



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

MÉTODOS DE SEPARACIÓN PARA EL ANÁLISIS QUÍMICO Y EL  
DESARROLLO TECNOLÓGICO: "CUANTIFICACIÓN DE TRAZAS  
METÁLICAS EN MUESTRAS DE PASTO POR ESPECTROFOTOMETRÍA  
DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN EL ESTADO DE MÉXICO"

INFORME DE SERVICIO SOCIAL-TITULACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

PRESENTA:  
MARÍA DEL PILAR RAMÍREZ NAVOR

ASESORA: DRA. ALMA LUISA REVILLA VÁZQUEZ

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA 14  
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

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: Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico: "Cuantificación de Trazas Metálicas en Muestras de Pasto por Espectrofotometría de Absorción Atómica en el Estado de México".

que presenta la pasante: María del Pilar Ramírez Navor  
con número de cuenta: 9656504-7 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 24 de Mayo de 2002

PRESIDENTE Q.M. Cecilia J. González Ibarra

VOCAL I.A. Natividad Venegas Herrera

SECRETARIO Dra. Alma Luisa Revilla Vázquez

PRIMER SUPLENTE M. en C. Ines Nicolas Vázquez

SEGUNDO SUPLENTE M. en C. Julio C. Botello Pozos

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

*Gracias Señor por cada momento de mi vida, por todo lo que me has dado : mi familia, mis amigos, y por este logro más*

### **A mis Padres**

*Juan y María Cruz por todo el amor que me han dado durante todos estos años y todos los desvelos que les he hecho pasar, por la enseñanza más valiosa que dan a sus hijos la confianza, el amor y la superación. Por que gracias a sus esfuerzos y sacrificios han hecho posible la culminación de una etapa más de mi vida, nunca podré pagarles todo. Los quiero mucho*

### **A mis hermanos**

*Ángeles, Noe, Abraham y Sara, a mis cuñadas Mago y Violeta por estar siempre mi lado en todo momento gracias por todo su apoyo*

### **A la Dra. Alma**

*Gracias por haberme dado la oportunidad de estar en este trabajo, por todo el apoyo, dedicación y confianza que me brindaste por tu amistad y consejos que han sido sin duda de gran ayuda para mi formación profesional*

### **A la Dra, Raquel**

*Por todas las aportaciones que hizo a este trabajo y por todo el apoyo incondicional que siempre nos ha brindado. Muchas Gracias*

*A los profesores que formaron parte de este jurado por todo el tiempo que dedicaron para la revisión de este trabajo, gracias*

### **A la generación 23**

*Especialmente a Adriana, Agustín, Berenice, Claudia, Edgar, Elías, Gerardo, Karina, Nancy, Ricardo y Sandra, gracias por su amistad y por haber compartido conmigo tiempos inolvidables*

### **A Gaby y Judit**

*Por todo este tiempo que hemos estado juntas, por su amistad y su apoyo incondicional en todo momento, gracias por ser mis amigas*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, principalmente a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán*

*Al CONACYT, por el apoyo otorgado al proyecto J32518T.*

INDICE GENERAL

INDICE	I
OBJETIVOS	IV
INTRODUCCIÓN	VI
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCIÓN ATOMICA	1
1.1.1 Absorción atómica	1
1.1.2 Instrumentación	2
1.1.2.1 Fuentes de radiación	2
1.1.2.1.1 Lámparas de cátodo hueco	2
1.1.2.1.2 Lámparas de descarga sin electrodo	3
1.1.2.2 Monocromador	3
1.1.2.3 Detector	4
1.1.2.4 Procesadores de señales y dispositivos de lecturas	4
1.2. SISTEMAS DE ATOMIZACIÓN	5
1.2.1. Sistema de atomización por flama	5
1.2.2. Sistema de atomización por horno de grafito	6
1.2.3. Sistema de atomización por generador de vapor frío e hidruros....	8
1.2.3.1. Tratamiento de la muestra	8
1.2.3.2. Oxidación	8
1.2.3.3. Reducción de hidruros	9
1.2.3.4. Formación de hidruros	9
1.2.3.5. Atomización	9
1.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PASTO	10
1.3.1. Nombre científico	10
1.3.2. Nombre vulgar	10
1.3.3. Generalidades del pasto	10
1.3.4. Géneros de césped usados para vías públicas y bordes de carreteras	11

<b>1.4. CONTAMINACIÓN DE PLANTAS POR TRAZAS METÁLICAS Y EFECTOS NOCIVOS QUE PRODUCEN ESTOS EN HUMANOS</b>	<b>13</b>
1.4.1. Metales pesados	13
1.4.2. Fuentes antropogénicas	13
1.4.3. influencia del agua, aire y suelo en la contaminación de las plantas por trazas metálicas	15
1.4.3.1. Agua	15
1.4.3.2. Aire	15
1.4.3.3. Suelo	16
1.4.4. Compartimentos de almacenamiento y flujos implicados en el ciclo de metales en un sistema de planta-Suelo	17
1.4.5. Toxicología de los metales pesados en seres vivos	18
<b>1.5. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LOS MUNICIPIOS</b>	<b>20</b>
1.5.1. Cuautitlán Izcalli	20
1.5.2. Lerma	21
1.5.3. Nezahualcóyotl	22
1.5.4. Tlalnepantla	23
1.5.5. Zumpango	23
<b>1. PARTE EXPERIMENTAL</b>	<b>25</b>
<b>2.1. MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS</b>	<b>25</b>
<b>2.2. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA</b>	<b>26</b>
<b>2.3. PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA</b>	<b>27</b>
2.3.1. Secado	27
2.3.2. Molienda	27
2.3.3. Digestión de la muestra	27

<b>2.4. CUANTIFICACIÓN DE TRAZAS METÁLICAS</b>	<b>28</b>
2.4.1 Curvas de calibración	29
2.4.2 Métodos de cuantificación de trazas metálicas	29
2.4.2.1 Cuantificación de trazas metálicas por flama	30
2.4.2.2 Cuantificación de trazas metálicas por generación de hidruros y vapor frío	30
2.4.2.3 Cuantificación de trazas metálicas por horno de grafito	30
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>32</b>
<b>3.1. CURVAS DE CALIBRACIÓN</b>	<b>32</b>
<b>3.2. RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE LAS TRAZAS METÁLICAS DE INTERÉS EN MUESTRAS DE PASTO PARA CADA MUNICIPIO</b>	<b>38</b>
<b>3.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	<b>61</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>70</b>



# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Cuantificar trazas metálicas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn) en muestras de pasto, como un parámetro que indica la situación ambiental de cinco municipios del Estado de México (Lerma, Zumpango, Nezahualcoyotl, Tlalnepantla y Cuautitlán Izcalli) empleando la digestión ácida asistida por horno de microondas y espectrofotometría de absorción atómica

## OBJETIVOS PARTICULARES

1. Emplear una metodología analítica que permita realizar la cuantificación de ciertos metales en muestras de pasto
2. Establecer un plan de muestreo para pasto en diferentes zonas de 5 municipios del Estado de México (área metropolitana) y realizar la cuantificación de trazas metálicas ya mencionadas con la finalidad de comparar el grado de contaminación en zonas urbanas, industriales y rurales
3. Determinar si existe una relación entre los resultados de los cinco municipios, con la densidad industrial de cada municipio
4. Determinar cual de los metales estudiados representa un mayor peligro a futuro en base a los resultados obtenidos y su toxicidad reportada para recomendar su monitoreo
5. Determinar si el uso de convertidores catalíticos intervienen en la contaminación del pasto con platino, paladio y rodio

### **OBJETIVO ACADEMICO**

Generar información sobre la presencia de metales (pesados y preciosos) en muestras de pasto de diferentes zonas de cinco municipios del Estado de México (área metropolitana) y, establecer referencias para estudios posteriores

Emplear los conocimientos adquiridos durante los estudios de licenciatura para desarrollar un proyecto de investigación

### **OBJETIVO SOCIAL**

Determinar las concentraciones de contaminantes metálicos en las muestras de pasto, 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 y de ser necesario el uso de convertidores catalíticos en los vehículos automotrices

# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

Uno de los procesos más importantes que ha experimentado en los últimos años el mundo entero y en particular México ha sido sin duda el de la urbanización, manifestada por un acelerado crecimiento tanto en el número de individuos como en el tamaño de sus ciudades. El crecimiento natural de población, la migración del campo a la ciudad y la expansión física con la incorporación de municipios colindantes, han sido factores determinantes en el crecimiento poblacional de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y en el Estado de México<sup>(34)</sup>

Este incremento de población ejerce presión en la disponibilidad de recursos naturales (en su empleo) y los alimentos, así como en servicios tales como energía, salud, saneamiento y vivienda, repercutiendo de gran manera en un deterioro ambiental

Aunado a esto, el sector industrial caracterizado por el uso excesivo de combustibles fósiles en los procesos de la producción, interviene en la calidad ambiental de las localidades urbanas industriales

Por otra parte el sistema de transporte integrado por la estructura física y los medios se puede considerar el principal causante de los contaminantes atmosféricos. En los vehículos no controlados las emisiones de contaminantes principales son monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. Los más de 3 millones de automotores que transitan en la ZMCM contribuyen con un 75% de las emisiones contaminantes de aire<sup>(34)</sup>. Dentro de este sector, los autos particulares, taxis y microbuses, ocupan los niveles más altos de emisión de ambos contaminantes<sup>(34)</sup>.

Para disminuir estos altos niveles de emisión de gases nocivos producidos por la combustión de gasolina, en el año de 1993 se implementó el programa de instalación de convertidores catalíticos de tres vías en México, fabricados a base de una aleación de los metales de platino, paladio y rodio llamados metales preciosos. Este componente reduce ampliamente la emisión de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), e hidrocarburos (HC) al oxidar o convertirlos químicamente en agua y dióxido de carbono<sup>(15, 26, 32, 33)</sup>.

Sin embargo los niveles de concentración de trazas de platino y paladio ha aumentado gradualmente en el medio ambiente y en muestras biológicas, principalmente a causa de la catálisis de los automóviles. Por lo que ha ganado considerable importancia,

en Europa y particularmente en Alemania, donde se han hecho estos estudios recientemente<sup>(13 14 15 17 26)</sup>.

Por otro lado, el interés por determinar los niveles de concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn) y metales preciosos (Pt, Pd y Rh) también radica en que estas afectan al crecimiento de las plantas. Los metales por lo general se encuentran en forma de sulfato ( $ZnSO_4$ ,  $CdSO_4$ ) y las plantas los absorben con facilidad. El tipo de suelo en el que crecen las plantas también tienen cierta influencia, ya que algunos tipos retienen a los compuestos de metales pesados más que otros<sup>(35)</sup>. Esta contaminación hacia las plantas debe considerarse como un problema grave ya que al ser ingeridas por animales pasan a formar parte de la cadena alimenticia involucrando al hombre.

En este trabajo la cuantificación de estas trazas se realizará por el método de Espectroscopia de absorción atómica que ha tenido un desarrollo considerablemente rápido a partir de su creación, alrededor del año de 1955<sup>(1 2)</sup>. Esto ha sido debido a que se pueden determinar principalmente metales, en muy pequeñas cantidades y con un grado de precisión muy alto<sup>(2)</sup>.

Este trabajo es parte de un proyecto que se desarrolla a lo largo de tres años e involucra los resultados del primer año con respecto a las muestras de pasto tomadas de cinco municipios del Estado de México (zona conurbada de la ZMVM).

Los resultados aquí presentados son además una base sólida para las siguientes etapas del proyecto donde se espera mejorar el plan de muestreo y métodos de digestión de las muestras.

**MARCO TEORICO**

## 1. ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

La absorción atómica es una técnica analítica de cuantificación que se basa en la absorción de luz de átomos libres. Se emplea para la determinación de aproximadamente 70 elementos y la sensibilidad que presenta está dentro de los límites de partes por millón a partes por billón<sup>(2)</sup>.

### 1.1 ABSORCIÓN ATÓMICA

En la espectroscopia de emisión de flama los átomos y las moléculas son elevados a un estado electrónico excitado por medio de colisiones térmicas con los componentes de los gases quemados de la flama. Al regresar a un estado electrónico más bajo, los átomos y las moléculas excitadas emiten radiaciones características de cada elemento.

En la espectroscopia de absorción atómica, se hace pasar por la flama la radiación de una fuente externa de luz, que emite la línea espectral correspondiente a la energía necesaria para una transición electrónica del estado normal a un estado excitado. Los gases de la flama se consideran como un medio que contiene átomos libres y no excitados, capaces de absorber radiación de una fuente externa, cuando dicha radiación corresponde exactamente a la energía requerida para una transición del elemento investigado de un estado electrónico normal a un estado mayor de excitación. La radiación no absorbida pasa entonces a través del monocromador que aísla la línea espectral excitante de la fuente de luz y se envía hacia el detector (fig.1)<sup>(1,2,5)</sup>.

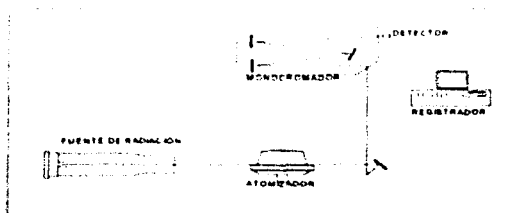


Figura 1 Diagrama de los componentes básicos de un Espectrofotómetro de absorción atómica



## 1.2 INSTRUMENTACIÓN

El instrumento para medir la absorbancia de átomos libres se conoce como Espectrofotómetro de absorción atómica (fig 2) y consta básicamente de cinco unidades fundamentales: fuente de radiación, atomizador, monocromador, detector y registrador. A continuación se desglosara cada una de estas partes<sup>(1,2)</sup>.



Figura 2 Espectrofotómetro de absorción atómica Varian Spectr AA-800

### 1.2.1 FUENTES DE RADIACIÓN

Un átomo absorbe luz de longitudes de onda muy discretas. Para poder medir esta absorción de bandas tan angostas con la máxima sensibilidad, es necesario usar una fuente que emita a longitudes de onda muy específicas que puedan ser absorbidas por el átomo. Los métodos analíticos que se basan en la absorción atómica, son potencialmente muy específicos debido a que las líneas de absorción atómica son notablemente estrechas y porque las energías de transición electrónica son únicas para cada elemento.

Los requisitos de las fuentes de luz para la espectroscopia de absorción atómica son las siguientes: las líneas espectrales de resonancia deben ser angostas comparadas con el ancho de la línea de absorción que se vaya a medir, brillantes en un fondo bajo y estables. La luz de un elemento específico no debe sufrir interferencia de otras líneas espectrales no resueltas por el espectrómetro, tales como las líneas que se originan de los elementos de impurezas, materiales de los electrodos o de gases portadores.

En los instrumentos de absorción atómica se utilizan dos tipos de lámparas: lámparas de cátodo hueco y lámparas de descarga sin electrodos.

#### 1.2.1.1 LÁMPARAS DE CÁTODO HUECO

La fuente de radiación más útil para la espectroscopia de absorción atómica es la lámpara de cátodo hueco. Consiste en un ánodo de tungsteno y un cátodo cilíndrico

sellado en un tubo de vidrio que contiene un gas inerte, por ejemplo argón, a presión de 1 a 5 torr. El cátodo es fabricado con el metal del analito o puede servir como soporte para un recubrimiento de ese metal

La aplicación de un potencial cercano a 300 V a través de los electrodos produce la ionización del argón y la generación de una corriente de 5 a 10 mA a medida que los iones y electrones del argón migran hacia los dos electrodos. Si el potencial es suficientemente grande, los cationes del argón chocan en el cátodo con suficiente energía para desalojar algunos de los átomos del metal y, por lo tanto, producen una nube atómica, este proceso se denomina chisporroteo<sup>(1,2)</sup>. Estos átomos metálicos chisporroteados que están en el estado excitado emiten sus longitudes de onda características a medida que regresan al estado basal<sup>(1,2)</sup>.

#### 1.2.1.2 LÁMPARAS DE DESCARGA SIN ELECTRODO.

Son fuentes útiles de espectros atómicos y proveen intensidades radiantes de línea que son, usualmente, mayores en uno o dos órdenes de magnitud que sus contrapartes de cátodo hueco. Una lámpara típica está construida con un tubo de cuarzo sellado que contiene un gas inerte, a una presión de pocos torr, y una pequeña cantidad del metal analito. La lámpara no contiene electrodos, pero en su lugar está energizada por un intenso campo de radiofrecuencia o radiación de microondas. El argón se ioniza en este campo y los iones son acelerados por el componente de alta frecuencia del campo hasta que ganen energía suficiente para excitar los átomos del metal cuyo espectro se analiza<sup>(1,2)</sup>.

#### 1.2.2 MONOCROMADOR

Todos los monocromadores poseen una ranura de entrada, un lente o espejo colimador para producir un haz de radiación paralela, un prisma o red de difracción como elemento dispersor y un elemento de enfoque que proyecta una serie de imágenes rectangulares de la ranura de entrada sobre una superficie plana (plano focal). La mayoría de monocromadores tienen una ventana de entrada y de salida que se colocan para proteger los componentes del polvo y los vapores corrosivos del laboratorio<sup>(2,4)</sup>.

Su función es la de aislar una línea de resonancia atómica del espectro de líneas emitidas por la lámpara de cátodo hueco. El monocromador tipo rejilla es universalmente usado en instrumentos de absorción atómica. La rejilla de difracción consiste en un bloque de vidrio con una superficie recubierta de aluminio altamente reflectivo, esta superficie se raya con ranuras finas en la que la luz choca y se difracta, y por un proceso de mutua interferencia, la luz se dispersa a diferentes ángulos de

acuerdo a su longitud de onda que de interés. El ancho de la banda del espectro determina la resolución que puede obtenerse. La resolución de un monocromador se debe a la capacidad de discriminar entre dos diferentes longitudes de onda<sup>(2,5)</sup>.

