



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**MÉTODOS DE SEPARACIÓN PARA EL ANÁLISIS
QUÍMICO Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO:
"CUANTIFICACIÓN DE TRAZAS METÁLICAS (As,
Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn) EN MUESTRAS
DE SUELO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE
ABSORCIÓN ATÓMICA"**

' INFORME DE SERVICIO SOCIAL TITULACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

P R E S E N T A :

GABRIELA URIBE DÍAZ

ASESORA: DRA. ALMA LUISA REVILLA VÁZQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos:

El Informe de Servicio Social-Titulación: Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico: "Cuantificación de Trazas Metálicas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn) en Muestras de Suelo por Espectrofotometría de Absorción Atómica"
que presenta la pasante: Uribe Díaz Gabriela
con número de cuenta: 9655509-2 para obtener el título de :
Química Farmacéutica Bióloga

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 12 de Febrero de 2002.

PRESIDENTE

o. Elia Catalina León Arias

VOCAL

I.Q. Guadalupe Franco Rodriguez

SECRETARIO

Dra. Alma L. Revilla Vázquez

PRIMER SUPLENTE

M.en C.Yolanda Marina Vargas Rodriguez

SEGUNDO SUPLENTE

Dra. Adriana Morales Pérez

A G R A D E C I M I E N T O S

Un agradecimiento muy especial a mi mamá que me apoyo en los momentos más difíciles, por estar siempre conmigo y por ayudarme a vencer cada uno de los obstáculos que se iban presentando.

A mi papá por la confianza que siempre tuvo en mí, por ser tan paciente conmigo y por impulsarme a seguir adelante.

A mis hermanos Ana, Pablo, Irma y Eduardo que han estado siempre a mi lado y en todo momento han sido una gran compañía para mí; y para alguien muy especial mi sobrino Luis que de alguna forma me ha demostrado su apoyo.

Gracias abuelita (☺) por creer en mí, por darme siempre los ánimos que necesite para seguir adelante y por todo el cariño que me brindaste.

Agradezco a mi asesora Alma todo el apoyo, dedicación y confianza que me brindo para la realización de este trabajo, por su amistad y consejos

A la Dra. Raquel por sus conocimientos aportados en este trabajo y gracias por su apoyo y confianza.

A la sección de Química Analítica y al laboratorio de Desarrollo de Métodos Analíticos (L-401), por todo el apoyo brindado para la elaboración de este trabajo.

Al CONACYT por el apoyo otorgado al proyecto J32518-T.

A mis amigas Judit, Pilar, Adriana y Nancy; por los maravillosos momentos que pasamos juntas y por estar a mi lado cuando más necesité de su amistad y apoyo incondicional.

A mis amigos Edgar y Agustín, por la gran amistad que me demostraron, por el tiempo que compartimos juntos y por contar con su ayuda cuando más la necesite.

A Gerardo, Elias, Ricardo, Jorge por contar siempre con su amistad y por compartir grandes momentos que no olvidare.

Un Jardín Lleno de Flores

De Niño soñé en un arco iris de flores,
En un lago que me sirviera de espejo
Y al fondo en mi sueño, alguien con quien compartir
Como lo hago contigo.

De niño soñé atrapar miles de mariposas,
Me doy cuenta que es mejor verlas volar
Y posarse en las rosas.

De niño, dormía mucho,
soñaba mucho, y creía en mí
Hoy también creo en ti.

De niño, temía a la noche y a la lluvia
Ahora me gustan esas horas.
por que me acurruco a tu lado, y calentito sueño contigo.

Hoy ese lago y hoy esas flores
Me llenan de gozo.
Y hoy en tus brazos, yo sueño contigo...

D.R.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
1 Introducción	1
2 Objetivos	3
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.	
1. Generalidades del suelo	5
1.1 Propiedades del suelo	5
1.1.1 pH del suelo	5
1.1.2 Materia orgánica contenida en el suelo	6
1.1.3 Tamaño de partícula	6
1.1.4 Estructura	7
2. Formación del suelo	7
2.1 Trazas de metales en suelos	7
3. Origen de los metales contaminantes en suelos	8
3.1 Deposición atmosférica de metales pesados	8
3.2 Distribución de Arsénico en suelos	9
3.2.1 Deposición atmosférica	9
3.2.2 Adsorción de Arsénico en suelos	10
3.3 Distribución de Cadmio en suelos	10
3.3.1 Deposición atmosférica de Cadmio	10
3.3.2 Adsorción de cadmio en suelos	10
3.3.3 Efectos de pH	10
3.4 Distribución de Cromo en suelos	11
3.4.1 Comportamiento químico en el suelo	11
3.5 Distribución de Cobre en suelos	11
3.6 Distribución de Mercurio en suelos	12
3.6.1 Deposición atmosférica	12
3.6.2 Presencia y volatilización de especies inorgánicas de Hg en suelo	13
3.6.3 Retención de Mercurio en suelo	13

3.7	Distribución de Plomo en suelos	14
3.8	Distribución de Zinc en suelos	14
3.8.1	Adsorción y desorción de Zinc en suelos	15
4.	Toxicidad por metales en el medio ambiente	16
5.	Convertidores catalíticos que contienen platino, paladio y rodio	17
6.	Características generales de los municipios del Estado de México	18
6.1	Municipio de Zumpango	18
6.1.1	Uso del suelo	18
6.2	Municipio de Cuautitlán Izcalli	19
6.2.1	Uso del suelo	20
6.3	Municipio de Tlalnepantla de Baz	20
6.3.1	Uso del suelo	21
6.4	Municipio de Nezahualcóyotl	21
6.4.1	Uso del suelo	22
6.5	Municipio de Lerma	22
6.5.1	Uso del suelo	23
7.	Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS)	24
7.1	Nebulización	25
7.2	Flama	25
7.3	AAS con Horno de Grafito	26
7.4	AAS con Generación de Hidruros	28
7.4.1	Atomización	29
7.4.2	Generación de vapor frío	29
7.4.2.1	Atomización	30

CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

1.	Equipo, Material y Reactivos	31
2.	Procedimiento general de la toma de muestra	32
3.	Pretratamiento de las muestras	33

4. Procedimiento de la digestión ácida de las muestras	33
5. Preparación de las curvas de calibración	34
5.1 Atomización por flama	34
5.2 Horno de grafito	34
5.3 Generación de hidruros	35
6. Determinación de pH en las muestras	37

CAPÍTULO III. RESULTADOS

1. Análisis Estadístico para las Curvas de Calibración	38
1.1 Análisis estadístico para la curva de calibración de Arsénico	38
1.2 Análisis estadístico para la curva de calibración de Cadmio	39
1.3 Análisis estadístico para la curva de calibración de Cromo	41
1.4 Análisis estadístico para la curva de calibración de Cobre	42
1.5 Análisis estadístico para la curva de calibración de Mercurio	43
1.6 Análisis estadístico para la curva de calibración de Plomo	44
1.7 Análisis estadístico para la curva de calibración de Paladio	45
1.8 Análisis estadístico para la curva de calibración de Platino	46
1.9 Análisis estadístico para la curva de calibración de Rodio	47
1.10 Análisis estadístico para la curva de calibración de Zinc	48
2. Análisis Estadístico para los diferentes metales en los Municipios estudiados	50
2.1 Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Zumpango	51
2.2 Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Cuautitlán Izcalli	51
2.3 Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Tlalnepantla	52
2.4 Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Nezahualcóyotl	53

2.5	Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Lerma	54
3.	Discusión y Gráficas de las concentraciones de los metales (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd y Zn) en las muestras de suelo de los diferentes municipios	56
	CONCLUSIONES	67
ANEXO I	Efectos que causan al ser humano por exposición a los niveles tóxicos de los metales	68
ANEXO II	Límites máximos permisibles de metales en suelo	69
ANEXO III	Mapas de los municipios estudiados	70
	BIBLIOGRAFÍA	75

INTRODUCCIÓN

Una parte importante del medio ambiente terrestre es el suelo, que es un material finamente dividido con un área de superficie grande expuesta al aire o agua. La química del suelo es particularmente afectada por los ciclos nutrientes y los factores agronómicos, tales como las interacciones entre la composición de materiales del suelo, tamaño de partícula y textura. El suelo es una parte fundamental en el crecimiento de las plantas y forma las bases principales de la agricultura y la silvicultura, además de que también actúa como un medio para el movimiento del agua.

El suelo es contaminado por metales presentes en el aire en forma de aerosol, con un tamaño de partícula de 5 nm a 20 μm (más frecuentemente entre 0.1 y 10 μm de diámetro) [4], y por aquellos emitidos por actividades antropogénicas. Los metales se acumulan en la capa superficial del suelo y, por tanto, pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas y cultivos.

En el presente trabajo se pretende evaluar la presencia de diez metales en suelos como ensayo para ser estudiado posteriormente con mayor profundidad, por lo que se recolectaron muestras en cinco municipios del Estado de México, estos fueron seleccionados de acuerdo a ciertas características: cercanía al Distrito Federal; zonas urbanas, industriales y agrícolas definidas. De algunos de ellos, se tiene ya conocimiento y reportes de contaminación, como es el caso del municipio de Zumpango donde se ha determinado la presencia de metales (cadmio, plomo, arsénico, mercurio, etc.) [26].

En Cuautitlán Izcalli se cuenta con una red de vialidades y caminos que comunican entre sí las zonas habitacionales e industriales con el corredor urbano y de servicios; el suelo agrícola ha sido el más afectado, debido a que se ha reemplazado por los usos de suelo urbano e industrial.

En Tlalnepantla existen 3,500 establecimientos industriales (productos alimenticios, bebidas y tabaco, productos metálicos y textiles, maquinaria y equipo, derivados del petróleo, cementeras y asbesto) [26] que han quedado integrados a la zona urbana. El sistema vial de este municipio es por demás extenso y posee una alta carga vehicular, tanto pesada como ligera.

El municipio de Nezahualcóyotl está casi totalmente urbanizado con excepción de algunos parques y áreas verdes, los cuales son insuficientes para la población que habita el lugar, y una pequeña área industrial. Una gran densidad vehicular circula por las vialidades del municipio emitiendo una gran cantidad de gases contaminantes lo que origina un aspecto desfavorable en toda la zona urbana y parece ser la causa más grande de la contaminación de este municipio.

En el municipio de Lerma, los cambios del crecimiento demográfico acelerado, el desarrollo industrial y la modificación de patrones de consumo han originado un incremento en la generación de los residuos sólidos contaminando así el suelo.

Para la determinación de la concentración de metales en muestras de suelo, se hace uso de la espectrofotometría de absorción atómica, técnica que además de ser selectiva, es rápida, relativamente económica y que genera resultados confiables.

OBJETIVO GENERAL:

1. Determinar la concentración total de trazas metálicas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn) en muestras de suelo obtenidas de 5 diferentes municipios del Estado de México (Cuautitlán Izcalli, Zumpango, Tlalnepantla, Nezahualcóyotl, y Lerma), por espectrofotometría de absorción atómica para realizar el ensayo en los municipios mencionados.

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Muestrear suelo de diferentes sitios de 5 municipios de la Zona Metropolitana del Valle de México y realizar la cuantificación de trazas metálicas de los metales mencionados.
2. Establecer una metodología analítica que permita realizar la cuantificación de ciertos metales en suelo.
3. Determinar cuál de los metales estudiados representa un mayor peligro a futuro en base a los resultados obtenidos y su toxicidad.

OBJETIVO ACADEMICO

Generar información sobre la presencia de trazas metálicas en muestras de suelo de diferentes zonas de cinco municipios del Estado de México (área metropolitana) a fin de establecer un diagnóstico, crear referencias para determinaciones futuras y que permitan dirigir los esfuerzos para disminuir la contaminación por este tipo de metales.

OBJETIVO SOCIAL

Determinar las concentraciones de contaminantes metálicos en las muestras de suelo, con el fin de divulgar la información a los gobiernos municipales para que se establezcan estrategias que permita la disminución de estos contaminantes en el medio ambiente y se regule más eficientemente las descargas industriales.

GENERALIDADES

DEL

SUELO

1. GENERALIDADES DEL SUELO

Los suelos son cuerpos naturales que se producen por la interacción del clima, la vegetación y la fauna con los materiales geológicos que se encuentran en la superficie terrestre. La edafología es la ciencia que estudia a los suelos como medio de crecimiento de las plantas. Las partículas del suelo están constituidas por sustancias inorgánicas, como silicatos, y sustancias orgánicas. Para que un suelo se considere contaminado tienen que cambiar sus propiedades físicas, químicas y biológicas de tal forma que pierde parte o toda capacidad para cumplir las funciones de su estado natural.

1.1 PROPIEDADES DEL SUELO

1.1.1 pH DEL SUELO

El concepto de pH no es tan preciso en suelo como en soluciones debido a la heterogeneidad de los suelos, la pequeña cantidad de solución presente en los poros del suelo sólido y a la adsorción de protones (H^+) en la superficie sólida. El pH depende de las características de solubilidad de elementos y compuestos diversos además de determinadas reacciones químicas, e influye a su vez la composición química y concentraciones de intercambio de los cationes de la solución del suelo.

El cambio de pH puede afectar la forma y biodisponibilidad de metales en suelo. Los cationes de metales pesados son más móviles bajo condiciones ácidas; generalmente los suelos tienen valores de pH dentro del intervalo de 4-8.5. Los estados del pH normal es 5-7 en suelos de regiones húmedas y pH 7-9 en suelos de regiones áridas. La terminología usada para describir el estado ácido-base de suelos es el siguiente [3] :

pH menor que 4	fuertemente ácido
4-5	moderadamente ácido
5-6	ligeramente ácido
6-8	neutro
8-9	ligeramente alcalino
9-10	moderadamente alcalino
>10	fuertemente alcalino

1.1.2 MATERIA ORGÁNICA CONTENIDA EN EL SUELO

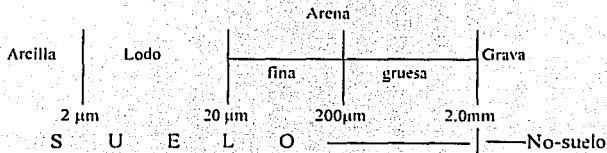
La compleja combinación de varios procesos físicos y químicos (abióticos y bióticos) presentan rocas y residuos orgánicos que producen finalmente material dividido llamado *suelo*, la característica en común de todos los suelos incluye lo siguiente [3]:

- ☒ el suelo es finamente dividido, heterogéneo, de material poroso y hecho en la parte de arriba de mineral y/o materia orgánica.
- ☒ los espacios de poros son llenados con aire y/o agua, dependiendo de las condiciones de humedad y del tipo de suelo.
- ☒ la presencia de organismos vivos.

La materia orgánica presente en el suelo tiene una gran influencia en sus propiedades químicas, y puede ser dividido en sustancias húmicas y no-húmicas. Dentro de las primeras están una serie de ácidos, polielectrólitos coloreados de amarillo o negro, de peso molecular moderadamente alto; las sustancias no húmicas comprenden a los aminoácidos, proteínas, carbohidratos, grasas, ceras, ácidos orgánicos.

1.1.3 TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula del suelo es una propiedad física primaria y su clasificación según la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo es la siguiente [3]:



Por esta convención, el suelo es arbitrariamente definido como material con tamaño de partícula menor que 2.0 mm. Dentro de este material, se presenta la categoría de tres tamaños primarios en orden de tamaño de partícula decreciente, arena, lodo y arcilla.

1.1.4 ESTRUCTURA

La estructura es un término usado para describir la manera en que partículas individuales se agregan para formar unidades mayores. La materia orgánica actúa como un agente aglutinante y juega un importante papel en el desarrollo de la estructura del suelo.

2. FORMACIÓN DEL SUELO

Pedogenesis (formación del suelo), es el proceso por el cual una capa de superficie delgada del suelo se convierte en material rocoso desgastado, que gradualmente incrementa su espesor y se somete a diferenciación para formar un perfil de suelo. Este perfil comprende distintas capas (llamadas horizontes) difiriendo en color y/o textura y estructura, las cuales se forman en el subsuelo por procesos climáticos que actúan bajo la superficie y es la base de la clasificación de suelos. Dentro del perfil del suelo, son establecidos As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn y concentrados en el horizonte de la superficie como un resultado a través del ciclo de vegetación, deposición atmosférica y adsorción en la materia orgánica del suelo. El desgaste, que es la desintegración física y descomposición química de minerales, es un proceso importante en la formación de todo suelo. Variaciones en la susceptibilidad de minerales y en su tamaño de partícula también afecta el desgaste por la acción atmosférica.

2.1 TRAZAS DE METALES EN SUELOS

Elevadas concentraciones de metales pueden ser asociadas con la propia naturaleza, como son los minerales metalíferos depositados en ciertas zonas. Los componentes orgánicos del suelo contienen pequeñas cantidades de algunos metales y ellos además pueden ser derivados de locaciones u origen distante. Un origen adicional, son los metales en la atmósfera, que incluyen también las partículas del suelo (polvo), volcanes, partículas de materia orgánica derivada de áreas forestales y del mar que son movidas por el viento.

