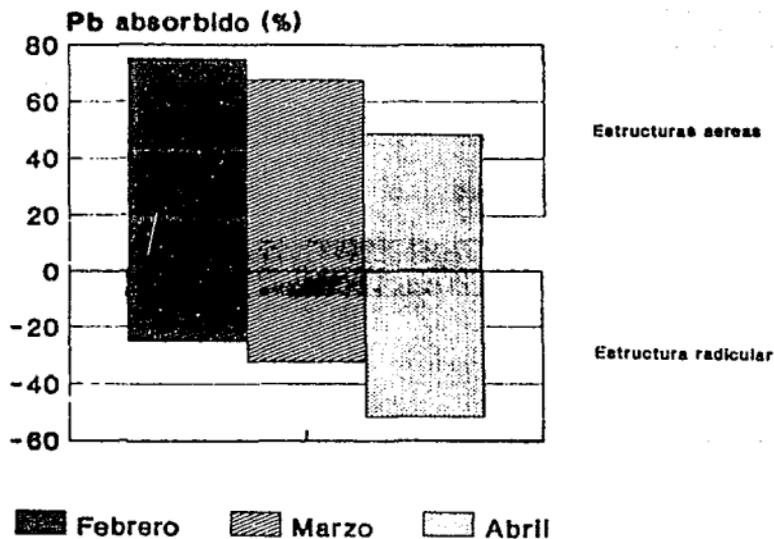


Figura IX. Gráfica que muestra, en términos porcentuales, las cantidades de plomo detectadas en la porción aérea y subterránea de Ligustrum japonicum thunb

# ABSORBIDO

Pb contenido en las estructuras vegetales

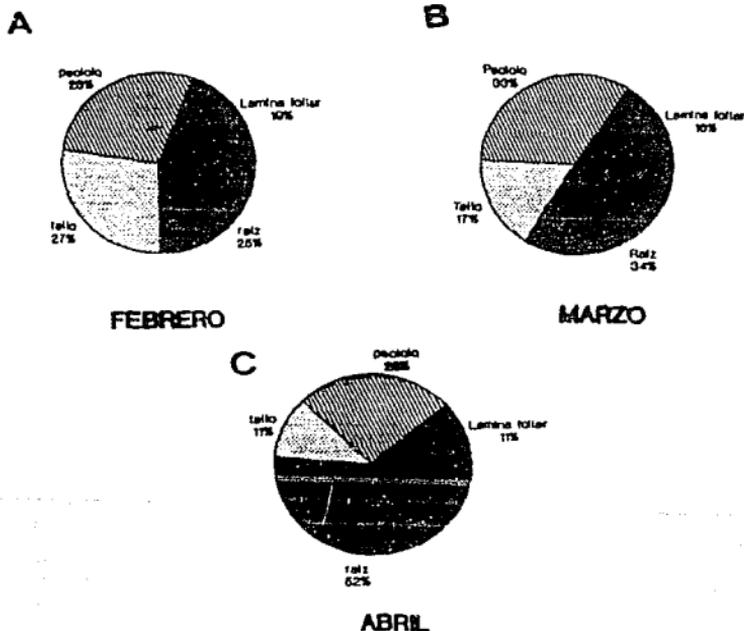


Figura X. Contenido de plomo absorbido, expresado porcentualmente, para cada una de la estructuras vegetales de Ligustrum japonicum thunb y para cada fecha de muestreo.

# ADSORBIDO

Pb contenido en las estructuras vegetales

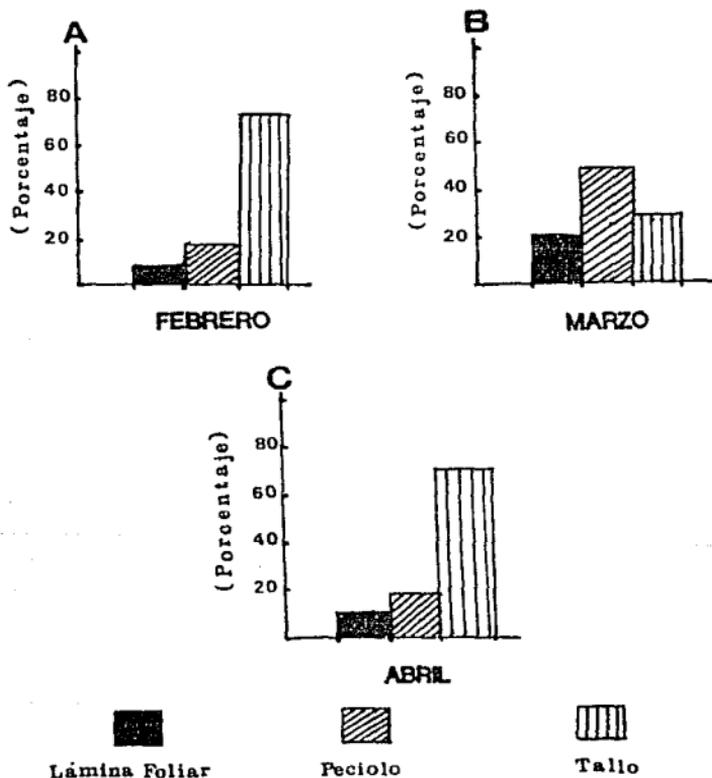
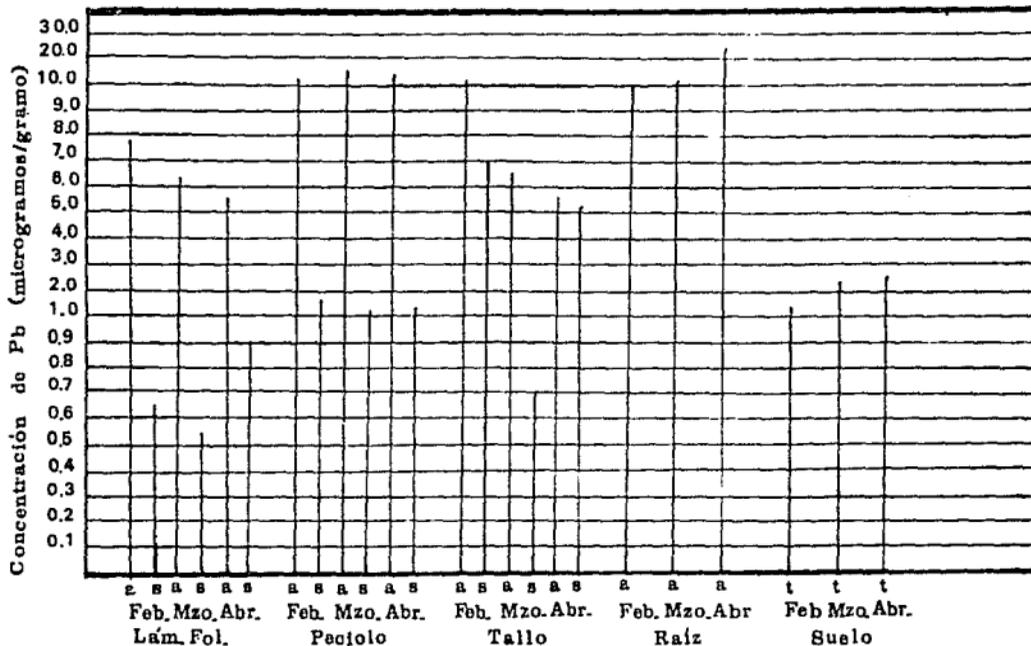


Figura XI. Contenido de plomo adsorbido, expresado porcentualmente, para cada una de las estructuras vegetales de Ligustrum japonicum thunb y para cada fecha de muestreo.



a: Pb absorbido    s: Pb adsorbido    t: Pb total

Figura XII. Representación gráfica de la media aritmética ( $\bar{x}$ ) de plomo detectado mensualmente, en que se indican y comparan plomo adsorbido y absorbido en cada órgano, así como en el sustrato.

## Pb ADSORBIDO

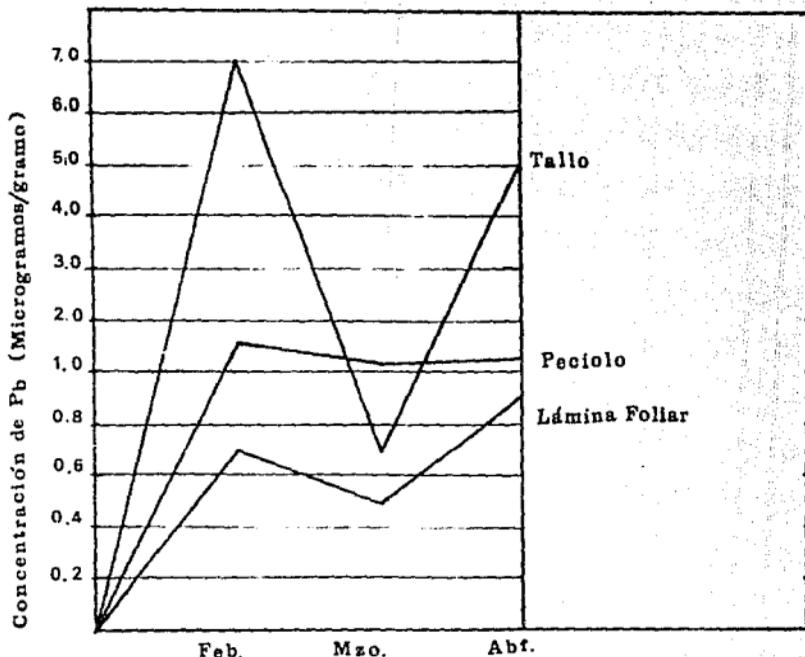


Figura XIII. Gráfica elaborada con medias geométricas mensuales, que muestra la tendencia en la captación de plomo adsorbido en los órganos aéreos de Ligustrum japonicum thunb.