### 1.2.3 DETECTOR

La función del detector es convertir la radiación en una señal medible. La señal eléctrica es entonces amplificada y usada para dar una medida específica de absorción. El detector usado universalmente en instrumentos de absorción atómica es el tubo fotomultiplicador (FTM). Ningún otro dispositivo ofrece la misma sensibilidad sobre el rango de longitudes de onda de 180 a 850 nm requeridos para el análisis de absorción atómica<sup>(5)</sup>.

El tubo fotomultiplicador es muy sensible y emite electrones después de exponerlo a la radiación. Los electrones emitidos son acelerados hacia un ánodo que se mantiene a un potencial 90V más positivo que el cátodo. Cada uno de los fotoelectrones acelerados que chocan en la superficie del ánodo, produce algunos electrones más; estos a su vez son acelerados hacia el ánodo 2, cuyo voltaje es 90V más positivo que el ánodo 1, y nuevamente se repite el proceso de amplificación. Después de repetirse este proceso en cada una de los ánodos restantes, se originan de  $10^6$  a  $10^7$  electrones por cada fotón. Esta cascada de electrones se recoge al final en el ánodo. La corriente resultante se amplifica electrónicamente y se mide<sup>(2,3)</sup>.

### 1.2.4 PROCESADORES DE SEÑALES Y DISPOSITIVOS DE LECTURAS

El procesador de señales es, normalmente, un dispositivo electrónico que amplifica la señal eléctrica proveniente del detector, además, puede alterar la señal de corriente directa a alterna (o a la inversa), cambiarla de fase y filtrarla para eliminar los componentes no deseados.

Después de amplificada la señal, ésta puede interpretarse con una gran variedad de dispositivos de lectura

- Registrador gráfico
- Medidor analógico
- Medidor digital
- Impresor
- Microprocesador, registrador e impresor
- Sistemas de datos y computadoras centrales<sup>(5)</sup>

### 1.3 SISTEMAS DE ATOMIZACIÓN

La determinación espectroscópica de especies atómicas sólo se puede llevar a cabo dentro de un medio gaseoso, en el cual los átomos individuales están separados unos de los otros. Consecuentemente, el primer paso en todos los procedimientos espectroscópicos es la atomización, un proceso en el cual la muestra es volatilizada y descompuesta para producir un gas atómico<sup>(1,2,3)</sup>.

Los sistemas de atomización en absorción atómica son por: Flama, Horno de Grafito, Generador de Vapor y Generador de Hidruros. Estos dos últimos llamados sistemas alternos de atomización

#### 1.3.1 SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR FLAMA

Se basa en el hecho de que los átomos de un metal en fase de vapor absorben fuerte y discretamente longitudes de onda características, que coinciden con las líneas espectrales que ellos mismos emiten. La medida de esta absorbancia está ligada a la concentración de dicho metal en una muestra, y por lo tanto proporciona datos cuantitativos sobre su presencia en la misma. La espectroscopia de absorción está ampliamente relacionada con la espectroscopia de emisión como ya se mencionó anteriormente. Estos dos métodos son complementarios y la aplicación de uno u otro dependerá de las características de la disolución a analizar y del experimento en general.

El aparato utilizado consta de tres partes principales: la fuente de radiación, la flama y el detector.

Para conseguir que los compuestos se atomicen, se nebulizan aplicando calor mediante una flama, consiguiendo así que primero se elimine el disolvente. Aplicando más calor, conseguimos que la muestra vaya pasando de una fase sólida al estado de plasma. A continuación, tras aplicar la radiación procedente de la lámpara, se mide la absorbancia de la flama. Es necesario eliminar las interferencias que se originan por emisión desde la flama. Para ello, se hace oscilar la intensidad de la fuente a una frecuencia constante. Se detectarán dos tipos de señales, una alterna, desde la fuente, y otra continua, desde la flama. Estas señales radiantes se convierten en las señales eléctricas correspondientes por medio de fotomultiplicadores. Este sistema electrónico debe ser capaz de diferenciar entre la señal proveniente de la lámpara y la señal continua procedente de la flama.

Este método es muy específico y sensible (hasta parte por mil millones), además de cómodo y rápido. Por ello posee una amplia aplicabilidad. Se han aprovechado estos métodos en el análisis de numerosos materiales, entre ellos

líquidos biológicos, materia vegetal, suelo, vidrio y aguas naturales. Sus aplicaciones más importantes radican en la determinación de metales alcalinos y del calcio<sup>(6)</sup>.

### 1.3.2 SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR HORNO DE GRAFITO

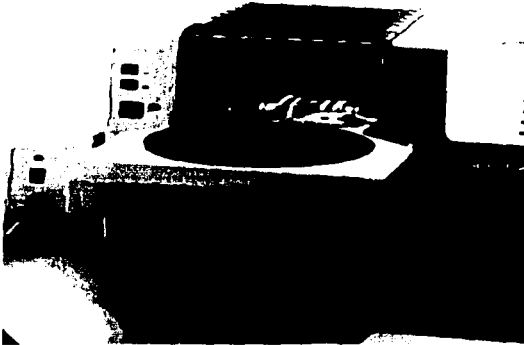


Figura 3. Horno de grafito

En los atomizadores electrotrémicos, primero se evaporan unos cuantos mililitros de la muestra a baja temperatura, y se reducen a cenizas a una temperatura ligeramente superior en un tubo o en un vaso de grafito, calentado eléctricamente. Después de la reducción a cenizas, la corriente se aumenta rápidamente a varios centenares de amperios, lo cual ocasiona que la temperatura alcance de 2000°C a 3000° C. La atomización de la muestra se lleva a cabo en un periodo que va desde milisegundos a unos cuantos segundos. La absorción de las partículas atomizadas se monitorea en la región ligeramente arriba de la superficie calentada<sup>(1, 2, 3)</sup>.

La atomización se realiza en un tubo cilíndrico de grafito (fig 4) que está abierto en ambos extremos, y tiene un agujero central para la introducción de la muestra por medio de un capilar



Figura 4. Tubo cilíndrico de grafito

El tubo es de 2 cm de largo por 0.5 cm de diámetro interno. El tubo intercambiable de grafito se fija perfectamente dentro de un par de contactos eléctricos cilíndricos, también de grafito, localizados en los dos extremos del tubo. Estos contactos se mantienen dentro de un recipiente metálico enfriado con agua.

La muestra es evaporada y reducida a cenizas sobre la plataforma de L'vov, (que se emplea con frecuencia en hornos de grafito) en forma normal. Sin embargo, cuando la temperatura se eleva rápidamente, la atomización es retardada puesto que la muestra ya no está colocada directamente sobre la pared del horno. En consecuencia, la atomización ocurre en un ambiente en el cual la temperatura no cambia tan rápidamente; como consecuencia se obtienen picos más reproducibles<sup>(1,2,3)</sup>.

El desarrollo de un programa de atomización consiste principalmente de la selección de las temperaturas y tiempos de calentamiento adecuados para llevar al analito en la muestra a su estado basal, proporcionando una señal analítica adecuada. Otros parámetros tales como el tipo, tiempo y flujo de gas utilizado deben considerarse en el programa para evitar la pérdida del analito, mejorando la señal y en algunos casos eliminando las interferencias<sup>(4)</sup>.

El programa de atomización se compone, de tres etapas principales: secado, calcinado y atomización

#### *Secado*

La etapa de secado debe proporcionar la completa desolvatación de la muestra antes de iniciar la etapa de calcinado, para ello se selecciona apropiadamente la temperatura y el tiempo de calentamiento, los cuales dependen del punto de ebullición y volumen de la muestra, respectivamente

#### *Calcinado*

En esta etapa, todos los componentes orgánicos y sales resultantes del secado deben ser removidos sin pérdida del analito, siendo solo éste último el que genere señal durante la atomización

#### *Atomización*

El tipo de gas inerte usado parece afectar la naturaleza de la superficie del grafito y también influye en las especies formadas. Por ejemplo, cuando se usa nitrógeno como gas inerte, es posible la formación de especies entre el gas nitrógeno y el carbón del tubo a altas temperaturas, lo cual no es normalmente posible si en lugar de nitrógeno se usara argón como gas inerte

El proceso de reducción en el tubo de grafito, es el siguiente



De acuerdo con la reacción anterior, probablemente el grafito actúa como un agente reductor en la atomización de Co, Fe, Ni y Sn<sup>(5)</sup>

### 1.3.3 SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR GENERADOR DE VAPOR FRÍO E HIDRUROS

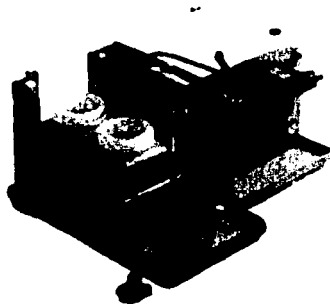


Figura 5 Generador de vapor e hidruros

Este sistema de atomización se basa principalmente en la formación de compuestos hidruros y elementos en estado basal extremadamente volátiles a temperatura ambiente.

La generación de Hidruros se lleva a cabo mediante las siguientes etapas

#### 1.3.3.1 TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

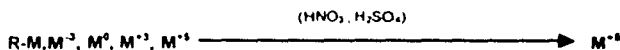
Para la formación de Hidruros es muy importante el estado de oxidación del analito, ya que cada uno tiene un estado de oxidación óptimo para la formación de su hidruro correspondiente

La preparación de la muestra consiste en llevar al analito a su máximo estado de oxidación con una posterior reducción a su estado de oxidación óptimo

#### 1.3.3.2 OXIDACIÓN

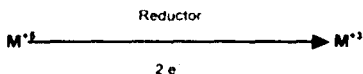
El objetivo de la oxidación es llevar el analito a su máximo estado de oxidación a partir de cualquier estado en que se encuentre la muestra.

La oxidación se lleva a cabo mediante una digestión utilizando ácidos fuertemente oxidantes



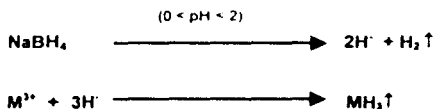
## 1.3.3.3 REDUCCIÓN

En esta etapa el analito es llevado de su máximo estado de oxidación a su estado óptimo de oxidación para su posterior formación de hidruros. Esta reducción es llevada a cabo por la acción de un agente reductor y/o pH del medio de reacción



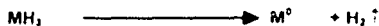
## 1.3.3.4 FORMACIÓN DE HIDRUROS

Una vez que el analito se encuentra en su estado óptimo de oxidación, es llevado al sistema generador donde se llevará a cabo la formación de hidruros. El reactivo utilizado para este trabajo es el borohidruro de sodio, con el cual se analizó As, con niveles de detección de partes por billón (ppb). El medio de reacción debe ser ácido para que la reacción sea completa



## 1.3.3.5 ATOMIZACIÓN

Una vez formados los hidruros compuestos extremadamente volátiles a temperatura ambiente, son arrastrados por el flujo de gas hacia el haz de luz del instrumento el cual pasa a través de la celda de cuarzo. Esta celda es calentada por la flama para disociar los hidruros, obteniendo así al metal libre y en estado basal<sup>3)</sup>



En este trabajo se emplearon los sistemas de atomización mencionados con base a las características de los metales de interés y a su concentración en las muestras.



### 1.3 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PASTO

#### 1.3.1 NOMBRE CIENTÍFICO:

Gramineae

#### 1.3.2 NOMBRE VULGAR:

Césped o pasto

#### 1.3.3 GENERALIDADES DEL PASTO

Los céspedes han sido apreciados por su importancia en la calidad de vida desde hace casi 2000 años. Se incluyen referencias históricas de céspedes en los vastos jardines del palacio del emperador chino durante la dinastía Han en China (100 d. C.); los campos de deporte usados por Akbar, el gran emperador del Hindustán (1600 a C.); los céspedes alfombrados persas en el reino de Asiria (500 a.C.), y los céspedes de jardines medievales de Bretaña en el siglo XIII

Actualmente los céspedes son cultivados en casi todas las regiones habitadas del mundo. Las especies para césped y las variedades de Poaceae (Gramineae) son extraordinariamente adaptables. Uno o más céspedes están adaptados tanto a las regiones ecuatoriales como el subártico. Los céspedes son útiles de muy diferentes maneras. Como plantas ornamentales, aportan belleza al medio y mejoran el valor estético de nuestras vidas. Sirven como campos de juego para muchos deportes, mantienen las necesidades de ocio y ayudan a limitar los frecuentes daños de deportes enérgicos. Nuestro tiempo de ocio ha mejorado considerablemente con un césped bien mantenido.

Quizás la manera menos evidente en la que el césped ocupa una necesidad en nuestras vidas es en el papel funcional. El césped es mantenido en y alrededor de campos de aviación para reducir el polvo y así prolongar la vida del motor del avión y aumentar la seguridad. El césped se ha usado ampliamente para controlar la erosión debida al agua y el viento y como una cobertura de uso alrededor de casas, comercios, instituciones publicas, parques, cementerios, y otros servicios. Los céspedes añaden valor a una propiedad y reducen la contaminación visual y deslumbramientos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Son hierbas de de textura basta que presentan una excelente tolerancia al frío y la sequía. Se usan varias especies para céspedes de bajo mantenimiento de campos de golf y céspedes de bordes de carretera en regiones semiáridas templadas.

***Eremochloa***

El centipedegrass o chinese lawngrassn se usa ampliamente como césped doméstico o césped de servicio público en los trópicos y subtropicos. Se desarrolla bien en suelos húmedos, ácidos e infértiles. Requiere escaso mantenimiento, pero no es tolerante al desgaste intenso

***Paspalum***

El bahiagrass es un césped de textura basta que crece bien en suelos arenosos no fértiles de regiones subtropicales. No tolera las bajas temperaturas y el deterioro excesivo. Esta gramínea se usa principalmente tanto en zonas de césped de servicio público como en bordes de carretera

## 1.4 CONTAMINACIÓN DE PLANTAS POR TRAZAS METÁLICAS

### 1.4.1 METALES PESADOS

Los metales pesados son un grupo de elementos caracterizados por poseer propiedades metálicas y una densidad superior a 5 g/ml. Aunque en este grupo se incluyen varios elementos esenciales para el crecimiento, reproducción y/o supervivencia de los organismos vivos, otros muchos de gran importancia económica e industrial pueden ocasionar efectos perjudiciales. La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (E.P.A.) ha definido al berilio (un metal traza ligero) y al mercurio (un metal traza pesado) como peligrosos, lo cual significa que una ligera exposición a los mismos puede causar daños a la salud humana. Otros nueve metales han sido definidos como posibles elementos peligrosos, lo cual significa que su peligrosidad es potencial y que deben mantenerse bajo control, dentro de estos tenemos al cadmio, cobre, y plomo. Todos éstos, son considerados metales pesados <sup>(8)</sup>.

### 1.4.2 FUENTES ANTROPOGENICAS DE TRAZAS METÁLICAS EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA

El medio ambiente recibe aportes de metales de origen tanto natural como artificial. Son procesos naturales que aportan metales al ambiente, fenómenos geológicos normales como la formación de menas, la meteorización y erosión de las rocas, la lixiviación y los fenómenos volcánicos en el fondo marino. Los aportes de origen artificial son consecuencia de la actividad humana, la mayoría procedentes de procesos desarrollados en la minería y en la industria.

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Además, los metales originados en las fuentes de emisión generadas por el hombre (antropogénicas), incluyendo la combustión de nafta con plomo, se encuentran en la atmósfera como material suspendido que respiramos.

Las primeras indicaciones de la contaminación creciente causada por hombre han sido identificadas calculando los índices del potencial relativo de la contaminación. Nikiforova y Smirnova (1975) calcularon los "índices de technophily". Estos cálculos colocan a la minería como la fuente principal de contaminantes transportables, pero

pueden identificarse por lo menos cinco grupos principales de fuentes antropogénicas de la contaminación de trazas metálicas en sistemas de planta-tierra <sup>(10)</sup>, (Tabla 1).

**Tabla No. 1 Fuentes antropogénicas de metales tóxicos en el medio ambiente<sup>(10)</sup>.**

<p><b>Metalífero (minería y fundición)</b></p> <p>(a) Deterioro y contaminación causada por la erosión - erosión por el viento- (As, Cd, Hg, Pb)</p> <p>(b) Contaminantes dispersos por la lluvia - depositados en la tierra durante inundaciones y desbordamientos etc - que son arrastrados por el río (As, Cd, Hg, Pb)</p> <p>(c) Transportados o separados - transportados por el viento hacia el suelo- (As, Cd, Hg, Pb)</p> <p>(d) Fundición - contaminación dual viento-polvo, aerosoles (As, Cd, Hg, Pb)</p> <p>(e) Industria de hierro y acero (Cu, Ni, Pb)</p> <p>Materiales terminados (Zn, Cu, Ni, Cr, Cd)</p>
<p><b>Industria</b></p> <p>(a) Plásticos (Cr, Cd, Hg)</p> <p>(b) Textiles (Zn)</p> <p>(c) Microelectronicos (Cu, Cd, Zn)</p> <p>(d) Conservadores de madera (Cu, Cr, As)</p> <p>Refinerías (Pb, Cr)</p>
<p><b>Deposición Atmosférica</b></p> <p>(a) Fuentes urbano/industrial, incluye incineración de plantas, basura rehusada (Cd, Cu, Pb, Hg)</p> <p>(b) Industrias Prometalurgicas (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)</p> <p>(c) Automóviles viejos (Pb)</p> <p>(d) Combustión de combustible fosil (incluye estaciones de poder) (As, Pb, Zn, Cd)</p>
<p><b>Agricultura</b></p> <p>(a) Fertilizantes (As, Cd, Zn en algunos fertilizantes fosfóricos)</p> <p>(b) Abonos (As y Cu en abono de puercos y aves de corral, Zn en fertilizantes de corral)</p> <p>(c) Lima (As, Pb)</p> <p>(d) Pesticidas (Cu y Zn en fungicidas, As y Pb)</p> <p>(e) Irrigación del agua (Cd, Pb)</p> <p>(f) Corrosión de metales (galvanizado y objetos de metal (cercados, pesebres, etc.) Pb, Zn)</p>
<p><b>Tierras dispuestas como tiraderos</b></p> <p>(a) Aguas contaminadas (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn)</p> <p>(b) Infiltración del suelo (As, Cd, Pb)</p> <p>(c) Principales contaminantes (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn)</p> <p>(d) Contaminantes por procesos de combustión, fogatas, brazas, cenizas etc. (Cu, Pb)</p>

### 1.4.3 INFLUENCIA DEL AGUA, AIRE Y SUELO EN LA CONTAMINACIÓN DE LAS PLANTAS CON METALES PESADOS.

El contenido de trazas metálicas en aire, agua y suelo es un factor importante para la contaminación de las plantas, estos dos recursos como sabemos son vitales para el desarrollo y crecimiento de las plantas y estas entran a formar parte de la cadena trófica y por lo tanto a la alimentación humana.