3. ORIGEN DE LOS METALES CONTAMINANTES EN SUELOS

Algunos de los orígenes más importantes de los metales contaminantes en suelos son [4]:

- Contaminación atmosférica del motor de los vehículos automotores: El uso de plomo en las gasolinas por varios años, es responsable de la dispersión global de aerosoles de este metal.
- La combustión de combustible fósil: Éste resulta en la dispersión de algunos elementos en el aire sobre un área grande. La disposición de ceniza es un origen adicional de metales pesados.
- Fertilizantes y pesticidas agrícolas: Varios de éstos incluyen fertilizantes fosfáticos, plaguicidas y herbicidas, que contienen varias combinaciones de metales pesados como impurezas o constituyentes activos.
- La disposición urbana e industrial de suelos: Éstos se pueden contaminar de plomo por la deposición de partículas de aerosol emitidas en la incineración de materiales que contienen dicho metal. El descuido de arrojar artículos que contienen metales, baterías de celda seca (cadmio y mercurio) hacia coches abandonados y componentes de coches (baterías ácido-plomo) pueden crear áreas pequeñas de muy alta concentración de metal en suelos.
- Industrias metalúrgicas: contribuyen a la contaminación de suelo de varias formas: (a) con emisiones de humo y polvos conteniendo metales que son transportados en el aire y eventualmente depositados al suelo y vegetación; (b) con efluentes que pueden ser contaminantes de suelos cuando hay desbordamiento de la corriente de agua; (c) descarga de desechos, donde los metales pueden ser filtrados y así contaminar suelos cercanos.

3.1 DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE METALES PESADOS

Los suelos son frecuentemente contaminados por arriba de 100 Km lejos del sitio de emisión; los metales son usualmente presentados en aire como partículas de aerosol con un tamaño de 5nm-20 μm , sólo la mayor parte está entre 0.1 y 10 μm en diámetro [4]. Una alta proporción de metales más recientes en polvo depositado es de origen antropogénico.

Metales en aerosoles pueden ser inhalados en seres humanos y animales, pero su impacto ambiental en términos largos es a través de la deposición bajo la gravedad del derrumbe de la vegetación, suelo, ríos y lagos.

3.2 DISTRIBUCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS

El arsénico (As) en suelo puede originarse por las descargas del desecho industrial o agrícola, irrigación, polvo de la quema de combustible fósil, uso de herbicidas, fungicidas y pesticidas arsenicales: esto puede causar efectos tóxicos hacia plantas o acumulándose en ellas y así entrar a animales y humanos formándose la cadena alimenticia. Varias combinaciones químicas de arsénico son extensamente aplicadas por un largo tiempo como fungicidas, herbicidas e insecticidas que son actualmente usados; así como también aerosol industrial de As, por lo cual se acumula dicho metal en suelo.

3.2.1 DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA

Un gran número de compuestos de Arsénico se presentan en un ciclo geoquímico por medio de flujos que pasan a través de la atmósfera hacia el suelo, como se muestra en la siguiente figura:

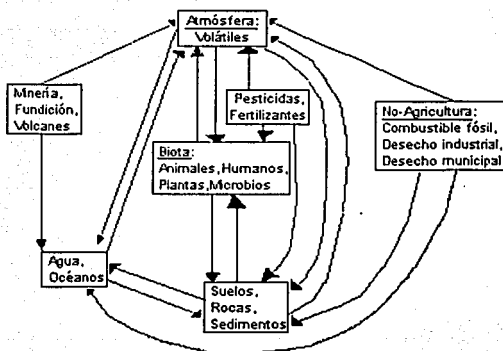


Figura 1. Ciclo de transferencia de Arsénico [5]

3.2.2 ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS

La adsorción y retención de arsénico en suelos controla su persistencia, actividad, movimiento, transformación y efectos ecológicos. Esto se relaciona a su vez con el pH, propiedades químicas y físicas, capacidad de intercambio catiónico de los suelos y a la cantidad de arsénico presente.

El As es fuertemente adsorbido por suelo arcilloso y aumenta con el pH, de 6-8 para arsenito y pH de 4 para arsénico ácido; la cantidad de As adsorbido es afectada a temperaturas por debajo de 50°C y la adsorción de As orgánico es máxima a 40°C [5].

3.3 DISTRIBUCIÓN DE CADMIO EN SUELOS

El periodo medio de cadmio (Cd) en suelos varía entre 15 y 1100 años [2], esto es, por los usos de éste metal, por ejemplo, varilla, aleaciones, en reactores nucleares, soldaduras, en pigmentos (para plásticos, esmaltes y vidriado), en celda seca de Ni-Cd para baterías. El origen de la contaminación de suelos por cadmio es la minería y fundición de éste con zinc; contaminación atmosférica de industrias metalúrgicas.

3.3.1 DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE CADMIO

Las concentraciones de cadmio en aire normalmente son de 1-50 mg/m³, dependiendo en la distancia del origen emitido [2]. El origen mayor de la emisión atmosférica es la producción de metal no ferroso, combustión de combustible fósil y producción de acero.

3.3.2. ADSORCIÓN DE CADMIO EN SUELOS

El equilibrio dinámico entre cadmio en la solución de suelo y el adsorbido en la fase sólida del suelo depende del pH, la naturaleza química de las especies del metal, la estabilidad de complejos de Cd, la fuerza iónica de soluciones y competencia de iones.

3.3.3. EFECTOS DE pH

La adsorción de cadmio en suelos arenosos aumenta con pH arriba de 8. La biodisponibilidad de metales en lodos de suelos durante el periodo residual es sujeto

a variaciones en pH; como la materia orgánica es mineralizada, el suelo es destinado a hacerse más ácido y también disminuye la capacidad de adsorción de Cd de algunos suelos, especialmente los arenosos que tienen bajo contenido de adsorbentes inorgánicos.

3.4 DISTRIBUCIÓN DE CROMO EN SUELOS

Los cromatos son usados en la tintura y pigmentos en la industria, en la producción de celdas eléctricas, imprenta, explosivos, en la industria de goma, cerámicas, pinturas, fotografía. El cromo (Cr) es emitido en las descargas de grandes cantidades de combustible pulverizado, cenizas de este metal, desecho de fundiciones de cromato, asbestos y aerosoles producidos de la catálisis de Cr usada en sistemas de emisión-reducción para el tratamiento exhausto del gas, que pueden tener gran impacto en suelos del lado de la carretera que llevan aproximadamente grandes aumentos de contaminación en suelos.

La reducción química de Cr(VI) a Cr(III) ha sido sugerida como una solución que disminuye la toxicidad y permite la re-vegetación del sitio. La contaminación de suelo por cromo resulta de la disposición de tierra de lodo (conteniendo de 3-6 % de Cr) [2], ocurriendo como productos de ferrocromo y producción de acero-cromo o del uso de materiales fertilizantes que lo contienen.

3.4.1 COMPORTAMIENTO QUÍMICO EN EL SUELO

El Cr puede existir en un número de estados de oxidación pero la mayor parte se encuentra en las formas más comunes y estables de Cr(III) y Cr(VI). Dichas formas tienen claramente propiedades químicas contrastantes: Cr(VI) existe como anión, y es más fácilmente extraído de suelo y partículas de sedimento, además, es considerada la forma más tóxica.

3.5 DISTRIBUCIÓN DE COBRE EN SUELOS

El cobre (Cu) es utilizado como alambre para usos eléctricos, como tubería para construcción y en mezcla con un gran número de metales; estas mezclas incluyen: bronce

(Cu y Zn), bronce (Cu, Zn y Sn), bronce (Cu y Al); plata germánica (Cu, Zn y Ni); y monedas de Níquel (Cu y Ni).

En la mayor parte de suelos agrícolas a pH mayor de 5.5, el Cu está presente en forma de complejo o bien adsorbido. En suelo ácido, el cobre se presenta como Cu^{2+} en equilibrio suelo-cobre y esta solubilidad aumenta con la disminución del valor de pH. El cobre es complejado fuertemente con materia orgánica dando como resultado que la mayor parte de éste se localice en la capa superior del suelo. En la superficie de suelos, la concentración total de cobre en la solución de suelo es normalmente de 0.01-0.6 μM [2], debido a la alta afinidad por sorción de coloides orgánicos e inorgánicos; mientras que el ion Cu^{2+} es el ion dominante en la solución de la fase ácida de suelos. La mayor parte de suelos contienen solo 20-30 mg/Kg total de Cu [2].

3.6 DISTRIBUCIÓN DE MERCURIO EN SUELOS

La fuente original de mercurio (Hg) hacia todos los suelos son los minerales que constituyen las rocas formando el suelo y la superficie de éste. La deposición atmosférica es un origen importante de Hg por la contribución aumentada de actividad antropogénica de dicho metal: fundición de metales no ferrosos, la quema de combustible fósil y actividad industrial (incineración de desechos). En el caso de suelos agrícolas, el uso de fertilizantes (abono, lodo de aguas sucias, fertilizante comercial), cal y fungicidas que contienen Hg pueden algunas veces aumentar sustancialmente la carga de éste metal.

3.6.1 DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA

Algo de mercurio (Hg) presente en suelo puede ser transformado a especies volátiles que son emitidas hacia la atmósfera (Fig. 3), principalmente como $\text{Hg}(0)$ y $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, siendo éste último degradado a Hg^0 en el aire, el cual permanece aproximadamente un año en la atmósfera [2].

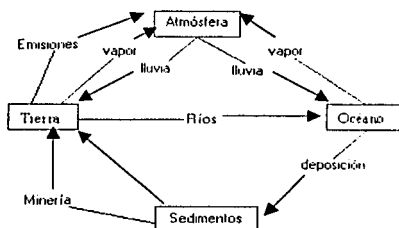


Figura 2. Ciclo del mercurio en el ambiente [2]

3.6.2 PRESENCIA Y VOLATILIZACIÓN DE ESPECIES INORGÁNICAS DE Hg EN SUELO

Dependiendo en las condiciones redox, el mercurio (Hg) puede presentarse en tres diferentes estados de oxidación (Hg_2^{2+} , Hg^{2+} y Hg^0), estos dos últimos son los estados normalmente encontrados en suelo. Para suelos bajos en arcilla y humus, se volatiliza más rápido el Hg en un suelo neutral que en un ácido y en éste, un alto contenido de humus inhibe la volatilización del metal a $1 \mu\text{g/g}$ en la capa superficial [4].

Bajo condiciones naturales, la liberación de Hg^0 y posiblemente otros compuestos volátiles de Hg en suelo son muy significantes en el ciclo de éste. El Hg inorgánico liberado en el ambiente es convertido a compuestos más tóxicos, como el metilmercurio, esto es por la acción de una bacteria anaeróbica; esta transformación ocurre en sedimentos de lodo.

3.6.3 RETENCIÓN DE MERCURIO EN SUELO

La adsorción de Hg depende de la forma química del metal introducido, el tamaño de distribución del grano del suelo, la naturaleza y la cantidad de coloides del suelo inorgánico y orgánico, y el pH del suelo. La retención de Hg en suelo orgánico no es significativamente reducido hasta $\text{pH} < 4$ y en suelo neutral ($\text{pH} > 5.5$) [4] óxidos de hierro y minerales arcillosos participan más eficientemente en la adsorción de Hg^{2+} . La máxima adsorción ocurre alrededor de $\text{pH} = 7$, donde HgOHCl^0 es la especie dominante [4].

También los compuestos organomercúricos, tal como cloruro metilmercúrico y acetato fenilmercúrico son fuertemente adsorbidos en suelos en el rango de pH alrededor de la neutralidad. La mayor parte de especies químicas significantes de mercurio (Hg) participan en el ciclo geoquímico de este elemento y pueden ser clasificadas como [-4]:

Compuestos volátiles:	Hg^0 , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$
Especies reactivas:	Hg^{2+} , HgX_2 , HgX_3^- y HgX_4^{2-} $\text{X} = \text{OH}, \text{Cl}$ y Br ; HgO en partículas de aerosol; Hg^{2+} complejos con ácidos orgánicos
Especies no reactivas:	Metilmercurio (CH_3Hg^+ , CH_3HgCl , CH_3HgOH); $\text{Hg}(\text{CN})_2$; HgS ; Hg^{2-}

3.7 DISTRIBUCIÓN DE PLOMO EN SUELOS

Ordinariamente, el plomo (Pb) es un elemento traza en rocas y suelos (<0.1 % en peso) [4]. Las fuentes de origen de mayor importancia son la minería y actividades de fundición, industria, en la manufactura de tetraetilo de plomo (Pb inorgánico) usado como aditivo antidetonante en el combustible, en construcción, pinturas, en la fabricación de automotores. Además de lodo de aguas sucias usado en agricultura, en donde el Pb permanece en forma insoluble o estable. La contaminación generada del escape de los vehículos ocasiona que el suelo y vegetación que se encuentran cerca de carreteras contengan alto contenido de plomo.

3.8 DISTRIBUCIÓN DE ZINC EN SUELOS

El contenido total de zinc (Zn) en la litosfera es aproximadamente de 80 mg/Kg y el rango común para suelos es 10-300 mg/Kg, conteniendo un promedio de 50 mg/Kg [4]. Su producción se da en la manufactura de baterías de celda seca y en la producción de mezclas, tal como bronce ó latón. Polvos de zinc son agregados a los minerales metalíferos fundidos de Pb.

La actividad del zinc aumenta rápidamente al disminuir el valor de pH y por lo que es raramente encontrado en suelos con valores de pH por debajo de 5.5. La solubilidad de

Zn en suelos es dependiente del pH y aparecen en una mezcla complicada de mecanismos incluyendo co-precipitación con Al^{3+} y complejación con materia orgánica.

La cantidad total de Zn en el suelo se distribuye de las siguientes formas [4]:

- (i) Iones libres (Zn^{2+}) y complejos órgano-zinc en el suelo.
- (ii) Zn adsorbido y cambiante en la fracción coloidal del suelo, compuesto de partículas de arcilla, compuestos húmicos, hidróxidos de Fe y Al.
- (iii) Minerales secundarios y complejos insolubles en la fase sólida del suelo.

3.8.1 ADSORCIÓN Y DESORCIÓN DE ZINC EN SUELOS

El término adsorción es comúnmente usado para el proceso de sorción de elementos químicos de soluciones en partículas de suelo; el término de sorción se refiere a todo fenómeno de sólido-solución límite. La mayor parte importante de los componentes del suelo contribuyen a la adsorción de zinc, como los minerales, arcilla, óxidos de metal hidratado y materia orgánica; éstos constituyen la fase coloidal del suelo. En general, a valores de pH normal del suelo, la superficie de la fase coloidal está negativamente cargada. Los sitios de adsorción cargados negativamente son compensados en cantidades equivalentes de cargas negativas, tal como protones y otros cationes, por ejemplo, Zn^{2+} y, por lo tanto, la adsorción de éste en las partículas del suelo es acompañada en la desorción simultánea de cantidades equivalentes de otros cationes de la fase sólida del suelo. Este proceso es llamado cambio de ion (intercambio iónico) ó adsorción equivalente.

La arcilla y la materia orgánica pueden adsorber zinc completamente y eso ocurre por medio de dos mecanismos diferentes de adsorción: uno es en condiciones ácidas y otro en condiciones alcalinas. Experimentos de adsorción con minerales de arcilla y con materia orgánica muestran que el Zn es más fuertemente adsorbido a valores de pH alcalino. Los suelos que contienen alta cantidad de materia orgánica ó arcilla, tienen mayor capacidad de adsorción de Zn que el suelo arenoso en donde hay menor cantidad de materia orgánica [4].

4. TOXICIDAD POR METALES EN EL MEDIO AMBIENTE

Los metales tienen un efecto tóxico en la salud humana (ver Anexo I), esto es debido a la ruta de entrada de los mismos, la cual es la inhalación de polvo o gas que contienen sustancias peligrosas que están en contacto con la nariz, garganta y pulmones. Este polvo se origina por medio de ciclos biogeoquímicos que siguen los metales en el medio ambiente.

En la siguiente Tabla (1), se observan diferentes emisiones de arsénico (As), mercurio (Hg), zinc (Zn) y cobre (Cu), que siguen un ciclo relacionado a la atmósfera.

Tabla 1. Flujos de arsénico relacionados con el ciclo global del elemento. Todos los flujos se expresan como 10^8 g/año [15].