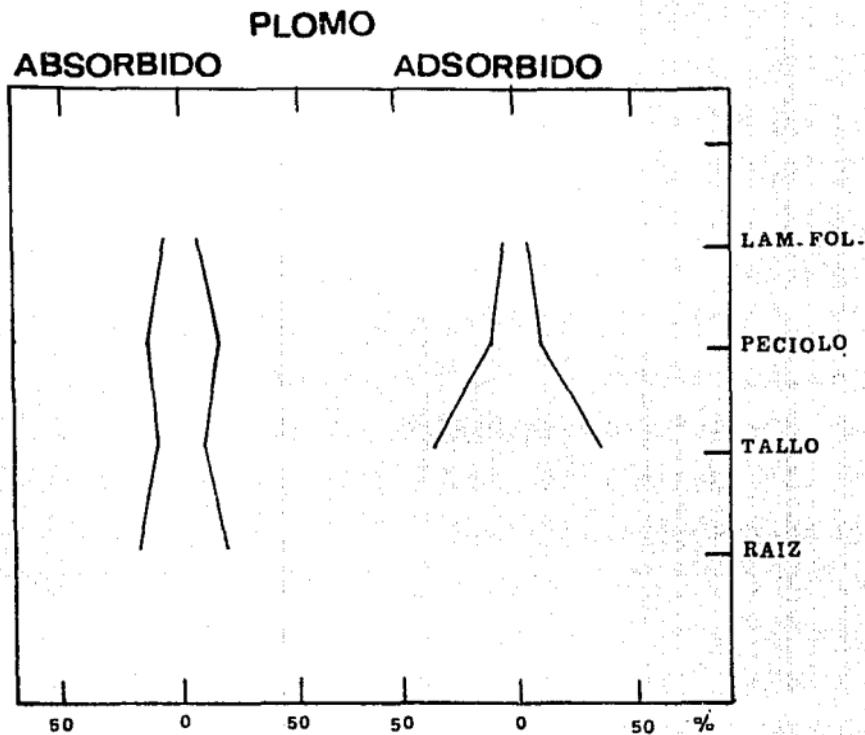


Figura XIV Comparación de plomo (%) absorbido y adsorbido en cada uno de los órganos de Ligustrum japonicum thunb.

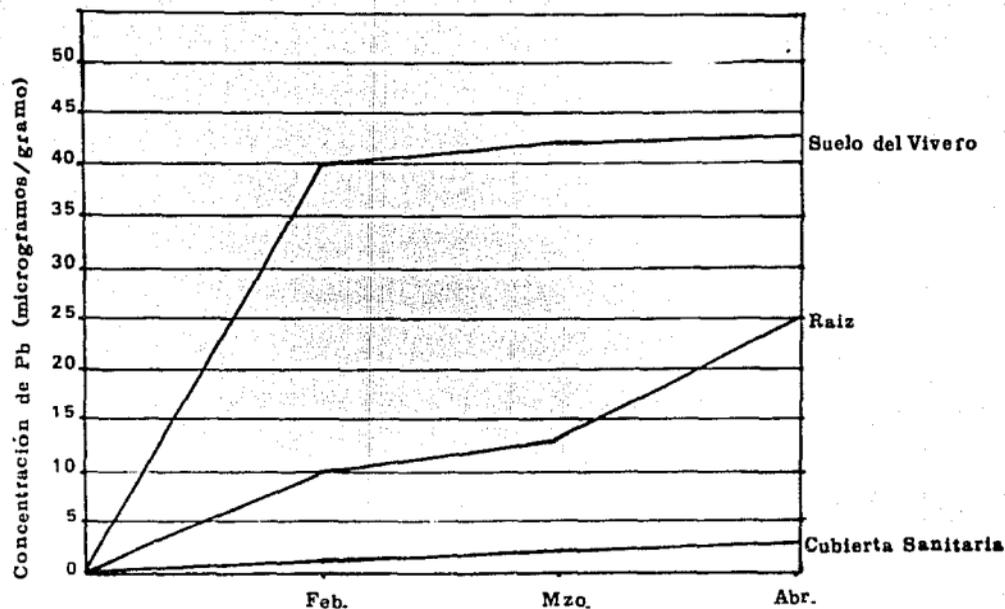


Figura XV. Gráfica en que se muestran los promedios mensuales ( $\bar{X}$ ) de plomo detectado en raíz de Ligustrum japonicum thunb., relacionandolo con los promedios de plomo de el suelo en que el vegetal se desarrolló (vivero) y el sustrato en que ahora se desarrolla (cubierta sanitaria).

Tabla no. 6. Propiedades físicas, concentración de Pb de cubierta sanitaria y Pb del suelo del vivero, incluyendo media aritmética trimestral ( $\bar{X}_3$ ) y media geométrica trimestral ( $G_3$ ).

DETERMINACION	SITIO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	
pH activo	A	6.6	8.2	7.3	$\bar{X}_3 = 7.39$ $G_3 = 7.37$
	B	7.2	7.5	7.9	
	C	6.4	7.7	7.4	
	D	7.7	7.3	7.5	
pH potencial	A	3.1	4.1	4.1	$\bar{X}_3 = 4.01$ $G_3 = 3.98$
	B	3.9	5.2	3.8	
	C	4.0	3.9	3.6	
	D	4.2	4.5	3.8	
C.I.C meq./100g	A	23.5	22.1	22.3	$\bar{X}_3 = 20.57$ $G_3 = 20.27$
	B	17.8	23.2	21.8	
	C	15.3	28.4	16.8	
	D	17.6	20.5	17.6	
Materia Orgánica (%)	A	2.55	2.01	3.03	$\bar{X}_3 = 1.89$ $G_3 = 1.81$
	B	2.07	1.20	1.51	
	C	2.34	2.30	1.31	
	D	1.44	1.70	1.31	
Textura (nom. tex. - según Gaucher, 1971)	A	limo-arcilloso	li.-arc. arcilloso		
	B	arcilloso	li.-arc. arcilloso		
	C	limo-arcilloso	li.-arc. li.-arc.		
	D	limo-arcilloso	arcilloso li.-arc.		
Calcio Ca <sup>++</sup> meq./100g	A	10.4	8.6	7.2	$\bar{X}_3 = 7.76$ $G_3 = 7.45$
	B	8.5	9.7	10.2	
	C	4.4	10.1	5.2	
	D	4.6	8.6	5.7	
Magnesio Mg <sup>++</sup> meq./100g	A	7.9	8.1	8.9	$\bar{X}_3 = 7.99$ $G_3 = 7.88$
	B	7.4	7.7	7.4	
	C	7.0	6.9	12.4	
	D	6.8	8.0	7.4	
Fosforo PO <sub>4</sub> ppm	A	0.70	1.20	0.60	$\bar{X}_3 = 0.85$ $G_3 = 0.83$
	B	0.70	0.70	0.70	
	C	0.90	0.90	0.90	
	D	0.95	1.10	0.90	
Nitrogeno NO <sub>3</sub> ppm	A	8.0	2.1	6.0	$\bar{X}_3 = 4.7$ $G_3 = 4.2$
	B	5.0	3.2	4.0	
	C	4.0	3.5	7.0	
	D	7.0	5.3	1.4	
Plomo Pb mcg/g	A	1.1	2.2	5.2	$\bar{X}_3 = 2.5$ $G_3 = 2.1$
	B	2.2	2.5	1.7	
	C	2.1	2.5	1.2	
	D	1.7	1.9	1.9	
Pb en suelo del vivero mcg/g		40.0	42.0	50.0	$\bar{X}_3 = 44.0$ $G_3 = 44.47$

## 12. DISCUSION DE RESULTADOS

Se sabe que el plomo entra a los vegetales vía raíz y estructuras aéreas, y desde estos sitios puede moverse y translocarse a otros órganos, lo cual ocurre en proporciones variables, dependiendo de la especie, órgano, cantidad y forma química del plomo presente en la atmósfera y plomo disponible en el suelo (Zimbhal y Hassett, 1980).

Cuando el plomo es tomado por el vegetal, éste puede distribuirse en forma diferencial en cada tejido. Considerando las concentraciones del metal presentes en los tejidos, así como sus funciones primordiales y accesorias, se pueden deducir los daños que el plomo pueda causar al vegetal. Al respecto son muy pocos los estudios que se han realizado y reportado en la literatura, así que esta investigación representa, en su aspecto cualitativo, un estudio pionero, en cuanto a la detección de plomo a nivel de tejidos vegetales.

