



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN N. A. M.

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

"DETERMINACION DE METALES EN MUESTRAS DE SUELO  
Y PLANTAS EN EL MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA DE BAZ  
POR ABSORCION ATOMICA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA**

P R E S E N T A :

G R E T A V E G A O R O Z C O

ASESORES: DRA. ALMA REVILLA VAZQUEZ  
M. EN C. JULIO CESAR BOTELLO POZOS

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



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

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

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

"Determinación de metales en muestras de suelo y plantas en el municipio  
de Tlalnepantla de Baz por absorción atómica"

que presenta la pasante: Greta Vega Orozco  
con número de cuenta: 09755158-2 para obtener el título de :  
Química Farmacéutica Bióloga

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

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de Octubre de 2003.

PRESIDENTE	<u>Q.F.B. Elia Granados Enriquez</u>	
VOCAL	<u>M. en C. Marina L Morales Galicia</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. Alma Luisa Revilla Vázquez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.A. Natividad Venegas Herrera</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Dra. Adriana Morales Pérez</u>	

*A mis padres:*

*Amalia Orozco Camacho*

*Marcelino Vega Macías*

*Les debo el mas grande agradecimiento, porque me han dado todo lo que un hijo puede desear: su amor, cariño, comprensión y paciencia. Este trabajo es de ustedes.*

*Los amo.*

*A mis hermanos:*

*Cynthia Vega Orozco*

*Marco Antonio Vega Orozco*

*Por su apoyo en momentos difíciles y la confianza que depositaron en mi, así como en todos los buenos y malos momentos que he compartido con ustedes a lo largo de la vida.*

*Los quiero mucho.*

*A Dante Vega Orozco:*

*A ti que has cambiado toda mi vida, yo siempre voy a estar a tu lado, y espero que logres muchas cosas importantes en tu vida.*

*A la familia Vega Macias:*

*A mi abuela que es una gran mujer, a mis tias y tios por su ejemplo, apoyo y cariño y que me han demostrado lo importante que es la familia. En especial a Paula, Amanda, Enriqueta, Alejandra, Cisca, Magos y Anastasia. A mis primos Silvia, Isabel, Oscar, Miguel Angel, y Juan José los quiero mucho.*

*A la familia Orozco Camacho*

*A mis abuelos que donde quiera que se encuentren tienen un lugar muy especial aquí en mi corazón. A mis tios Ismael, Celia, Encarnación, Fernando, a mis primos; Bere, Yada, Erick, Osiel que pasamos muchos momentos felices durante la niñez.*

*A la Dra. Alma Luisa Revilla Vazquez:*

*Por todo el apoyo, comprensión, dedicación, en fin gracias por todo las facilidades prestadas. Te deseo toda la felicidad del mundo.*

*A la Dra. Ma. Gabriela Vargas, Dra Raquel Lopez Arellano, Dr Julio Cesar Botello Pezos:*

*Gracias por su apoyo, comprensión, y sobre todo por el ejemplo de personas de éxito en esta profesión.*

*A mis Amigos:*

*Fadia y Federico, que me apoyaron con todo y que con su compañía, cariño, amistad me ayudaron en los momentos difíciles. También por todos los momentos buenos los quiero mucho.*

*A mi marido Oli. Gracias por tu amistad, ayuda y compañía.*

---

# INDICE

## INDICE GENERAL

	CONTENIDO	PAGINA
1	Introducción	1
2	Hipótesis	3
3	Objetivos Generales	4
3.1	Objetivos Particulares	4
4	CAPITULO I MARCO TEORICO	
4.1	Generalidades del Municipio de Tlalnepantla de Baz	6
4.2	Digestión Ácida por microondas	8
4.2.1	Historia de la digestión ácida	8
4.2.2	Ventajas del uso de microondas	9
4.2.3	Teoría de Microondas	10
4.2.4	Componentes del horno de microondas	11
4.3	Descomposición de sólidos	13
4.3.1	Descomposición de sólidos en sistemas cerrados	13
4.3.1.1	Disolución en tubos de vidrio sellados	13
4.3.1.2	Descomposición en Autoclaves	14
4.3.2	Compuestos utilizados para realizar las descomposiciones ácidas	14
4.3.2.1	Descomposición con ácido clorhídrico	15
4.3.2.2	Descomposición por ácido nítrico	15
4.3.2.3	Descomposición con Agua regia	16
	Capitulo II DESARROLLO EXPERIMENTAL	
5.1	Equipo Material y Reactivos	17
5.2	Reactivos	17
5.3	Estándares	18
5.4	Técnica de Muestreo	19
5.5	Pre-tratamiento de las muestras	20
5.6	Optimización de la digestión ácida con uso de microondas para plantas	20
5.7	Procedimiento de la digestión ácida de las muestras	21
5.7.1	Suelo	21
5.7.2	Plantas	22
5.8	Determinación de pH en suelos	22
5.9	Preparación de Curvas de Calibración	23
5.9.1	Determinación de Metales usando Atomización con Flama	23
5.9.2	Determinación de Metales por Atomización con Horno de Grafito	24
5.9.3	Generador de hidruros y vapor frío	25
5.9.3.1	Arsénico	25
5.9.3.2	Mercurio	25