ELEMENTO	MINERÍA	EMISIONES POLVO	EMISIONES ANTROPOGÉNICAS (EA)	CONTENIDOS NATURALES (EN)	RÍOS
As	460	28	780	2900	3000
Hg	89	0.4	110	410	50
Zn	58000	360	8400	10000	25000
Cu	71000	190	2600	2600	11000

El ciclo biogeoquímico (Fig.4), es un ejemplo que involucra las rutas a seguir de un metal, que en este caso es el arsénico que describe los pasos en cada uno de los ecosistemas, así como los flujos que entre ellos se establecen [15]. En medios reductores (sedimentos), el arseniato es reducido a arsenito y éste mediante metilación y oxidación es transformado en compuestos tales como los ácidos metil y dimetilarsónico, los cuales mediante microorganismos como hongos, bacterias y levaduras los transforman en derivados metilados de la arsina, trimetilarsina o dimetilarsina, que pueden emitirse a la atmósfera.

Existe un elevado flujo de As desde los ríos hacia los océanos como consecuencia de la fuerte erosión y degradación que está sufriendo la superficie continental. Gran cantidad del contaminante se transporta como material en suspensión y una vez alcanzado el océano, se incorporan a los sedimentos oceánicos.

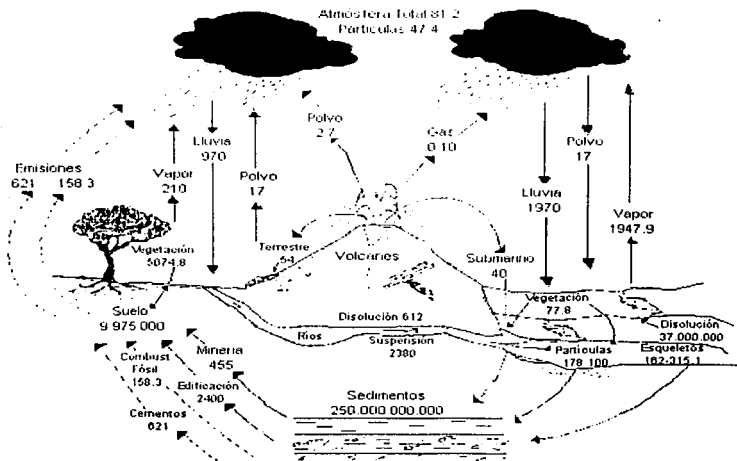
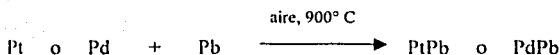


Figura 3. Ciclo global biogeoquímico del arsénico. Las reservas de cada compartimento y los flujos entre los compartimentos se expresan como 10^8 g y 10^8 g/año, respectivamente [15].

5. CONVERTIDORES CATALÍTICOS QUE CONTIENEN PLATINO, PALADIO Y RODIO

Algunos de los catalizadores más utilizados en la industria son los metales platino (Pt), paladio (Pd) y Rodio (Rh). Como la investigación continúa para mejorar la composición catalizadora, el plomo (Pb) presente como un octano, continúa desactivando severamente la mayor parte de todos los materiales catalíticos. El envenenamiento de Pt y Pd por las trazas de Pb (alrededor de 3-4 mg/galón de Pb) [16], es causado por la formación de la siguiente aleación:



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

El convertidor catalítico contiene alrededor de 0.1-0.15 % de metales preciosos (Pt, Pd y Rh). Para la oxidación de éste convertidor de la primera generación (1976-1979), contenía una proporción en peso de Pt a Pd de 2.5:1 y la segunda generación (1979-1986), contenía una proporción en peso de Pt a Rh de 5:1 [16]. Para 1990, el uso de Pd como un reemplazo para Pt y/o Rh tenía que ser deseable porque esto es considerablemente menos costoso que cualquiera de los dos; además el Pd se oxida más fácilmente en el ambiente que el Pt, finalmente se decidió utilizar los tres metales preciosos con un orden de oxidación decreciente de Pd > Rh > Pt [17].

El paladio se encuentra en la superficie del suelo en una concentración alrededor de 0.5 a 30 ppb [11], es de poco riesgo al ambiente y es solo escasamente fitotóxico; el platino se encuentra en la superficie del suelo en un intervalo de concentración de <20 a 75 ppb [11], es un metal que presenta alta fitotoxicidad con especies de Pt⁴⁺ y una menor toxicidad con la especie Pt²⁺; con respecto al rodio, éste presenta una menor fitotoxicidad.

6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MÉXICO

6.1 Municipio de Zumpango

El municipio de Zumpango se ubica al norte de la zona oriente del Estado de México.

6.1.1 Uso del Suelo

La superficie total del municipio es de 244.08346 Km² (dato obtenido del Nomenclátor de Localidades del Estado de México, 1995). La zona urbana tiene una superficie de 1,629 hectáreas, en este espacio se encuentran los siguientes usos del suelo: área urbana (considera suelo para vivienda), reserva para crecimiento urbano. (incluye el área comercial y de servicios). Las áreas verdes representan el 0.2 % del territorio municipal. El uso agrícola cubre un 75.56% de la superficie. El uso industrial se limita a 100 ha y la categoría otros agrupa, panteones, la superficie de la laguna, el tiradero municipal y el suelo erosionado. La distribución territorial y porcentual de los usos de suelo se muestra en el gráfico siguiente [27]:

Usos del suelo en el Municipio de Zumpango

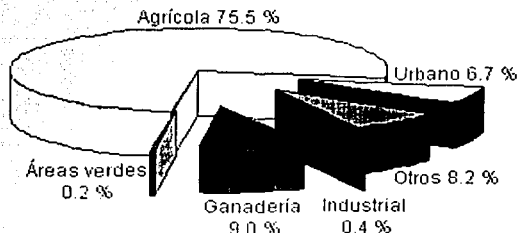


Figura 4. Gráfico de los diferentes usos del suelo en el Municipio de Zumpango.
Fuente: H. Ayuntamiento de Zumpango. Cédula Municipal de Información Ambiental, 1988.

Las zonas industriales han quedado integradas a las áreas urbanas, básicamente dentro de los asentamientos con mayor densidad poblacional. Las descargas provenientes de la industria han incorporado a la laguna de Zumpango gran cantidad de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico, mercurio, etc.), éste cuerpo de agua ha sido saturado por lirio acuático, lo que ha provocado la desecación de la laguna. La contaminación del suelo en los sitios de los tiraderos se debe a la infiltración de lixiviados, los cuales pueden alcanzar los mantos freáticos, contaminando el agua y el suelo.

6.2 Municipio de Cuautitlán Izcalli

El municipio de Cuautitlán Izcalli se ubica al noroeste del Valle de México, el cual ha sido planeado su crecimiento y urbanización. Cuenta con una red de vialidades y caminos que comunica entre sí las zonas habitacionales e industriales con el corredor urbano y de servicios. El río más importante es Cuautitlán y entre los cuerpos de agua se encuentran La Presa de Guadalupe, Presa Ángulo, Espejo de los Lirios, Presa de la Piedad. Finalmente, las principales áreas verdes que se localizan en el municipio son: el Parque de las Esculturas, Espejo de los Lirios y Lago de Guadalupe.

6.2.1 Uso del Suelo

La superficie total del municipio de Cuautitlán Izcalli es de 10,992.4 has. Los usos de suelo son los siguientes: industria 316.37 ha, área urbana 5,196.5 ha, agricultura 2,753.2 ha, pecuario 1,002.3 ha, forestal 451.3 ha, erosión 134.3 ha y otros usos 838.3 ha. [27].

Usos del suelo en el Municipio de Cuautitlán Izcalli

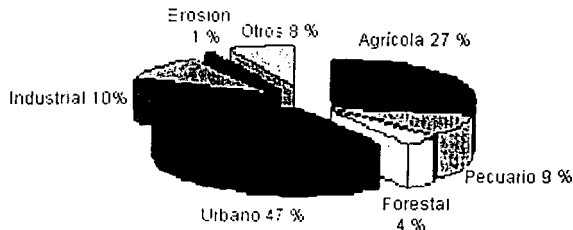


Figura 5. Gráfico de los diferentes usos del suelo en el Municipio de Cuautitlán Izcalli.

El suelo agrícola ha sido el más afectado, debido a que se ha reemplazado por los usos de suelo urbano e industrial. Además, es importante tener en cuenta que estos terrenos son los más aptos para recargar los mantos acuíferos.

6.3 Municipio de Tlalnepantla de Baz

El municipio de Tlalnepantla de Baz se ubica al noreste del estado, junto al límite norte del Distrito Federal.

EDAFOLOGÍA. La distribución de tipos de suelo se sitúa en relación con el tipo de geología, topografía y procesos de transporte: en la zona plana se presenta un tipo de suelo regosol, que son suelos claros y se parecen a las rocas que les dieron origen, acompañados de litosoles y de afloramiento de rocas de tepetate.

Existen 3,500 establecimientos industriales con las siguientes actividades: productos alimenticios, bebidas y tabaco, productos metálicos, productos textiles, maquinaria y equipo, derivados del petróleo, cementeras y asbesto, entre otras.

6.3.1 Uso del suelo

La superficie total del municipio es de 83.47 km², que se distribuyen de la siguiente manera de acuerdo al uso de suelo actual [27]:

Usos del suelo en el Municipio de Tlalnepantla de Baz

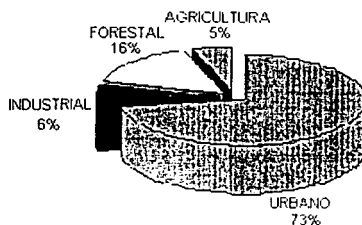


Figura 6. Gráfico de los diferentes usos del suelo en el Municipio de Tlalnepantla de Baz. Fuente: H. Ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz, 1997. IIGCEM, Nomenclátor de localidades del Estado de México, 1995.

La contaminación del aire producida por la industria se incrementa de manera rápida, esto sumado a la contaminación causada por los 49.800 automotores registrados, más los vehículos de otros municipios que circulan sobre las vialidades de Tlalnepantla.

6.4 Municipio de Nezahualcóyotl

El municipio se asienta en la porción oriental del Valle de México, en lo que fuera la planicie lacustre del Lago de Texcoco, y pertenece a la III región económica con sede en Texcoco. Toda la planicie actual ocupada por Nezahualcóyotl se presenta al secarse el lago de Texcoco, el suelo se formó por una sucesión de cubiertas profundas, al punto de que puede estimarse hasta más allá de los 800 metros bajo su nivel actual. Todas estas

profundas oquedades fueron rellenadas paulatinamente por sedimentos y materiales finos arrancados de las montañas del entorno y transportadas por las aguas de escurrimiento; también se fueron rellenando con la gran cantidad de cenizas volcánicas que ahí se depositaron.

EDAFOLOGÍA. El suelo del municipio está compuesto por los sedimentos del ex lago de Texcoco, presenta una capa de color gris o azulosa en la que el agua se estanca. Son suelos salinos con un periodo de inundación estacional.

6.4.1 Uso del suelo

Los usos de suelo están distribuidos de la siguiente manera: Urbano (83.63%), industrial (0.37%) y suelo erosionado (15%) correspondiente al vaso del ex-lago de Texcoco [27].

Usos del suelo en el Municipio de Nezahualcóyotl

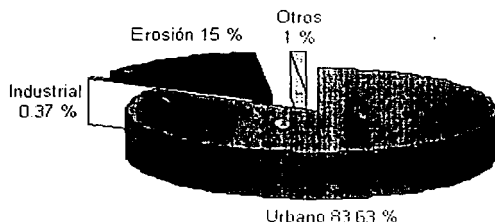


Figura 7. Gráfico de los diferentes usos del suelo en el Municipio de Nezahualcóyotl. FUENTE: Sistema Estatal de Información Ambiental de la Secretaría de Ecología del Estado de México. H. Ayuntamiento de Nezahualcóyotl, 1997.

6.5 Municipio de Lerma

El municipio de Lerma de Villada pertenece a la región I Toluca, éste se ubica al poniente de la Ciudad de México y al oriente de la ciudad de Toluca.

6.5.1 Uso del suelo

✧ **Agrícola.** La agricultura es el principal usuario del suelo en este municipio, ya que el 40.0% de la superficie total se dedica a esta actividad, misma que se divide en dos tipos de sistemas: la agricultura de temporal que en 1990 cubría una superficie de 8,842.7 ha y la de riego utilizaba un total de 302.9 hectáreas.

✧ **Pecuario.** Este tipo de uso de suelo ocupa un total 971.7 ha, cantidad que representa el 4.25% de la superficie municipal. La actividad pecuaria intensiva ocupa 29.9 ha, y corresponde a granjas o establos dedicados a la cría y engorda de ganado. La actividad pecuaria extensiva ocupa 941.8 ha, y corresponde a las zonas donde se desarrolla la vegetación nativa como los pastizales, que permite el libre pastoreo.

✧ **Forestal.** La distribución de las áreas forestales en el municipio está determinada por la orografía, clima y la humedad del suelo. Este uso ocupa una superficie de 5.764 ha, y representa el 25.21% del territorio municipal. Los bosques se distribuyen en una superficie de 5,398.2 ha y la vegetación arbustiva en las 365.8 ha restantes. Con base en información generada en 1986, el área destinada al uso forestal se ha reducido en un 1.64%.

✧ **Cuerpos de agua.** Este municipio cuenta con manantiales, arroyos intermitentes, ríos, corrientes subterráneas, bordos, etc. Estos cuerpos ocupan el 8.41% del territorio municipal, es decir, 1922.8 ha. De acuerdo a la información con la que se cuenta, este espacio ha disminuido significativamente, ya que en 1986 ocupaban 2,253.0 ha.

✧ **Uso Urbano.** El acelerado crecimiento poblacional que sufrió el municipio de Lerma en las últimas décadas genera la ampliación de la superficie de uso urbano. Por ejemplo, en 1986 estaban ocupadas 646.9 ha, y para 1990, los asentamientos humanos ya se tenía cubierta una superficie de 1,054 ha, lo cual representa el 4.44 % de la superficie municipal.

✧ **Uso industrial.** Este tipo de uso del suelo ocupa 503 ha, superficie que representa el 2.22% del territorio municipal. En estos espacios se desarrolla la industria de la transformación, enfocada a las ramas química, metalmecánica, autopartes y electrónica.

◇ **Zonas erosionadas.** La erosión es un efecto producido por el inadecuado uso de tierras en la agricultura y ganadería, la deforestación, los incendios y la contaminación del suelo. En los últimos 4 años la superficie bajo esta condición se han incrementado, se estima que este municipio posee alrededor de 105.8 ha de suelo erosionado, superficie que representa el 0.47% del territorio estatal. Finalmente, el 15 % que complementa la superficie total municipal, se clasifica como otros usos. En la gráfica siguiente se puede apreciar el porcentaje de cada uno de los usos de suelo señalados para este municipio [27]:

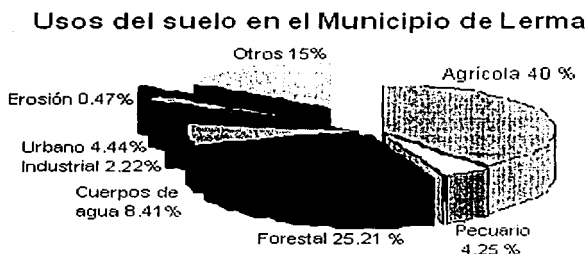


Figura 8. Gráfico de los diferentes usos del suelo en el Municipio de Lerma.

7. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (AAS)

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica aplicada para la determinación de metales pesados. En esta técnica un fino spray del analito es pasado dentro de una flama, frecuentemente óxido nitroso-acetileno, que convierte los elementos a vapor atómico^a; a través de éste vapor la radiación es pasada a la longitud de onda y el átomo es excitado en el primer nivel electrónico. La cantidad de radiación absorbida puede ser medida y directamente afín a la concentración del átomo. La absorción sigue la ley de Beer, es decir, la relación que convierte la intensidad de la luz en concentración.

^a Proceso que se denomina atomización.

La fuente que se emplea es una lámpara de cátodo hueco (Fig.10) que emite longitudes de onda específica (monocromática) [12]. La detección del sistema consiste de un monocromador y un fotomultiplicador. Consta de un cátodo hueco cilíndrico constituido por el elemento que se va a determinar y un ánodo de tungsteno. Estos se encuentran encerrados en un tubo de vidrio con ventana de cuarzo; el tubo se encuentra a presión reducida y está lleno con un gas inerte (argón o neón).

7.1 NEBULIZACIÓN

En el quemador de premezclado (Fig.11), la muestra, el oxidante y el combustible se reúnen antes de su introducción en la flama [12]. La muestra en solución es aspirada hacia el nebulizador por el flujo rápido del oxidante (aire) que pasa sobre la punta del capilar por donde circula la muestra; el líquido se divide en un fino aerosol al salir de la punta del nebulizador. El aerosol se dirige a gran velocidad contra una esfera de vidrio, sobre la cual las gotas se dividen en partículas más pequeñas, proceso que se denomina nebulización.

7.2 FLAMA

Para que se produzca la flama se requiere de la combinación de un combustible y un oxidante, la más usual es la de acetileno-aire. Las gotas que penetran en la flama pierden primero su agua por evaporación y lo que queda de la muestra debe vaporizarse y descomponerse en átomos.