### ANALISIS CUALITATIVO

Para la lámina foliar el mayor número de cristales de plomo se encontró en la región fotosintética (parénquima esponjoso y en empalizada), coincidiendo con estudios como el de Coutiño (1989). Esto se puede deber a los siguientes aspectos: El primero es que estas células tienen como función auxiliar el almacenamiento de sustancias tóxicas, por lo que pueden llegar a acumular, con gran facilidad, cristales de plomo, y segundo, el que presenten una delgada pared celular, que permite la entrada de plomo (Glater y Hernández, 1972). El tercer aspecto es que la cutícula presentaba gran cantidad de aceites, sales y resinas, que frecuentemente se observaron en esta estructura, explicando el que no fungiese en forma eficiente como una barrera de entrada del metal (Zimbhal y Koeppe, 1976; Esau, 1976).

El porcentaje de plomo presente en los estomas se manifestó en un 10 %, considerando sólo a la epidermis, ello indica que éstos son también una vía de entrada del plomo de la atmósfera a los vegetales, acontecimiento que además puede generar la inducción al cierre estomático, lo cual repercute en forma negativa, ya que se afectan funciones básicas del vegetal, tales como fotosíntesis, transpiración y respiración (Cutter, 1969; Esau, op. cit.

Fahn, 1978). El hecho de que el plomo haya sido detectado en el parénquima fotosintético (en un porcentaje cercano a 70), permite deducir que la producción de carbohidratos sea alterada, ya que según Martin (1981) y Koeppe, et. al. (1970) éste tejido es fácilmente dañado con altas concentraciones de plomo.

En la vena central el plomo manifestó un 20 % de cristales, considerando a todo el mesófilo, en ésta el metal se concentró principalmente en las células parenquimáticas del xilema.

De las estructuras que componen al peciolo, en la epidermis se acumularon contundentemente más cristales de plomo, 40 % aproximadamente, funcionando como verdadera barrera protectora para la entrada de contaminantes (Cutter, 1969). Esto se puede explicar con base a la presencia de tricomas en la epidermis, estructuras que facilitan la acumulación de partículas en general, ya que proporcionan un gran aumento del área superficial expuesta al plomo del ambiente (Carlson, 1976). El parénquima, con un 25 % de cristales de plomo, presenta el mismo comportamiento que en la lámina foliar, sin embargo aquí es más abundante y con paredes delgadas, lo que explica tales concentraciones. Malone, et. al. (1974) lo justifica basándose en la gran actividad metabólica del peciolo, que se realiza principalmente en el parénquima.

En tallo, la presencia de cristales de plomo predomina en córtex (células parenquimáticas) y en células xilemáticas, con más de un 20 % de cristales en cada tejido. El hecho de que el plomo se haya concentrado en el córtex puede deberse a la presencia de aeropartículas, como los Clorobromuros de Plomo, los cuales son abundantes en las zonas con alta densidad vehicular, ya que estas son su principal fuente de emisión (Little y Wiffen, 1978). Los Clorobromuros de Plomo son moléculas que fácilmente se unen a la corteza de los árboles, y pasan a través de ella acumulándose en el córtex; éste hecho ha sido demostrado por Szopa et. al. (1973). El porcentaje mayor al 10 % en peridermis se justifica por la gran afinidad que el plomo tiene por la pared celular, celulosa, que es muy abundante en este tejido (Dollar y Lepp, 1980; Szopa, op. cit.). En cuanto a la presencia de plomo en el xilema, las células xilemáticas fueron las que manifestaron el mayor porcentaje, y por ser este un comportamiento generalizado se explicará posteriormente.

En raíz, la rizodermis captó un gran número de cristales de plomo (cerca de un 20 %, promedio trimestral); y según Glater y Hernández (1972), ésta - se considera una importante barrera a la translocación, pues los compuestos químicos como pirofosfatos y ortofosfatos, frecuentemente presentes en estas estructuras, forman complejos estables con el plomo, inmovilizándolo en las paredes celulares.

El parénquima, que precede a la rizodermis, también captó más de un 20 % de cristales de plomo (promedio trimestral). Este tejido tiene una gran actividad metabólica, y Malone, et. al. (1974) ha observado en el proceso de formación de depósitos de plomo, y describe de la siguiente manera: El plomo soluble es captado por unas vesículas del citoplasma, llamadas dictiosomas, que tienen además la función de captar precursores de las paredes celulares; posteriormente los dictiosomas se mueven hacia la periferia celular, pasando por el plasmalema, y fusionándose con la pared celular, quedando así integrado el plomo a estas paredes. Este proceso puede ocurrir también en las esclereidas, ya que son células parenquimáticas modificadas, - pues presentan paredes secundarias (cutter, 1969).

Considerando de manera específica la presencia de plomo en el tejido xilemático de los órganos estudiados, así como la función relevante de éste - para el desarrollo vegetal; en términos generales el metal se acumuló en - las células parenquimáticas, siguiéndole en orden decreciente las fibras y posteriormente los vasos. En cuanto al contenido de plomo en las primeras, se explica por la función que tiene este tejido, que es de almacenar sustancias de reserva, además de transportar sustancias tóxicas a regiones externas, como la corteza, cuando hay crecimiento secundario (Stewart, 1966, reportado por Coutiño, 1989). Esta última actividad puede ser también una - vía de acumulación en el córtex, ya que no se reporta que ocurra mucho movimiento de peridermis a zonas intermedias.

La presencia de plomo en las fibras que componen al xilema ha sido explicada por Dollar y Lepp (1980). Estos investigadores han encontrado que las paredes de las fibras, además de estar constituidas por celulosa, tienen - aniones como  $PO_4^{-2}$  y  $SO_4^{-2}$ , por los que el plomo tiene gran afinidad y fácilmente puede quedar inmovilizado en los tubos cribosos. Este acontecimiento puede repercutir negativamente en el metabolismo vegetal, pues el transporte de agua, sales minerales y sustancias alimenticias es función de toda

estructura xilemática (Malone, et. al., 1974), así como el almacenamiento - de almidón en las fibras (Esau, 1976).

El tejido que en todos los órganos captó menos plomo es el parénquima me- dular, lo cual indica que la translocación lateral aquí es mínima, a dife- rencia de lo que ocurre en tejidos como el xilemático (Szopa, et. al., - 1973).

## ANÁLISIS CUANTITATIVO

### PLOMO ADSORBIDO

De los órganos aéreos, la lámina foliar captó la menor cantidad de plomo adsorbido ( $\bar{x}_3 = 0.69$  mcg/g), lo cual se debió posiblemente a que estos vege- tales presentan tres características básicas que dificultan la captación de partículas: Uno, presenta hojas lisas y cerosas, hecho fundamental que evi- ta la depositación de partículas de plomo, facilitando su lavado y arrastre por el viento (Carlson, et. al., 1976; Motto, et. al., 1970). Dos, el "true no" tiene un área foliar superficial relativamente pequeña, siendo de  $7.2 - \text{cm}^2$ , y según Martin, et. al. (1981) y Little y Wiffen (1976) éste es un fac- tor que también influye en la captación de plomo, en forma directamente - proporcional. Tres, esta especie presenta un bajo número de estómas, consi- derando el criterio de Cutter (1969) y Fahn (1978), al visualizar cortes - transversales, así como una gruesa epidermis protectora (Godzik, et. al., - 1979; Martin, op. cit.).

Considerando a todos los órganos aéreos, el tallo presentó la más alta - adsorción de plomo ( $\bar{x}_3 = 4.32$  mcg/g), esto puede deberse a que es una rama - rugosa, que genera mayor área superficial, a comparación de los tallos li- sos, captando más partículas de plomo (Malone, et. al., 1974; Szopa, et. - al., 1973; Zimbdhal y Koepe, 1976). Este resultado coincide, además, con - los estudios realizados por Chamberlain (1970), quien reporta que el tallo puede captar más plomo, en relación a la hoja, debido a que en éste el -- arrastre por lluvia y viento son mínimos, al igual que en el peciolo, ya - que el área superficial expuesta al arrastre es menor (Little, et. al., 1979 y Smith, 1976).

De la porción aérea de Ligustrum sp. el peciolo adsorbió  $\bar{x}_3 = 1.36$  mcg/g ,

captación que se explica principalmente por su característica pilosa (Chamberlain, 1970).

Niveles de plomo adsorbido.-

Tomando en cuenta los niveles de plomo adsorbido, registrados en Ligustrum japonicum thunb para este estudio, y comparandolo con concentraciones detectadas en otras especies arbóreas, en diferentes localidades (tabla A), se puede observar que la especie estudiada presentó niveles bajos de plomo, casi seis veces menos, comparando con las concentraciones detectadas por Linzon, et. al. (1976), para especies arbóreas de zonas urbanas, y sin embargo sobrepasó los niveles de plomo establecido para follaje en zonas rurales. Este autor considera que un nivel de plomo en follaje es "excesivo" cuando llega a 75 ppm (peso seco); al respecto las concentraciones de plomo detectadas en este trabajo nunca sobrepasan esta cantidad, por lo que se puede deducir que Ligustrum sp. no es un vegetal "muy contaminado", ya que tenía un corto tiempo de exposición (menos de un año desde que fueron trans plantados a esta zona) y a una relativa distancia de las vías vehiculares.

Tabla A. Plomo adsorbido en follaje de especies arbóreas.

<u>Especie vegetal</u>	<u>características de la zona</u>	<u>[Pb] ppm</u>	<u>Autor</u>
Especies arbóreas	Zona rural	5.0	Linzon, -
" "	Zona sub-urbana	32.0	<u>et. al.</u>
" "	Zona urbana	35.0	(1976)
<u>Ligustrum</u> sp.	Zona urbana	6.37	este estudio.