---

7	RESULTADOS EXPERIMENTALES SUELO	
7.1	Análisis estadístico	27
7.1.1	Análisis estadístico plantas	27
7.1.2	Análisis estadístico suelo	29
7.2	Determinación de pH en muestras de suelo	30
7.3	Representaciones gráficas comparativas de las concentraciones determinadas y resultados experimentales de los diferentes metales en muestras suelo en el municipio.	31
7.3.1	Arsénico en suelo	32
7.3.2	Cadmio en suelo	33
7.3.3	Cromo en suelo	35
7.3.4	Cobre en suelo	36
7.3.5	Mercurio en suelo	37
7.3.6	Plomo en suelo	39
7.3.7	Platino en suelo	40
7.3.8	Paladio en suelo	42
7.3.9	Zinc en suelo	43
7.4	Representaciones gráficas comparativas de las concentraciones determinadas y resultados experimentales de los diferentes metales en muestras plantas en el municipio.	45
7.4.1	Arsénico en plantas	45
7.4.2	Cadmio en plantas	47
7.4.3	Cromo en plantas	48
7.4.4	Cobre en plantas	50
7.4.5	Mercurio en plantas	51
7.4.6	Plomo en plantas	53
7.4.7	Paladio en plantas	54
7.4.8	Platino en plantas	56
7.4.9	Zinc en plantas	57
8	CONCLUSIONES	60
9	BIBLIOGRAFIA	62
10	ANEXOS	
I	Limites Máximos Permisibles para suelo y plantas	65
II	Mapa del Municipio Tlanepantla de Baz	66
III	Localización de toma de muestras	67
IV	Condiciones del programa de Atomización Horno de Grafito	68
V	Tablas de ANOVA	70
VI	Curvas de calibración suelo y plantas	77

---

# INTRODUCTION

## INTRODUCCIÓN

Debido a que diariamente estamos expuestos a todo tipo de contaminantes es importante conocer, monitorear y controlar de ser posible su presencia. Existen una serie de contaminantes que se pueden encontrar en diversos lugares y tipos de muestras como agua, aire, alimentos, plantas, suelos, etc., es importante el tener conocimiento de su localización, distribución, concentración, así como la manera en que afectarán a largo plazo a plantas y animales y por supuesto a los seres humanos.

En todo el mundo se están realizando investigaciones en relación a esta problemática, por ejemplo en Alemania se tienen datos ya establecidos para contaminantes metálicos en el medio ambiente (agua, suelos y plantas), al igual que en los Estados Unidos, Japón, Australia etc.

Una fuente muy importante de contaminación en México es la Zona Metropolitana del Valle de México donde miles vehículos automotores circulan diariamente por sus diversas vías de comunicación contaminando el medio ambiente. Como bien se sabe, el incremento de plomo en el medio ambiente llevó a que se implementarán medidas drásticas como fue su eliminación de las gasolinas para uso vehicular. Recientemente, el uso de metales preciosos como platino, paladio y rodio, como componentes de los convertidores catalíticos desde finales de los 80's, ha dado como resultado que se encuentre la presencia de estos, particularmente con Pt, el componente de principal, aumentando el contenido total de metales en suelos y plantas<sup>(22)</sup>.

La determinación de trazas metálicas en matrices ambientales tales como suelos o plantas es particularmente útil para obtener información sobre el nivel de contaminación ambiental de una zona.

La determinación de los metales por espectrofotometría de absorción atómica (AAES) posterior a una digestión ácida por microondas es el método más apropiado para la determinación de metales en matrices complejas tales como suelos, o material orgánico como plantas. El empleo del horno de microondas permite una digestión rápida, controlada y sin pérdidas de metales volátiles como el arsénico o el mercurio y reduciendo el riesgo de contaminación externa.

El propósito de este estudio es determinar la concentración de 9 trazas metálicas en suelos y plantas del municipio de Tlalnepantla de Baz por tres meses, para establecer la existencia acumulada de estos metales. Se espera se encuentren altos niveles de trazas metálicas contaminantes<sup>(6,7)</sup> ya que cuenta con gran número de industrias inmersas en zonas urbanas y además de que es un municipio que cuenta con importantes vías de comunicación hacia el Distrito Federal. La presente tesis forma la segunda parte del proyecto: CONACYT J32518-T “Determinación de trazas metálicas contaminantes del medio ambiente”; proyecto que monitorea este tipo de contaminantes ambientales en cinco municipios del estado de México.

En resultados previos de este proyecto se han encontrado niveles elevados de metales en municipios como Tlalnepantla de Baz , Nezahuacoyotl , Zumpango, Cuautilán Izcalli, Lerma etc.<sup>(6,7,30)</sup>

---

# HYPOTHESIS

**HIPOTESIS**

Esta comprobado que las trazas metálicas (como As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt y Zn) a largo plazo pueden llegar a tener efectos en nuestra salud es por ello que si se cuantifican las trazas metálicas en muestras de suelo y plantas sometiendo los resultados a un análisis estadístico multifactorial entonces nos revelará con una probabilidad del 95 % de confianza que el tiempo de muestreo y la zona en donde se recolectaron las muestras no tienen efecto sobre la concentración de cada metal analizado.