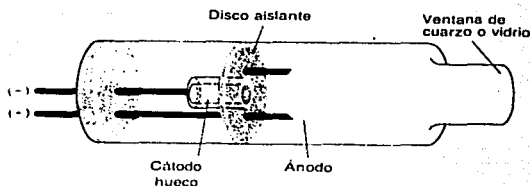


Figura 9. Lámpara de cátodo hueco [12].

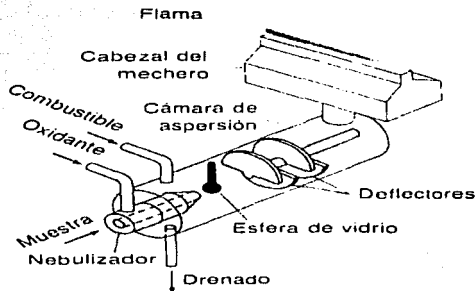


Figura 10. Quemador de premezclado [12].

7.3 ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON HORNO DE GRAFITO

La función del horno de grafito es generar una población de átomos libres en estado basal para que la energía luminosa del haz pueda ser absorbida y medida. Este método presenta mayor sensibilidad porque la muestra completa se confina en el paso de la luz por unos cuantos segundos y se requiere menor volumen de muestra (1 μL y 100 μL) con respecto al método de flama. La muestra está muy diluida después de la nebulización y sólo permanece una fracción de segundo en el paso de la luz mientras va ascendiendo por la flama la cual necesita 1 o 2 ml de muestra. La técnica del horno de grafito consta de cuatro etapas que son las siguientes [15]:

1. Fase de secado: en ella se evapora el disolvente en el que se encuentra contenida la muestra.
2. Fase de calcinación: se eleva la temperatura con el fin de eliminar los residuos de la matriz.
3. Fase de atomización: se producen átomos libres del elemento a determinar.
4. Fase de limpieza: se elimina la muestra sobrante.

La atomización tiene lugar en un tubo cilíndrico de grafito abierto por ambos extremos, tiene un orificio central para la introducción de la muestra mediante un tubo capilar de unos 5 cm de largo y tiene un diámetro interno de 1 cm.

Existen dos conductos con gas inerte, un conducto externo que previene la entrada de aire exterior y la consiguiente incineración del tubo y un conducto interno por el que fluye gas desde los dos extremos del tubo y hacia el orificio central del compartimiento de muestra (Fig.12 (a)). Esta corriente interna no solo elimina el aire sino que sirve para desalojar los vapores que se generan de la matriz de la muestra durante las dos primeras etapas de calentamiento. En la plataforma que se observa en el tubo de grafito (Fig. 12 (b)), la muestra se evapora y calcina.

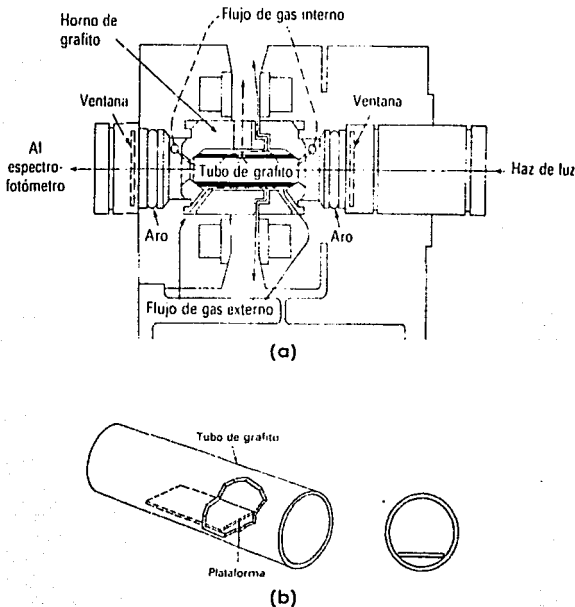
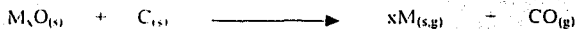


FIGURA 11. (a) Sección transversal de un horno de grafito. (b) La plataforma y su posición en el horno de grafito [13].

El gas inerte que se utiliza para la formación de especies con el carbón del tubo de grafito es el nitrógeno y el proceso de reducción que se lleva a cabo en dicho tubo es el siguiente:



Con la reacción anterior, se demuestra que el carbón actúa como un agente reductor para la formación de átomos del analito en el horno de grafito.

7.4 ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON GENERACIÓN DE HIDRUROS

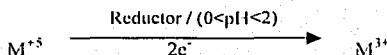
Esta técnica se basa en la formación de hidruros y elementos (en estado basal), fácilmente volátiles a temperatura ambiente, para lo cual las disoluciones acuosas problema se acidifican y se tratan con un agente reductor, con lo que se obtiene el correspondiente hidruro covalente volátil. Este compuesto es arrastrado por un gas inerte (argón o nitrógeno), desde el frasco reactor al interior de los diferentes sistemas de atomización, donde el hidruro se descompone en átomos metálicos gaseosos. Las siguientes etapas se refieren al proceso anterior:

Tratamiento de la muestra: Consiste en una oxidación total del elemento a su máximo estado de oxidación con posterior reducción a su estado de oxidación óptimo para asegurar la formación de los hidruros.

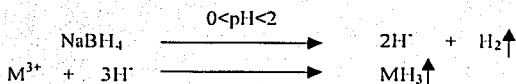
Oxidación: Es necesario tener al analito en su máximo estado de oxidación a partir de cualquier estado en que se encuentre en la muestra, para su posterior reducción al estado óptimo; para llevar a cabo la oxidación se necesita realizar una digestión utilizando ácidos fuertemente oxidantes (HNO_3 o H_2SO_4).



Reducción: El analito es llevado de su máximo estado de oxidación a su estado óptimo de oxidación para la formación de hidruros, para esto se realiza la reducción con un agente reductor y/o el pH del medio de reacción.

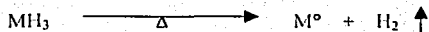


Para el análisis de arsénico se utiliza el agente borohidruro de sodio (NaBH_4) y así obtener la formación de hidruros; el medio de reacción debe ser ácido para que se lleve a cabo la reacción:



7.4.1 ATOMIZACIÓN

Una vez formados los hidruros, estos son arrastrados por un flujo de gas hacia el haz de luz del instrumento el cual pasa a través de la celda de cuarzo que es calentada por la flama para disociar los hidruros y así obtener el metal libre y en estado basal:



7.4.2 GENERACIÓN DE VAPOR FRÍO

El elemento que se puede analizar por esta técnica es el mercurio (Hg), el cual se debe obtener previamente a la formación del vapor atómico en su estado óptimo de oxidación (Hg^{2+}), para esto se requiere de una oxidación y de una estabilización.

Oxidación: La oxidación del Hg se realiza por medio de la digestión de la muestra utilizando ácidos fuertemente oxidantes:

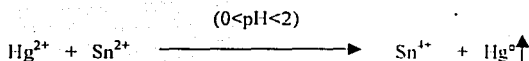


El estado de oxidación 2+ del Hg es el estado óptimo, por lo que no se necesita hacer una reducción previa a la formación del vapor como en la técnica de generación de hidruros antes mencionada.

Estabilización: El Hg es poco estable en condiciones ácidas tal como resulta de la digestión, por lo que es necesario su estabilización mediante la adición de KMnO_4 ó $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a $0 < \text{pH} < 2$.

7.4.2.1 ATOMIZACIÓN

La generación del vapor atómico se lleva a cabo mediante una reacción de reducción del Hg^{2+} en medio ácido dentro del sistema generador. El agente reductor más utilizado por su similitud de la sensibilidad es el cloruro estanoso (SnCl_2):



El mercurio (Hg) tiene una presión de vapor a temperatura ambiente, tal que puede existir en forma libre en estado basal, por este motivo la técnica de vapor frío es aplicada sólo al análisis de Hg. Una vez formado el vapor atómico y ser arrastrado, absorberá el haz de luz sin necesidad de ser calentada la celda, a este proceso se le denomina vapor frío.

DESARROLLO

EXPERIMENTAL

1. EQUIPO, MATERIAL Y REACTIVOS

↳ EQUIPO

- ◇ Espectrofotómetro de Absorción Atómica, modelo Spectra 800, Varian (Australia)
 - * Generador de Hidruros Modelo VGA 77
 - * Horno de Grafito Modelo GTA 100
- ◇ Horno de Microondas Mars 5 con vasos modelo HP-500
- ◇ pHmetro con electrodo de vidrio y electrodo de referencia Modelo MP 230 Mettler Toledo
- ◇ Sistema Millipore para obtener el agua desionizada (10 M Ω Cm), Milli-QTM Water System
- ◇ Balanza analítica Mettler Toledo AB204

↳ MATERIAL

Micropipetas de 5-50, 20-200, 100-1000 μ l y 1-5 ml

Matraces volumétricos de 10, 25, 50 y 100 ml

Pipetas volumétricas de 1, 2, 3, 5 y 10 ml

Probeta graduada de 10 ml

Vasos de precipitado de 50, 100 y 250 ml

Embudo de vidrio

Mortero con pistilo

Agitador Magnético

Barra Magnética

Agitador de vidrio

Papel Whatman 40

Bolsas de polietileno

Frascos de plástico

Papel aluminio

Espátula de porcelana

Piseta

Perilla

☞ REACTIVOS

SnCl_2 Anhidrido. Marca Sigma.

NaBH_4 . Marca Sigma.

NaOH . Marca J. T. Baker.

KI . Marca J. T. Baker.

HNO_3 concentrado (65.6 %). Marca J. T. Baker.

HCl concentrado (37.7 %). Marca J. T. Baker.

Solución amortiguadora de pH 4, 7 y 10.

Agua desionizada con la calidad de 10 M Ω Cm. Millipore.

☞ ESTÁNDARES

Marca Solutions Plus Inc., USA

As (Conc. de 1000.1 ppm)

Cd (Conc. de 998.4 ppm)

Cr (Conc. de 997.9 ppm)

Cu (Conc. de 997.2 ppm)

Hg (Conc. de 997.7 ppm)

Pb (Conc. de 998.1 ppm)

Pd (Conc. de 998.3 ppm)

Pt (Conc. de 998.4 ppm)

Rh (Conc. de 1000 ppm)

Zn (Conc. de 997.0 ppm)

2. PROCEDIMIENTO GENERAL DE LA TOMA DE MUESTRA

Se recolectaron 37 muestras en total de diferentes lugares de los cinco municipios del Estado de México (ver Anexo III). Para el municipio de Zumpango fueron 5 muestras y 8 muestras para cada uno de los otros municipios (Cuautitlán Izcalli, Tlalnepantla, Nezahualcóyotl y Lerma). Estas se tomaron de un volumen representativo del campo o terreno. Un procedimiento general [4] es tomar la muestra con ayuda de una pala a lo largo del camino en zig-zag a través de la profundidad del suelo. Las unidades de muestra son tomadas en un diámetro de 30-40 mm a una profundidad uniforme, usualmen-

te removiendo de 15-20 cm y para suelo húmedo de 0.5-1.0 Kg [4]. Para análisis de trazas de elementos, la muestra se colecta en bolsas de polietileno para minimizar la contaminación de la muestra.

3. PRETRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Las muestras obtenidas de los diferentes municipios se secan en una estufa a 40° C durante 16 horas, enseguida se tritura la muestra seca en un mortero y se tamiza con una malla de 2.0 mm de diámetro. Después se realiza la técnica de cuarteo [22] colocando la muestra en una superficie horizontal, con una pala se divide en cuatro partes iguales trazando dos diámetros perpendiculares; se combina el material de las cuartas partes de las dos diagonales opuestas, se coloca aparte la muestra de las otras dos cuartas partes y se repite este procedimiento hasta obtener una muestra representativa.

4. PROCEDIMIENTO DE LA DIGESTIÓN ÁCIDA DE LAS MUESTRAS

La digestión ácida de muestras de suelo utilizando un horno de microondas es un procedimiento importante para la disolución de metales y eliminación de materia orgánica; para lo cual se pesan 0.5 g de muestra de suelo que se transfieren a un vaso de teflón de 100 ml, se agregan 10 ml de HNO₃ concentrado, se realiza un programa en el horno de microondas que consiste en una rampa de presión de 60 psi de 20 min. al 95 % de potencia del horno y manteniendo otros 20 min. a la misma presión [19]; este procedimiento se lleva a cabo para los metales no volátiles (Cd, Cr, Cu, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn). Para el tratamiento de los metales volátiles (As y Hg), se pesan 0.5 g de muestra de suelo, se transfieren a un vaso de teflón de 100 ml y se agregan 2 ml de HNO₃ concentrado, 6 ml de HCl concentrado y 10 ml de agua desionizada; el programa que se utiliza es potencia-tiempo, en donde se mantiene la muestra durante 1 min. al 15 % de la potencia del horno de microondas, después 4 min. al 40 % y finalmente 10 min. al 50 % de la potencia del horno de microondas [20]. Terminado el programa en el horno de microondas, se dejan las muestras digeridas enfriar a temperatura ambiente, después se filtran con un embudo de vidrio utilizando papel Whatman 40 y se llevan a un volumen final de 50 ml con agua desionizada.

5. PREPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

5.1 ATOMIZACIÓN POR FLAMA

Para analizar los diferentes metales (Cr, Cu, Pb y Zn) en las muestras digeridas por medio del sistema de Atomización por Flama, el blanco utilizado fue agua desionizada.

Tabla 2. Estándares utilizados para las curvas de calibración de Cr, Cu, Pb y Zn.

METAL	ESTANDARES (Concentración ppm)
Cromo	0.065, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5.
Cobre	0.036, 0.12, 0.36, 0.6, 1.2.
Plomo	0.15, 1.2, 3.0, 6.0, 9.0.
Zinc	0.3, 0.9, 1.5, 2.4, 3.0.

La flama utilizada fue aire-acetileno y el flujo seleccionado de estos gases fue aquel en donde se obtuvo una mayor lectura de absorbancia.

Tabla 3. Condiciones de trabajo para las determinaciones mediante la Atomización por Flama.

Parámetro	Longitud de onda (nm)	Ranura	Corriente de la lámpara (mA)
Cobre	324.8	0.5	4
Cromo	357.9	0.2	7
Plomo	217.0	1.0	10
Zinc	213.9	1.0	5

5.2 HORNO DE GRAFITO

En esta técnica se montó y se alineó el dispositivo del horno siguiendo las instrucciones del manual de operación del fabricante.

Para analizar concentraciones mínimas (ppb) de Cd, Pd, Pt y Rh en las muestras de suelo, se utilizó agua desionizada como blanco en el sistema de atomización por Horno de Grafito.

Tabla 4. Estándares utilizados para las curvas de calibración de Cd, Pd, Pt y Rh.

METAL	ESTANDARES (Concentración ppb)
Cadmio	1, 3, 5, 8, 10.
Paladio	4, 8, 12, 20, 40.
Platino	100, 500, 500, 700, 900.
Rodio	4, 12, 20, 32, 40.

Tabla 5. Condiciones de trabajo para las determinaciones mediante el Horno de Grafito.

Parámetro	Longitud de onda (nm)	Ranura	Corriente de la lámpara (mA)
Cadmio	228.8	0.5	4
Paladio	247.6	0.2	5
Platino	265.9	0.2	10
Rodio	328.1	0.2	5

5.3 GENERACIÓN DE HIDRUROS

En esta técnica se utiliza el generador de hidruros, que indica el tipo de solución que debe ser aspirada y el flujo para cada uno de los capilares, es decir, 8 ml para la muestra y 1 ml para el ácido y el reductor.

La determinación de arsénico (As) por espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros es una técnica en donde se tiene que reducir el As^{+5} a As^{-3} por medio del yoduro de potasio, en donde se utiliza el borohidruro de sodio y su liberación instantánea permite recoger en un pequeño volumen, arrastrado por una corriente de gas inerte (argón ó nitrógeno) la totalidad de la arsina en una celda de cuarzo a 1000 °C [15], en donde el hidruro se descompone en átomos metálicos gaseosos.

Las siguientes etapas se refieren al proceso anterior:

Métodos de reducción: El primer agente reductor utilizado para realizar la conversión del elemento en su correspondiente hidruro es del 0.6 % de NaBH_4 en 0.5 % de NaOH [14].

Métodos de atomización: Flama de aire-acetileno, gas inerte (nitrógeno), celda de cuarzo.

Estado de oxidación del arsénico (As): La reducción del As^{5+} a As^{3+} será un paso previo para la formación del hidruro covalente o arsina (H_3As), el compuesto que se utiliza para este paso es el yoduro de potasio (KI) al 1 % y sólo se requiere de 1 ml [14].

Concentración de ácido: Se emplea ácido clorhídrico (HCl) 10 M [14] para la reducción del arsénico (V).