#### 1.4.3.1 Agua

El agua es un recurso escaso, pero de importancia vital para la sociedad y la naturaleza, ya que forma parte, en un tanto por ciento elevado, de la constitución de todos los seres vivos

De todo lo disponible, el 80% del agua se utiliza en la agricultura de regadío, que se contamina poco, dependiendo de los abonos químicos que se hayan utilizado. El 14% del agua lo utiliza la industria, que es altamente contaminada. Y el 6% restante lo utiliza la ciudad, que también está muy contaminada una vez que se ha utilizado. Entre los diversos contaminantes se encuentran los metales pesados, y estos a través del agua se depositan en los suelos y se acumulan en las plantas, en sus tejidos orgánicos<sup>(29)</sup>.

#### 1.4.3.2 Aire

La contaminación del aire puede afectar a las plantas en diferentes grados. A los niveles más bajos, por ejemplo, debajo del umbral, no hay efectos, tales como daño visible, efectos crónicos acumulativos, efectos genéticos o aun cambios graduales en la composición de la comunidad vegetal<sup>(30)</sup>. Sin embargo, aun a este nivel los contaminantes se pueden almacenar en las plantas, introducir en la cadena alimenticia y afectar a los animales que se comen esas plantas.

Todos los metales pesados -plomo, cadmio y zinc- afectan al crecimiento de las plantas. Esto en particular se percibe en las regiones que se encuentran alrededor de fundiciones no ferrosas<sup>(31)</sup>. El zinc y el cadmio son más tóxicos que el plomo, en ese orden. Los metales por lo general se encuentran en forma de sulfato ( $ZnSO_4$ ,  $CdSO_4$ ) y las plantas los absorben con facilidad. Los árboles frutales son especialmente sensibles al

zinc y los ciruelos se afectan más que los manzanos o los perales. Algunas variedades de plantas son más resistentes que otras, y se han encontrado que las paredes de las células de la raíz desempeñan un papel importante en la capacidad de la planta para absorber al compuesto metálico <sup>(35)</sup>

El uso -o abuso- de insecticidas, herbicidas y fungicidas, también pueden causar daño considerable si se esparcen más allá del lugar de su aplicación. Los atomizadores muy finos se utilizan para la aplicación de estos materiales ocasionan la formación de aerosoles, los cuales se pueden acarrear lejos, más allá de los campos o huertos donde se están utilizando, y de esta manera pueden afectar al ecosistema sobre u área mucho más extensa <sup>(35)</sup>

#### 1.4.3.3 Suelo<sup>(7)</sup>

La absorción de trazas metálicas por la planta a través de sus raíces depende de un gran número de variables. Algunas de estas son

- Concentración del contaminante en el suelo
- pH del suelo, especialmente para el cadmio.
- Temperatura crítica a partir de 12°-15° C.
- Cantidad de materia orgánica del suelo
- Fertilizantes utilizados
- Distinta acumulación del metal según las especies.

Un ejemplo de cómo las trazas metálicas son absorbidas por las plantas se presenta con el jitomate, éste presenta absorción a través de las siguientes partes: 1) El cadmio se absorbe en el tallo y sólo en época de crecimiento. 2) El cobre y zinc presentan mayor concentración en la hoja. 3) El hierro presenta una gran variedad en las concentraciones de los distintos tejidos en las diferentes épocas del año.

La agricultura usaba algunos pesticidas inorgánicos como arseniatos de Pb y Ca, sulfato de Cr, etc. que eran muy tóxicos. Se han usado hasta hace no mucho tiempo, especialmente en las plagas forestales. Ahora ya no se usan, pero como son muy persistentes en el ambiente, sigue habiendo lugares con concentraciones altas de estos productos.

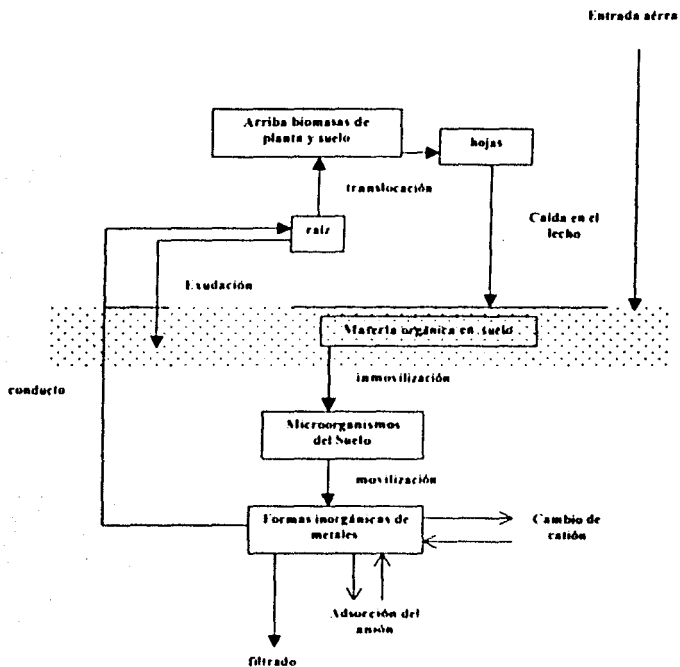


Figura 7. Compartimentos de flujos y almacenamiento implicados en el ciclo de metales en el sistema Suelo-Planta.

#### 1.4.1 COMPARTIMENTOS DE ALMACENAMIENTO Y FLUJOS IMPLICADOS EN EL CICLO DE METALES EN UN SISTEMA PLANTA-SUELO<sup>(12)</sup>

Los compartimentos de los metales en diferentes ecosistemas han recibido alguna atención, pero, a diferencia de los macronutrientes más comúnmente estudiado tales



como N, P y K, se ha sabido muy poco acerca de las diversas transformaciones de los metales y de sus procesos de translocación, particularmente de

- (i) las transformaciones químicas en la matriz del suelo y dentro de células de planta,
- (ii) biodisponibilidad y conducción del metal en diferentes especies químicas,
- (iii) la movilidad de metal en diferentes especies químicas, orgánicas e inorgánicas tanto en suelo como en plantas
- (iv) los procesos de adsorción y cambio de diferentes especies químicas del metal en el suelo.

Una ilustración simplificada de los compartimentos de almacenamiento y flujos implicados en el ciclo de metales en un sistema planta-suelo se muestra en la figura 7<sup>(10)</sup>

#### 1.4.5 TOXICOLOGÍA DE LOS METALES PESADOS EN SERES VIVOS

Los metales pesados poseen una gran capacidad para unirse con muy diversos tipos de moléculas orgánicas. Los procesos de bioacumulación son debidos básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo. El proceso se agrava a lo largo de las cadenas tróficas, debido a que los niveles de incorporación sufren un fuerte incremento a lo largo de sus sucesivos eslabones, siendo en los superiores donde se hallan los mayores niveles de contaminantes (Figura 8). Una vez incorporados a los tejidos, los metales son capaces de reaccionar con una gran variedad de sustancias. Sus efectos tóxicos específicos sobre un sistema biológico, sin embargo, dependen de reacciones con ligandos que son esenciales para la función normal de ese sistema. Así, los metales muestran gran afinidad por grupos sulfhidrilo y, en menor medida, por radicales amino, fosfato, carboxilo, imidazol e hidroxilo, pertenecientes a enzimas y otras proteínas esenciales. Los ácidos nucleicos también resultan afectados por los metales pesados. Estos ocasionan un efecto genotóxico que puede ser catalogado en las siguientes categorías: (a) mutaciones genéticas, (b) aberraciones cromosómicas, (c) alteraciones en la síntesis y reparación de ácidos nucleicos, y (d) transformaciones celulares<sup>(9)</sup>.

Hay similitudes concretas en la toxicidad de ciertos metales. Así, aunque las proteínas particulares que son principalmente afectadas por mercurio, plomo, cadmio y arsénico pueden diferir de un metal a otro, una interacción bioquímica similar es la responsable de la toxicidad de estos cuatro metales<sup>(9)</sup>.

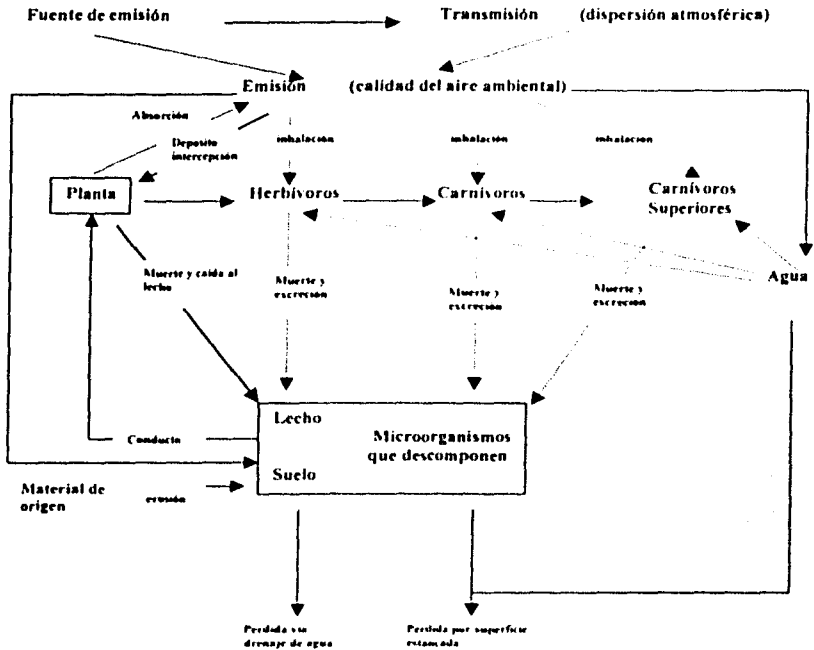


Figura 8. transporte y ciclo de metales pesados en un ecosistema terrestre con el respeto a la posición de plantas y contaminantes producidos por plantas <sup>(11)</sup>

## 1.5 CARACTERISTICAS AMBIENTALES DE LOS MUNICIPIOS

Uno de los objetivos de este trabajo es comparar la influencia de ciertas características de los municipios (urbanización, industrialización y agricultura) en la concentración de trazas metálicas en muestras de pasto, por lo que mencionaremos alguna de ellas.

### 1.5.1. MUNICIPIO DE CUAUTITLÁN IZCALLI

El municipio de Cuautitlán Izcalli se ubica al noroeste del Valle de México, en la porción centro - oeste del Estado de México. Cuenta con una superficie total de 109 924 Km<sup>2</sup>. Sus colindancias son al norte con Tepozotlán; al sur con Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza; al este con los municipios de Cuautitlán y Tultitlán, y al oeste con Nicolás Romero.

El municipio presenta una comunicación fluida con diferentes municipios y ciudades, a través de arterias regionales como son: Autopista México - Querétaro, México - Cuautitlán - Teoloyucan, Lechería - Chamapa - Toluca, Prof. Av. Teotihuacán - Lago de Guadalupe - Atizapán de Zaragoza, carretera Lechería - Tepojaco - Nicolás Romero y Calzada de Guadalupe a Cuautitlán.

Debido a la constante migración de personas, este municipio tiene una alta densidad poblacional, pero también importantes zonas industriales. El suelo agrícola ha sido el más afectado, debido a que se ha reemplazado por los usos de suelo urbano e industrial. Es importante señalar que en el territorio oriente de este municipio se localizan las zonas industriales, como son Industrial Cuamatla, La Luz, Xhala y Cuautitlán. Los giros industriales más sobresalientes en estas zonas industriales son alimentos, farmacéutico, textil, automotriz e industria química. En tanto, las principales áreas verdes del municipio son el Parque de las Esculturas, Espejo de Lirios y Lago de Guadalupe, espacios apropiados para realizar actividades de recreación y esparcimiento.

Las actividades antropogénicas como la construcción de vivienda, la actividad industrial y de transporte, entre otras, han desplazado a la fauna y erradicado la flora original en la parte del territorio municipal que ha sido ocupada por asentamientos humanos. No obstante, los habitantes de las áreas urbanas han introducido plantas de ornato y otras especies arbóreas y arbustivas, lo que ha permitido el amortiguamiento de la deforestación y la preservación de una pequeña cantidad de avifauna que se ha

integrado a la vida urbana. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los suelos agrícolas eran los terrenos más aptos para recargar los mantos acuíferos.

El problema de eliminación de especies de flora y fauna, también surge en los ecosistemas acuáticos como el Lago de Guadalupe, donde el aporte de aguas residuales genera la proliferación de plagas como el lirio y destruye a otras especies

La mayor parte de los asentamientos humanos son regulares y cuentan con los servicios básicos. Los asentamientos irregulares ocupan 725 hectáreas de tierras ejidales, las cuales representan el 14% del área urbana. Por otra parte, la presencia de asentamientos en la zona agrícola inducen el cambio de uso del suelo, además de la pérdida de este recurso con alto potencial

De igual forma, la industria ha absorbido espacios importantes, pues se integra por grandes lotes de traza ortogonal, un tanto separada a la zona comercial y de servicios y muy cercana a la autopista México-Querétaro

Las diferentes actividades que se desarrollan en el municipio congestionan las arterias viales, esto produce problemas de tráfico vehicular y se aumentan las emisiones contaminantes hacia la atmósfera<sup>(12, 23)</sup>

#### **1.5.2. MUNICIPIO DE LERMA**

El municipio de Lerma de Villada pertenece a la región I de Toluca. Su nombre significa "Lugar donde hay cuervos en las milpas". Este municipio se ubica a 54 Km de la Ciudad de México y a 10 Km de Toluca, por lo que su localización en la geografía lo convierte en un municipio estratégico para la industria.

El municipio de Lerma, al igual que otros municipios, sufrió transformaciones en términos demográficos a partir de 1970, debido a la creación de la zona industrial para descentralizar la Zona Metropolitana del Valle de México. El crecimiento demográfico es un proceso irreversible e ineludible que está en función de las políticas públicas que se establecen en una región.

El municipio tiene varias vías de comunicación, las carreteras más importantes son: la vialidad Toluca-La Marquesa, las carreteras Zona Industrial Lerma-El Cerrillo, la autopista federal México-Toluca, carretera Naucalpan-Toluca en Xonacatlán se encuentra una desviación hacia el sur que comunica con varios pueblos de la municipalidad de Lerma.

Cerca de las zonas pobladas hay regiones arbustivas, árboles frutales como el manzano, peral, ciruela pasa, ciruelo, capulín, chabacano, tejocote y durazno, estos se

encuentran alrededor de las tierras de cultivo en las que predomina el maíz, haba, hortalizas, gramíneas, avena y forrajes

Dentro de las especies importantes dentro del municipio, se encuentra el enebro y un extensa variedad de helechos. Hay además abies, pinus, taxodium, cupresus, juniperus y múltiples matorrales donde crece el cardo santo, sobre todo en los montes.

La agricultura es el principal usuario del suelo en este municipio, ya que el 41.0% de la superficie total se dedica a esta actividad. En el 80% de esa superficie se cultiva maíz y el 20 % restante otros productos, entre ellos avena cebada forrajera. La tenencia es ejidal comunal, propiedad privada y propiedad federal. Entre las plantas cultivadas hay, maíz, gramíneas, haba, chícharo, avena, hortalizas, lechuga, col, rábano, betabel o remolacha, zanahoria, cilantro, perejil, coliflor, espinaca, acelga, calabaza, calabacitas, chilacayotes, espárragos, nabos, chivitos, huazontles, quelites, verdolagas y otras.

En cuanto a sector industrial se tiene que el parque industrial de Lerma ocupa sólo el 60% de la superficie destinada a la actividad industrial ocupando 503 ha, superficie que representa sólo el 2.22% del territorio municipal. En estos espacios se desarrolla la industria de la transformación, enfocada a las ramas química, metalmeccánica, autopartes y electrónica.

En el municipio de Lerma, la mayoría de los desechos sólidos proviene de la actividad industrial, de éstos una mínima parte recibe tratamiento o son reciclados. 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. La zona Industrial de Lerma esta considera como una de las zonas de mayor contaminación del aire, por la emisión de gases, humos y polvos de las fábricas<sup>(12, 21)</sup>

### 1.5.3. 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.

Debido a la condición altamente salitrosa de los terrenos de la zona, existe poca variedad de flora, al mismo tiempo que se dificulta la introducción de especies foráneas. En la actualidad existen aproximadamente 500.000 árboles en el municipio.

El aspecto físico del municipio de Nezahualcóyotl es totalmente urbanizado, con excepción de algunos parques y áreas verdes en camellones, los cuales son insuficientes para la población que habita el lugar.

Los vehículos que circulan por las vialidades del municipio emiten una gran cantidad de gases contaminantes lo que origina un también un aspecto desfavorable en toda la zona urbana.