**PLOMO ABSORBIDO**

La hoja absorbió la menor cantidad de plomo con respecto al resto de los órganos aéreos, y esto se puede explicar por las características morfológicas de la especie, antes mencionadas. Un hecho que es de tomar en cuenta es que los árboles fueron transplantados en el basurero, periodo en que tira-

ron casi todo su follaje, y sus hojas nuevas, que fueron las que se analiza- ron, alcanzaron valores de plomo en un rango de 2 a 10 ppm, a pesar del cor- to periodo de exposición. Tales valores son considerados altos, según Sto- ker (1981) y González (1981), que establecen en 5 ppm el valor normal de - plomo.

El peciolo es el órgano aéreo que presentó las concentraciones de plomo más altas, siendo la  $\bar{X}_3 = 7.66$  mcg/g. Esto se pudo deber a su morfología y posición, que le permiten ser un buen captor de partículas, reteniéndolas - por un periodo de tiempo amplio, y por ende hacer posible su absorción ( - Carlson, et. al., 1976). Además, este órgano posee una gran actividad metabó- lica, que se explica al observar el gran contenido de tejido parenquimático (Esau, 1978). Presenta una cutícula de grosor medio, que permite observar - la acumulación de cristales alargados y algunos amorfos, según Fahn (1978) y Cutter (1969) indicadores de que la estructura está saturada de contami- nantes, lo que hace posible la entrada de plomo a los tejidos internos. En general, se ha mencionado en la literatura que el peciolo, junto con el tal- lo, absorbe, vía aérea, grandes cantidades del metal (Broger, et. al., - 1972).

Tomando en cuenta a todos los órganos de Ligustrum, la raíz fué el órga- no que manifestó la mayor concentración de plomo, con una  $\bar{X}_3 = 16.08$  mcg/g y una  $\bar{G}_3 = 14.28$  mcg/g, y ello se explica basándose en que la detección de - plomo se realizó en raíces secundarias y terciarias, estructuras que presen- tan gran actividad metabólica, según Broger, et. al. (1972) y Chamberlain ( 1970), pues la raíces primarias, con mayor engrosamiento, presentan menor - actividad (Glater y Hernández, 1972; Garcidueñas y Merino, 1979). Además se presentó otra variante de gran importancia, que es el que los árboles, re- cientemente transplantados, crecieron en suelos de vivero (Xochimilco), con altos valores de plomo.

#### DISTRIBUCION DE PLOMO EN Ligustrum sp.

La translocación de plomo desde la raíz a todos los demás órganos vegeta- les, en ésta y la mayoría de las especies, es muy baja, ya que existen ba- rreras anatómicas que así lo determinan, paredes celulares y endodermis ra- dicular (Martin, et. al., 1981); ello explica la marcada diferencia en la -

distribución de plomo absorbido, desde la raíz al tallo, y de éste hasta - la lámina foliar.

La concentración de plomo en los órganos aéreos, con respecto a la concentración en raíz, indican que esta especie ha asimilado el plomo de ambas fuentes (pues al considerar el término hoja se considera al plomo contenido en el peciolo más el plomo de la lámina foliar, lo que hace un promedio de 18.66 mcg/g ), y es por esto que Ligustrum sp. es una especie indicadora (bioindicadora) de contaminación atmosférica y edáfica, principalmente de plomo y ozono (Calva y Corona, 1990). La fuente atmosférica de plomo proviene, principalmente, de los vehículos de avenidas muy transitadas, como la Calzada Ignacio Zaragoza, que se encuentra al norte del tiradero (donde está ubicada la zona de estudio), y los vientos dominantes del área provienen del norte (DETENAL, 1984), además de la Calzada Ermita Iztapalapa al sur; así, el porcentaje de plomo que se impacta en la vegetación, desde las vías vehiculares, está directamente relacionado con la dirección y velocidad del viento, distancia a la vía vehicular y volumen de tránsito y tráfico, que en este caso es muy alto en ambas fuentes (Chamberlain, 1970; Little y Wiffen, 1976; Smith, 1976).

En este estudio, según los criterios de Lagerwerff (1972), Martin, et. al. (1981) y Malone, et. al. (1974), la porción aérea y la radicular son potenciales captadores de plomo, y observando la gráfica IX, se puede apreciar que existe una tendencia, a través del tiempo, a acumular más plomo en la raíz.

#### Niveles de plomo absorbido.-

Al comparar los niveles de plomo encontrados en Ligustrum sp., específicamente en lámina foliar y raíz, con concentraciones detectadas en los órganos de otras especies y para otras ciudades (mencionados en la tabla B), se observa claramente que "trueno" se encuentra por debajo de los valores reportados en vegetales de zonas urbanas, acontecimiento que se explica básicamente por el corto período de exposición que ha tenido en esta zona, así como el poseer hojas nuevas.

A pesar de que los niveles de plomo detectados son bajos, Rolfe (1973) considera que concentraciones de plomo entre 10 y 20 ppm afectan considerablemente al metabolismo de la hoja (que aquí presentó 18.6 ppm) y, en pro--

medio, se sobrepasa este nivel.

Tabla B. Contenido de plomo en hoja y raíz de diferentes vegetales.

Especie vegetal	Caract. de la zona	[Pb] ppm		Autor
		Hoja	Raíz	
Varias especies arbóreas ...	Zona rural	10.0	*	Linzon, et. al. (1976).
	Zona sub-urbana	31.5	*	
	Zona urbana	35.0	*	"
<u>Raphanus</u> sp. ...	Zona rural	17.0	15.0	Houghton (1984) reportado por Coutiño (1989). "
	Zona sub-urbana	20.0	15.0	
	Zona urbana	28.0	21.0	
Especies arbóreas ..	Zona urbana	40.0	600.0	Rolfe (1973).
<u>Ligustrum</u> sp. ...	Zona urbana	18.8	16.0	Este estudio.

\* concentración no reportada.

#### PLOMO EN SUELO.

La concentración de plomo del suelo del vivero, donde se desarrollaron - los árboles de "trueno", fué de 44.0 mcg/g ( media aritmética ), cifra alta en comparación con los niveles detectados en las muestras del sustrato superficial de la cubierta sanitaria ( $\bar{x}_3 = 2.03$  mcg/g).

La concentración de plomo en el suelo del vivero se explica, posiblemente, por el agua empleada para el riego, que frecuentemente es agua residual, así como por el uso de plaguicidas y fertilizantes que contienen plomo (Carlton, 1977; Czuba y Hutchinson, 1980; Martin, et. al., 1981). La cantidad referida , 44.0 mcg/g, excede el valor medio aceptado en Estados Unidos para suelos de uso agrícola, que es de 15 a 16 ppm (Martin, op. cit.; - Zimbdhal y Hassett, 1980).

En cuanto a las condiciones de el relleno sanitario, específicamente las físicas y químicas, predominan las que generan o tienden a mantener libre -

al plomo, así, por ejemplo, en cuanto a materia orgánica se encontró un bajo porcentaje, ( $\bar{X}_3 = 1.89 \%$ ) que junto con el poco grado de humificación (detectado por Barbosa y García, 1978), así como el bajo contenido de nutrientes (tabla 6), generan, en conjunto, las condiciones propicias para la movilidad del plomo y por tanto su disponibilidad para los vegetales, es decir, no hay considerables cantidades de ácidos húmicos y fúlvicos que capten al plomo, ni condiciones para formar complejos estables con nutrientes (Reddy y Patrich, 1977; Zimbdhal y Hassett, 1980). Existe, por lo anteriormente mencionado, posibilidad de que el metal pueda lixiviarse con los líquidos formados en la zona, por procesos de descomposición de la basura y con los que también se liberará plomo, y arrastrado también por el agua de lluvia, que pueden trasladarse a la periferia del Ex-Tiradero o filtrarse a los mantos acuíferos que aquí se localizan (Barbosa y García, op. cit.; DETENAL, 1984; Szopa, et. al., 1973).

En relación a la Capacidad de Intercambio Catiónico, el plomo no puede - inmovilizarse suficientemente en los sitios de intercambio catiónico, ya - que, según las estimaciones realizadas en la cubierta sanitaria, esta cifra es baja, y la disponibilidad del metal es inversamente proporcional a la C. I.C. (Linzon, et. al. 1973; Allinson y Dzialo, 1981; Xingfu Xian, 1989).

En cuanto a textura, la gran cantidad de arcillas del sustrato de la zona (minerales arcillosos), no son característica suficiente para inmovilizar al metal, ya que en estas estructuras el proceso de fijación o adsorción - no es tan eficiente y determinante como el resto de las variantes (características ya mencionadas) Taylor y Griffin, 1981, reportado por Coutiño, 19--89; Zimbdhal y Koepe, 1976.

La única característica importante, en este caso, "en pro" de la inmovilización del plomo, es el pH, ya que el pH activo, que en promedio fué ligeramente alcalino, genera las condiciones para que el ión  $H^+$  no compita con - los sitios disponibles de las sales de plomo, es decir, cuando el pH disminuye las sales de plomo incrementan su solubilidad, liberando el metal ( - Zimbdhal y Hasset, 1980).