A los estándares de As y al blanco se les agregó 1 ml de KI al 1% y 1 ml de HCl 10 M y se llevaron a un volumen final de 50 ml con agua desionizada. Para analizar As en las muestras, se tomaron 9 ml y se les agregó la misma cantidad de KI y HCl. Para que se lleve a cabo la reducción, se requiere esperar 50 minutos a temperatura ambiente.

Para analizar Hg en las muestras de suelo, se preparó una solución de cloruro estanoso (SnCl_2) al 25 % en HCl al 20 %, el cual tiene la función de ser el agente reductor y el blanco (agua desionizada) en este caso es el ácido.

Tabla 6. Estándares utilizados para las curvas de calibración de As y Hg.

MÉTAL	ESTANDARES (Concentración ppb)
Arsénico (As)	1.5. 3.6. 7.5. 15. 30. 45.
Mercurio (Hg)	1.2. 3. 6. 9. 12.

La siguiente tabla muestra las condiciones de trabajo utilizadas para el análisis de arsénico y mercurio.

Tabla 7. Condiciones de trabajo para las determinaciones por Generación de Hidruros.

Parámetro	Longitud de onda (nm)	Ranura	Corriente de la lámpara (mA)
Arsénico	193.7	0.5	10
Mercurio	253.7	0.5	4

6. DETERMINACIÓN DE pH EN LAS MUESTRAS

La determinación del pH en las muestras de suelo se realizó basándose en el procedimiento establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-25-1984: Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos-Determinación del pH-Método Potenciométrico [21].

Se pesaron 2 gramos de cada muestra de suelo y se agregaron 18 ml de agua destilada, se mezclaron por medio de un agitador magnético durante 10 minutos y se dejaron reposar 30 minutos. El pH metro se calibró con soluciones amortiguadoras de pH=4, pH=7 y pH=10. En cada una de las muestras se sumergieron los electrodos y se realizó la medición del pH.

RESULTADOS

Y

DISCUSIÓN

1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos experimentalmente se utilizó el programa Statgraphics Plus 4.0.

Las ecuaciones obtenidas para cada una de las curvas de calibración de los distintos metales (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn) se muestran a continuación:

El modelo lineal ($y = a + b \cdot x$) describe la relación entre la concentración de cada metal y la absorbancia.

1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE ARSÉNICO

TABLA 8. CURVA DE CALIBRACIÓN DE ARSÉNICO

Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Absorbancia
1.5	0.0078
3.6	0.0214
7.5	0.0457
15	0.1087
30	0.2141
45	0.3143

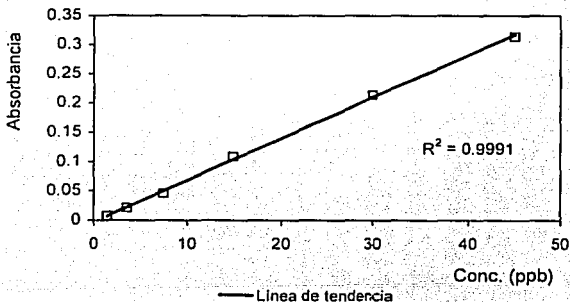


FIGURA 12. Curva de Calibración de Arsénico

La ecuación del modelo ajustado para arsénico (As) es:

$$\text{Absorbancia} = -0.0031815 + 0.00712562 \cdot \text{Conc. ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.9069 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del As.

Tabla 9. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de As.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	-0.00318
Pendiente ($\mu\text{g}/\text{L.})^{-1}$	0.00712
Coef. de correlación (r)	0.99953
Coef. de determinación (r^2)	0.99906

1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE CADMIO

TABLA 10. CURVA DE CALIBRACIÓN DE CADMIO

Conc. ($\mu\text{g}/\text{L.}$)	Absorbancia
1	0.1421
3	0.3136
5	0.4915
8	0.694
10	0.7945

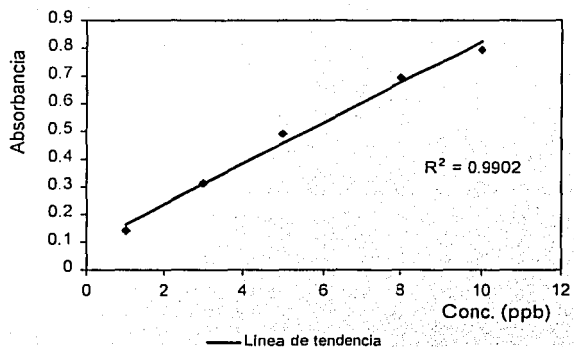


Figura 13. Curva de Calibración de Cadmio

La ecuación del modelo ajustado para cadmio (Cd) es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0928365 + 0.0730192 \cdot \text{Conc. ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.0235 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Cd.

Tabla 11. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Cd.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.09283
Pendiente ($\mu\text{g}/\text{l}.$)	0.07301
Coef. de correlación (r)	0.99510
Coef. de determinación (r^2)	0.99023

1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE CROMO

TABLA 12. CURVA DE CALIBRACIÓN DE CROMO

Conc. (mg/L.)	Absorbancia
0.065	0.0055
0.1	0.0064
0.5	0.0110
1	0.0153
1.5	0.0196

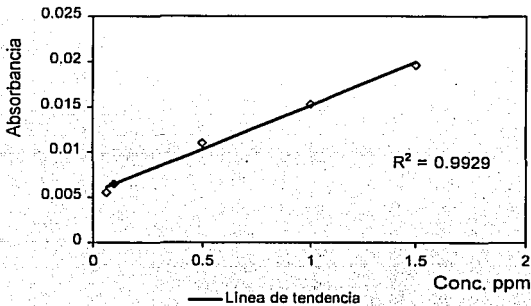


Figura 14. Curva de Calibración de Cromo

La ecuación del modelo ajustado para cromo (Cr) es:

$$\text{Absorbancia} = 0.00543853 + 0.00967057 \cdot \text{Conc. ppm}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.2944 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Cr.

Tabla 13. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Cr.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.00543
Pendiente (mg/L.) ⁻¹	0.00967
Coef. de correlación (r)	0.99646
Coef. de determinación (r ²)	0.99294

1.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE COBRE

TABLA 14. CURVA DE CALIBRACIÓN DE COBRE

Conc. (mg/L)	Absorbancia
0.036	0.0023
0.12	0.0103
0.36	0.0325
0.6	0.0535
1.2	0.1070

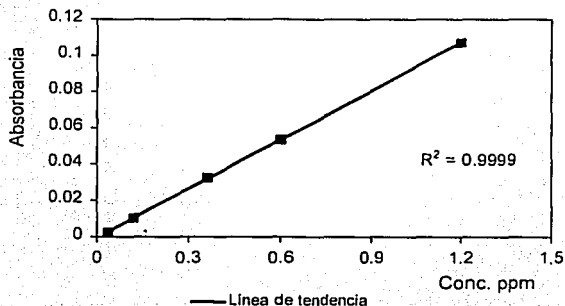


Figura 15. Curva de Calibración de Cobre

La ecuación del modelo ajustado para cromo (Cu) es:

$$\text{Absorbancia} = -0.000439342 + 0.0897222 \cdot \text{Conc. ppm}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.98984 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Cu.

Tabla 15. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Cu.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	-0.00043
Pendiente (mg /L.) ⁻¹	0.08972
Coef. de correlación (r)	0.99994
Coef. de determinación (r ²)	0.99989

1.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE MERCURIO

TABLA 16. CURVA DE CALIBRACIÓN DE MERCURIO

Conc. (µg/L)	Absorbancia
1.2	0.0204
3	0.0358
6	0.0684
9	0.1109
12	0.1410

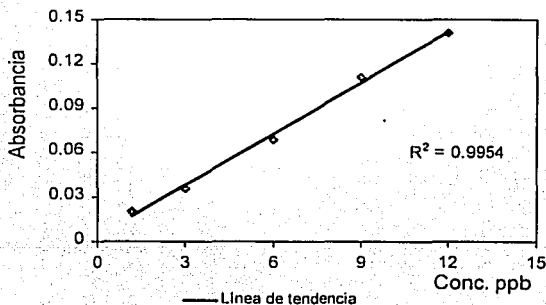


Figura 16. Curva de Calibración de Mercurio

La ecuación del modelo ajustado para mercurio (Hg) es:

$$\text{Absorbancia} = 0.00350976 + 0.0115048 \cdot \text{Conc. ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.5423 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Hg.

Tabla 17. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Hg.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.00350
Pendiente ($\mu\text{g/L}$) ⁻¹	0.01150
Coef. de correlación (r)	0.99770
Coef. de determinación (r ²)	0.99542

1.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE PLOMO

Tabla 18. CURVA DE CALIBRACIÓN DE PLOMO

Conc. (mg/L)	Absorbancia
0.15	0.0022
1.2	0.0223
3	0.0542
6	0.1029
9	0.1460

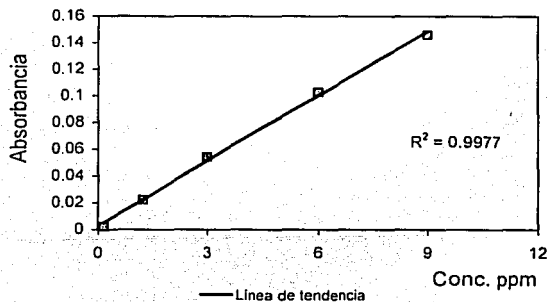


Figura 17. Curva de Calibración de Plomo

La ecuación del modelo ajustado para plomo (Pb) es:

$$\text{Absorbancia} = 0.00271453 + 0.0162288 \cdot \text{Conc. ppm}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.7684 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Pb.

Tabla 19. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Pb.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.00271
Pendiente (mg·L. ⁻¹)	0.01622
Coef. de correlación (r)	0.99884
Coef. de determinación (r ²)	0.99768

1.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE PALADIO

Tabla 20. CURVA DE CALIBRACIÓN DE PALADIO

Conc. (µg/L)	Absorbancia
4	0.0124
8	0.0294
12	0.0453
20	0.0841
40	0.1899

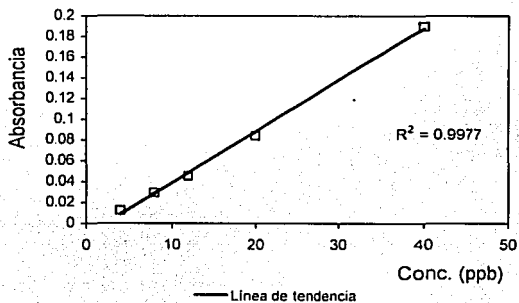


Figura 18. Curva de Calibración de Paladio

La ecuación del modelo ajustado para paladio (Pd) es:

$$\text{Absorbancia} = -0.0112823 + 0.00497037 \cdot \text{Conc. ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.7691 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Pd.

Tabla 21. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Pd.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	-0.01128
Pendiente ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	0.00497
Coef. de correlación (r)	0.99884
Coef. de determinación (r^2)	0.99769

1.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE PLATINO

TABLA 22. CURVA DE CALIBRACIÓN DE PLATINO

Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Absorbancia
100	0.0581
300	0.2136
500	0.3561
700	0.4869
900	0.6088

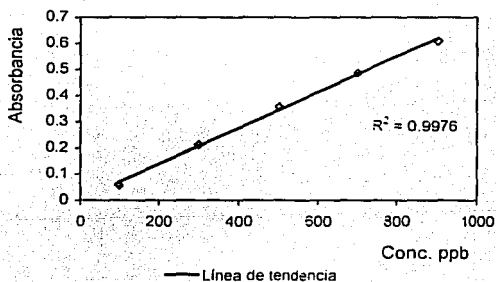


Figura 19. Curva de Calibración de Platino

La ecuación del modelo ajustado para platino (Pt) es:

$$\text{Absorbancia} = 0.001025 + 0.00068735 \cdot \text{Conc. ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.7644 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Pt.

Tabla 23. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Pt.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.00102
Pendiente ($\mu\text{g/L}$) ⁻¹	0.00068
Coef. de correlación (r)	0.99882
Coef. de determinación (r ²)	0.99764

1.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE RODIO

TABLA 24. CURVA DE CALIBRACIÓN DE RODIO

Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Absorbancia
4	0.0126
12	0.0446
20	0.0808
32	0.1411
40	0.1722

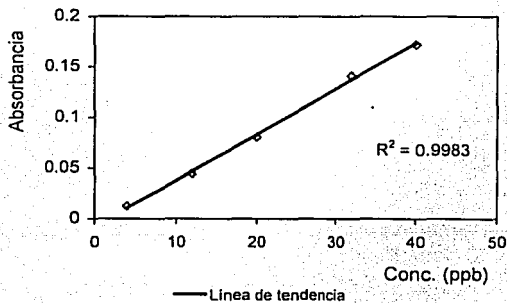


Figura 20. Curva de Calibración de Rodio

La ecuación del modelo ajustado para rodio (Rh) es:

$$\text{Absorbancia} = -0.00760789 + 0.00453092 \cdot \text{Conc. ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.8299 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Rh.

Tabla 25. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Rh.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	-0.00760
Pendiente ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	0.00453
Coef. de correlación (r)	0.99914
Coef. de determinación (r^2)	0.99829

1.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE ZINC

TABLA 26. CURVA DE CALIBRACIÓN DE ZINC

Conc. (mg/L)	Absorbancia
0.3	0.0943
0.9	0.2683
1.5	0.4226
2.4	0.6149
3	0.7163

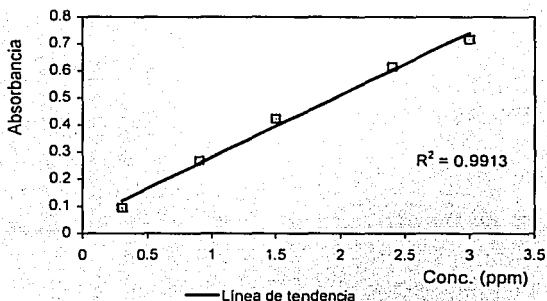


Figura 21. Curva de Calibración de Zinc

La ecuación del modelo ajustado para zinc (Zn) es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0511835 + 0.229689 \cdot \text{Conc. ppm}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.1269 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Zn.

Tabla 27. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Zn.

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.05118
Pendiente (mg /l.) ⁻¹	0.22968
Coef. de correlación (r)	0.99562
Coef. de determinación (r ²)	0.99126

Tabla 28. Datos obtenidos experimentalmente en las muestras de suelo.

Z= Zumpango, C.I.=Cuautitlán Izcalli, T=Tlalnepantla, N=Nezahualcóyotl, L=Lerma.

Municipio	Muestra	pH	M E T A L E S							
			As (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Hg (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Pd (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
Z	Urbana	8.69	2.20	0.33	7.50	20.40	0.40	62	2.21	44.10
Z	Agrícola	9.11	3.32	0.18	6.80	75.50	0.24	54	1.02	404.85
Z	Agrícola	7.84	2.27	0.19	8.70	19.80	0.58	35	0.73	40.21
Z	Urbana	7.48	1.73	0.15	6.50	12.50	0.35	43	0.41	39.64
Z	Urbana	5.10	4.19	3.33	28.20	122.0	1.11	48	0.23	243.51
C.I.	Industrial	8.07	2.54	0.84	10.30	44.50	0.32	189	0.26	540.27
C.I.	Agrícola	8.48	4.81	0.21	7.20	86.80	0.16	40	0.49	46.25
C.I.	Industrial	8.47	2.68	1.43	11.70	35.20	0.24	97	0.24	145.48
C.I.	Urbana	8.29	5.13	1.33	31.10	29.30	0.13	330	0.52	110.98
C.I.	Urbana	7.54	5.89	0.44	10.30	16.70	0.17	36	0.57	44.65
C.I.	Urbana	7.45	1.90	0.18	8.10	12.30	0.23	36	0.28	38.33
C.I.	Agrícola	7.77	3.91	0.07	6.0	7.50	0.16	17	0.20	20.54
C.I.	Urbana	7.77	3.24	1.82	13.10	94.70	1.15	73	0.23	473.10

Tabla 28. Continuación . . .