Este municipio se encuentra inmerso en los problemas ambientales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. La calidad del aire se ve afectada principalmente por vehículos automotores, que emiten grandes cantidades de gases contaminantes a la atmósfera<sup>(12 22)</sup>.

#### **1.5.4.MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA**

El municipio se ubica al noreste del estado de México, junto al límite norte del Distrito Federal. Cuenta con una superficie de 83 477 Km<sup>2</sup>, lo que representa el 0 38% del total de la superficie del Estado de México

El municipio limita al norte con Tultitlán, al noreste, con Coacalco, al noreste, con Cuautitlán Izcalli, al sur con el Distrito Federal y el municipio de Naucalpan, al este con Ecatepec, y al oeste, con Atizapán de Zaragoza

De la flora original sólo han sobrevivido algunas herbáceas, y los arboles nativos fueron suprimidos irracionalmente para dar especies domésticas traídas de otros continentes

Tlalnepantla de Baz se encuentra en la región socio-económica "A" que corresponde a los salarios mínimos más altos a nivel nacional. 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. Existe un número reducido de unidades de producción agrícola y pecuaria

La contaminación del aire producida por la industria se incrementa de manera rápida, esto sumado a la contaminación causada por los automotores registrados, más los vehículos de otros municipios que circulan sobre las múltiples vialidades de Tlalnepantla Av. Gustavo Baz, Av. Presidente Juárez, Periférico Oriente, parte de la Autopista México-Querétaro<sup>(12 20)</sup>

#### **1.5.5.MUNICIPIO DE ZUMPANGO**

El municipio cuenta con una superficie total de 244 08 Km<sup>2</sup>, se ubica al norte de la zona oriente del Estado de México. El territorio de Zumpango, colinda al norte con los municipios de Tequixquiac y Hueyoxtla, al sur con Nextlalpan, Jaltenco, Melchor

Ocampo y Cuautitlán, al este con Tecámac y el Estado de Hidalgo, al oeste con Huehuetoca, Coyotepec y Teoloyucan.

Por las condiciones del terreno y al clima seco semiárido el estrato arbóreo es escaso. En algunos fraccionamientos existen zonas jardinadas. Destacan por su tamaño el jardín del centro de la cabecera municipal y el deportivo Alfredo del Mazo. También hay vegetación en camellones, banquetas, avenidas y jardines de las viviendas, sin embargo, estas áreas no rebasan las 50 hectáreas.

La única área natural protegida presente en el municipio es la Laguna de Zumpango, la cual se extiende sobre una parte del territorio de Teoloyucan. Este cuerpo de agua se encuentra gravemente contaminado, por lo que las actividades de pesca y turismo prácticamente han desaparecido.

Según el INEGI, en 1993 los cultivos más comunes en el territorio del municipio de Zumpango fueron los siguientes considerados en hectáreas. Cereales: maíz 5700, cebada en grano 3770, trigo 870, avena en grano 15, industriales: Maguey 64, legumbres: frijol 965, hortalizas: lechuga 184, zanahoria 20, tomate 14, cebolla 13, calabacitas 12, otros: forrajes de alfalfa 1213, maíz forrajero 1021, pasto cultivado 139. El volumen de producción rural media anual se comporta como sigue en toneladas: avena forrajera 3475, cebada 110000, frijol 365, maíz 6400, trigo 400, alfalfa 36600 y durazno 4260.

Otro aspecto importante de mencionar corresponde las zonas industriales, las cuales 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.), así como compuestos organoclorados. Este cuerpo de agua ha sido saturado por lodo acuático lo que ha provocado la desecación de la laguna. Por otra parte, son persistentes los malos olores originados por la degradación de la materia orgánica, presente en el agua residual.

La contaminación del aire producida por la industria se incrementa de manera rápida, al sumarse a la contaminación causada por los automotores que circulan sobre las vialidades del municipio.<sup>(12, 19)</sup>

**PARTE**  
**EXPERIMENTAL**



## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 EQUIPO, MATERIAL Y REACTIVOS.

#### EQUIPO

- ✓ Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian Spectra 800.
  - Generador de Hidruros Modelo VGA 77
  - Horno de Grafito Modelo GTA 100
  - Celda de cuarzo
  - Lámparas de cátodo hueco
  
- ✓ Horno de Microondas Mars 5 con vasos modelo HP-500
  
- ✓ Sistema Millipore (10 M  $\Omega$  Cm) Milli-Q™ Water System

#### MATERIAL

Mortero de porcelana con pistilo  
Matraces volumétricos (10, 25, 50 y 100 ml)  
Micropipetas (5-50, 20-200, 100-1000  $\mu$ l y 1-5 ml)  
Pipetas volumétricas (1, 2, 3, 5 y 10 ml)  
Probeta graduada (10 ml)  
Vasos de precipitado (50, 100 y 250 ml)  
Fracos de polietileno  
Espátula  
Penilla  
Embudo de vidrio  
Agitador Magnético  
Barra Magnética  
Agitador de vidrio  
Papel Whatman No 40  
Bolsas de polietileno  
Papel aluminio

## REACTIVOS

HCl. Marca (J. T. Baker. 65.6%).

HNO<sub>3</sub> (J. T. Baker. 65.6%).

KI (J. T. Baker).

NaBH<sub>4</sub> (Sigma).

NaOH (J. T. Baker)

SnCl<sub>2</sub> Anhidrido (Sigma)

Agua desionizada

## ESTÁNDARES COMERCIALES (SOLUTIONS PLUS INC)

As (concentración de 1000 1 ppm)

Cd (concentración de 998 4 ppm)

Cr (concentración de 997 9 ppm)

Cu (concentración de 997 2 ppm)

Hg (concentración de 997 7 ppm)

Pb (concentración de 998 1 ppm)

Pd (concentración de 998 3 ppm)

Pt (concentración de 998 4 ppm)

Rh (concentración de 998 2 ppm)

Zn (concentración de 997 0 ppm)

## 2.2 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

Se recolectaron un total de 35 muestras, de las cuales 8 corresponden al municipio de Cuautitlán Izcalli, 8 al municipio de Lerma, 7 al municipio de Nezahualcóyotl, 7 a Tlalnepantla y 5 al municipio de Zumpango. Estas fueron tomadas de zonas con alto tránsito vehicular, en lugares con gran cantidad de industrias y en algunos casos en zonas agrícolas (en donde existieran). Se tomaron aproximadamente 100 gramos de cada muestra y se colocaron en bolsas de polietileno, para evitar su contaminación. El muestreo fue de una forma aleatoria, y las zonas de donde se obtuvieron las muestras se presentan en los mapas de los municipios (ver anexo 2).

## 2.3 PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA

### 2.3.1 SECADO

Una vez obtenidas las muestras estas se extendieron al aire libre para secarse, en un lugar libre de polvo y contaminantes que pudieran influir en la cuantificación de los metales de interés, además de evitar un posible crecimiento de microorganismos por la humedad, posteriormente fueron colocadas en una estufa a 60°C hasta obtener un peso constante de la muestra

### 2.3.2 MOLIENDA

Una vez obtenida la muestra seca, se trituró en un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino

### 2.3.3 DIGESTIÓN DE LA MUESTRA

Para que los métodos de digestión sean efectivos deben descomponer la matriz en donde se encuentra la muestra, y así los analitos de interés se liberen completamente y se solubilice y por lo tanto estén en una forma compatible con el método analítico de elección. Los métodos de la digestión son un requisito crucial para un análisis exacto

Usar la técnica por horno de microondas no sólo reducen el tiempo de digestión sino también tiene otros beneficios tal como reducción en la contaminación, menor cantidad de reactivo y muestra, así como una reducción en la pérdida de las especies volátiles.

Para realizar la digestión de nuestra muestra con el fin de eliminar la materia orgánica y obtener las trazas metálicas en solución, se ocupó un Horno de Microondas (MARS 5) y de vasos de teflón HP-500

El procedimiento fue el siguiente:

1. Se pesaron 0.25g de la muestra en cada vaso HP-500 por medio de una balanza analítica
2. Se agregó 10 ml de ácido Nítrico concentrado, se cerraron los vasos y se armó el sistema
3. Por último se colocaron dentro del Horno de microondas y se programó el calentamiento para la digestión como se indica a continuación

El programa de calentamiento consiste en una rampa de temperatura como se indica en la siguiente tabla

Tabla 2. Programa de calentamiento para la digestión de las muestras de pasto

% poder	Máximo poder	Rampa de poder (min )	Temperatura °C	Presión psi	Mantenimiento (min )
100	1200	10 00	200	800	10 00

- Una vez hecha la digestión se filtra lo obtenido con papel wattman No 40 y se afora con agua desionizada a un volumen final de 50 ml, esta solución esta lista para poder cuantificar las trazas metálicas en el Espectrofotómetro de absorción atómica Varian Spectra AA800

## 2.4 CUANTIFICACIÓN DE LAS TRAZAS METÁLICAS

Para cuantificar las trazas metálicas de Cd, Cu, Cr, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn, en las muestras de pasto se ocupo el sistema de atomización por flama y en los casos en donde no se pudieron detectar niveles muy pequeños de algunas trazas como fue el caso de Cd, Cr, Pd, Pt y Rh se utilizo el sistema de atomización por horno de grafito ya que su sensibilidad es mayor por lo que se pudieron cuantificar concentraciones de partes por billón (ver tabla 2) con respecto a As y Hg estos fueron analizados por Generador de Hidruros y vapor frio respectivamente , debido a la alta volatilidad que presentan y que más adelante se detallará

### 2.4.1 CURVAS DE CALIBRACIÓN

Las curvas de calibración para la cuantificación de las trazas metálicas medidas por flama, y el Hg en generador de vapor frio se prepararon en forma similar y basicamente se siguió el siguiente procedimiento

- Se preparo una solución stock de determinada concentración a partir de los estándares con concentración conocida (1000 ppm)
- Se tomaron alícuotas de esta solución para obtener las concentraciones requeridas de cada metal y se llevo hasta un volumen final de 50 ml con agua desionizada

T Como blanco se utilizo agua desionizada

Para el caso de arsénico la curva de calibración fue preparada de manera muy similar a las anteriores pero con la diferencia de que 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

Esto se hizo debido a que el análisis de As por generación de hidruros tiene que reducirse de As (V) a As (III) por medio del yoduro potásico en un medio ácido Para que se lleve a cabo esta reducción se requiere de 50 minutos a temperatura ambiente

En cuanto a las curvas de calibración por horno de grafito el equipo realiza automáticamente las diluciones a partir de un stock preparado por los analistas

La cuantificación de trazas metálicas se hizo utilizando los tres sistemas de atomización con que cuenta el equipo, como se indica en la siguiente tabla

Tabla 3. Sistemas de atomización utilizados para la cuantificación trazas metálicas

Metal	SISTEMAS DE ATOMIZACIÓN		
	flama	Horno de Grafito	Generador de vapor e hidruros
Arsénico			*
Cadmio		*	
Cobre	*		
Cromo		*	
Mercurio			*
Paladio		*	
Platino		*	
Plomo	*		
Zinc	*		

## 2.4.2 MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE TRAZAS METÁLICAS

De manera muy general mencionaremos los pasos básicos para la cuantificación de las trazas metálicas en los tres sistemas de atomización.

1. Se realiza el montaje de los sistemas de atomización y se revisa los servicios que se requieren para cada sistema
2. Una vez que se ha colocado el sistema de atomización correspondiente, la lámpara y todo lo necesario de instrumentación, se enciende el equipo dependiendo del sistema de atomización que se requiere utilizar.
  - Flama (Spectr AA800)
  - Horno de Grafito (Spectr AA800, GTA100 y bomba de enfriamiento)
  - Generador de Vapor Frio e Hidruros (Spectr AA800 y VGA-77)
3. El programa que controla el Espectrofotómetro de Absorción Atómica corre bajo el ambiente de Windows 95, una vez entrando al programa se deberá crear un nuevo método donde se le dará un nombre y posteriormente se editara dicho método estableciendo los parámetros analíticos para el elemento a analizar como son matriz del elemento, unidades de concentración, número de posición de la lámpara, concentraciones de los estándares, número de muestras, número de replicas para la lectura de las muestras y estándares etc  
Ya editado el método se procede a realizar el análisis que consiste en los siguiente:
  - ✓ Se deberán seleccionar el numero de muestras
  - ✓ Optimizar el instrumento (lámpara, señal)
  - ✓ Alinear paralelamente la ranura del quemador con el haz de luz
4. El análisis de las muestra dependerá del tipo de sistema de atomización como se indicara a continuación

#### 2.4.2.1 *Cuantificación de trazas metálicas en el sistema de atomización por flama*

Para el caso de un análisis en **flama**, se deberá prender primeramente la flama y se inicia la secuencia presionando el botón de start , el instrumento realiza un Instr Zero para tener una línea base en el cero de Absorbancia y finalmente el programa pedirá los estándares y las muestras

#### 2.4.2.2 *Cuantificación de trazas metálicas en el sistema de atomización por generación de hidruros y vapor frío*

En **Generación de Hidruros** se utiliza una celda de cuarzo que se deberá mover antes de prender la flama sujetándola de un soporte con el que cuenta, hasta quede libre la ranura del quemador, una vez encendida la flama, se coloca lentamente la celda en su lugar. Para el caso de **Generación de Vapor Frío** se procede de manera muy similar pero con la diferencia de que no se enciende la flama Enseguida se colocan los capilares del reductor y del ácido y el capilar de la muestra se coloca en agua desionizada y por ultimo se sigue el mismo procedimiento que para el sistema de atomización por flama

#### 2.4.2.3 *Cuantificación de trazas metálicas en el sistema de atomización por horno de grafito*

Para el análisis de las muestras por **Horno de Grafito**, se debe asegurar que la inyección de la muestra por el capilar del automuestreador al tubo de grafito sea correcta, para ello se debe presionar el botón align, a lo que llevará al inyector a la posición No 1 de carrusel montado en el automuestreador, se vuelve a presionar el mismo boton , por lo cual automuestreador llevara al inyector al tubo de grafito y con ayuda de un espejo, se verificara que el capilar no toque el fondo o la pared del tubo Una vez ajustado el capilar se pondrá un seguro con el que cuenta el equipo para mantenerlo fijo Por último se colocara en el automuestreador, el blanco, las muestras y un estándar concentrado, cabe mencionar que el equipo realizara las diluciones correspondientes a partir de este estándar. La secuencia se inicia automáticamente al presionar start

**RESULTADOS  
Y  
DISCUSION**



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 CURVAS DE CALIBRACIÓN

Para la cuantificación de trazas metálicas en las muestras de pasto se hicieron curvas de calibración para cada metal a partir de una solución estándar. Una vez obtenidos los datos de estas curvas se realizó un análisis estadístico para determinar la relación entre la concentración de las trazas metálicas y la absorbancia medida.

Primero se mostraran los datos y la gráficas de las curvas de calibración para cada metal, y por último los resultados estadísticos de cada una de ellas

Para este análisis estadístico es necesario conocer el modelo de una ecuación lineal que se muestra a continuación

$$y = mx + b$$

Para demostrar si la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración de cada metal, se realizó un análisis de regresión simple.

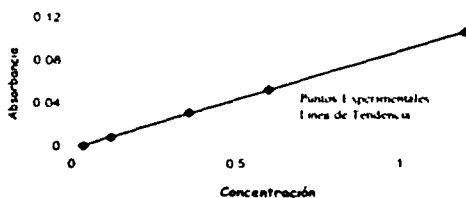
Las curvas de calibración realizadas empleando el *sistema de atomización por flama* fueron las siguientes

Tabla 4 Datos de la curva de calibración

Sistema	Conc. (ppm)	A
1	0.036	0.0023
2	0.120	0.0102
3	0.360	0.0331
4	0.600	0.0542
5	1.200	0.1084

#### COBRE

Gráfica No. 1. Curva de calibración para cobre

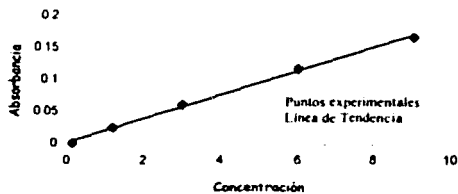


PLOMO

Tabla 5. Datos de la curva de calibración

Sistemas	Conc. (ppm)	A
1	0.15	0.0028
2	1.20	0.0272
3	3.00	0.0634
4	6.00	0.1194
5	9.00	0.1681

Gráfica No.2. Curva de calibración para plomo



ZINC

Tabla 6. Datos de la curva de calibración

Estándar	Conc. (ppm)	A
1	4.0	0.0126
2	12.0	0.0446
3	20.0	0.0808
4	32.0	0.1411
5	40.0	0.1722

Gráfica 3. Curva de calibración para zinc

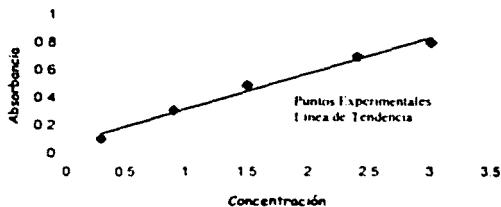


Tabla 7. Parámetros estadísticos de la regresión de las curvas de calibración de

Cobre, Plomo y Zinc.

Metal	Intercepto	Pendiente	Coefficiente de determinación ( $r^2$ )
Cobre	-0.0005	0.0909	0.9998
Plomo	0.0041	0.0186	0.9970
Zinc	0.0796	0.2557	0.9843

Los parámetros estadísticos mostrados en la tabla anterior indican que el coeficiente de determinación para los dos primeros metales es mayor del 99% y para Zinc mayor al 98% por lo que se puede afirmar que la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración, siguiendo una tendencia lineal dentro del intervalo que abarca la curva de calibración

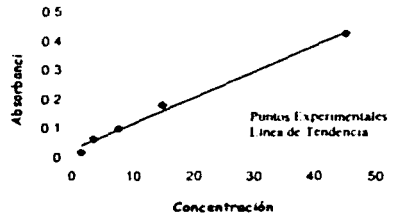
Solamente las trazas metálicas de aquellos metales denominados volátiles se pueden cuantificar por el sistema de atomización *Generador de Vapor e Hidruros* (mercurio y arsénico respectivamente). Las curvas de calibración construidas son las siguientes.