---

# OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Realizar la cuantificación de trazas metálicas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt y Zn) en muestras de suelo y plantas de cuatro zonas industriales del Municipio de Tlalnepantla de Baz, por espectrofotometría de absorción atómica, para establecer el grado de contaminación del municipio.

### OBJETIVOS PARTICULARES

- ⇒ Establecer el plan de muestreo de las principales zonas industriales del Municipio de Tlalnepantla de Baz por un periodo de tres meses que permita realizar la cuantificación de trazas metálicas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt y Zn) presentes en suelo y plantas de las zonas industriales del municipio.
- ⇒ Optimizar el método de digestión ácida para plantas por medio de horno de microondas a fin de asegurar la digestión total de las muestras y una alta recuperación de los metales presentes en las mismas.
- ⇒ Determinar con base a los resultados obtenidos la existencia de una correlación estadística multifactorial entre las cuatro zonas industriales y la concentración de trazas metálicas.
- ⇒ Establecer una tendencia en la acumulación de trazas metálicas en el periodo estudiado con base a un análisis estadístico de variancia de los resultados.
- ⇒ Correlacionar los niveles de concentración de los metales y las industrias ubicadas a los alrededores de la zona muestreada.

- ⇒ Comparar los resultados con los niveles de concentración permisibles en suelos y plantas para establecer la contaminación del Municipio de Tlalnepantla por trazas metálicas.

---

**CAPITULO I**  
**MARCO TEORICO**

#### 4.1 MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA DE BAZ

Tlalnepantla de Baz es un municipio que pertenece al Estado de México ubicado en el área Metropolitana de la Cd. De México, colindando con el norte del Distrito Federal. Cuenta con una superficie de 83.477 Km<sup>2</sup>, lo que representa el 0.38 % de la superficie total del Estado de México.(ver anexo III, pág. 80).

Siendo este municipio uno de los más importantes del Estado de México y uno de los más importantes del país por su actividad industrial y su participación en la economía, el municipio aporta más de una quinta parte del PIB estatal y posee uno de los ingresos per capita mas altos del país, además de contar con una excelente infraestructura de comunicación que enlaza el municipio con prácticamente cualquier punto del país y el exterior por vía terrestre, ferroviaria y aérea.

Tlalnepantla cuenta con el 6.4% de las unidades económicas del Estado de México (Manufactura, comercio y servicios). En el censo de 1999 se dio a conocer que la mayor parte del municipio (49.2% ) se dedica al comercio, un 40.2 % a servicios comunales y el 10.6 % a manufacturas, este ultimo produce el 40.8 de empleos en donde destacan las actividades de maquinaria y equipo, sustancias químicas, productos alimenticios, textiles, pendas de vestir, papel y sus productos.

Empresas como Ericsson, IEM, Dixon, Berol, General Electric, Viplamex, Industrial Accitera, CEMEX, Ray-O-Vac, Aceros Nacionales, etc. Son un ejemplo de empresas que se localizan en este municipio.

La población total de municipio es de 720.755 habitantes, con una edad promedio de 24 años. El 67.7% de la población corresponde a la categoría económicamente activa.

La zona urbana del municipio es un área en la que impera el desorden de uso del suelo, donde resalta el crecimiento desarticulado de su planta industrial y comercial <sup>(23)</sup>

TABLA 1 Distribución del uso de suelo del Municipio de Tlalnepantla de Baz.

USO DE SUELO	AREA (Hectareas)	%
HABITACIONAL	3,673.0	44
COMERCIO Y SERVICIOS	863.7	10.35
INDUSTRIAL	1,112.6	13.33
USOS ESPECIALES	308.2	3.69
CUERPOS DE AGUA	179.0	2.14
INFRAESTRUCTURA	17.8	20.21
VIALIDADES	201.7	2.42
AREAS VERDES	207.6	1.752.49
VALDIOS	146.4	19.621.75
NO URBANIZABLE	1,638.0	10019.62
<b>TOTAL</b>	<b>8,348.0</b>	<b>100</b>

La importancia de determinar trazas metálicas en este municipio se debe a que existen importantes zonas industriales que se encuentran mezcladas con zonas urbanas, además de que cuenta con importantes vías de comunicación con alto flujo vehicular entre el Estado de México y el Distrito Federal. Existen antecedentes de que este municipio se encuentra seriamente contaminado por trazas metalizas como As, Cd, Cr, Hg, Pb, Pt y Zn.<sup>157</sup>

## 4.2. DIGESTION ACIDA POR MICROONDAS

En la mayoría de las técnicas analíticas aplicadas para análisis de elementos traza es necesario una disolución de la sustancia analizar, ya que rara vez se analizan muestras biológicas, rocas, minerales, cristales, etc. sin un tratamiento previo.