#### Niveles de plomo en suelo .-

En términos comparativos, el sustrato analizado es, según la mayoría de

- los autores consultados y reportados en la literatura, no contaminado, - aunque la FAO establece un cifra de 2.0 mcg/g, permisible para suelos de - uso agrícola (Martin, et. al., 1981). Observando la tabla C, las concentra- ciones de plomo detectadas son siempre inferiores que los valores determina- dos para zonas urbanas y aún para las zonas rurales.

Tabla C. Plomo detectado en horizontes superficiales en suelos de localida- des urbanas y rurales.

Localidad	Características de la zona	[Pb] ppm	Autor
Connecticut ...	Zona urbana	478.0	... Smith (1972)
	Zona rural	10 a 15	
U.S.A. ...	Zona urbana	540.0	... Zimbdhal y Ha- ssett (1980).
Ontario, Canada .	Zona urbana	292.0	... Linzon, <u>et. al.</u> (1976).
	Zonas urbanas (promedio)	18 a 1450	
New Jersey ...	Zona urbana (junto a avenida)	159.0	... Motto, <u>et. al.</u> (1970).
Inglaterra ...	Zona rural	42.0	... Chamberlain - (1983)

El suelo originario del vivero excede los niveles considerados para zo- nas rurales, establecidos por Smith (1972) y Chamberlain (1983), dato impor- tante al considerar que este fué vertido, en la concavidad en que se planta- ron los árboles, con lo cual las raíces siguen en contacto con este sustra- to, explicando, en parte, la tendencia al aumento de plomo que se concentra en las porciones radicales del vegetal.

### 13. CONCLUSIONES

El daño que el plomo causa a los vegetales, cuando éste se incorpora a sus estructuras, puede ir desde la lesión no aparente hasta la clorosis e inclusive necrosis, dependiendo de la concentración, tiempo de exposición, forma química del plomo y tejido en que se localice.

A nivel de tejidos, el clorénquima y xilema son las estructuras que captaron más plomo. En cuanto al primero, las repercusiones primordiales que puede traer consigo es que las células gastan energía extra, pues ésta la utilizan para inmovilizar intracelularmente al plomo, alejándolo de los sitios activos de la célula; ello trae como consecuencia que se disminuyan funciones vitales como la fotosíntesis, respiración, división celular y germinación, repercutiendo en conjunto, en una disminución en la producción de biomasa e incluso pudiendo aparecer daños estructurales visibles, cuando el metal llega acumularse en cantidades excesivas (Allinson y Dzialo, 1981; Broger, et. al., 1972; Carlson, et. al., 1976). La presencia de plomo en el xilema, sobre todo en el parénquima xilemático, puede llegar a reducir el transporte de agua, minerales y azúcares (Malone, et. al., 1974), aunque puede "inmovilizarse" al formar complejos con  $SO_4^{=}$  y  $PO_4^{=}$ , presentes en el tejido, sobre todo en los tiempos de mayor actividad metabólica (primavera). El plomo presente en el paquete vascular es indicador de translocación, hecho que deducen Glater y Hernández (1972), Smith (1972) y Dollar y Lepp (1980).

El órgano del "trueno" que absorbió la mayor concentración de plomo fue la raíz, y ello se debió a que crecieron en un suelo rico en plomo. Este comportamiento trasciende a todo el vegetal, ya que órganos como la hoja requieren de agua y nutrientes minerales, que son captados por la raíz, y si ésta se encuentra afectada se alterarán las funciones de absorción y translocación.

Es de tomar en cuenta que el peciolo presentó cantidades considerables de plomo, ( $\bar{X}_3 = 12.16$  mcg/g), debido a que es un órgano con gran actividad metabólica por la presencia de abundante parénquima, aspecto que, considerado junto con la presencia de plomo en clorénquima de la lámina, puede traer serias repercusiones en la producción y transporte de carbohidratos y hormonas que la hoja produce, principalmente (Stewart, 1966).

El tallo y peciolo manifestaron captar grandes cantidades de plomo, en - ello jugó un papel primordial la textura y pubescencia. En cuanto al proce- so de adsorción del plomo, el tallo fué el órgano que manifestó las mayores concentraciones, y en ello jugó un papel importante su textura rugosa.

En cuanto al sustrato, la cubierta sanitaria presenta una baja concentra- ción de plomo, aunque el enriquecimiento por precipitación es constante, de- bido a su ubicación. Las propiedades físicas y químicas de éste, con exep- ción del pH, indican que gran parte del metal está disponible para los vege- tales; además, trabajos como el de Barbosa y García (1982) y la copilación efectuada por DETENAL (1984), mencionan, aunque sin cifras exactas, que los lixivados que se acumulan en la periferia del Ex-Tiradero, y muestras de - agua de pozos de la zona, presentan un alto contenido de plomo, posibili- mente originado y liberado por los desechos sólidos en descomposición, y tam- bién afectan la calidad de los abundantes mantos acuíferos, además de da- ñar a Ligustrum sp. si sus raíces crecen hasta el sustrato con basura (1.2 m. DETENAL op. cit.), lo que es muy probable, por tratarse de una especie - arbórea.

Es recomendable impulsar investigaciones sobre el impacto que metales - pesados, como el plomo, puedan tener en la vegetación y sustrato, sobre todo en sitios como el estudiado, así como la evolución que ha tenido el sustra- to, evaluando, a través de el tiempo, el comportamiento de sus componentes, formando así las bases de la experiencia para el saneamiento de otras zonas altamente impactadas, sobre el uso y tipos de relleno, así como el comporta- miento y resistencia de las especies vegetales introducidas.

El proceso de deterioro ambiental en los grandes ecosistemas urbanos se ha acelerado en los últimos años, básicamente a partir de 1940, y la res- - puesta del Estado ha sido tibia y tardía, aunque se toma ya interés y volun- tad en el campo de la administración ambiental, pues la historia de la con- taminación es antigua y acumulativa.

Refiriéndose específicamente al problema en cuestión, es ingenuo el cre- er que la decisión parcial de eliminar el plomo en un tipo de gasolina es - la respuesta única a este problema, ya que, además de ser combustible exclu- sivo para algunos automóviles (modelos recientes y que no siempre la usan en forma exclusiva), no es fuente exclusiva del metal. Hay que puntualizar -

que la Red Automática de Monitoreo de la SEDUE, en la ZMCM no determina plomo en ninguna de sus 25 estaciones (Bernal, 1990), y en la actualidad sólo se incluye dentro del parámetro PST (partículas sólidas totales), que abarca las inorgánicas (metales, no metales, aceite, hollín e hidrocarburos) y las orgánicas (esporas de bacterias, protozoarios, amibas y vegetales); además un hecho importante es el que no existen normas para la concentración de plomo atmosférico en México. Esta globalización (PST) resulta inadecuada, ya que nos encontramos en la Ciudad más grande del mundo, con un altísimo flujo vehicular, localizada en una cuenca alta y todavía rodeada de muchas industrias contaminantes (siderúrgicas y cementeras, principalmente). Resulta ya un acierto el cierre y reubicación de la gran refinería de PEMEX, "18 de Marzo", la sustitución de combustóleo por gas, etc., medidas adecuadas pero insuficientes.

La educación ambiental, con bases científicas, es una de las principales propuestas al problema ambiental. Entre otras está la creación de áreas verdes, en las que se incluya a especies arbóreas resistentes, ya que considerando que las Normas Urbanas Internacionales han establecido un mínimo de 9.0 m<sup>2</sup> de zona verde por habitante, y en el Distrito Federal se tiene en promedio de 2.2 y hasta 1.2 m<sup>2</sup> por habitante (Calva y Corona, 1990).

## ANEXO No. 1. Técnica Safranina Verde-Rápido.

### Preparación de la Safranina:

Disolver la Safranina "O" (1g) en 50 ml de Metilcelosolve, agregar 25 ml de Alcohol Etilico (96%) y 25 ml de Agua destilada. Enseguida agregar 1 g de Acetato de Sodio y 2 ml de Formol.

### Verde Rápido:

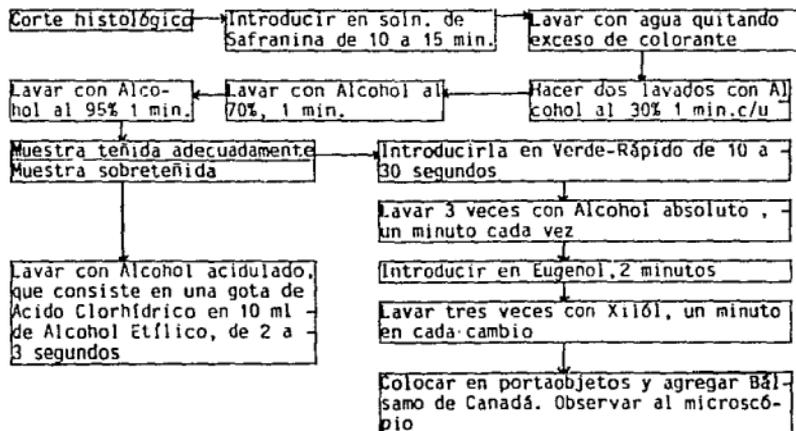
Este está compuesto de dos soluciones, que inicialmente se preparan por separado, Solución I y Solución II, respectivamente.