### ARSÉNICO

Tabla 8 Datos de la curva de calibración

Sistemas	Conc. (ppb)	A
1	12	0.0077
2	3	0.0198
3	6	0.0391
4	9	0.0584
5	12	0.0844

Gráfica 4. Curva de calibración para arsénico



### MERCURIO

Tabla 9. Datos de la curva de calibración

Sistema	Conc. (ppb)	A
1	12	0.0077
2	3	0.0198
3	6	0.0391
4	9	0.0584
5	12	0.0844

Gráfica 5 Curva de calibración para mercurio

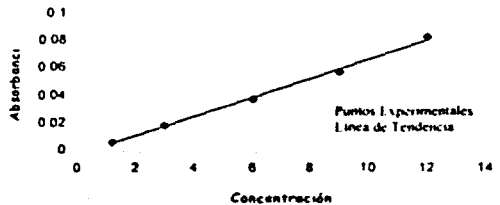


Tabla 10. Parámetros estadísticos de la regresión para las curvas de calibración de arsénico y mercurio

Metal	Intercepto	Pendiente	Coefficiente de determinación ( $r^2$ )
Arsénico	-0.0031	0.0071	0.9990
Mercurio	0.0035	0.0115	0.9954

La tabla 10 muestra que el coeficiente de determinación para ambos metales indica que la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada al menos en un 99.5% por los cambios en la concentración

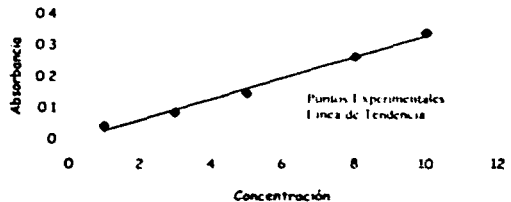
Por otra parte, en el sistema de atomización por horno de grafito se cuantificaron los metales que se encontraron en muy bajos niveles, debido a que este sistema presenta mayor sensibilidad, por lo que permite detectar niveles de concentración más pequeños, es decir, pueden cuantificarse hasta partes por billón (ppb) Las trazas metálicas analizadas fueron: cadmio, cromo, paladio, platino y rodio. Las curvas de calibración de cada metal se muestran a continuación

### CADMIO

Tabla 11. Datos de la curva de calibración

Sistema	Conc. (ppb)	A
1	1.2	0.0077
2	3	0.0198
3	6	0.0391
4	9	0.0584
5	12	0.0844

Gráfica 6. Curva de calibración para cadmio

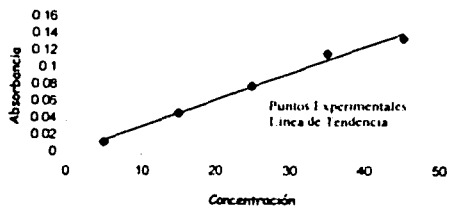


## CROMO

Tabla 12. Datos de la curva de calibración

Sistema	Conc. (ppb)	A
1	5	0.0146
2	15	0.0460
3	25	0.0809
4	35	0.1194
5	45	0.1365

Gráfica 7. Curva de calibración para cromo

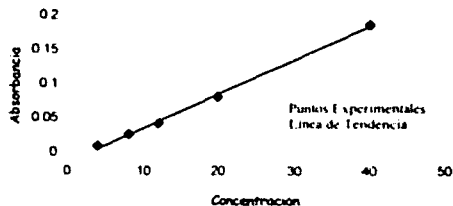


## PALADIO

Tabla 13. Datos de la curva de calibración

Sistema	Conc. (ppb)	A
1	4	0.0124
2	8	0.0294
3	12	0.0453
4	20	0.0841
5	40	0.1899

Gráfica 8. Curva de calibración para paladio

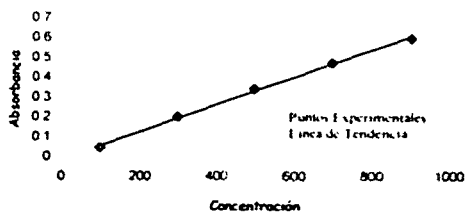


## PLATINO

Tabla 14. Datos de la curva de calibración

Sistema	Conc. (ppb)	A
1	100	0.0581
2	300	0.2136
3	500	0.3561
4	700	0.4869
5	900	0.6088

Gráfica 9. Curva de calibración para platino



## RODIO

Tabla 15. Datos de la curva de calibración

Sistema	Conc. (ppb)	A
1	4.0	0.0126
2	12.0	0.0446
3	20.0	0.0808
4	32.0	0.1411
5	40.0	0.1722

Gráfica No 10. Curva de Calibración para rodio

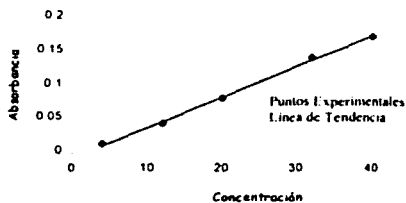


Tabla 16. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de las curvas de calibración de cadmio, cromo, paladio, platino y rodio.

Metal	Intercepto	Pendiente	Coefficiente de determinación ( $r^2$ )
Cadmio	-0.0193	0.0355	0.9810
Cromo	0.0015	0.0031	0.9888
Paladio	-0.0112	0.0049	0.9976
Platino	0.0010	0.0006	0.9976
Rodio	-0.0076	0.0045	0.9982

De acuerdo a la tabla anterior el coeficiente de determinación para cadmio y cromo al menos el 98.10 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de este metal, mientras que para los demás metales la variabilidad observada en la absorbancia se explica por los cambios de concentración en más de un 99.7%

### 3.2 RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE LAS TRAZAS METÁLICAS DE INTERÉS EN MUESTRAS DE PASTO PARA CADA MUNICIPIO

Las concentraciones obtenidas de cada metal (*As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pd, Pb, Pt, Rh* y *Zn*) por el equipo de absorción atómica fueron analizadas estadísticamente por medio del programa Statgraphics plus 4.0 a través de un análisis de varianza de una vía o completamente al azar, este análisis consiste en determinar si existe alguna diferencia en los niveles de concentración de cada metal entre las zonas urbanas, agrícolas, industriales y con vías de comunicación. Debemos aclarar que el número de muestras tomadas son insuficientes para que este análisis estadístico sea representativo por lo que solamente nos dará un panorama general de las diferencias entre las diferentes zonas y así mismo en el caso particular de la misma zona.

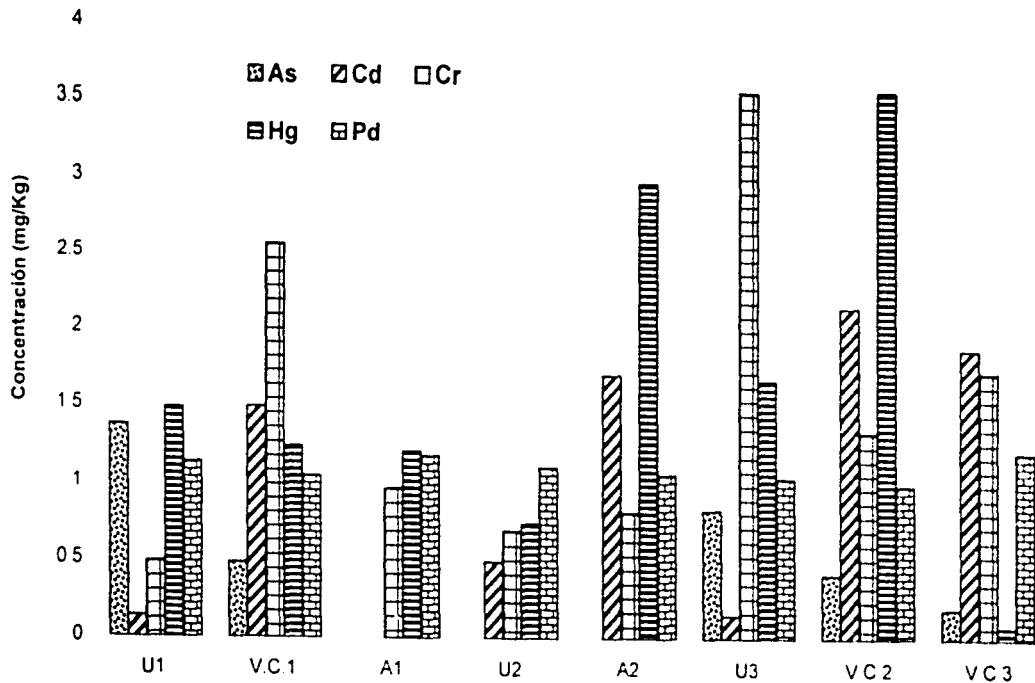
En lo que respecta al platino y al rodio las concentraciones de las muestras estaban por debajo de las concentraciones mínimas, que pudieran ser cuantificadas en las curvas de calibración por horno de Grafito, estas eran de 100 y 4 ppb respectivamente. Como se mencionó anteriormente este sistema de atomización tiene una sensibilidad mayor que los otros dos.

#### CUAUTILÁN IZCALLI

Tabla No. 17. Concentración de las trazas metálicas (mg/kg)

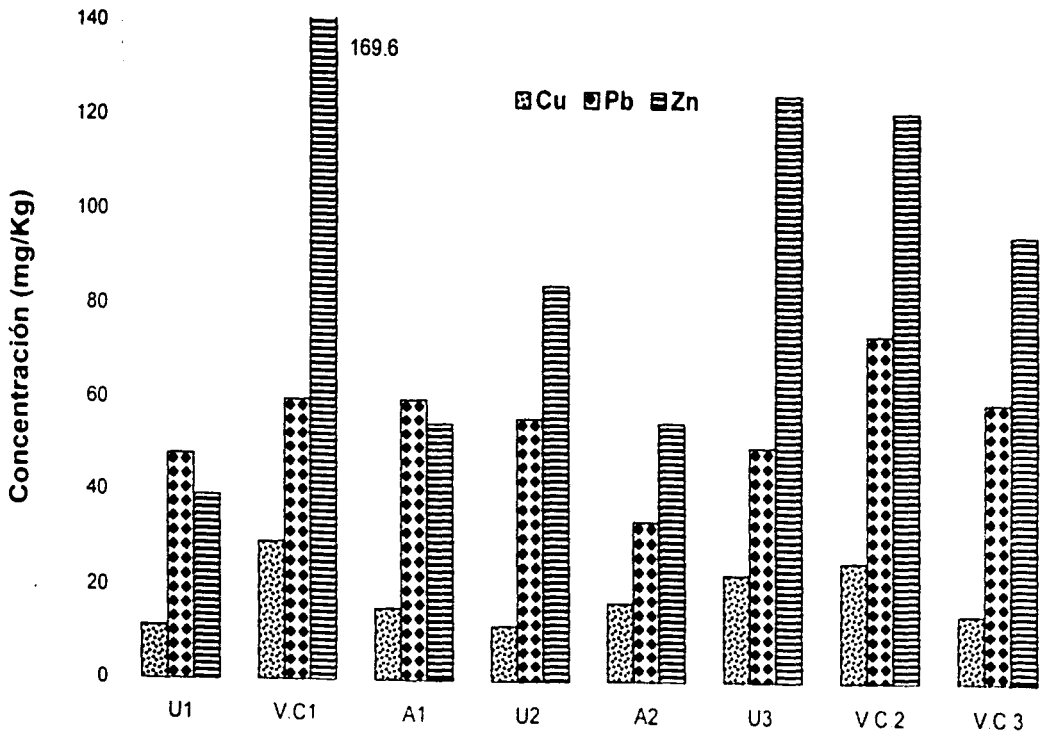
Muestra	Zona	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pd	Pb	Zn
U1	Urbana	1371	0137	0492	1160	148	1136	4800	3920
V.C1	Vías Com	0486	1491	2558	2940	124	1052	6000	16960
A1	Agrícola	nd	nd	0968	1560	121	1182	6000	5480
U2	Urbana	nd	0493	0692	1200	073	1108	5600	8440
A2	Agrícola	nd	1703	0812	1700	297	1060	3400	5520
U3	Urbana	0828	0148	3556	2320	166	1038	5000	12480
V.C2	Vías Com	0413	2149	1336	2600	356	0992	7400	12140
V.C3	Vías Com	0193	1873	1728	1480	007	1212	6000	9540

nd = no determinada



Gráfica 11. Municipio de Cuautitlán Izcalli





Gráfica 12. Municipio de Cuautitlán Izcalli

Los niveles de concentración de los metales en estudio mostrados en la gráfica 11 indican que las muestras A2 y V.C 3 contienen altas concentraciones de mercurio, esta última muestra fue tomada de la orilla de autopista, a un lado de la fabrica "Ford" donde se caracteriza por un denso tránsito vehicular, otra muestra que contiene altos niveles de cromo es la U3, tomada de la orilla de una presa (presa ángulo), es importante señalar que este sitio presentaba un aspecto y olor desagradables ya que se encontraban todo tipo de desechos y a pocos metros de ahí hay varias casas. En cuanto a paladio no se observa diferencia entre las zonas, y las concentraciones de Cd se muestran un tanto elevadas principalmente en muestras tomadas de importantes vías de comunicación como son V.C 1, V.C 2 y V.C 3. Por último cabe mencionar que las concentraciones de arsénico se ven incrementadas en zonas urbanas (U1 y U3).

La gráfica 12 nos muestran que las concentraciones más altas corresponden a Zinc, principalmente en vías de comunicación (V.C 1, V.C 2 y V.C 3). En cuanto al cobre y plomo no existe diferencia entre una zona y otra, pero para este último hay un leve aumento en las concentraciones en vías de comunicación, dado la zona que se está analizando puede deberse a los compuestos de plomo que proceden de los gases de escape de los automóviles que se depositan en el suelo y el pasto lo absorbe.

En cuanto a los niveles establecidos en la bibliografía (ver anexo 1), las concentraciones de cobre en la mayoría de las zonas (V.C 1, A1, A2, U2, V.C 2 y V.C 3) se encuentran por arriba de lo establecido que es de 13 mg/kg. También las concentraciones de mercurio en todas las muestras están por arriba de estos niveles que son de 0.12 mg/kg. Sin embargo debemos mencionar que estos niveles de concentración están establecidos para el pasto puesto que es más tolerante a los metales estudiados, pero para la mayoría de las plantas estas concentraciones están muy por arriba de lo que pudieran tolerar. Esto es importante por que como sabemos existen algunos pastos que se utilizan para la alimentación del ganado y finalmente el humano consume esta fuente pudiendo tener una bioacumulación de estos metales.

## Análisis de varianza de una vía o completamente al azar

## Hipótesis

$H_0: \mu_{\text{agrícola}} = \mu_{\text{urbana}} = \mu_{\text{vias de com}} = \mu_{\text{industrial}}$

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

## Criterios de aceptación

Se acepta  $H_0$  si el valor de  $P > 0.05$

Se rechaza  $H_0$  si el valor de  $P < 0.05$

Tabla 18. 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 (As)	Entre Grupos	1.46	3	0.4875	10.06	0.0247
	Dentro de Grup	0.19	4	0.0484		
Cadmio (Cd)	Entre Grupos	3.87	3	1.2919	3.10	0.1517
	Dentro de Grup	1.66	4	0.4170		
Cobre (Cu)	Entre Grupos	126.06	3	42.02	0.91	0.5118
	Dentro de Grup	184.98	4	46.245		
Cromo (Cr)	Entre Grupos	2.36	3	0.78	0.57	0.6615
	Dentro de Grup	5.48	4	1.37		
Mercurio (Hg)	Entre Grupos	1.22	3	0.40	0.21	0.8865
	Dentro de Grup	7.86	4	1.96		
Paladio (Pd)	Entre Grupos	0.001	3	0.0006	0.07	0.9752
	Dentro de Grup	0.038	4	0.009		
Plomo (Pb)	Entre Grupos	480.83	3	160.27	1.36	0.3742
	Dentro de Grup	470.667	4	117.667		
Zinc (Zn)	Entre Grupos	7048.8	3	2349.6	1.45	0.3546
	Dentro de Grup	6498.72	4	1624.68		

De acuerdo a esta tabla No 18 en lo que respecta a arsénico se rechaza  $H_0$ , debido a que el valor de  $P < 0.05$  y por lo tanto hay una diferencia significativa entre la media de este metal de un nivel de zona a otro en un nivel de confianza del 95 %. En cambio para los demás metales se acepta  $H_0$  ya que el valor de  $p > 0.05$  por lo que no existe diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en el mismo porcentaje de nivel de confianza.