Municipio	Muestra	pH	M E T A L E S							
			As (mg Kg)	Cd (mg Kg)	Cr (mg Kg)	Cu (mg Kg)	Hg (mg Kg)	Pb (mg Kg)	Pd (mg Kg)	Zn (mg/Kg)
T	Industrial	8.03	7.51	1.64	15.20	186.50	0.15	259	0.81	462.37
T	Urbana	8.08	5.26	4.15	63.10	71.70	0.85	135	0.44	434.42
T	Urbana	9.45	3.55	0.45	11.50	33.90	0.14	73	0.54	128.79
T	Urbana	8.72	2.17	1.01	10.60	48.0	0.33	127	0.47	289.10
T	Urbana	8.50	1.58	0.74	10.90	31.40	0.25	123	0.39	153.23
T	Industrial	8.32	4.52	1.58	9.80	50.90	0.17	154	0.12	551.20
T	Urbana	8.21	5.20	1.18	14.10	75.90	0.28	97	0.10	191.43
T	Industrial	8.73	1.76	1.52	10.0	69.80	0.65	181	0.14	518.37
N	Urbana	8.83	4.50	0.68	6.50	35.70	0.28	83	0	165.77
N	Urbana	8.02	3.60	2.54	7.60	116.80	0.87	247	0.10	317.23
N	Urbana	8.30	3.16	0.12	9.60	12.80	0.41	27	0.38	43.43
N	Urbana	10.57	6.87	0.20	9.70	11.50	0.34	28	0	28.77
N	Urbana	8.72	3.41	3.13	12.20	119.0	0.65	90	0.12	156.38
N	Urbana	9.83	3.56	0.32	9.50	20.80	0.13	58	0.04	70.49
N	Urbana	8.23	2.13	0.42	11.70	19.30	0.21	118	0.14	106.05
N	Industrial	10.52	5.03	0.52	15.90	22.80	0.47	58	0.41	54.02
L	Urbana	8.66	6.23	0.79	11.50	60.50	0.27	161	0.42	493.90
L	Urbana	7.77	3.81	0.57	8.60	49.30	0.13	77	0.41	137.82
L	Urbana	8.27	5.06	0.14	9.30	18.20	0.23	38	0.43	62.69
L	Urbana	7.07	3.14	7.65	33.30	81.40	0.86	99	0.40	323.08
L	Industrial	7.73	2.83	0.68	6.50	12.10	0.13	36	0.45	54.49
L	Industrial	7.68	4.87	2.19	14.80	83.80	0.23	1157	0.48	474.37
L	Agrícola	7.49	3.28	0.23	5.10	11.60	1.12	37	0.42	44.66
L	Agrícola	7.46	0.81	2.64	38.90	343.30	1.18	150	0.41	1619.58

2. Se realizó un análisis estadístico para cada uno de los metales (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd y Zinc) en relación a las muestras de suelo (zonas urbana, agrícola e industrial) de los diferentes municipios. Con respecto a platino (Pt) y rodio (Rh), estos se encontraron en dichas muestras por debajo de la mínima concentración de las curvas de calibración de 100 ppb y 4 ppb respectivamente.

2.1 Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Zumpango.

$H_0 : \mu_{\text{agrícola}} = \mu_{\text{urbana}}$ para aceptar $H_0 P > 0.05$

$H_a : \text{al menos un par de medias es diferente}$ para aceptar H_0

Tabla 29. Análisis de varianza de una vía o completamente al azar.

METAL.	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre Grupos	0.009	1	0.009	0.01	0.937
	Dentro de Gpos.	3.955	3	1.318		
Cadmio	Entre Grupos	1.416	1	1.416	0.66	0.474
	Dentro de Gpos.	6.396	3	2.132		
Cobre	Entre Grupos	19.04	1	19.04	0.01	0.941
	Dentro de Gpos.	9009.6	3	3003.2		
Cromo	Entre Grupos	47.88	1	47.88	0.48	0.539
	Dentro de Gpos.	301.93	3	100.64		
Mercurio	Entre Grupos	216.7	1	216.7	0.63	0.485
	Dentro de Gpos.	1033.6	3	344.53		
Plomo	Entre Grupos	50.7	1	50.7	0.41	0.569
	Dentro de Gpos.	374.5	3	124.83		
Paladio	Entre Grupos	0.007	1	0.007	0.01	0.931
	Dentro de Gpos.	2.446	3	0.8153		
Zinc	Entre Grupos	1544	1	1544	0.50	0.532
	Dentro de Gpos.	9359	3	3119		

Se acepta H_0 debido a que el valor de $P > 0.05$ y no hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en el 95 % del nivel de confianza.

2.2 Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Cuautitlán Izcalli.

$H_0 : \mu_{\text{agrícola}} = \mu_{\text{industrial}} = \mu_{\text{urbana}}$ para aceptar $H_0 P > 0.05$

$H_a : \text{al menos un par de medias es diferente}$ para aceptar H_0

Tabla 30. Análisis de varianza de una vía o completamente al azar.

METAL	FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre Grupos	3.678	2	1.839	0.90	0.464
	Dentro de Gpos.	10.259	5	2.0518		
Cadmio	Entre Grupos	1.176	2	0.588	1.51	0.307
	Dentro de Gpos.	1.9494	5	0.3898		
Cromo	Entre Grupos	113.2	2	56.60	0.85	0.480
	Dentro de Gpos.	332.53	5	66.506		
Cobre	Entre Grupos	108.4	2	54.20	0.04	0.965
	Dentro de Gpos.	7592	5	1518.4		
Mercurio	Entre Grupos	0.094	2	0.047	0.33	0.732
	Dentro de Gpos.	0.7121	5	0.1424		
Plomo	Entre Grupos	1528	2	764	0.59	0.589
	Dentro de Gpos.	64911	5	12982		
Paladio	Entre Grupos	0.029	2	0.014	0.57	0.599
	Dentro de Gpos.	0.1316	5	0.0263		
Zinc	Entre Grupos	9669	2	4834	1.17	0.383
	Dentro de Gpos.	20662	5	41324		

Se acepta H_0 debido a que el valor de $P > 0.05$ y no hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en el 95 % del nivel de confianza.

2.3 Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Tlalnepantla

H_0 : $\mu_{\text{industrial}} = \mu_{\text{urbana}}$ para aceptar H_0 $P > 0.05$

H_a : al menos un par de medias es diferente para aceptar H_0

Tabla 31. Análisis de varianza de una vía o completamente al azar.

METAL.	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre Grupos	2.015	1	2.015	0.44	0.532
	Dentro de Gpos.	27.955	6	4.6593		
Cadmio	Entre Grupos	0.010	1	0.010	0.01	0.936
	Dentro de Gpos.	9.0375	6	1.5062		
Cromo	Entre Grupos	201.7	1	201.7	0.57	0.479
	Dentro de Gpos.	2133.7	6	355.63		
Cobre	Entre Grupos	4842	1	4842	2.32	0.178
	Dentro de Gpos.	12547	6	2091.2		
Mercurio	Entre Grupos	0.003	1	0.003	0.05	0.838
	Dentro de Gpos.	0.4659	6	0.0776		
Plomo	Entre Grupos	1419	1	1419	9.95	0.019
	Dentro de Gpos.	8562	6	1427		
Paladio	Entre Grupos	0.001	1	0.001	0.03	0.877
	Dentro de Gpos.	0.4256	6	0.0709		
Zinc	Entre Grupos	1379	1	1379	12.45	0.012
	Dentro de Gpos.	66498	6	11083		

Se acepta H_0 para arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio y paladio, debido a que el valor de $P > 0.05$ y no hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en el 95 % del nivel de confianza.

Se rechaza H_0 para plomo y zinc debido a que el valor de $P < 0.05$ y hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en el 95 % del nivel de confianza.

2.4 Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Nezahualcóyotl

H_0 : $\mu_{\text{industrial}} = \mu_{\text{urbana}}$ para aceptar H_0 $P > 0.05$

H_a : al menos un par de medias es diferente. para aceptar H_0

Tabla 32. Análisis de varianza de una vía o completamente al azar.

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre Grupos	1.142	1	1.142	0.52	0.499
	Dentro de Grupos	13.288	6	2.2147		
Cadmio	Entre Grupos	0.254	1	0.254	0.17	0.697
	Dentro de Grupos	9.1764	6	1.5294		
Cromo	Entre Grupos	35.36	1	35.36	8.56	0.026
	Dentro de Grupos	24.777	6	4.1295		
Cobre	Entre Grupos	555	1	555	0.24	0.643
	Dentro de Grupos	14060	6	2343.4		
Mercurio	Entre Grupos	0.002	1	0.002	0.04	0.845
	Dentro de Grupos	0.4151	6	0.0691		
Plomo	Entre Grupos	1071	1	1071	0.19	0.679
	Dentro de Grupos	34256	6	5709.3		
Paladio	Entre Grupos	0.079	1	0.079	4.52	0.077
	Dentro de Grupos	0.1055	6	0.0175		
Zinc	Entre Grupos	4644	1	4644	0.47	0.517
	Dentro de Grupos	58819	6	9803.1		

Se acepta H_0 para arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc debido a que el valor de $P > 0.05$ y no hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en el 95 % del nivel de confianza.

Se rechaza H_0 para cromo y paladio debido a que el valor de $P < 0.05$ y hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en el 95 % del nivel de confianza.

2.5 Análisis estadístico para los diferentes metales en el Municipio de Lerma

$H_0 : \mu_{\text{agrícola}} = \mu_{\text{industrial}} = \mu_{\text{urbana}}$ para aceptar $H_0 P > 0.05$

$H_a : \text{al menos un par de medias es diferente}$ para aceptar $H_0 P$

Tabla 33. Análisis de varianza de una vía o completamente al azar.

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre Grupos	9.220	2	4.610	2.32	0.194
	Dentro de Grupos	9.9494	5	1.9898		
Cadmio	Entre Grupos	5.752	2	2.876	0.38	0.705
	Dentro de Grupos	38.325	5	7.6650		
Cromo	Entre Grupos	142.8	2	71.40	0.35	0.718
	Dentro de Grupos	1011.2	5	202.25		
Cobre	Entre Grupos	2407	2	1203	1.01	0.428
	Dentro de Grupos	5964.6	5	11929		
Mercurio	Entre Grupos	1.106	2	0.553	7.96	0.027
	Dentro de Grupos	0.3473	5	0.0694		
Plomo	Entre Grupos	1030	2	5151	0.28	0.766
	Dentro de Grupos	91887	5	18377		
Paladio	Entre Grupos	0.001	2	0.0005	0.68	0.549
	Dentro de Grupos	0.0037	5	0.0007		
Zinc	Entre Grupos	2526	2	1263	0.29	0.758
	Dentro de Grupos	21594	5	43187		

Se acepta H_0 para arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, paladio y zinc debido a que el valor de $P > 0.05$ y no hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en el 95 % del nivel de confianza.

Se rechaza H_0 para mercurio debido a que el valor de $P < 0.05$ y hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en el 95 % del nivel de confianza.

3. Discusión y Gráficas de las concentraciones de los metales (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd y Zn) en las muestras de suelo de los diferentes Municipios

En el municipio de Zumpango la zona más contaminada fue la agrícola (ag1), en la cual se rebasó el límite máximo permisible de arsénico, cromo, cobre, plomo y zinc (Gráficas 1, 3, 4, 6, 8), esta muestra se tomó en la orilla de la carretera cercana a la Laguna de Zumpango en donde existen descargas provenientes de las industrias, además en esta zona circula una gran cantidad de vehículos según se pudo apreciar durante el muestreo.

Con respecto a las zonas urbanas, la zona u3 rebasó el límite máximo permisible de arsénico, cromo, cobre y plomo (Gráficas 1, 3, 4, 6), esto puede ser porque la muestra fue tomada cerca del río Las Avenidas en donde el agua presenta un color negro y de aspecto aceitoso por la acumulación de desechos industriales.

Cuautitlán Izcalli se caracteriza por ser un municipio en donde se comunican entre sí las zonas urbanas e industriales contaminando así los suelos por los desechos de esta última. Las zonas urbanas rebasaron el límite máximo permisible de arsénico, cadmio, cromo (Gráficas 1, 2, 3) y únicamente la zona u4 rebasó el límite máximo permisible de cobre y zinc (Gráficas 4, 8), esta muestra se tomó a la orilla de la Presa Ángulo en donde el agua presentaba un olor desagradable y a los alrededores se encontraban residuos de animales muertos. En la zona agrícola (ag:1 muestra tomada de la carretera cercana al río Cuautitlán) se rebasó el límite máximo permisible de cobre (Gráfica 4). Las zonas industriales rebasaron el límite máximo permisible de arsénico, cadmio, cromo; solo la zona in1 (muestra que se tomó a la orilla de la empresa Ford) rebasó el límite máximo permisible de cobre y zinc (Gráficas 4, 8).

En las zonas industriales y urbanas del municipio de Tlalnepantla se rebasó el límite máximo permisible de cromo, cobre y plomo (Gráficas 3, 4, 6), esto puede ser por los 3,500 establecimientos industriales existentes y a la contaminación causada por más de 49,800 vehículos que circulan en este municipio. Para las zonas industriales se rebasó el límite máximo permisible de arsénico, cadmio y zinc, muestras que se tomaron en la lateral a la autopista Ceylan y en la avenida Río Lerma a la orilla de las vías del tren.

En las zonas urbanas se rebasó el límite máximo permisible de arsénico y cadmio, en la zona u1 solo fue el zinc; esta contaminación puede ser originada por los ríos del Fraccionamiento San Rafael y San Bartolo Tenayuca que presentan un olor desagradable y una coloración café por recibir las descargas de los desechos industriales.

En el municipio de Nezahualcóyotl todas las zonas rebasaron el límite máximo permisible de arsénico y cromo (Gráficas 1, 3). Los vehículos que circulan por las vialidades de la zona urbana emiten una gran cantidad de gases contaminando los suelos; además de los cuerpos de agua presentes en este municipio que contienen desechos industriales como el río de los Remedios y el Canal de la Compañía (agua de color negro con olor desagradable), por lo que se rebasó el límite máximo permisible de cadmio, cobre, plomo (Gráficas 2, 4, 6) y solamente zinc en la zona u2. En la zona industrial se rebasó el límite máximo permisible de plomo (Gráfica 6).

En el municipio de Lerma, todas las zonas rebasaron el límite máximo permisible de arsénico y cromo (Gráficas 1,3). En las zonas urbanas se observa que se rebasó el límite máximo permisible de cobre, plomo y zinc debido a que las muestras fueron tomadas en la autopista que se dirige al Río Lerma y se presenta una circulación de vehículos acelerada. La zona industrial (in2) rebasó el límite máximo permisible de cadmio, cobre, plomo y zinc; esta contaminación se debe al desagüe del drenaje, emisión de gases, humos y polvos

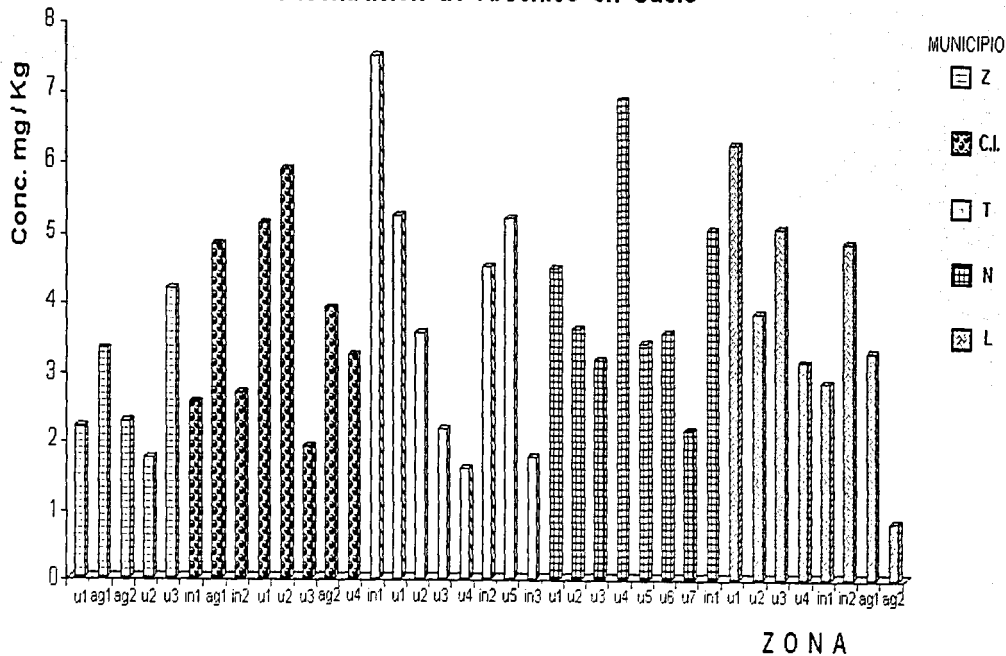
de las fábricas. Para la zona agrícola (ag2) se rebasó el límite máximo permisible de cadmio, cobre, plomo y zinc; esta muestra se tomó en un área de cultivo cercana al Río Lerma que presentaba una coloración negra.

En los cinco municipios mencionados se presentaron mínimas concentraciones de paladio y mercurio, esto es porque éste último solo se deposita en suelos si proviene de desechos industriales o fertilizantes y además se volatiliza más rápido en suelos neutrales que ácidos. Con respecto al paladio, se encuentra presente en los convertidores catalíticos pero en una mínima proporción y en aleación con el plomo, por lo que en suelos puede existir en una concentración alrededor de 0.0005 mg/Kg.