Sin embargo, a pesar de que la disolución de las muestras es muy utilizada, las técnicas de disolución convencionales son lentas, laboriosas y algunas pueden ser peligrosas para el analista. Por ejemplo, el calentamiento de muestras en vasos de precipitado abiertos sobre flamas o quemadores se sigue utilizando desde la época de los alquimistas. El uso de fusiones alcalinas o ácidas para minerales requiere de pericia por parte del analista y de condiciones de trabajo adecuadas a fin de evitar quemaduras, derrames y aún explosiones. En 1860 G.L. Carius introdujo el concepto de disolución de muestras en vasos cerrados describió la oxidación en ácido nítrico en un vaso de vidrio grueso sellado (tubo de Carius).

En los últimos años y con el desarrollo de la tecnología, se ha logrado el uso de las microondas como método auxiliar para la digestión de muestras.<sup>(18)</sup>

### 4.2.1 Historia de la digestión ácida

El uso de la energía de microondas como fuente de calor se demostró por primera vez en 1975. Muchas de las aplicaciones se han realizado a presión atmosférica es decir en vasos abiertos con muestras de hueso, tejido biológico y matrices botánicas y se han realizado muchas comparaciones entre las diferentes técnicas de digestión posteriormente se comprueba la eficacia por medio de técnicas como Absorción Atómica y Espectrofotometría por Emisión<sup>(25, 26)</sup>

Las digestiones realizadas con vasos abiertos tienen como limitante el punto de ebullición del ácido. De ahí que después y hasta nuestros días se utilicen de manera más frecuente los sistemas cerrados.

#### 4.2.2 Ventajas del uso de microondas

Actualmente las técnicas con microondas hacen más rápida la preparación de las muestras sólidas por la combinación del rápido calentamiento por la energía de microondas y las ventajas de vasos cerrados.

Las técnicas convencionales constan del calentamiento de la muestra por largo periodos de tiempo. En general, ácidos como el ácido clorhídrico, nítrico, fosfórico, sulfúrico y ácidos perclóricos digieren los materiales más rápidamente al emplearse altas temperaturas y cierta presión.

La utilización de vasos cerrados elimina la posibilidad de perdidas de trazas de elementos volátiles presentes en la muestra o, que se formen otros compuestos en el curso de la digestión. Por otro lado, la contaminación con el medio ambiente del laboratorio también se reduce.

Siendo que la digestión por microondas emplea sistemas cerrados es necesario controlar la presión y la temperatura en el interior de los vasos a fin de evitar explosiones y daños a los mismos vasos.

El adecuado control de la temperatura y la presión durante el proceso en vasos cerrados es crítico para la eficiencia, reproducibilidad porcentaje de recobro y seguridad del procedimiento. Además, las investigaciones han demostrado que las muestras digeridas usando técnicas por microondas pueden producir resultados equivalentes o aun mejores que las técnicas de digestiones normales para el análisis de ciertos elementos.

Por lo tanto el empleo de las microondas reduce drásticamente los tiempos de análisis utilizados para la digestión de muestras, aumenta la eficiencia, porcentaje de recobro, reproducibilidad y finalmente provee mayor seguridad.

### 4.2.3 Teoría de Microondas

Las microondas son energía electromagnética. La energía de microondas es una radiación no ionizante que causa movimiento molecular por migración de iones y rotación de dipolos, y no causa cambios en la estructura molecular (Figura 2.1). La energía de microondas tiene un rango de frecuencia de 300 a 300,000 MHz (Figura 2.2).

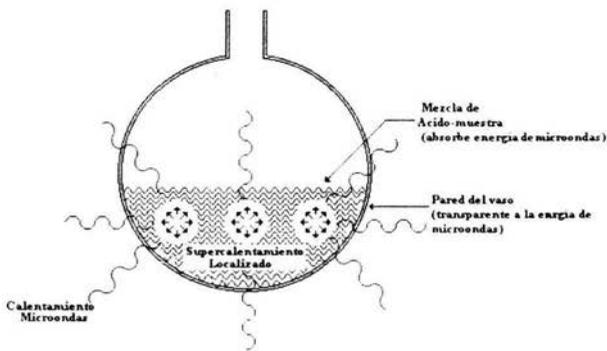


Fig. 4.1 Calentamiento por microondas

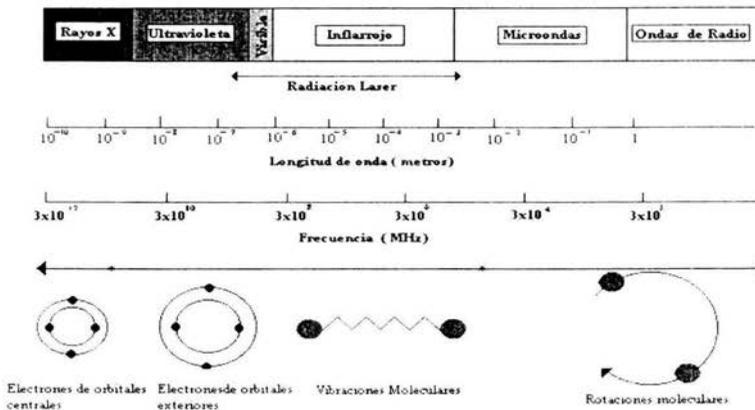


Figura 4.2 Espectro Electromagnético

La energía típica de salida en un sistema de microondas es de 600 a 700 W. De modo que con 5 minutos aproximadamente 43,000 cal. son aplicadas al horno para calentar la muestra.