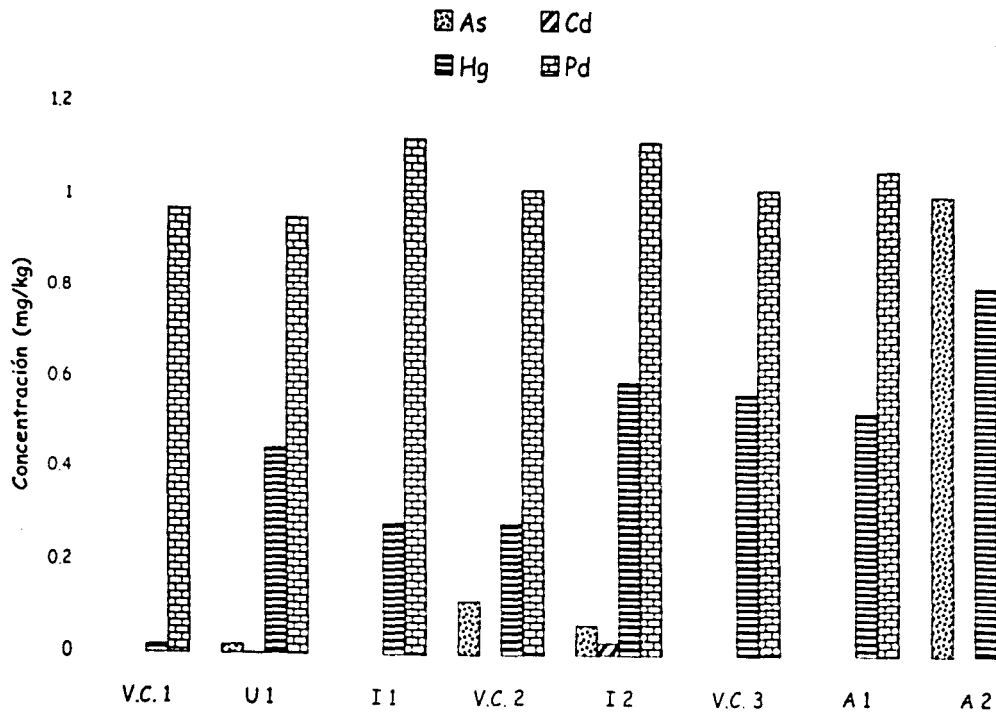
## LERMA

Tabla 19. Concentración de la trazas metálicas (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pd, Pb y Zn).

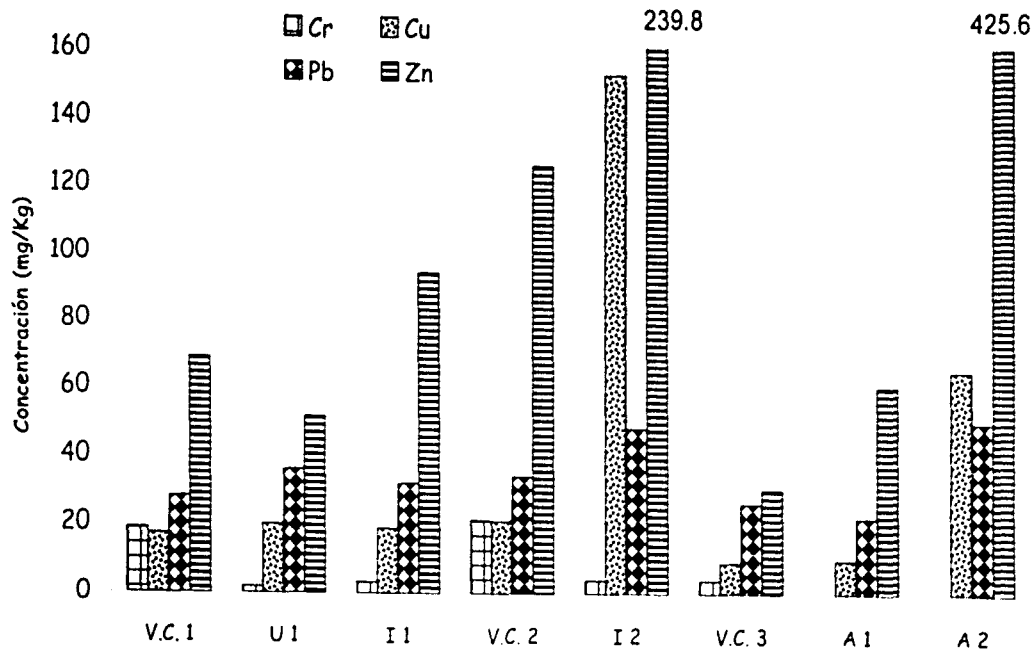
Muestra	Zonas	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Pd (mg/kg)	Zn (mg/kg)
V.C.1	Vías com.	n.d.	n.d.	18.73	17.2	0.016	28	0.968	68.8
U1	Urbana	0.017	0.0008	1.94	20	0.444	36	0.948	51.4
I1	Indus.	n.d.	n.d.	3.39	18.8	0.280	32	1.12	94
V.C.2	Vías com.	0.114	n.d.	21.24	21	0.280	34	1.012	125.8
I2	Indus.	0.061	0.024	4.05	152.6	0.590	48	1.114	239.8
V.C.3	Vías com.	n.d.	n.d.	4.07	9.2	0.564	26	1.012	30.2
A1	Agrícola	n.d.	n.d.	n.d.	10	0.526	22	1.056	60.4
A2	agrícola	0.999	n.d.	n.d.	65	0.800	50	n.d.	425.6

n.d. = no determinada

Los niveles de concentración de paladio observados en la gráfica 13 son los más altos con respecto a los otros metales en esta gráfica, además de que se encuentran constantes entre todas las muestras analizadas. Por otro lado las concentraciones de cadmio son mínimas y en algunas muestras no se encontró este metal. Los niveles de arsénico también son bajos en la mayoría de las muestras, a excepción de A2, donde las concentraciones de mercurio también son altas, es importante señalar que en esta zona se encontró ganado vacuno pastando y tomando agua del río Lerma que se encontraba muy cerca de ahí y presentaba una coloración negra.



Gráfica 13. Municipio de Lerma



Gráfica 14. Municipio de Lerma

En la gráfica 14 se puede observar que las concentraciones más elevadas son las que corresponden al zinc y estas se encuentran en la muestra A2 y también en la muestra 1 2 tomada de una zona altamente industrial, donde también los niveles de cobre se encuentran más elevados debido a que una de las principales fuentes de contaminación de este metal son las industrias. Con lo que respecta a los niveles de plomo y cromo estos más bajos aunque para este último las concentraciones permitidas son muy bajas también se puede ver que no existe diferencia entre las zonas.

En la muestra A2 de la gráfica 15 se observa que los niveles de arsénico, mercurio, plomo y zinc se encuentran más altos que la demás muestras, esta fue tomada de la orilla de río Lerma, por lo que se puede suponer que estos metales son depositados en el río, ser arrastrados por la corriente y absorberse por la raíz del pasto.

Los niveles de concentración de cromo consideradas por arriba de lo establecido se observan en las muestras VC 1 y VC 2 las cuales fueron tomadas de orillas de carreteras con alto tránsito vehicular y de la orilla de río Lerma que son aguas contaminadas por este metal, por otro lado las concentraciones de cobre se muestran elevadas en la mayoría de las muestras principalmente las obtenidas de zonas industriales y urbanas fuentes principales de contaminación de este metal, para el caso de mercurio todas las muestras se encuentran por arriba de los niveles establecidos, estas muestras fueron tomadas de zonas industriales, urbanas y agrícolas principales fuentes de contaminación.

#### **Análisis de varianza de una vía o completamente al azar**

##### **Hipótesis**

$H_0$ :  $\mu$  agrícola =  $\mu$  urbana =  $\mu$  vías de comunicación =  $\mu$  industrial

$H_a$ : al menos un par de medias es diferente

##### **Criterios de aceptación**

Se acepta  $H_0$  si el valor de  $P > 0.05$

Se rechaza  $H_0$  si el valor de  $P < 0.05$

Tabla 20. 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 (As)	Entre Grupos	0 3324	3	0 1108	0 88	0 5244
	Dentro de Grup	0 5061	4	0 1265		
Cadmio (Cd)	Entre Grupos	0 0001	3	0 000041	0 40	0 7598
	Dentro de Grup	0 0004	4	0 4170		
Cobre (Cu)	Entre Grupos	2690 31	3	896 769	0 25	0 8561
	Dentro de Grup	14187 6	4	3546 89		
Cromo (Cr)	Entre Grupos	179 108	3	59 7026	0 76	0 5724
	Dentro de Grup	314 357	4	78 5894		
Mercurio (Hg)	Entre Grupos	0 2742	3	0 0914	2 78	0 1742
	Dentro de Grup	0 1315	4	0 0328		
Paladio (Pd)	Entre Grupos	0 3843	3	0 1281	0 89	0 5190
	Dentro de Grup	0 5760	4	0 1440		
Plomo (Pb)	Entre Grupos	54 0	3	18 0	0 11	0 9491
	Dentro de Grup	648 0	4	162 0		
Zinc (Zn)	Entre Grupos	36059 1	3	12019 7	0 54	0 6800
	Dentro de Grup	89025 5	4	22256 4		

En el análisis de varianza presentado en la tabla 20 se tiene que el valor de  $p > 0.05$  esto indica la aceptación de  $H_0$  para todos los metales y por lo tanto no existe diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en un nivel de confianza del 95%. Los resultados anteriores nos indica que no hay una diferencia significativa en los niveles de concentración de los metales entre una zona y otra



## NEZAHUALCOYOTL

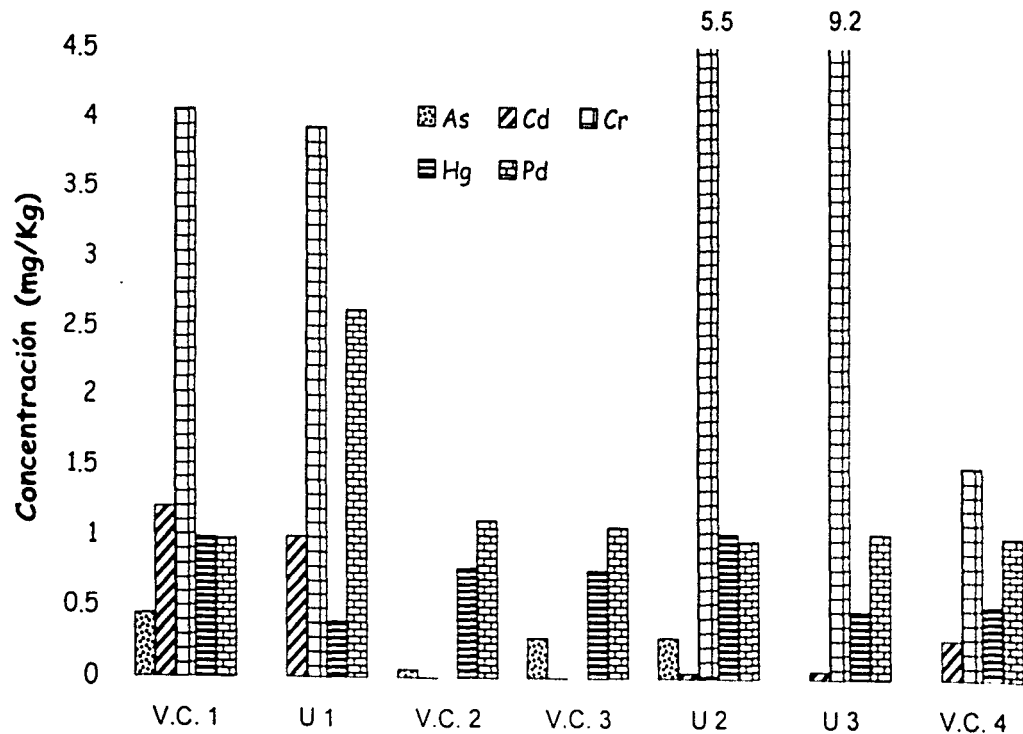
Tabla No. 21. Concentración de las trazas metálicas (mg/Kg)

Muestra	Zona	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Zn
V.C.1	vías com.	0.442	1.204	4.056	2.6	0.984	48	0.98	77.8
U1	urbano	n.d.	0.990	3.934	9.8	0.386	38	2.62	47.4
V.C.2	vías com.	0.056	0.002	n.d.	14.8	0.776	40	1.11	67.8
V.C.3	vías com.	0.281	0.001	n.d.	10.6	0.764	34	1.06	46.0
U2	urbano	0.286	0.040	5.558	38.6	1.022	38	0.97	125.4
U3	urbano	n.d.	0.054	9.242	11.4	0.472	32	1.02	47.4
V.C.4	vías com.	n.d.	0.274	1.508	12.8	0.512	42	1.00	75.4

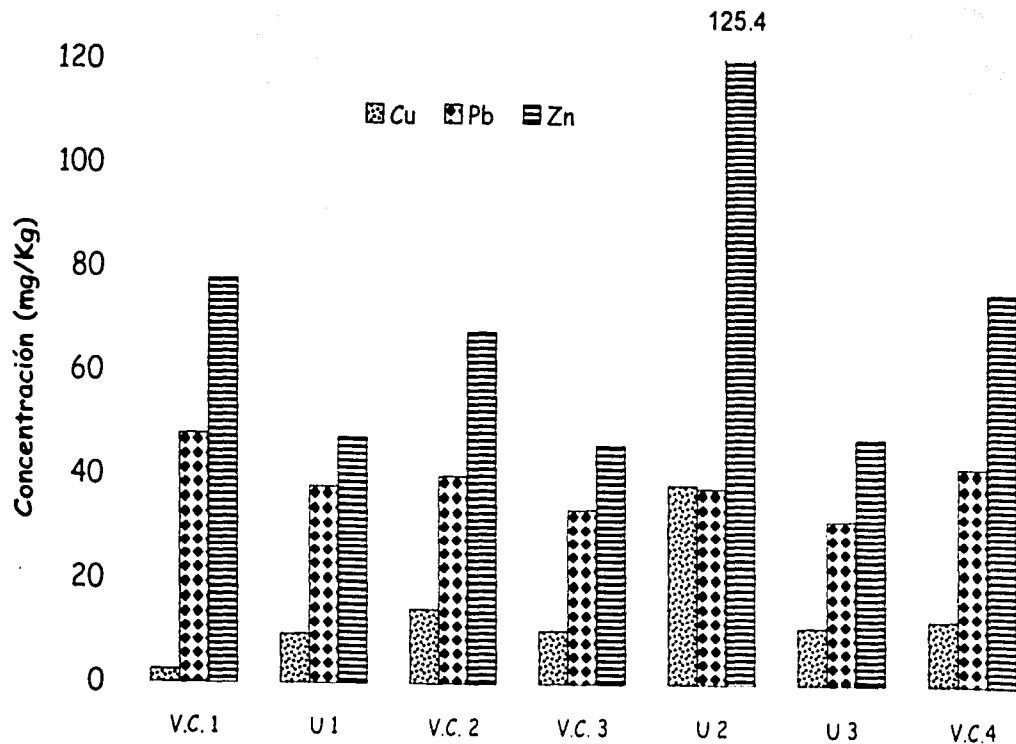
n.d.: no determinada

Con respecto a las concentraciones de cromo mostradas en la gráfica 15 estas se encuentran más altas en comparación con los demás metales en todas las muestras, esto se ve principalmente en las muestras U2 y U3, esta última tomada de la orilla del río de los Remedios que contienen desechos industriales como el cromo. Los niveles de paladio en la muestra U1 se encuentran más elevados con respecto a las demás muestras, esta fue tomada de un lugar altamente urbanizado y con una población muy densa. Por otra parte las concentraciones de mercurio, cadmio y arsénico se encuentran en muy baja concentración y estas no varían mucho de una zona a otra.

La gráfica 16 nos muestra al igual que en los municipios anteriores que el zinc se encuentra en mayor proporción en cuanto a los demás metales, sobre todo en la muestra U2 que es una zona urbana y en las zonas con vías de comunicación aunque en menor concentración. Con lo que respecta al plomo no se ve una diferencia entre una zona y otra, pero las concentraciones más elevadas son las de la zona V.C.1, esta muestra se tomó de un cruce que tiene gran carga vehicular, lo que en cierta medida explica estos niveles. Por último con lo que respecta al cobre este metal se encuentra en menor cantidad comparado a los otros dos y la muestra con más concentración es la U2 que es una zona urbana fuente principal de contaminación de este metal.



Gráfica 15. Municipio de Nezahualcóyotl



Gráfica 16. Municipio de Nezahualcóyotl

Los metales que rebasan los niveles de concentraciones establecidos son cobre en la muestras V.C.2 , U2 y V.C.4, cromo en las muestras U2 y U3 y en el caso de mercurio todas las muestras.

### Análisis de varianza de una vía o completamento al azar

#### Hipótesis

Ho :  $\mu_{urbana} = \mu_{rural}$

Ha : al menos un par de medias es diferente

#### Criterios de aceptación

Se acepta Ho si el valor de  $P > 0.05$

Se rechaza Ho si el valor de  $P < 0.05$

Tabla.22. Análisis de varianza de una vía o completamento al azar.