De los diferentes municipios estudiados, el que se encuentra más contaminado es el de Tlalnepantla porque se observa que las zonas urbanas e industriales rebasaron los límites máximos permisibles de varios metales: arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo y zinc. El municipio menos contaminado en comparación con los demás es el de Zumpango por presentar solo arsénico, cromo, cobre y plomo en las zonas urbanas y agrícolas; la diferencia de los municipios antes mencionados es porque en el primero existe un acelerado tránsito vehicular y una gran cantidad de industrias, en el segundo la contaminación es ocasionada básicamente por las descargas de los desechos industriales que se incorporan a la Laguna de Zumpango.

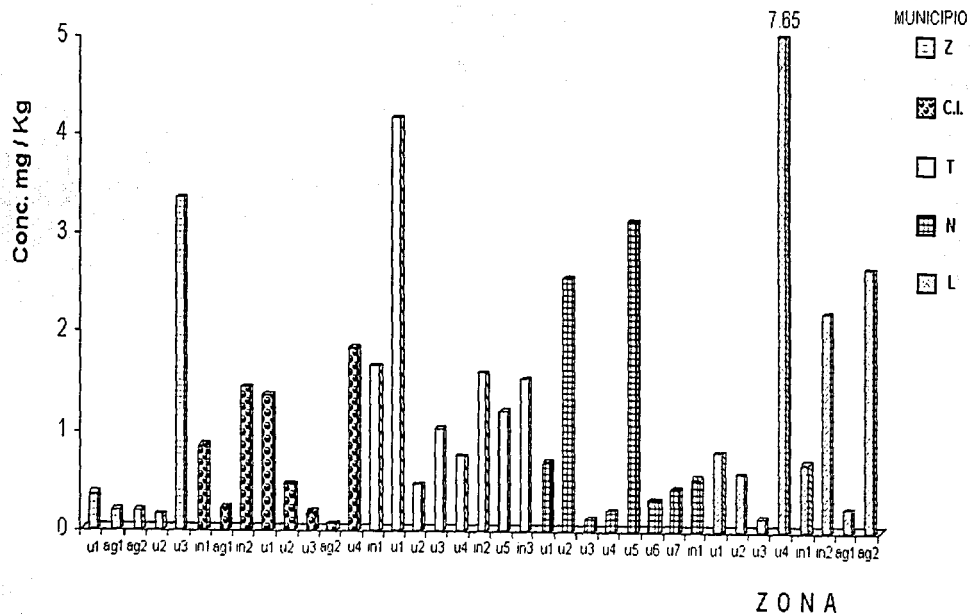
TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

Concentración de Arsénico en Suelo



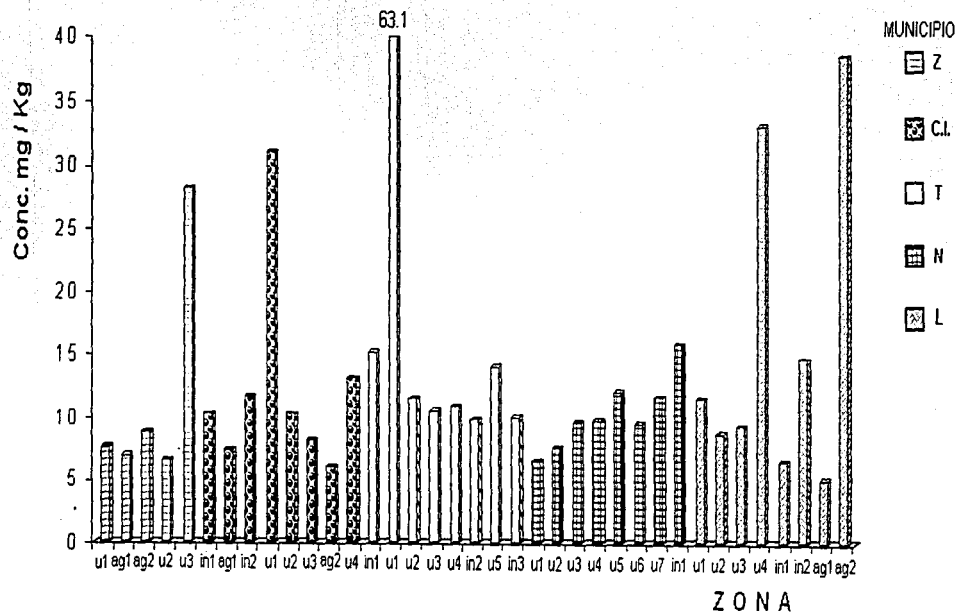
Gráfica 1. Concentración de arsénico en muestras de suelo de las zonas u=urbana, ag=agrícola, in=industrial de los diferentes municipios: Z=Zumpango, C.I.=Cuautitlán Izcalli, T=Tlalnepantla, N=Nezahualcóyotl, L=Lerma. El 1, 2, 3, etc., indica el número de muestras tomadas en cada zona.

Concentración de Cadmio en Suelo



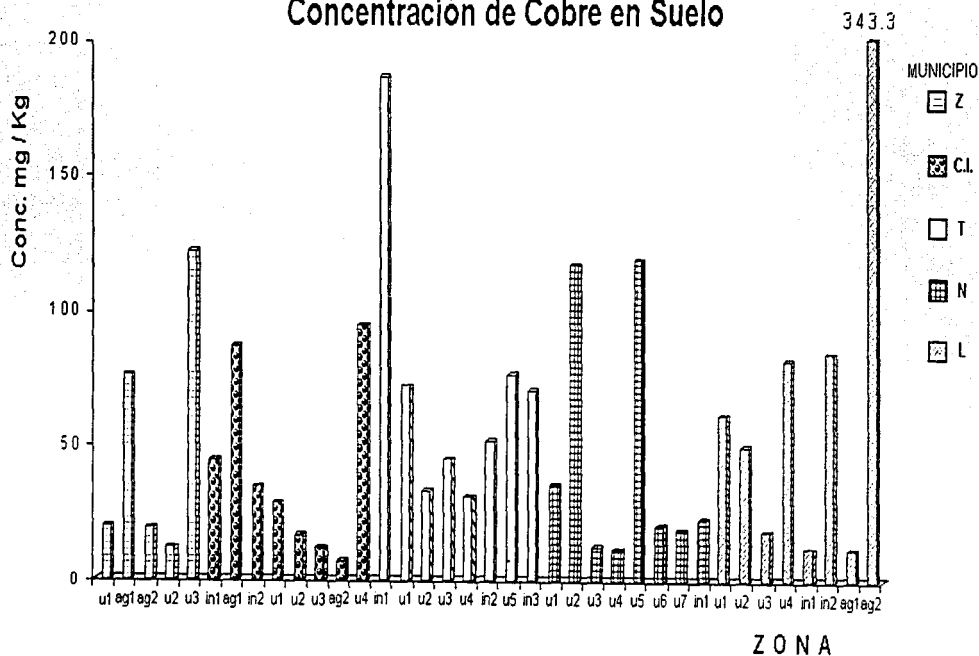
Gráfica 2. Concentración de cadmio en muestras de suelo de las zonas u=urbana, ag=agrícola, in=industrial de los diferentes municipios: Z=Zumpango, C.I.=Cuautitlán Izcalli, T=Tlalnepanltla, N=Nezahualcóyotl, L=Lerma. El 1, 2, 3, etc., indica el número de muestras tomadas en cada zona.

Concentración de Cromo en Suelo



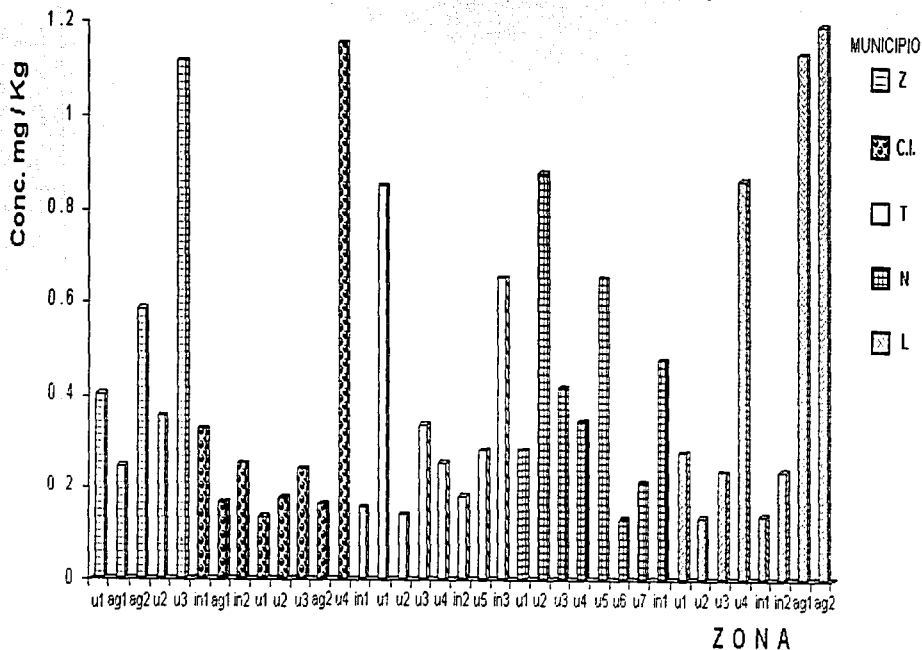
Gráfica 3. Concentración de cromo en muestras de suelo de las zonas u=urbana, ag=agrícola, in=industrial de los diferentes municipios: Z=Zumpango, C.I.=Cuautitlán Izcalli, T=Tlalnepantla, N=Nezahualcóyotl, L=Lerma. El 1, 2, 3,... etc., indica el número de muestras tomadas en cada zona.

Concentración de Cobre en Suelo

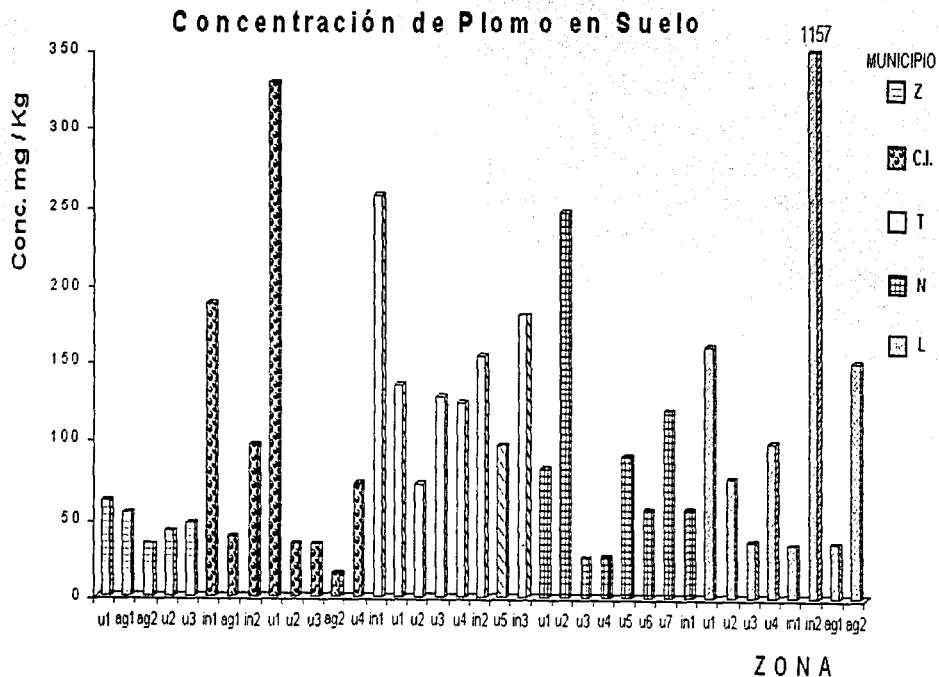


Gráfica 4. Concentración de cobre en muestras de suelo de las zonas u=urbana, ag=agrícola, in=industrial de los diferentes municipios: Z=Zumpango, C.I.=Cuautitlán Izcalli, T=Tlalnepanitla, N=Nezahualcōyotl, L=Lerma. El 1, 2, 3, etc., indica el número de muestras tomadas en cada zona.

Concentración de Mercurio en Suelo

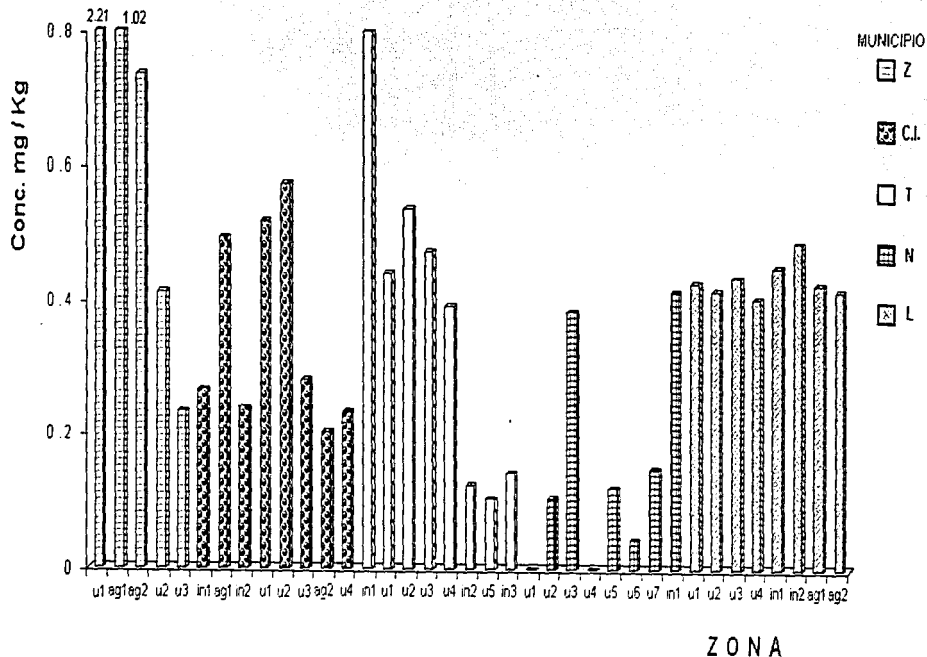


Gráfica 5. Concentración de mercurio en muestras de suelo de las zonas u=urbana, ag=agrícola, in=industrial de los diferentes municipios: Z=Zumpango, C.I.=Cuautitlán Izcalli, T=Tlalnepantla, N=Nezahualcóyotl, L=Lerma. El 1, 2, 3, etc., indica el número de muestras tomadas en cada zona.



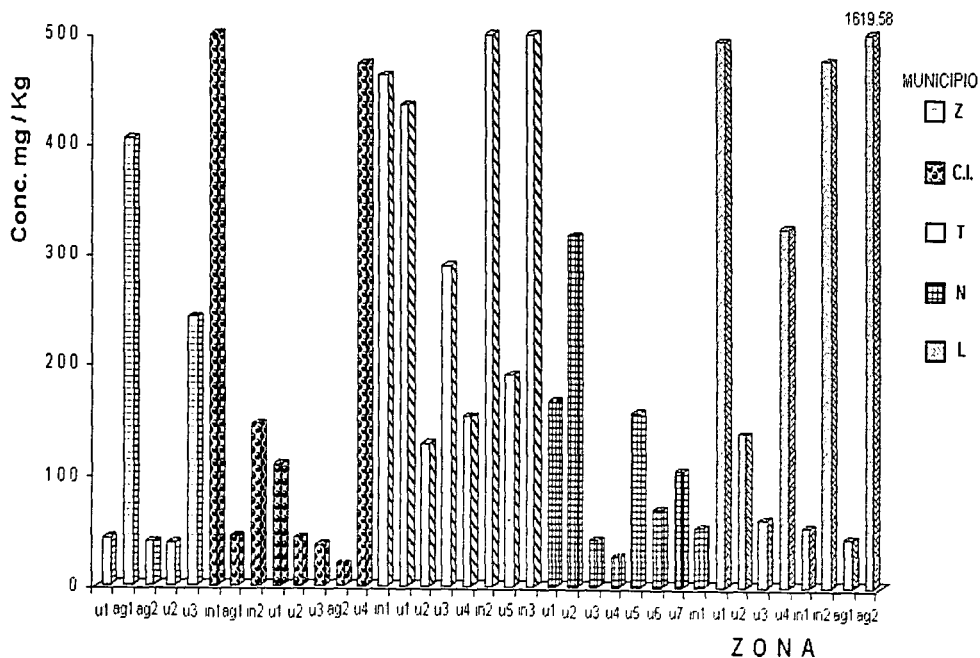
Gráfica 6. Concentración de plomo en muestras de suelo de las zonas u=urbana, ag=agrícola, in=industrial de los diferentes municipios: Z=Zumpango, C.I.=Cuautitlán Izcalli, T=Tlalnepantla, N=Nezahualcōyotl, L=Lerma. El 1, 2, 3,...., etc., indica el número de muestras tomadas en cada zona.