La viscosidad de la muestra afecta la capacidad de absorber la energía porque afecta la rotación molecular. Las tres variables que influyen en cuan rápido la muestra puede ser calentada con rapidez son la conductividad del ácido usado, el tiempo de relajación del ácido y el volumen de ácido.

Existen tres principales formas en que las microondas afectan los materiales por ejemplo los metales reflejan la energía de microondas y no se calentarán, el cristal o plásticos son transparentes a la energía de microondas estos pueden ser buenos contenedores y por último los materiales que los absorben y son calentados (Ver figura 4.3).

#### **4.2.4 Componentes del Horno de microondas**

El típico equipo analítico de microondas consta de 6 componentes principales: el generador de microondas (llamado magnetrón), la guía de microondas, la cavidad del microondas, el agitador, un circulador y un disco giratorio.

El magnetrón es un diodo cilíndrico con un ánodo y un cátodo. Las microondas generadas por el magnetrón son canalizadas a la cavidad del microondas por la guía de microondas y esta hecha de metal. El modo agitador es un ventilador con forma de hojas que es usado para reflejar y mezclar la energía entrante a la cavidad del microondas que llega por la guía de microondas. La cavidad del microondas es el lugar donde la muestra se coloca para recibir las microondas que se propagan y repetidamente son reflectadas de pared a pared.

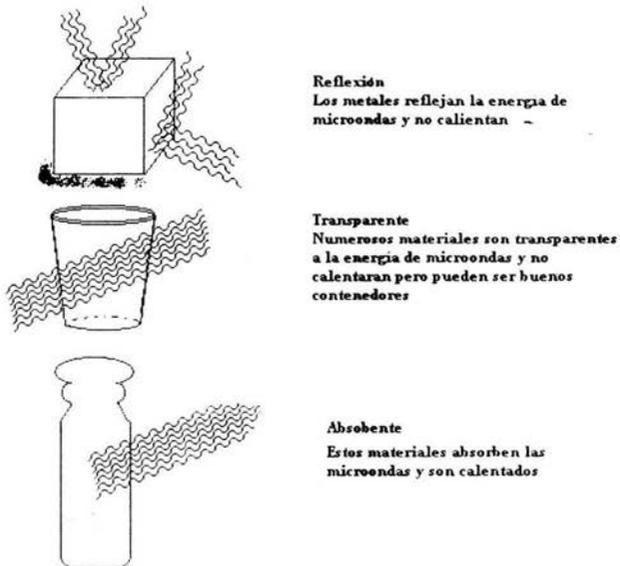


Figura 4.3 Interacción de diferentes materiales con la energía de microondas.

Para realizar la digestión de las muestras de plantas y suelo se utilizó el Horno de microondas MARS 2000 (Microwave Acceleration Reaction System). Consta de 14 compartimientos de teflón cada uno con válvula de escape sellado con una membrana. Uno de los vasos esta conectado a un sensor de presión y/o temperatura para monitorear el proceso de la digestión. Este instrumento solo se puede utilizar para la digestiones ácidas ya que soluciones alcalinas dañan el teflón.



Figura 4.4 Horno de Microondas MARS 5  
(Localizado en la Nave 3000 FESC-1)

### **4.3 Descomposición de sólidos**

Ya que las muestras a analizar del municipio de Tlalnepantla son sólidos y material orgánico (plantas y hojas) se abordarán algunos de los métodos de digestión tradicionales para tener los compuestos inorgánicos en solución. Cabe señalar que para el análisis de los analitos la muestra debe de ser sometida a un pre-tratamiento antes de ser analizados por cualquier método espectroscópico.

#### **4.3.1 Descomposición de sólidos en sistemas cerrados**

El llevar a cabo la descomposición de sólidos a solución es una operación básica que junto con el análisis determina la precisión y exactitud de los resultados. La descomposición en sistemas cerrados con alta presión se basa en el calentamiento de la muestra y el disolvente en un vaso cerrado en donde a medida que aumenta la presión, aumenta la temperatura. Con altas temperaturas y presiones la actividad de ácidos minerales se incrementa, las fases sólidas son disueltas y el proceso de disolución se acelera.

##### **4.3.1.1 Disolución en tubos de vidrio sellados**

La disolución se lleva a cabo por el calentamiento de las sustancias con disolventes en tubos de vidrio resistentes colocados en cilindros de acero abiertos o cerrados usando una presión de compensación.

Este procedimiento presenta ciertas ventajas sobre la disolución con autoclaves las cuales se presentan a continuación:

- a) Es relativamente fácil alcanzar y mantener las altas temperaturas de trabajo.
- b) Descomposiciones simples y no requiere de aparatos complejos.
- c) Tratamiento de muestras en serie, lo cual se reflejara en repetibilidad.
- d) Estabilidad ilimitada de soluciones en sistemas sellados en atmósferas inertes y el mantenimiento de iones individuales en un estado de valencia definido.

e) Reducción del número de reacciones redox entre las paredes y los iones en solución.