Solución I.- Solución saturada de Verde Rápido en Alcohol absoluto (Etanol), una parte y se le agrega Metilcelosolve en igual cantidad de Alcohol absoluto, una parte.

Solución II.- 25 partes de Etanol absoluto en 25 partes de aceite de clavo (Eugenol).

Se mezclan las dos soluciones (I y II).

La tinción de los tejidos se efectuó de la siguiente manera:



Tomado de Sass, 1961.

## ANEXO No. 11. Técnica del Rodizonato de Sodio.

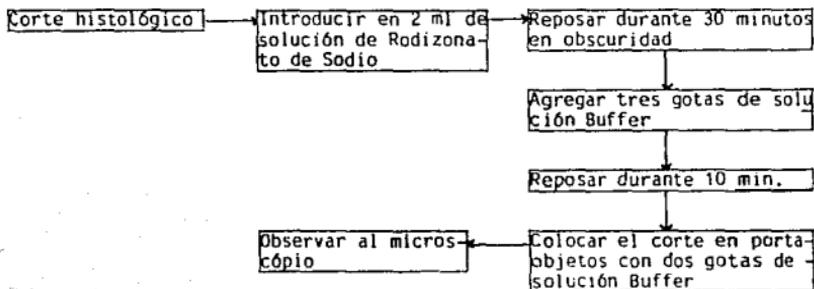
### Preparación del Rodizonato de Sodio:

Se disuelven 50 mg de Rodizonato de Sodio ( $C_6O_6Na_2$ ) en 25 ml de agua desionizada, agitar.

### Solución Buffer (amortiguadora):

Se agregan 1.5 g de Acido Tartárico en un matríz y después 1.9 g de Di--tartrato de Sodio en 100 ml de agua desionizada, disolviendo completamente.

La preparación de los tejidos se efectuó de la siguiente manera:



Nota.- Los vegetales que se estudian deberán ser lavados perfectamente antes de aplicar la técnica, inicialmente se hará con agua corriente y posteriormente con agua desionizada.

La solución de Rodizonato de Sodio se preparará poco antes de ser usada, ya que se descompone rápidamente.

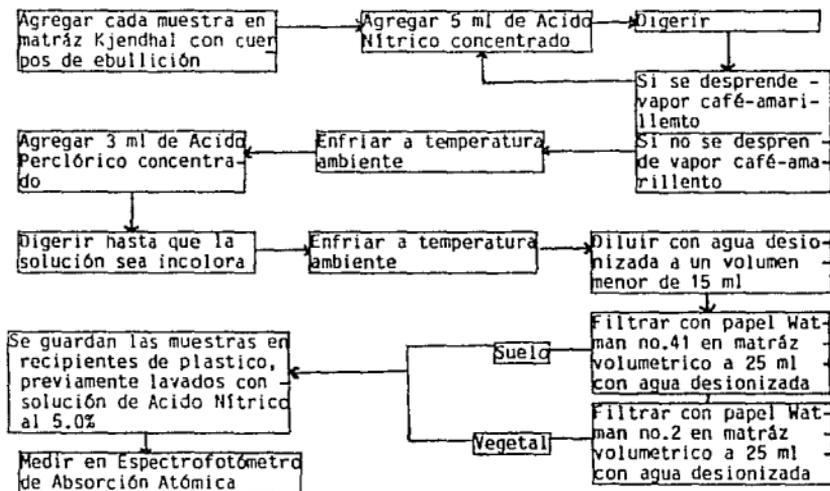
Técnica propuesta por Glater y Hernández, 1972.

ANEXO No. III. Digestión ácida, para cuantificar Plomo con Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Cada muestra de hoja, tallo y suelo fueron de 0.2 g (peso seco) y de peciolo y raíz de 0.1 g (peso seco), debido al pequeño tamaño de estas estructuras (las raíces fueron secundarias y terciarias).

Las muestras para determinar Plomo adsorbido, que se lavaron con solución de Acido Nítrico, se evaporan, sin llegar a la sequedad.

El tratamiento para todas las muestra fué el siguiente:



Los blancos para la curva de referencia se tratan igual que las muestras problema.

Se empleó Espectrofotómetro de Absorción Atómica con flama de Acetileno (oxidante), Varian Automático con Longitud de Onda de 217 nm.

Tomado de Cristian, 1971 y Reddy y Patrich, 1977.

ANEXO No. IV. Descripción Anatómica y Taxonómica de Ligustrum japonicum -  
thunb.

La descripción taxonómica de la especie analizada es, según Sánchez(1980)

Pertenece al grupo Embriofita (Embriophy)

División: Fanerogamas  
Subdivisión: Angiospermas  
Clase: Monocotiledonea (monocotiledoneae)  
Orden: Contortae  
Familia: Oleáceas (Oleaceae)  
Genero: Ligustrum  
Especie: Ligustrum japonicum thunb

Arbol de hojas enteras (el limbo no es partido ni lobulado) y frutitos - esféricos, oscuros, abayados. Sus hojas son lisas y cerosas, con un área - promedio de 7.2 cm<sup>2</sup>. Su tallo tiene textura rugosa y su raíz es axonomorfa.

Presenta flores hermafroditas (con androceo y gineceo), actinomorfas (con simetría radial), agrupadas en panículas (inflorescencia compuesta, racimosa, en forma piramidal), en el extremo de la rama (figura III).

La descripción anatómica está basada en los conceptos de Cutter, 1969; - Esau, 1976 y Fahh, 1978; y a continuación se describe.

El cuerpo de la planta se compone de tres sistemas de tejidos: El dérmico, representado por la epidermis, que durante el crecimiento secundario es sustituido por la peridermis. El sistema vascular está formado, básicamente de dos tejidos, el floema y el xilema, y poseen tipos de células que también se encuentran en el sistema dérmico y fundamental. El sistema de tejido fundamental incluye el resto de los tejidos, y el parénquima es uno de los más comunes y abundantes. El sistema del tejido vascular se amplía secundariamente (con crecimiento secundario) en el cambium vascular.

Raíz.-

La porción más externa, en un corte transversal, es la rizodermis, que está, a menudo, formada por más de una capa de células, que son generalmente tubulares y pequeñas, y forman también, en raíces secundarias y terciarias, los pelos radicales y se encuentran un poco lignificadas. Hacia el -

interior, y en segundo término, se localiza el parénquima, que forma agrupamientos de células rectangulares, algo aplanadas, por paquetes de 5 a 7 y - que en conjunto se conoce como córtex, formando un anillo interno continuo después de la rizodermis. A continuación, hacia la médula, se encuentran - agrupaciones discontinuas de esclereidas, dodecadas todavía de parénquima y floema, formadas de entre 5 y 8 células esclerenquimáticas poliédricas por paquete, que se disponen periféricamente en forma radial, y son básicamente un tejido de sostén, ya que poseen paredes celulares muy gruesas y aparecen como idioblastos, es decir, como células que se distinguen fácilmente de - las que forman el tejido que las rodea. El floema, que precede al xilema, - está formado por células rectangulares, redondeadas en los extremos, agrupando bandas de 12 a 15 células. Posee elementos de sostén, que son las células cribosas y los miembros de los tubos cribosos. El xilema, dispuesto - también en forma de banda, se compone de vasos, parénquima xilemático y fibras. Los vasos presentan dos tamaños, los más grandes son los más abundantes y se distribuyen heterogeneamente, y alternan con las células parenqui - máticas y fibras xilemáticas, dispuestas en forma de rayos, de dos bandas - de células. A continuación, y en el centro de la raíz, se presenta la médula o área medular, que está formada en su totalidad de parénquima (parén - quima medular), cuyas células son de varios tamaños, y el patrón general de distribución es: las más pequeñas junto al tejido de conducción y las más grandes hacia el centro; son de forma globosa y poliédrica, en las que se - encontró a menudo agrupamientos de cristales, de diferentes formas y tama - ños, todos ellos transparentes (fig. VIII-A).

#### Tallo.-

En relación a un corte transversal, en la posición más externa del cilindro, encontramos a la peridermis, que contiene células esclerotizadas, rec - tanguares y aplanadas; y en secuencia espacial le continúa el córtex, formado de células parenquimáticas pequeñas y en gran número, algo alargadas - hacia el extremo que se dirige a la médula. Este órgano presenta, como una continuación de la raíz, paquetes de esclereidas, dispuestas en la misma - forma, en paquetes de 15 a 20 células. Le sigue el floema, que alterna al - xilema. Los vasos xilemáticos presentan, al igual que en la raíz, ausencia de protoplasto, y en forma escalariforme. Las fibras presentan una orienta - ción radial, generalmente en grupos de dos hileras. El parénquima xilemá -

tico forma radios de una hilera de células (uniseriado); la médula presenta la misma disposición que en la raíz (fig. VII-A).

#### Pecíolo.-

La cutícula es delgada y continua, seguida de la epidermis, que se forma de una sola capa de células (monoestratificada). Los tricomas son abundantes, de tipo peltado, y la mayor parte de ellos se localizan en la porción adaxial, tendiendo a captar gran cantidad de partículas. En esta área, entre cutícula y epidermis, se presenta, en forma natural y en toda la periferia del pecíolo, una coloración rojiza clara, y que algunas veces ocupa a las células parenquimáticas periféricas.