Concentración de Paladio en Suelo



Gráfica 7. Concentración de paladio en muestras de suelo de las zonas u=urbana, ag=agrícola, in=industrial de los diferentes municipios: Z=Zumpango, C.L.=Cuautitlán Izcalli, T=Tlalnepantla, N=Nezahualcóyotl, L=Lerma. El 1, 2, 3, etc., indica el número de muestras tomadas en cada zona.

Concentración de Zinc en Suelo



Gráfica 8. Concentración de zinc en muestras de suelo de las zonas u=urbana, ag=agrícola, in=industrial de los diferentes municipios: Z=Zumpango, C.I.=Cuautitlán Izcalli, T=Tlalnepantla, N=Nezahualcóyotl, L=Lerma. El 1, 2, 3,...., etc., indica el número de muestras tomadas en cada zona.

CONCLUSIONES

- ◇ Se muestreo suelo de diferentes sitios de 5 municipios de la Zona Metropolitana del Valle de México y se realizó la cuantificación de los metales bajo estudio.
- ◇ Se estableció una metodología analítica para muestrear, digerir y analizar metales en suelo con base a una digestión ácida, empleando un horno de microondas y la Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- ◇ De los metales analizados en las muestras de suelo de los diferentes municipios estudiados, el que se encontró más contaminado fue el de Tlalnepantla en las zonas urbanas e industriales por rebasar el límite máximo permisible de 7 de los 10 metales (arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo y zinc).
- ◇ Las zonas industrial, urbana y agrícola de los diferentes municipios estudiados no rebasaron los límites permisibles de mercurio y paladio.
- ◇ No se encontraron platino y rodio en las muestras de suelo empleando el procedimiento planteado en este trabajo.
- ◇ Este trabajo genera información sobre la presencia de metales en muestras de suelo de diferentes zonas de los 5 municipios del Estado de México estudiados, con el fin de crear referencias para determinaciones futuras.

A N E X O S

ANEXO I

Efectos que causan al ser humano por exposición a los niveles tóxicos de los siguientes metales [4], [23]:

METAL	EFECTOS
Arsénico	Irritación respiratoria, náusea, vómito, diarrea.
Cadmio	Cáncer de pulmón y próstata, náusea, vómito, fiebre.
Cromo	Se pierde el sentido del olfato, cáncer de pulmón, dermatitis.
Cobre	Vómito, diarrea, conjuntivitis, espasmo muscular.
Mercurio	Náusea, espasmo muscular, vómito, convulsiones.
Plomo	Ansiedad, delirio, dolor de cabeza, fatiga, insomnio, muerte.
Platino	Irritante, dermatitis, asma.
Rodio	Irritante.
Zinc	Fiebre, náusea, vómito, dermatitis.

ANEXO II

Límites máximos permisibles de metales en suelo.

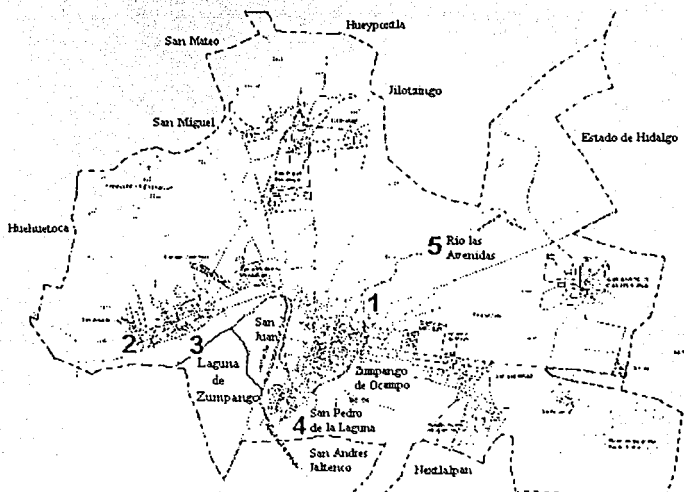
METAL	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	REFERENCIA
ARSENICO	0.5-2.5 mg/Kg	4
CADMIO	0.06-1.1 mg/Kg	28
CROMO	5.0 mg/Kg	28
COBRE	20-30 mg/Kg	28
MERCURIO	0.040 mg/Kg	4
PLOMO	10-40 mg/Kg	28
PALADIO	0.0005-0.030 mg/Kg	11
PLATINO	0.020-0.075 mg/Kg	11
RODIO	0.020 mg/Kg	11
ZINC	300 mg/Kg	4

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

ANEXO III

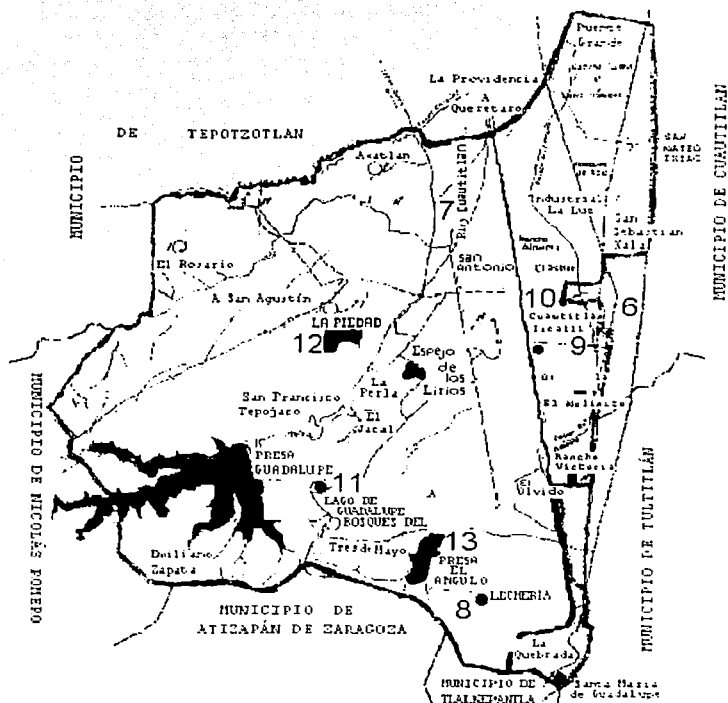
Mapas de los municipios estudiados

MUNICIPIO DE ZUMPANGO



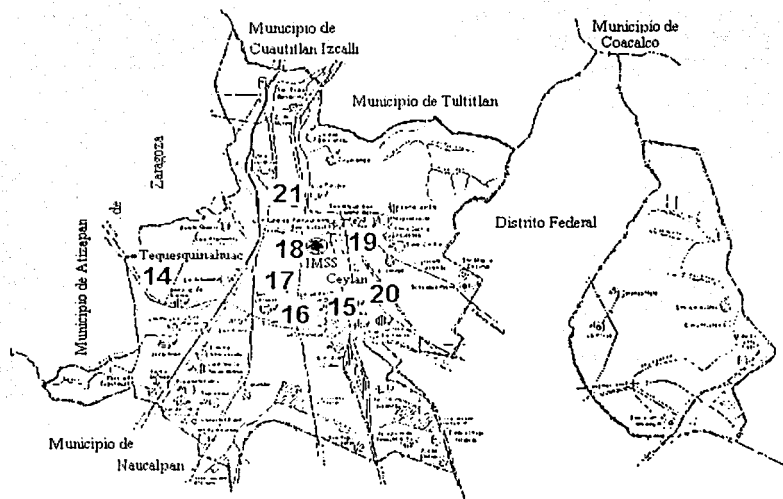
MUESTRA	ZONA	LUGAR
1	Urbana	Carretera cercana al río Las Avenidas
2	Agrícola	Carretera cercana a la Laguna de Zumpango
3	Agrícola	Orilla de la Laguna de Zumpango
4	Urbana	Carretera en San Pedro de la Laguna
5	Urbana	Orilla del Río las Avenidas

MUNICIPIO DE CUAUTITLÁN IZCALLI



MUESTRA	ZONA	LUGAR
6	Industrial	Autopista - Ford
7	Agrícola	Av. San Antonio
8	Industrial	Lechería
9	Urbana	Carretera cercana al Espejo de los Lirios
10	Urbana	Orilla Espejo de los Lirios
11	Urbana	Orilla Lago Guadalupe
12	Agrícola	Orilla Presa La Piedad
13	Urbana	Orilla Presa Angulo

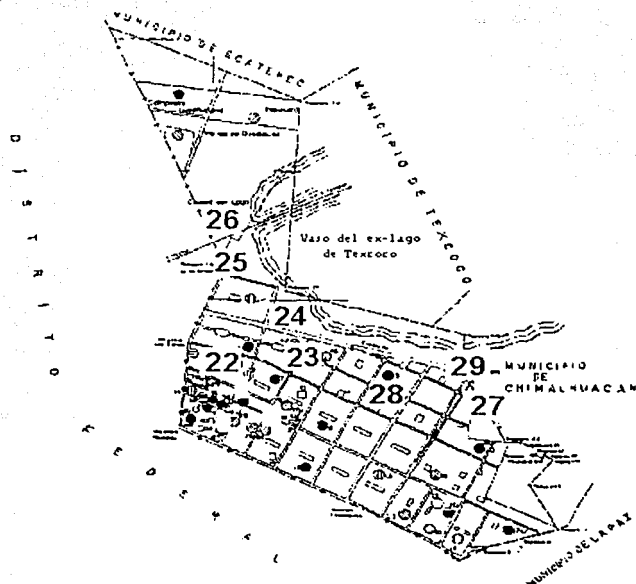
MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA



MUESTRA	ZONA	LUGAR
14	Industrial	Autopista-Ceylan
15	Urbana	Orilla río Fraccionamiento San Rafael
16	Urbana	Avenida Mario Colín
17	Urbana	Camellón Gustavo Baz
18	Urbana	Avenida Gustavo Baz
19	Industrial	Orilla de vías del tren en Av. Río Lerma
20	Urbana	Avenida San Bartolo Tenayuca
21	Industrial	Avenida México-Pachuca

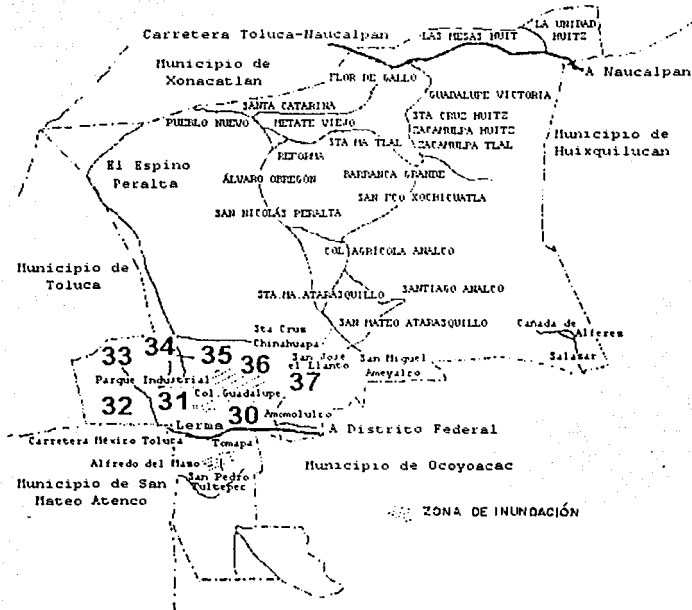
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL



MUESTRA	ZONA	LUGAR
22	Urbana	Avenida Churubusco
23	Urbana	Camellón enfrente al río de los Remedios
24	Urbana	Orilla del río de los Remedios
25	Urbana	Orilla Lago El Tesorito
26	Urbana	Orilla Canal de la Compañía
27	Urbana	Camellón en la Av. Chimalhuacán
28	Urbana	Avenida Pantitlán
29	Industrial	Autopista: Peñón-Texcoco

MUNICIPIO DE LERMA



MUESTRA	ZONA	LUGAR
30	Urbana	Autopista que se dirige al río Lerma
31	Urbana	Avenida Miguel Hidalgo
32	Urbana	Autopista cercana al río Lerma
33	Urbana	Orilla Río Lerma
34	Industrial	Avenida en el circuito de la industria sur
35	Industrial	Carretera cercana al parque industrial
36	Agrícola	Orilla Río Lerma
37	Agrícola	Avenida en la colonia Cerrito

BIBLIOGRAFÍA

1. Sumner M.E.(2000). "Handbook of Soil Science". CRC PRESS, USA. p.p. B-27, B-62, B-85, G-163.
2. Misra S.G.(1992). "Metallic Pollution". Ashish Publishing House. New Delhi, p.p.14-17, 28-29, 41-43, 95-134.
3. VanLoon G. W., Duffy S. J.(2000). Environmental Chemistry A Global Perspective, Oxford University Press. United States. p.p. 377-378, 380-382, 390, 404-407.
4. Alloway B.J.(1993). "Heavy metals in soils", Halsted Press. Great Britain, p.p. 8-9, 11, 13, 31-34, 36-38, 42-43, 52, 55, 84, 86-87, 100-101, 105, 108-109, 118, 136-137, 153, 160-161, 178, 188, 224-225, 227-230, 234, 262-263, 267.
5. Nriagu Jerome O. (1994). "Arsenic in the Environment. Part I: Cycling and Characterization", Vol. 26. Wiley-Interscience Publication. USA. p.p.18, 20-22, 30-32, 34-35, 64.
6. Nriagu Jerome O. (1994). "Arsenic in the Environment. Part II: Human Health and Ecosystem Effects". Vol. 27. Wiley-Interscience Publication. USA. p.p. 18.
7. Mugica A. V., Figueroa L. J.(1996). "Contaminación Ambiental. Causas y Control", Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México, p.p. 217-218, 223.
8. Ulrich B., Sumner M. E.(1991), Soil Acidity, Springer-Verlag. Germany, p.p. 161.
9. Gary D. Christian.(1993). "Química Analítica". 2a ed., Limusa. México, p.p. 498-503.
10. Crompton T.R.(2000). "Determination of Organic Compounds in Soils, Sediments and Sludges", E & FN SPON, USA. 2000. p.p. 9, 11, 324, 370.
11. Kabata-Pendias Alina, Pendias Henryk (1992), "Trace elements in soils and plants", 2nd ed., CRC PRESS, USA. p.p. 295-296.

12. Harris Daniel (1992). "Análisis Químico Cuantitativo", Iberoamérica, México, 579-586, 590.
13. Skoog Douglas A.(1995). "Química Analítica", 6ª ed., McGraw-Hill, México, p.p. 453, 455-459, 461-466.
14. Nonato N. F.(1997), "Sistemas de atomización utilizados en espectrofotometría de absorción atómica: flama, horno de grafito, generador de hidruros y generador de vapor, para el análisis de muestras complejas", FES Cuautitlán, UNAM, p.p. 30-42.
15. Carbonell Barrachina A. A., Burló Carbonell F. M.(1995). Arsénico en el Sistema Suelo-Planta. Significado Ambiental. Universidad de Alicante, España, p.p. 18-23, 57-77.
16. Farrauto Robert, Heck Ronald (1995), "Catalytic Air Pollution Control: Comercial Technology", Van Nostrand Reinhold, USA, p.p. 11, 81, 84.
17. Silver Ronald, Summers Jerry.(1992), "Catalytic Control of Air Pollution Mobile and Stationary Sources", American Chemical Society, USA. p.p. 13, 30, 83..
18. Connors K.A.(1980), "Curso de Análisis Farmacéutico", Reverté, España. p.p. 621.
19. Hewitt A.D., Reynolds C.M.. "Dissolution of Metals from Soils and Sediments with a Microwave-Nitric Acid Digestion Technique", Atomic Spectroscopy. Vol. 11, No 5, September/October, 1990, p.p. 187-192.
20. Van Delft W., Vos G., "Comparison of Digestion Procedures for the determination of Mercury in Soils by Cold-Vapour Atomic Absorption Spectrometry". Analytica Chimica Acta, Vol., No , 1988, p.p. 147-156.
21. Norma Mexicana NMX-AA-25-1984. "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos-Determinación del pH-Método Potenciométrico".
22. Norma Mexicana NMX-AA-15-1985. "Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Muestreo-Método de Cuarteo".
23. Dreisbach Robert. (1998), "Manual de toxicología clínica.. Prevención, diagnóstico y tratamiento", 6ª ed., El Manual Moderno, México, p.p. 217.

24. Pérez López C. (1998). "Métodos estadísticos con Statgraphics para Windows. Técnicas Básicas". RA-MA, España, p.p. 571-584.
25. Jones K.C., Organic Contaminants in the Environment. Environmental Pathways & Effects (1991). Elsevier Applied Science. Great Britain. p.p. 246-247.
26. Baird Colin (2001). "Química Ambiental". Reverté. España, p.p. 547-555.
27. <http://www.edomex.gob.mx/se/diagmuni.htm>. Octubre 31, 2001.
28. <http://www.epa.gov/tio/tsp/download/issue14.pdf>. Noviembre 04, 2001.