La principal desventaja de este método de descomposición es la parcial lixiviación de bases, iones metálicos, ácidos bóricos y silicios y la posibilidad de otros componentes dependientes de la composición del vidrio. No se pueden utilizar soluciones con ácido fluorhídrico ni hidróxidos en los tubos de vidrio debido a que atacan el vidrio.

Las descomposiciones con presión han sido utilizadas exitosamente en la preparación de soluciones de ciertos metales del grupo de platino especialmente Rodio, Iridio y muestras que contienen Platino el cual no puede ser disuelto con tratamientos prolongados con agua regia a presión atmosférica.

#### **4.3.1.2 Descomposición en Autoclaves**

La descomposición en autoclaves aún sigue desarrollándose, estas autoclaves cuentan con vasos de plástico sellados en su interior. El rápido desarrollo de este tipo de autoclaves se debe a la producción de tecnología de polímeros orgánicos los cuales son excepcionalmente resistentes a los ácidos minerales a altas temperaturas y al rápido desarrollo de técnicas analíticas como AAS e ICP-ES, en donde las altas concentraciones de sales en solución dificultan la determinación. Además, la determinación cuando se utilizan descomposiciones por fusión, presentan altas concentraciones de impurezas y no pueden ser empleadas en la determinación.

La determinación de elementos como Mercurio y Arsénico (Volátiles) en sistemas bajo presión en vasos sellados ha sido utilizada debido a que se reducen las posibilidades de pérdida de dicho tipo de metales.

#### **4.3.1 Compuestos utilizados para realizar las descomposiciones ácidas**

Existen varios ácidos que se emplean normalmente de manera individual o en mezcla para realizar la digestión de diversas matrices tanto de forma tradicional como empleando las microondas.

#### 4.3.2.1 Descomposición con ácido clorhídrico (HCl)

El ácido clorhídrico es uno de los ácidos más utilizados en las descomposiciones de materiales inorgánicos. Tiene la capacidad de formar complejos especialmente con elementos de transición. Este ácido presenta escasas propiedades reductoras como disolvente, pero la mayoría de las veces es mezclado con otros ácidos como  $\text{HNO}_3$  altamente oxidante (generándose el agua regia).

El ácido clorhídrico es un excelente disolvente para ciertos óxidos metálicos. Normalmente el HCl concentrado no es usado para digerir materiales orgánicos porque no es un agente oxidante, sin embargo, es un disolvente efectivo para aminas y alcaloides en soluciones acuosas y también para compuestos organometálicos.

#### 4.3.2.2 Descomposición por ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )

El ácido nítrico es un ácido fuerte, usado más frecuentemente para disolución oxidante de minerales que contienen elementos polivalentes. Los componentes aniónicos y catiónicos son oxidados durante la descomposición.

Las descomposiciones con  $\text{HNO}_3$  son las más comunes, puesto que es un agente fuertemente oxidante y es comúnmente utilizado para liberar trazas metálicas de matrices biológicas y botánicas como sales nítricas altamente solubles. Posee un punto de ebullición de  $120^\circ\text{C}$  y puede obtenerse en forma altamente pura. Debido a su bajo punto de ebullición las descomposiciones en sistemas abiertos consumen mucho tiempo. La adición de otros agentes muy oxidantes como el  $\text{H}_2\text{O}_2$  y el ácido perclórico ayudan en la digestión de una matriz compleja.

#### 4.3.2.3 Agua Regia

La mezcla de HCl y HNO<sub>3</sub> son poderosamente oxidantes. A la mezcla de 3 partes de HCl concentrado y 1 parte de HNO<sub>3</sub> se le llama agua regia y a la relación inversa de esta mezcla se le llama mezcla Lefort. El cloro activo es liberado por la reacción entre los dos componentes y se forma un complejo, que se disocia para formar Cl<sup>-</sup> o Cl<sub>2</sub>. El agua regia puede disolver oro metálico. El agua regia disuelve óxidos naturales de antimonio y arsénico que son oxidados a arsénico y antimonio pentavalentes que no son volátiles. De la misma manera esta mezcla es capaz de disolver Hg en sedimentos.

---

**CAPITULO II**  
**DESARROLLO**  
**EXPERIMENTAL.**

## 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 5.1 Equipo Material y Reactivos

1. Espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo Spectra 800 (Varian Australia), con:
  - generador de hidruros modelo VGA 77.
  - horno de grafito GTA 100.
2. Horno de microondas MARS 5, vasos de teflón HP 500.
3. pH-metro con electrodo de vidrio y electrodo de referencia Modelo MP 230 Mettler Toledo.
4. Desionizador de agua Milipore Milli-Q™ Water System, Millipore Corp., USA.
5. Balanza Analítica Mettler Toledo AB204