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADA	P
Arsénico (As)	Entre Grupos	0.016	1	0.0001	0.00	0.9844
	Dentro de Grup	0.180	5	0.3138		
Cadmio (Cd)	Entre Grupos	0.000	1	0.0001	0.00	0.9844
	Dentro de Grup	1.569	5	0.3138		
Cobre (Cu)	Entre Grupos	162.241	1	162.241	1.33	0.3008
	Dentro de Grup	609.483	5	121.897		
Cromo (Cr)	Entre Grupos	40.3853	1	40.3853	7.83	0.0381
	Dentro de Grup	25.7804	5	5.1560		
Mercurio (Hg)	Entre Grupos	0.0300208	1	0.0300	0.43	0.5415
	Dentro de Grup	0.350079	5	0.0700		
Paladio (Pd)	Entre Grupos	0.429429	1	0.4294	1.21	0.3206
	Dentro de Grup	1.76791	5	0.3535		
Plomo (Pb)	Entre Grupos	42.8571	1	42.8571	1.73	0.2457
	Dentro de Grup	124.0	5	24.8		
Zinc (Zn)	Entre Grupos	75.81	1	936.918	0.08	0.7875
	Dentro de Grup	4684.59	5	22256.4		

La tabla 22 nos muestra que se rechaza  $H_0$  en lo que respecta a cromo debido a que el valor de  $P < 0.05$  y por lo tanto hay una diferencia significativa entre la media de este metal de un nivel de zona a otro en un nivel de confianza del 95 %. En cambio para los demás metales se acepta  $H_0$  ya que el valor de  $p > 0.05$  por lo que no existe diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en un mismo porcentaje de nivel de confianza

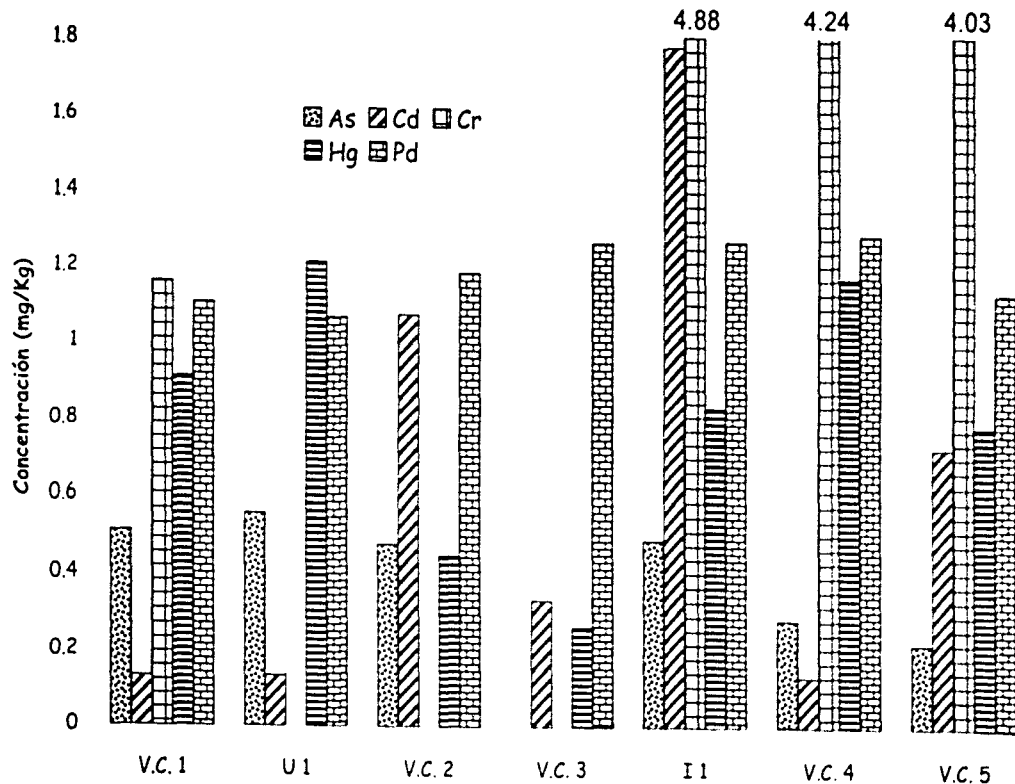
En este análisis podemos ver que en los niveles de concentración para cromo si existe diferencia entre una zona y otra, estos niveles son superiores con lo que respecta a la muestra N-6 T tomada de la orilla del río de los remedios siendo este un río con descargas industriales de la zona de Tlalnepantla y otros municipios razón para explicar las concentraciones tan elevadas

### TLALNEPANTLA

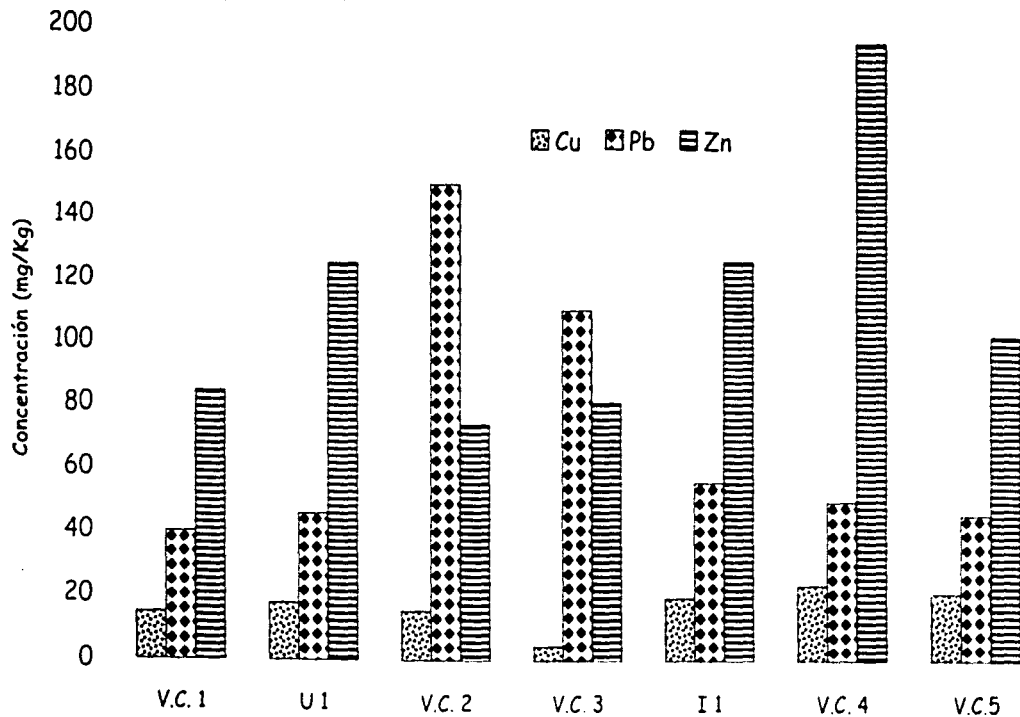
Tabla No. 23. Concentración de la trazas metálicas (mg/kg)

Muestra	Zona	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Zn
V.C.1	Vias com	0.513	0.133	1162	14.6	0.912	40	1106	840
U1	Urbana	0.557	0.135	nd	17.6	1.214	46	1068	125.2
V.C.2	Vias com	0.479	1.074	nd	15.4	0.448	150	1186	740
V.C.3	Vias com	nd	0.332	nd	4.8	0.264	110	1268	80.8
I1	Industrial	0.491	1.786	4.888	19.6	0.834	56	1272	126.0
V.C.4	Vias com	0.283	0.133	4.248	23.6	1.172	50	1290	194.6
V.C.5	Vias com	0.220	0.724	4.034	21.2	0.782	46	1134	102.2

nd. = no determinada



Gráfica 17. Municipio de Tlalneptla



Gráfica 18. Municipio de Tlalnepantla

Las concentraciones de cromo que se observan en la gráfica 17 están por encima de las concentraciones de los otros metales, esto se ve más marcado en zonas con vías de comunicación e industriales. Para el caso de cadmio la concentración más alta es la muestra 11 cruce de la avenida Río Lerma y Ayuntamiento al lado de la industria Aceros Nacionales e inmersa en la zona industrial Tlalnepanitla centro. En cuanto a los niveles de mercurio estos son más altos en la muestra U1 y VC 4 zona urbana y con vías de comunicación respectivamente. Las concentraciones de arsénico se encuentran en menor cantidad con lo que respecta a los otros metales y no existe diferencia entre una zona y otra. Por último los niveles de paladio no difieren de una zona a otra y estos se encuentran más altas en comparación con arsénico.

La gráfica 18 muestra nuevamente que el zinc sigue por encima de los demás metales en la mayoría de las zonas, principalmente en vías de comunicación. Con lo que respecta al plomo este se ve incrementado al igual que zinc en vías de comunicación (V.C.2) esta muestra se colectó de la avenida Mario Colín zona sumamente transitada y con gran carga vehicular. Por último las concentraciones de cobre son bajas y no presentan gran diferencia entre las diversas zonas.

Los niveles de plomo en las muestras VC 2 y VC 3 se encuentran por arriba de lo permisible, en lo que respecta a mercurio todas las muestras se consideran contaminadas y por último la mayoría de las muestras rebasan las concentraciones establecidas de cobre.

### **Análisis de varianza de una vía o completamente al azar**

#### **Hipótesis**

$H_0$ :  $\mu_{urbana} = \mu_{vias\ de\ com} = \mu_{industrial}$   
 $H_a$ : al menos un par de medias es diferente

#### **Criterios de aceptación**

Se acepta  $H_0$  si el valor de  $P > 0.05$   
 Se rechaza  $H_0$  si el valor de  $P < 0.05$



Tabla.24. 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 (As)	Entre Grupos	0 0255	2	0 0127	0 23	0 8053
	Dentro de Grup	0 2231	4	0 0557		
Cadmio (Cd)	Entre Grupos	1 5951	2	0 7975	4 13	0 1066
	Dentro de Grup	0 7731	4	0 1932		
Cobre (Cu)	Entre Grupos	40 6286	2	20 3143	0 44	0 6712
	Dentro de Grup	184 16	4	46 04		
Cromo (Cr)	Entre Grupos	10 0024	2	5 0012	0 99	0 4475
	Dentro de Grup	20 2153	4	5 0538		
Mercurio (Hg)	Entre Grupos	0 1202	2	0 0601	0 39	0 6995
	Dentro de Grup	0 6146	4	0 1536		
Paladio (Pd)	Entre Grupos	0 0245	2	0 0122	2 11	0 2368
	Dentro de Grup	0 023309	4	0 0058		
Plomo (Pb)	Entre Grupos	2563 86	2	1281 93	0 64	0 5761
	Dentro de Grup	8075 0	4	2018 75		
Zinc (Zn)	Entre Grupos	253 95	2	126 975	0 05	0 9522
	Dentro de Grup	10235 4	4	2558 85		

Con lo que respecta a este análisis de varianza mostrado en la grafica No 24 se acepta  $H_0$  ya que el valor de  $p > 0.05$  por lo que no existe diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en un de nivel de confianza del 95%

Podemos ver que no existe diferencia entre los niveles de concentración entre una zona y otra, puesto que el municipio de Tlalnepantla esta caracterizado por su elevado tránsito vehicular el cual transporta a lo largo del municipio los contaminantes

## ZUMPANGO

Tabla No.25. Concentración de la trazas metálicas (mg/kg).

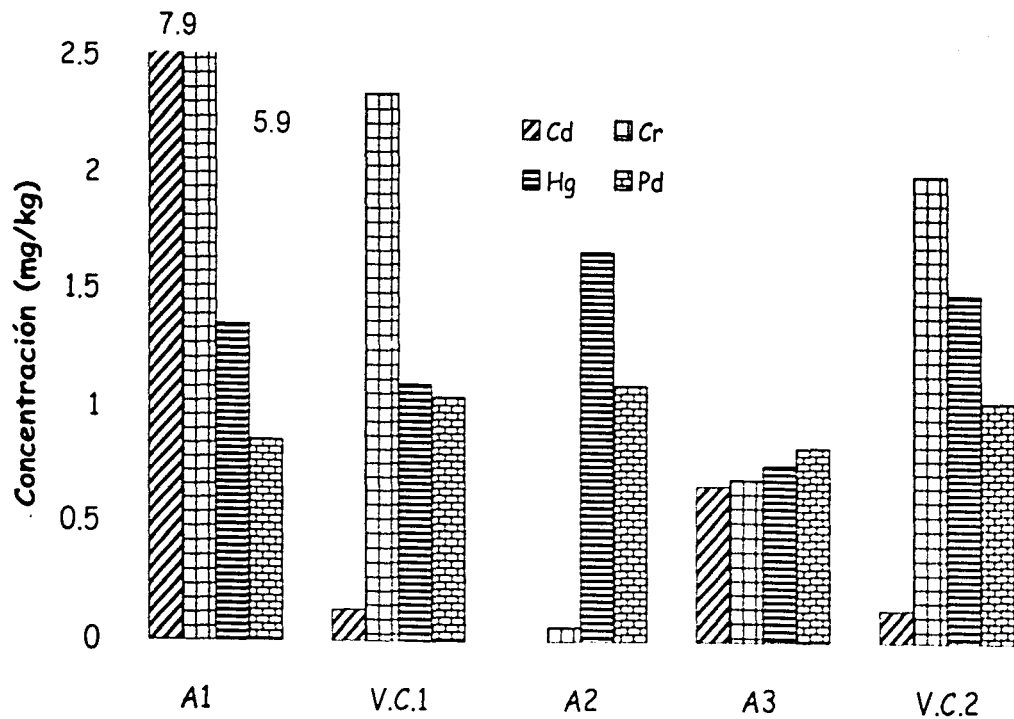
Muestra	zona	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Zn
A1	Agrícola	n.d.	7.928	5.996	16.8	1.352	60	0.864	41.4
V.C.1	vías com.	n.d.	0.130	2.344	7.2	1.104	34	1.048	45.4
A2	Agrícola	n.d.	n.d.	0.060	24.8	1.668	60	1.100	67.4
A3	Agrícola	n.d.	0.661	0.692	13.6	0.754	52	0.834	51.8
V.C.2	vías com.	n.d.	0.133	1.996	18.6	1.486	38	1.032	60.8

n.d. = no determinada

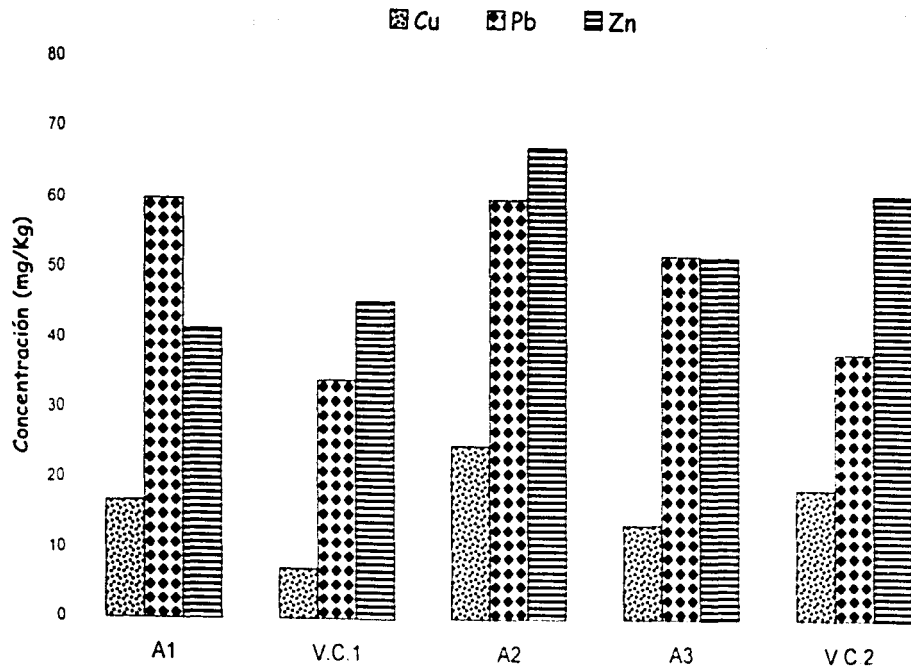
En la gráfica 19 se puede apreciar que en la muestra A1 las concentraciones de cadmio se encuentran muy elevadas con lo que respecta a las demás muestras al igual que las concentraciones de cromo, esta muestra se tomo de las orillas de la laguna de Zumpango y en otros estudios se han encontrados niveles altos en diversos metales pesados como son plomo y mercurio<sup>(12)</sup>. Las concentraciones de mercurio son muy similares en todas las zonas. Al igual que las concentraciones de paladio que se encuentra en niveles mas bajo y no muestra diferencia entre las zonas.

En la gráfica 20 nos damos cuenta que los niveles de zinc y plomo se encuentra en concentraciones muy elevadas en zonas tanto agricolas como con vías de comunicación y con lo que respecta al cobre no se observa diferencia ente las zonas analizadas además que se encuentra en niveles mas bajos que zinc y plomo.

Las concentraciones de cromo en la muestra A1 se encuentran por arriba de las establecidas. En cuanto a mercurio y cobre en todas las muestras presentan concentraciones elevadas que superan las establecidas por la bibliografía.



Gráfica 19. Municipio de Zumpango



Gráfica 20. Municipio de Zumpango

## Análisis de varianza de una vía o completamente al azar

## Hipótesis

$H_0$ :  $\mu_{\text{agricola}} = \mu_{\text{vias de com}}$

$H_a$ : al menos un par de medias es diferente

## Criterios de aceptación

Se acepta  $H_0$  si el valor de  $P > 0.05$

Se rechaza  $H_0$  si el valor de  $P < 0.05$

Tabla 26. 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 (As)	Entre Grupos	**	**	**	**	**
	Dentro de Grup	**	**	**		
Cadmio (Cd)	Entre Grupos	3 3638	2	3 3638	0.23	0.6657
	Dentro de Grup	44 2916	4	14 7639		
Cobre (Cu)	Entre Grupos	101 25	1	101 25	4.56	0.1223
	Dentro de Grup	66 59	3	22 1967		
Cromo (Cr)	Entre Grupos	0 0199	2	0 0199	0.00	0.9610
	Dentro de Grup	21 3041	4	7 1013		
Mercurio (Hg)	Entre Grupos	0 0356	2	0 0356	0.23	0.6661
	Dentro de Grup	0 4699	4	0 1566		
Paladio (Pd)	Entre Grupos	0 0065	2	0 0065	0.39	0.5746
	Dentro de Grup	0 0498	4	0 0166		
Plomo (Pb)	Entre Grupos	273 8	2	273 8	2.54	0.2090
	Dentro de Grup	323 0	4	107 667		
Zinc (Zn)	Entre Grupos	79 202	1	79 202	0.62	0.4879
	Dentro de Grup	382 11	3	127 37		

Con lo que respecta a este análisis de varianza mostrado en la tabla No 26 se acepta  $H_0$  ya que el valor de  $p > 0.05$  por lo que no existe diferencia significativa entre la media de cada metal de un nivel de zona a otro en un nivel de confianza del 95%

Zumpango esta caracterizado por ser un municipio básicamente rural, con grandes superficies agrícolas y muy pocas industrias, aunque cabe mencionar que en los últimos años su densidad poblacional ha ido aumentando

#### DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De manera general podemos decir que las concentraciones más altas en todos los municipios correspondieron a los metales de cobre, plomo y zinc, presentando niveles que afectan el desarrollo y crecimiento de las plantas, el zinc se presentó en concentraciones más altas en el municipio de Lerma al igual que el cadmio en cuanto al plomo este se muestra más elevado en el municipio de Tlalnepantla y Cuautitlán Izcalli, principalmente en zonas con importantes vías de comunicación, su posible causa podría ser que los compuestos de plomo que proceden de los gases de escape de los automóviles y se depositan cerca de las carreteras, puesto que las muestras de pasto fueron tomadas en su mayoría de las orillas de las carreteras para determinar si existe alguna relación entre la zona y la cantidad de metal. El mercurio se ve más concentrado en Cuautitlán Izcalli y de manera particular en zonas muy transitables, puesto que estas muestras fueron tomadas de carreteras.