El parénquima, tejido que continúa, presenta células globosas y grandes, aumentando la densidad de éstas hacia el xilema, y presentándose algo alargadas en la periferia de la región adaxial. Los cloroplastos se encuentran en mínimas cantidades y se hacen poco visibles (con poco pigmento). Las proyecciones globosas de parénquima, que dan al pecíolo su forma característica, presentan menos densidad, y hacia la región adaxial presentan, cuando el corte se hace muy cercano al tallo, un grupo de esclereidas en cada extremo, en paquetes de 5 a 8 células pequeñas. La disposición del xilema y floema es igual que en la vena central, que se describe más adelante (fig. VI-A).

La lámina foliar se dividió, para su mejor estudio, en mesófilo y vena central.

#### Mesófilo.-

Esta porción de la hoja, en los costados de la vena central, es el área fotosintética más activa. La epidermis adaxial y abaxial están cubiertas por una cutícula del tamaño similar a la capa monoestratificada de la epidermis, y es continua en todo el órgano, a excepción de las áreas con estomas en la epidermis adaxial. Las células epidérmicas son tubulares, excluyendo a las oclusivas de los estomas, que son muy espaciados. Las células epidérmicas de la superficie adaxial son sólo un poco más grandes que las correspondientes en la superficie abaxial. Las células parenquimáticas se encuentran en sus formas de tejido esponjoso y en empalizada (o clorénquima). El parénquima en empalizada forma una doble capa, densa y continua, con células alargadas y con gran cantidad de cloroplastos; este tejido se encuentra hacia la porción adaxial. El parénquima esponjoso, hacia el área abaxi-

al, inmediato a la epidermis, está formado por 4 a 5 capas de células, de forma globosa o poliédrica, continúa, aunque con espacios intercelulares amplios, así como una menor cantidad de cloroplastos (fig. IV-A).

#### Vena Central.-

Presenta una cutícula delgada en sus dos extremos (porción adaxial y abaxial), y al igual que el mesófilo, la epidermis es monoestratificada, con muy pocos estómas. Una gran cantidad de células parenquimáticas poliédricas, de pared delgada, rodean al paquete vascular, que está en el centro. En el parénquima se visualizan cristales, que por su estructura alargada y cilíndrica, pueden ser de Oxalato de Calcio. En cuanto al xilema y floema, están dirigidos, en radios o bandas, hacia la parte adaxial, en donde las células son más grandes, formando una estructura "abanicada". Los vasos y parénquima xilemático presentan células de menor tamaño, en relación a los demás órganos. El floema es uniseriado, con 4 a 6 células cada hilera (fig. V-A).

## LITERATURA CONSULTADA

- 1.- Abd-Elfattah, A. y Wadakaji (1981). "Adsorption of Lead, Copper, Zinc, Cobalt and Cadmium by Soils that differ in Cation Exchange Materials". *Journal of Soil Science*. No. 32. p.271-283.
- 2.- Allinson, D.W. y Dzialo, C. (1981). "The Influence of Lead, Cadmium and Nickel on the Growth of Ryegrass and Oats". *Plant and Soil*. Vol. 62 No. 1. p.81-89.
- 3.- Antonovics, J.; Bradshaw, A.D. y Turner, R.G. (1971). "Heavy Metal Tolerance in Plants". Ed. J.B. Crayg Academic Press, New York & London. Vol 7. p.1-87.
- 4.- Barbosa, C.F. y García, O.J. (1982). "Grado de humificación de los Desechos Sólidos del Ex-Tiradero de Santa Cruz Meyehualco, Delegación Izta-palapa, D.F.". Laboratorio de Edafología de la ENEP-Zaragoza, UNAM. p.1-12.
- 5.- Broger, T.C.; Johnson, C.M. y Paull, R.E. (1972). "Some Aspects of Lead in the Plant Nutrition". *Plant and Soil*. No. 36. p.301-313.
- 6.- Calva, V.G. y Corona, B.C. (1990). "Los Vegetales potencialmente útiles en los registros de los niveles de contaminación en el Distrito Federal". *Tópicos de Investigación y Posgrado, ENEP-Zaragoza, UNAM*. Vol. 1. No. 2. p.51-55.
- 7.- Cantwell, E.J.; Jacobs, E.; Gunz, W. y Liberi, V. (1972). "Control of Particulate Lead emission from Automovils". Cicling and Control of Materials. Ed. Curry and Gigliotti. Cincinnati, OH. USEPA. p.95-107.
- 8.- Carlson, R.W.; Bazzaz, F. y Stukel, J. (1976). "Physiological effects, Wind Reentrainment, and Rainwash of Pb Aerosol Particulate Deposited on Plant Leaves". *Environmental Science Technology*. Vol. 10. No. 12. P. 1139-1142.
- 9.- Castroviejo, S.; Murado, M.A.; Silva, R. y Xordo, R. (1978). "Ecología y Política en España" Ed. H. Blume Ediciones. Madrid, España. p.5-41.
- 10.- Chamberlain, A.C. (1970). "Interception and Reception of Radioactive Aerosols by Vegetation". *Atmospheric Environment*. No. 4 p.57-78.
- 11.- Chamberlain, A.C. (1983). "Follout of Lead and Uptake by Crops". *Atmospheric Environment*. Vol.17. No. 4. p.693-706.

- 12.- Chisolam, J.J. (1971). "Lead Poisoning". Scientific American. Vol.224 p.15-23.
- 13.- Consejo de Recursos Minerales. (1983). "Anuario Estadístico de la Minería 1981". México, D.F.
- 14.- Coutiño, A.M. (1989). "Acumulación y Translocación de Plomo en Vegetales de una Zona Urbana del D.F.". Tesis (Maestra en Ciencias) Fac. de Ciencias UNAM. México, D.F. p.237.
- 15.- Cristian, G.(1971). "Química Analítica". Ed. Limusa, S.A. México.
- 16.- Crum, D.B.P. y Van Rest, D. (1980). "Seasonal Changes in the Lead Content of Pasture grass Growing Near Motorway". Agric. Environment. No. 5. p.213-225.
- 17.- Cutter, G.E. (1969). "Plant Anatomy: Experiment and Interaction". Part 1. Addison-Wesley Publishing Company. E.U. p. 51-69.
- 18.- Czuba, M. y Hutchinson, T.C. (1980). "Copper and Lead in Crops and Soil of the Holland Marsh Area-Ontario". Journal Environ. Qual. Vol.9 No. 4 p.566-574.
- 19.- DETENAL (1984). "Recopilación de Investigaciones en el Ex-Tiradero Santa Cruz Meyehualco". México, D.F. Iztapalapa.
- 20.- Diario Oficial. (1984). "Decretos de la Ley Federal de Protección al Ambiente". Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Viernes 27 de Enero de 1984. p.26-31.
- 21.- Dickson, T.R. (1986). "Química, Enfoque Ecológico". Ed. Limusa, S.A. - México, D.F.
- 22.- Dollard, G.J. y Lepp, N.W. (1980). "Differential Mobility of Lead and Zinc in Phloem tissue of Sycamore (Acer pseudoplatanus L)". Z. Pflanzenphysiolo. Bd. 97s. p.409-415.
- 23.- Donnelly, J.R.; Shane, J.B. y Schaberg, P.G. (1990). "Lead Movility within the Xilem of Read of Read Spruce Seedlings: Impactions for the Development of Pollution Histories". Journal Environ. Qual. Vol. 19 p.268-271.
- 24.- Ernst, W. (1976). "Physiological and Biochemical aspects of Metal Tolerance". A Perspective of Environmental Pollution. Cambridge University Press. p.115-118.
- 25.- Esau, K. (1978). "Anatomía Vegetal". 3ª Edición. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España. pp.779.

- 26.- Fahn, A. (1978). "Anatomía Vegetal". Ed. H. Blume Ediciones. Barcelona España.
- 27.- Foth, H.D. y Turk, L.M. (1980). "Fundamentos de la Ciencia del Suelo". Compañía Editorial Continental S.A. México, D.F.
- 28.- Fuentes, G.V. (1990). "Tendencias de la Distribución de Partículas Suspendidas y el Plomo de la Atmósfera del Valle de México". Memorias del VII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria. Sep. 1990. p.021-24.
- 29.- Garcidueñas, M.R. (1979). "Fisiología Vegetal Aplicada". 2ª Ed. Ed. - Mc Graw Hill. México, D.F. pp. 262.
- 30.- Gaucher, G. (1971). "El Suelo y sus Características Agronómicas". Tratado de Pedología Agrícola. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España.
- 31.- Gavande, A.S. (1979). "Física de Suelos, Principios y Aplicaciones". Ed. Limusa, S.A. México, D.F.
- 32.- Getz, L.L.; Haney, A.W.; Larimore R.W.; McHurney, J.W.; Leland, H.U.; Prince, P.W.; Galfe, G.L.; Wartman, R.L.; Hudson, J.L.; Solomon, R.L. y Reimbald, K.A. (1979). Transport and Distribution in a Water Shed Ecosystem". Lead in Environment. Cap. 6 p. 105-134.
- 33.- Glater, R.A.B. y Hernández Jr. L. (1972). "Lead Detection in Living Plants Tissue using a New Histochemical Method". Journal Air Pollution Cont. Ass. Vol. 22 p.463-467.
- 34.- Godzik, S.; Piorek, S. y Sassen M. (1979). "An Attempt to Determine the tissue Contamination of Quercus robur L. and Pinus silvestris L. Foliage by particulates from Zinc and Lead Smelters". Environment Pollution. Vol. 18. No. 2. p.97-106.
- 35.- González, P. y Esquivel, B. (1981). "Cuantificación de Metales Pesados en Suelos y Plantas del Distrito Federal". Sociedad Química Mexicana. CONAFRUT, México. Vol. 25. No. 4
- 36.- Heliotis, F.D.; Karandinos, M.G. y Whiton, J.C. (1988). "Air Pollution and the Decline of the Fir Forest in Parnis National Park, Near - Athens, Greece". Environment Pollution. No. 54. p.29-40.
- 37.- Holdgate, M.W. (1979). "A Perspective of Environmental Pollution". Pollution and Pollutants. Cap. 2. Cambridge University Press. p.17-43
- 38.- Jáuregui, E. (1989). "Variaciones Espaciales y Temporales de Plomo Atmosférico de la Ciudad de México". Geografía y Desarrollo. Año 3. Vol. 2. No. 4. p.15-21.