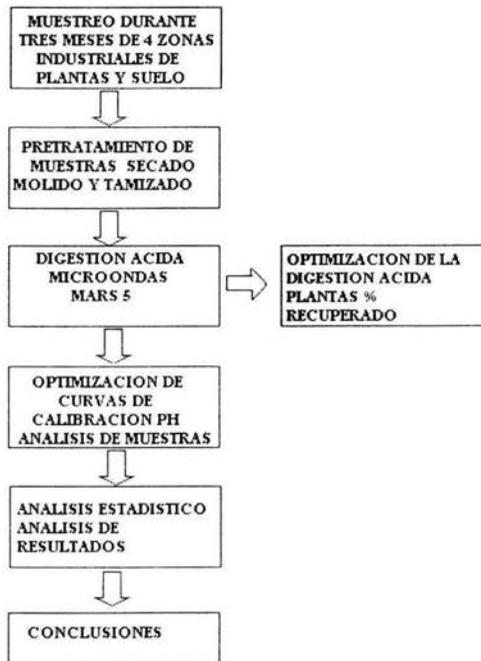
### 5.2 Reactivos

1. Cloruro Estanoso, J.T. Baker 98.7%.
2. Borohidruro de Sodio, SIGMA Chemical 98 %.
3. Ácido Nítrico, J.T. Baker 65.6 %  $\delta$  1.419 g/ml.
4. Ácido Clorhídrico, J.T. Baker 36.5 %  $\delta$  1.192 g/ml.
5. Agua Desionizada 10 M  $\Omega$  Cm Milipore.
6. Peroxido de hidrógeno, J.T. Baker 30 %.
7. Yoduro de potasio, J.T. Baker 99.8 %.
8. Solución Amortiguadora pH 4, 7 y 10.

### 5.3 Estándares

Estándares de los metales: As (1000.1 ppm), Cd ( 998.4 ppm), Cr ( 997.9 ppm), Cu( 997.2 ppm), Hg (997.7 ppm), Pb ( 998.1 ppm), Pd ( 998.3 ppm), Pt ( 998.4 ppm), Zn ( 997.0 ppm), Solutions Plus Inc., USA.

### DIAGRAMA DE FLUJO DESARROLLO EXPERIMENTAL



#### 5.4 Técnica de muestreo

Para realizar la toma de muestra de suelo y plantas se eligieron las principales zonas industriales del municipio de acuerdo al mapa del mismo (ver Anexo 1). Las Zonas industriales fueron las siguientes:

1. Zona Industrial Barrientos
2. Zona Industrial Tlalnepantla Centro
3. Zona Industrial Tabla Honda
4. Zona Industrial La presa

Cada zona industrial se dividió en tres áreas diferentes y la tomada de muestra fue camellones de las principales vías de comunicación, durante 3 meses, 1 vez por mes para reunir un total de 72 muestras (36 plantas y 36 suelo).

Siguiendo la norma Mexicana NMX-AA-52-1985, "Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales preparación de muestras en el laboratorio para su análisis" se realizó la colección de muestras que se describe a continuación:

Las muestras de suelo se recolectaron del camellón central de cada zona industrial. La toma se realizó con ayuda de una pala realizando un hoyo de 30 cm de profundidad y se tomó aproximadamente 1 Kg. en cada área.<sup>(7)</sup>

Por otro lado, también se recolectaron las hojas del arbusto cercana a la toma de muestra de suelo, recolectando cerca de 1 Kg de muestra. Cada muestra recolectada se colocó en bolsas de polietileno etiquetadas para su posterior tratamiento y análisis.

### 5.5 Pre-tratamiento de las muestras

Las muestras de suelo y plantas se secaron en una estufa a 60°C durante 16 horas. después la muestra seca se tritura con un mortero y se tamiza con una malla # 10 de 2mm de diámetro. La muestra se coloca sobre una superficie uniforme y es homogeneizada con ayuda de una pala (método de paleo) hasta obtener una mezcla uniforme. Según la Norma Oficial Mexicana AA-25-1984 método de cuarteo la muestra se extiende y se divide en 4 secciones iguales (Figura 2.1), las cuales se denominan como A, B, C y D.

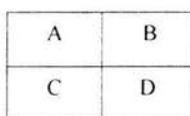


Fig. 5.1 División de la muestra (Cuarteo)

Se pueden elegir 2 secciones diagonales: la A y D ó B y C las cuales se homogenizan por paleo y se vuelven a extender y a dividir en otras 4 secciones y tomar nuevamente 2 secciones diagonales hasta obtener una muestra del tamaño deseado y representativa, y con esta se realiza el posterior análisis.

### 5.6 Optimización de la digestión ácida con uso de microondas para plantas

Se realizó la optimización de la digestión ácida que se utilizaba anteriormente para digestión de pasto <sup>(6)</sup> en plantas no presentaba resultados satisfactorios al aplicarse a hojas de plantas presentaba problemas de digestión incompleta y con escape de gases debida a la alta presión generada. Se probaron los siguientes programas de digestión:

Tabla 5.1 Programas de temperatura y presión probados para la optimización de la digestión ácida de plantas.