En cuanto a los niveles de paladio estos fueron constantes en todos los municipios, principalmente en muestras tomadas en la orilla de las carreteras, por lo que de alguna manera se ve la influencia de los convertidores catalíticos en los niveles de concentración de este metal. Además parece ser que el pasto absorbe y retiene solo hasta este nivel este metal, por lo que podría ser necesario utilizar otro tipo de muestra para determinar el nivel de este metal en el medio ambiente.

En este trabajo podemos ver que la presencia de dicho metal podría ser un indicio importante en cuanto a los posibles problemas que se pueden relacionar a el uso de estos convertidores catalíticos y en especial con estos metales relacionados a ellos. Existe gran número de investigaciones en Europa y principalmente en Alemania sobre el hecho de que los convertidores catalíticos influyen en el aumento de niveles de concentración de platino en muestras ambientales.

La concentraciones más altas en la mayoría de los metales se presentaron en Tlalnepantla y Nezahualcoyotl, cabe mencionar que éstos municipios colindan con la ciudad de México y esto pudiera ejercer alguna influencia en esta tendencia a diferencia

La concentraciones más altas en la mayoría de los metales se presentaron en Tlalnepantla y Nezahualcóyotl, cabe mencionar que éstos municipios colindan con la ciudad de México y esto pudiera ejercer alguna influencia en esta tendencia, a diferencia del municipio de Zumpango que se encuentra más alejado de la ciudad, y donde los niveles de concentración obtenidos son los más bajos

Como se menciona anteriormente, otros trabajos relacionados con este proyecto consistieron en determinar los mismos metales en muestras de suelo y agua, obtenidas de los mismos sitios de estudio y los resultados obtenidos muestran una misma tendencia en cuanto a los municipios de Nezahualcóyotl y Tlalnepantla los cuales presentan los mayores niveles de concentración de los metales estudiados, sin en cambio para el municipio de Zumpango las concentraciones se ven disminuidas. Aunque en pasto no se observaron concentraciones tan altas se sigue una misma tendencia en cada una de los municipios en relación a las muestras de suelo

Por último cabe mencionar que los metales que se encontraron por arriba de los niveles establecidos fueron cobre, cromo y mercurio en la mayoría de las muestras, estos niveles son específicos para el pasto, sin embargo para la mayoría de las plantas no podrían tolerar estas concentraciones tan altas puesto que son más susceptibles a estos por ejemplo para el arsenico el contenido de la mayor parte de las plantas es de 1 a 10 mg/Kg; en el caso del pasto son tolerados niveles de hasta 72 mg/Kg. De manera similar el umbral de toxicidad del cadmio para el pasto es de 48 mg/Kg, mientras que para otras plantas es de 5 a 20 mg/Kg. Una comprobación impresionante fue que, mientras que las concentraciones tóxicas de cromo en pasto eran de 18 mg/Kg, el crecimiento de la mayor parte de las plantas se vio afectado con concentraciones de 0.02 a 0.2 mg/Kg<sup>37</sup>.

# CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

- Con la metodología empleada se logró la cuantificación de trazas metálicas en muestras de pasto.
- Se cuantificaron 8 trazas metálicas en muestras de pasto recolectadas de los municipios de Cuautitlán Izcalli, Lerma, Nezahualcoyotl, Tlalnepantla y Zumpango, por el método de Espectroscopia de Absorción Atómica
- De las muestras analizadas se observa que aquella asociadas a vías de comunicación son las que presentan mayores concentraciones de Cobre, Plomo y Zinc
- Los metales que presentan mayor peligro para las plantas si continua su acumulación en base a los resultados obtenidos son cobre, mercurio y cromo
- Al parecer el uso de convertidores catalíticos pueden tener ya influencia en las concentraciones de paladio encontradas, pero se sugiere aumentar el número de muestras y optimizar la digestión ácida antes de hacerse tal aseveración formalmente no puede asegurarse esto debido a que el número de muestras son insuficientes
- Los municipios más cercanos al Distrito Federal presentan niveles de concentración más altas de los metales independientemente del número de empresas presentes en los mismos
- Se pudo establecer que para mercurio y plomo existe una relación entre los niveles de concentración obtenidos y la densidad industrial de los cinco municipios, principalmente en Tlalnepantla y Cuautitlán Izcalli

# ANEXOS

TEJIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO 1

Tabla 27 Niveles de concentración permisibles de los metales en estudio en pasto<sup>(39)</sup>

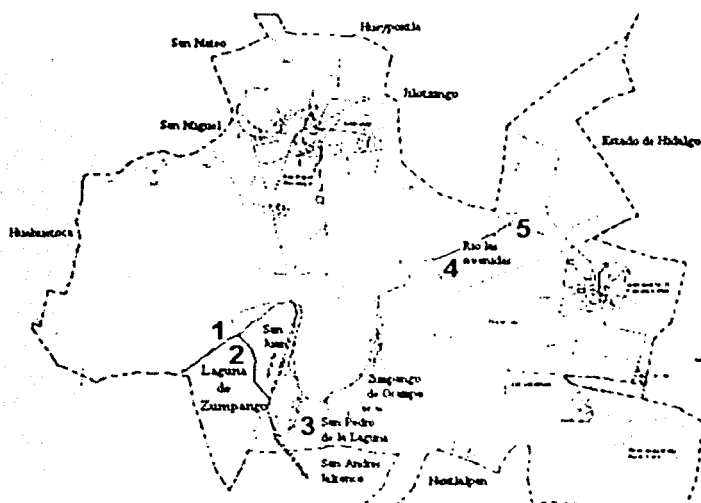
Metal	Concentración de plantas contaminadas (mg/kg)
As	21-72
Cr	5-18
Cu	13-15
Cd	45-48
Hg	0.12
Pb	Mayor a 78
Zn	880

## ANEXO 2

## ZONAS DE MUESTREO EN LOS MUNICIPIOS ESTUDIADOS.

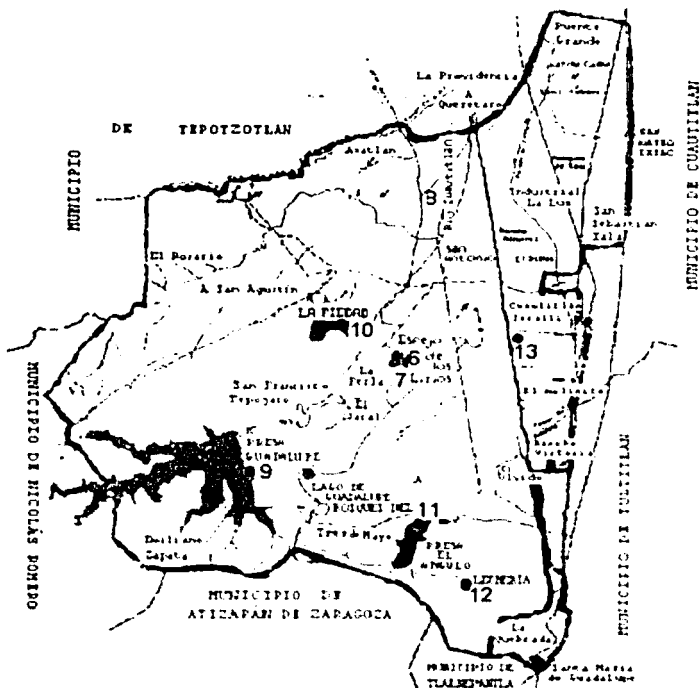
## MUNICIPIO DE ZUMPANGO.

MUESTRA	ZONA	LUGAR
1	Agrícola	Orilla de la Laguna de Zumpango
2		Laguna de Zumpango
3		San Pedro de la Laguna
4	Urbana	Río de las Avenidas
5		Río de las Avenidas (Rastro Tizayuca)



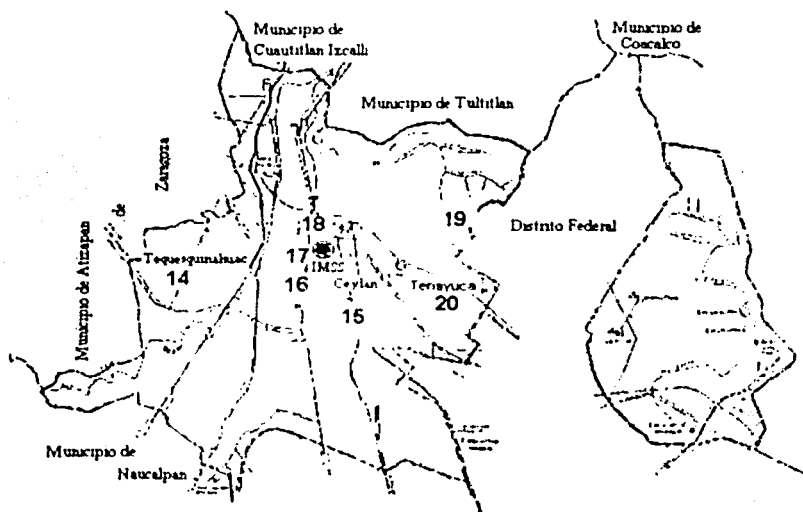
▼ MUNICIPIO DE CUAUTTLÁN IZCALLI.

MUESTRA	ZONA	LUGAR
6	Urbana	Espejo de los Lirios (orilla del lago)
7		Espejo de los Lirios (carretera orilla)
8		Río Cuauttlán (Av. San Antonio)
9	Agrícola	Lago de Guadalupe
10		Presa La Piedad (orilla)
11	Urbana	Presa el Ángulo
12	Vías de	Lechería
13	comunicación	Río Cuauttlán (al lado de la industria Ford)

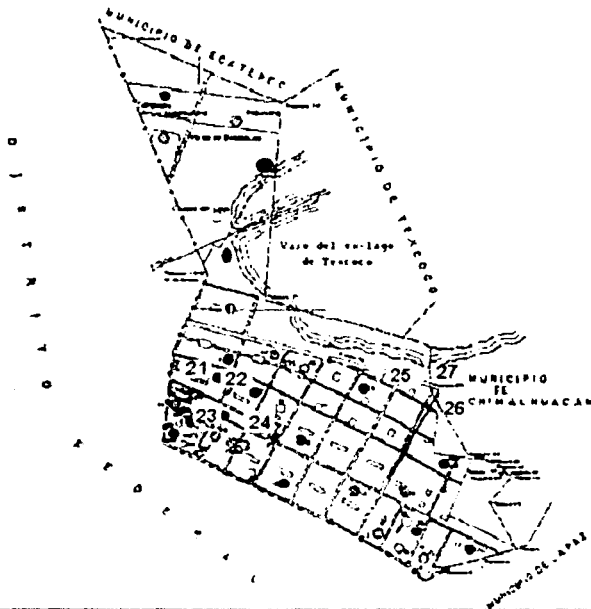


## MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA.

MUESTRA	ZONA	LUGAR
14		Lateral Autopista Ceylan
15	Urbana	Fraccionamiento San Rafael
16		Av. Mario Colín
17	Vías de	Gustavo Baz
18	Comunicación	Av. Río Lerma (junto al tren)
19		Autopista México-Pachuca
20		San Bartolo Tenayuca



## MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL



MUESTRA	ZONA	LUGAR
21	Vías de comunicación	Carmelo Pérez, Av. Chimalhuacán
22	Urbana	Camellón al lado del Río de los Remedios
23	Vías De comunicación	Churubusco
24		Río de los Remedios (por caseta Peñón- Texcoco)
25	Urbana	Canal de la Compañía (orilla)
26		Río de los Remedios (orilla)
27	Vías de Comunicación	Pantitlán y Adolfo Prieto





# BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

1. Harris Daniel, "Análisis Químico Cuantitativo" Iberoamérica, México, p p 579-590, 1992
2. Skoog Douglas A., Química Analítica, 6ta ed , Mc Graw Hill, México, p p 453-475, 1995
3. Hobart H. Willard, et. al Métodos Instrumentales de Análisis 4ta ed Iberoamérica, México, p.p. 219-248 1991
4. Skoog Douglas A , et. al. Análisis Instrumental, 4ta ed , Mc Graw Hill, México p p 227-265, 1995
5. Nonato Nonato, Fernando, 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 1997
6. <http://www.ctv.es/USERS/davidsb/>
7. Kabala-Pendias, Trace Elements in Soils and Plants 2<sup>nd</sup> ed , CRC PRESS, USA, p p 67-296, 1992.
8. <http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/ENCUENTROS45/metales.html>
9. <http://www.consumer-revista.com/mar2001/impresora/medio.html>
10. Sheila M Ross , Toxic Metals in Soil- Plant Systems, John Wiley & Sons , Chichester, U K , p p 3-8, 27-29, 1994
11. Bernd Markelt , Plants as Biomonitors Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment VCH, Weinheim, Germany, p p 3-23, 1993
12. <http://www.edomex.gob.mx/se/diagmuni.htm> octubre 31, 2001
13. Otruba, Strnadová, Skalniková, Determination of Platinum in Plants by Emission Spectrometry after Preconcentration on Modified Silicagel, Talanta, Vol 40, No 2, p p 221-224, 1993
14. V. Kanický, V. Otruba, J. Mermet, Comparison of some analytical performance characteristics in inductively coupled plasma spectrometry of platinum group metals and gold Talanta, Vol 48, p p 859-866, 1999
15. Farago E. Margaret, et. al , Platinum concentrations in urban road dust and soil, and in blood, and urine in the United Kingdom, Analyst, March, Vol 123, p p 451-454, 1998

16. Klaus R Koch, derek Auer, Determination of platinum and Palladium in strongly acid solution by means of flow injection analysis *Talanta*, Vol 40, No 12, p p 1975-1980, 1993.
17. Vlasánkova, V. Otruba, J. Bendl, M. Fiserá V. Kanický, Preconcentration of platinum group metals on modified silicagel and their determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry in airborne particulates *Talanta*, 48, p p 839-846. 1999
18. Kathryn J. Lamble, Steve J Hill, Microwave digestion procedures for environmental matrices, *Analyst*, July Vol 123, p p 103R-133R, 1998
19. Ramirez Curiel Alejandro, Zumpango. Monografía Municipal, Instituto Mexiquense de cultura, México, 1999
20. Padilla Díaz de León Guillermo, Tlalnepantla de Baz Monografía Municipal, Instituto Mexiquense de cultura, México, 1999
21. García Vázquez Sonny, Lerma de Villada, Monografía Municipal, Instituto Mexiquense de cultura, México, 1999
22. García Luna Margarita, Nezahualcóyotl, Monografía Municipal, Instituto Mexiquense de cultura, México, 1999
23. Zuani Cruz José, Domínguez Ávila Humberto, Cuautitlán Izcalli, Monografía Municipal, Instituto Mexiquense de cultura, México, 1999
24. R R. Barefoot, Distribution and speciation of platinum group elements in environmental matrices, *Trend in analytical chemistry*, vol 18, no 11, 1999
25. Sonja Zimmermann, et al., Trace analysis of platinum in biological samples a comparasion between sector field ICP-MS and adsorptive cathodic stripping voltammetry following different digestion procedures, *Analytica Chimica Acta*, 439, p p 203-209, 2001
26. J. Schafer, D. Hannker, J-D Eckhardt, Uptake of traffic-related heavy metals and platinum group elements (PGE) by plants, *The Science of the Total Environment*, 215, p p 59-67, 1998
27. S. Artelt, H. Kock, Bioavailability of platinum emitted from automobile exhaust, *Toxicology Letters* 96,97, p p 163-167, 1998
28. Klaus Kümmerer, Eckard Helmers, Hospital effluents as a source for platinum in the environment, *The Science of the Total Environment*, 193, p p 179-184, 1997
29. <http://www.babab.com/no01/agua.htm>

30. Lopez Ritas J., El diagnóstico de suelos y plantas, 4ta. Ed., ed. Mundi prensa, Madrid, 1990, p.p. 247, 335-337, 343-346, 349-350
31. Richard W. Smiley, Peter H. Dernoeden, Bruce B. Clarke, Plagas y enfermedades de los céspedes, 2da Edición, ed. Mundi Prensa, Mexico, 1996, p.p. 1-4
32. Diario Oficial de la Federación, NOM-CCAT-004-ECOL/1993, Octubre 22, 1993
33. David M. Wayne. Direct Determination of trace Noble Metals (Palladium, Platinum and Rhodium) in Automobile Catalysts by Glow Discharge Mass Spectrometry, Journal of Analytical Atomic Spectrometry, October 1997, Vol 12, p.p. 1195-1202
34. Estadísticas del Medio Ambiente, INEGI, 1997, p.p. 121-127
35. Strauss W., Contaminación del aire. Causas, efectos y soluciones, Ed. Trillas, México, 1993, p.p. 61-62
36. Uribe Diaz Gabriela, 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, FES-Cuautitlán, UNAM, 2002
37. Salamanca Cova Judit, Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico. Determinación de Trazas Metálicas Contaminantes en Cuerpos de Agua por Espectrofotometría de Absorción Atómica", FES-Cuautitlán, UNAM, 2002
38. F. Zereine, F. Alt, Anthropogenic Platinum Group Element Emissions, Springer their impact on man and environment, Germany, 2000
39. [http://www.vetiver.org/LAVN\\_Prot%20Amb.htm](http://www.vetiver.org/LAVN_Prot%20Amb.htm)