- 39.- Jones, L.H.; Jarvis, S.C. y Cowling, D. (1973). "Lead Uptake from Soil by Perennyal ryegrass and Its Relation to the Supply of an Essential - Element (Sulphur)". *Plant and Soil*. No. 38. p.605-619.
- 40.- Lagerwerff, J.V. (1971). "Uptake of Cadmium, Lead and Zinc by Radish - from Soil and Air". *Soil Science*. Vol. 111. No.2. p.129-133.
- 41.- Lagerwerff, J.V. ; Biersdorf, G.T. y Brower, D.L. (1976). "Retention - of Metals in Sewage Sludge.I.: Constituent Heavy Metals". *Journal Environmental Qual.* Vol. 5. No. 1. p.19-22.
- 42.- Leff, E. (1990). "Medio Ambiente y Desarrollo en México". Vol 11. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, UNAM. Ed. - Miguel Angel Porrúa. p. 517-580.
- 43.- Linzon, S.N.; Chai, B.L.; Temple, P.J.; Pearson, R.G. y Smith, M.L. - (1976). "Lead Contamination of Urban Soil and Vegetation by Emissions from Secondary Lead Industries". *J. AMPCA Journal of the Air Poll. Control Ass.* Vol. 26. No. 7. p. 650-654.
- 44.- Little, P. y Wiffen, R.A. (1976). "Emission and Deposition of Petrol - Engine Exhaust Pb. I. Deposition of Exhaust Pb to Plant and Soil Surfaces". *Atmospheric Environment*. Pergamon Press. Great Britain. Vol. 11. p. 437-447.
- 45.- Little, P. y Wiffen, R. (1978). "Emission and Deposition of Lead from Motor Exhaust II. Airborne Concentration, Particle Size and Deposition of Lead Near Motorways". *Atmospheric Environment*. Vol. 12. p. - 1331-1341.
- 46.- López, G.J.; Pereira, M.J. y Rodriguez, A.R. (1980). "Eliminación de - los Residuos Sólidos Urbanos". Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. pp.351.
- 47.- Mahan, B. (1977). "Química". 2ª Edición. Fondo Educativo Interamericano, S.A. México.
- 48.- Malone, C. ; Koeppe, D.E. y Miller, R.J. (1974). "Localization of Lead Accumulated by Corn Plants". *Plant Physiology* No. 53. p.388-394.
- 49.- Mansfield, T.A. y Majernik, O. (1970). "Can Stomata Play a Part in Protecting Plant Orgainst Air Pollutants?". *Environmental Pollution*. Great Britain. Vol.1. p.149-154.
- 50.- Martin, E.S.; Lane, S.D. y O'Neill, P. (1981). "Lead in Horticultural Crops". *Scientific Horticulture*. No. 32 . p.68-77.

- 51.- Matt, K.J.(1972). "Lead Availability Related to Soil Properties and - Extractable Lead". Journal Environ. Qual. New York & London. Vol.1. - No. 3. p.295-298.
- 52.- Memorias del III Curso y Simposio Internacional sobre Biología de la - Contaminación . ENEP-Iztacala, CONACIT, IPN y DDF. Agosto 1985.
- 53.- Miller, J.E.; Hassett, J.J. y Koeppe, D.E. (1977). "Interactions of - Lead and Cadmium on Metal Uptake and Growth of Corn Plants". Journal - Environment Quality. Vol. 6. No. 1. p. 18-20.
- 54.- Mortoja, M. y Mortoja, R. (1980) "La Bioacumulación de los Metales Pe- sados , proceso Fisiológico Normal y Consecuencias de la Contamina- ción ".
- 55.- Motto, H.L.; Daines, R.H.; Chilco, D.M. y Motto, C.K. (1970). "Lead in Soil and Plants: Its Relationship to Traffic Volume and Proximity to - Highways". Environmental Science & Technology. Vol.4. No.3 p.231-237.
- 56.- Naturaleza (1982). "Problemas con el Plomo". 4182. Vol. 4. p.145-148.
- 57.- Rain, D.W. (1975). "Wild Oats as Indicator of Atmospheric Inputs of - Lead to a Rangeland Ecosystems". Journal Environ. Qual. Vol. 4. No. 4. p.532-536.
- 58.- Reddy, C.N. y Patrich, Jr. W.H. (1977). "Effect of Redox Potential and pH on the Uptake of Cadmium and Lead by Rice Plants". Journal Environ. Qual. Vol.6. No. 3. p.259-262.
- 59.- Richardson, M. (1979). "Translocación en las Plantas". Ed. Omega, S.A. Cuadernos de Biología. Barcelona, España. pp.73.
- 60.- Rico, B.M. (1990). "Estimación de la Contaminación Ambiental en Ciudad Nezahualcoyotl, Estado de México". Tópicos de Investigación y Posgrado ENEP-Zaragoza, UNAM. Vol.1. No. 2. p.51-55.
- 61.- Rolfe, G.L. (1973). "Lead Uptake by Select Tree Seedlings". Journal - Environ. Quality. Vol.2. No.1. p.153-157.
- 62.- Sanchez, S.O. (1980). "La Flora del Valle de México". 6ª Edición. Ed. Herrero, S.A. México, D.F.
- 63.- SARH (1977). "Uso Actual del Suelo". Estado de México. México.
- 64.- Sass, J. (1961). "Botanical Microtechnique". 3ª Edición. The Iowa - State University Press., Ames Iowa. pp.221.
- 65.- Smith, H.W. (1976). "Lead Concentration of the Roadside Ecosystem". J. of the Air Pollution Cont. Ass. Vol.26. No. 8. p.753-766.

- 66.- Stoker, H.S. y Seager, S.L. (1981). "Química Ambiental, Contaminación del Aire y Agua". Ed. Blume. Colección Blume Ecología. Barcelona, España. p.297.
- 67.- Szopa, P.S.; Mc.Ginnes, E.A. Jr. y Pierce, J.O. (1973). "Distribution of Lead within the Xilem of Trees Exposed to Air-Borne Lead Componds". Wood Science. Vol.6. No.1. p.72-77.
- 68.- Ter-Haar, G. y Bayard, M. (1971). "Composition of Air Borne Lead Particles". Nature. No. 232. p.553-558.
- 69.- Toledo, V.M. (1983). "La Otra Guerra Florida". Ecologismo y Ecología - Política. Nexos No. p. 15-24.
- 70.- Turk, A.; Turk, J. y Wittes, J.T. (1982). "Ecología, Contaminación Medio Ambiente". Ed. Interamericana. México, D.F. pp. 227.
- 71.- Vitale, L. (1983). "Hacia una Historia del Ambiente en America Latina". Ed. Nueva Imagen y Nueva Sociedad. México, D.F.
- 72.- Wiener, J.G. (1979). "Aerial Inputs of Cd, Co, Pb y Mn into Fresh Water Pond in the Vecinity of Coal-Fired Power Plant". Water, Air and - Soil Pollution. No. 12. p.343-353.
- 73.- Wiles, C.C. (1977). "Effects on Soil and Plants from Aplications of - Composted Municipal Solid Waste a Summary of Selected Research Projets" Management of Gas and Leachate in Landfill. Proceeding of Third Annual Municipal Solid Waste Research Symposium. Cincinnati, Ohio. p.237-258.
- 74.- Wong, M.K.; Chuah, G.K.; Ang, K.P. y Koh, L.L. (1986). "Interactive - effects of Lead, Cadmium and Copper Combinations in the Uptake of Metals and Growth of Brassica chinesis". Environ. and Experimental Botany. Vol. 26. No. 4 p. 331-339.
- 75.- Xingfu Xian (1989). "Response of Kidney Bean to Concentration and Chemical Form of Cadmium, Zinc and Lead in Folluted Soil". Environ. Pollution. No. 57. p.127-137.
- 76.- Zimbhdal, R.L. y Hassett, J.J. (1980). "Lead in Soil". Lead in the - Environment. Cap. 4. N.S.F.R.A. 770214 Washington, D.C. p.93-98.
- 77.- Zimbhdal, R.L. y Koeppe, D.E. (1976). "Uptake by Plants". Lead in the Environment. Cap. 5. N.S.F. /R.A. 770214. Washington, D.C. p.99-104.