Programa	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Presión (psi)	Mantener (minutos)	% de Potencia	Potencia Watts
1	10	200	200	10	100	1200 W
2	20	200	200	10	100	1200
3	20	60	60	0	100	1200
4	20	150	150	20	100	1200
5	30	200	200	20	100	1200

De los diferentes programas probados, el programa de digestión óptimo en Horno de Microondas fue el # 5. En las otras digestiones #1 y #2 las condiciones resultaron muy agresivas y la presión ejercida en los vasos hacía que se la muestra se escapara en forma de gases. En el caso de las digestiones #3 y #4 no se presentaba el escape de gases, sin embargo terminado el programa de digestión, la muestra no se encontraba totalmente digerida. En el programa #5 la digestión se lleva a cabo calentando la muestra durante treinta minutos hasta que alcance gradualmente una temperatura de 200°C y 200 psi cuando alcanza dichas condiciones las mantiene durante 20 minutos más y terminado este programa se deja enfriar la muestra hasta alcanzar la temperatura y presión ambiente y se finalmente es aforada. Dicho programa implica la adición de 5 ml de HNO<sub>3</sub>, 5 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, y 5 ml H<sub>2</sub>O y se dejó 20 min. de reposo en cada adición para que los gases generados tuvieran tiempo de dispersarse y no ejercieran una presión mayor a la que pueden soportar los vasos y se realizara una digestión completa por el rompimiento de las membranas, dispositivos de seguridad, del vaso de digestión.

## 5.7 Procedimiento de la digestión ácida de las muestras

### 5.7.1 Suelo

Se pesan 0.4 g de muestra de suelo y se colocan en vasos de teflón de 100 ml (HP-500 CEM), posteriormente se agregan 10 ml HNO<sub>3</sub> concentrado y finalmente los vasos fueron sellados. Los 14 vasos fueron colocados en el carrusel del horno de microondas.

El programa de digestión para metales no-volátiles (Cd, Cr, Cu, Pd, Pb, Pt, y Zn) consistió de una rampa de presión de 60 psi durante 20 minutos al 95% de potencia y manteniendo esas condiciones durante otros 20 minutos.

Para metales volátiles (As y Hg) se pesaron 0.4g de muestra y se agregaron 10 ml de H<sub>2</sub>O desionizada, 6ml HCl concentrado y 2 ml HNO<sub>3</sub> concentrado. El programa de digestión es como se indica a continuación: 1 minuto a 15 % de potencia, 4 minutos a 40% y 10 minutos a 50 % de potencia. Los vasos se dejaron enfriar a temperatura ambiente por aproximadamente 20-30 min., las soluciones fueron filtradas utilizando embudos de vidrio y papel filtro Wathman No. 40 y finalmente fueron llevados a un aforo final de 50 ml con

agua desionizada. Se colocaron en vasos de poliestireno con doble tapa, se etiquetaron y almacenaron para su análisis posterior. La determinación de metales volátiles se llevó a cabo dentro de las 72 horas siguientes.

### 5.7.2 Plantas

El tratamiento de plantas fue el mismo para todos los metales. Se pesaron 0.25g de muestra en cada vaso de teflón, se agregó 5 ml HNO<sub>3</sub> concentrado y se dejaron reposar 30 min. Posteriormente se pusieron 5 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30 % y se dejó en reposo por 30 minutos más y después se agregaron 5 ml de H<sub>2</sub>O desionizada. Finalmente los vasos fueron sellados. Los 14 vasos fueron colocados en el carrusel del microondas.

La digestión se realizó en horno de microondas utilizando una rampa de temperatura de 30 min. hasta 200°C, 200 psi y 100 % de potencia, manteniendo esas condiciones durante 20 minutos y dejando enfriar durante 10 minutos (Programa 5, Tabla 2.1). Los vasos se dejaron enfriar a temperatura ambiente, pero no fue necesario filtrar debido a que ya no existían materia orgánica y fueron llevados a un aforo final de 50 ml con agua desionizada; se almacenaron en envases de poliestireno etiquetados para su análisis posterior. La determinación de metales volátiles se llevó a cabo dentro de las 72 horas posteriores.

### 5.8 Determinación de pH en suelos

La determinación de pH de las muestras de suelo se realizó según la Norma Mexicana NMX-AA-25-1984, método potenciométrico.

La determinación del pH en las muestras de suelo se realizó basándose en el procedimiento establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-25-1984. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos-Determinación del pH-Método Potenciométrico<sup>(15)</sup>

Se pesaron 2 gramos de cada muestra de suelo y se agregaron 18 ml de agua destilada. se mezclaron por medio de un agitador magnético durante 10 minutos y se dejaron reposar

30 minutos. El pH metro se calibró con soluciones amortiguadoras de pH=4, pH=7 y pH=10. En cada una de las muestras se sumergieron los electrodos y se realizó la medición del pH.

### 5.9 Preparación de Curvas de Calibración

Según las características y concentración esperada de los metales, se empleó el sistema adecuado de atomización (ver Tabla 2.2). No se emplearon modificadores o aditivos cuando se utilizó el horno de grafito.

**Tabla 5.2 Sistema de atomización usado para determinar trazas metálicas por AAS**

MUESTRA	FLAMA	HORNO DE GRAFITO	GENERADOR DE VAPOR FRIO	GENERADOR DE HIDRUROS
SUELO	Cr, Cu, Pb, Zn	Cd, Pd, Pt	Hg	As
PLANTAS	Zn	Cd, Cu, Pb, Pd, Pt	Hg	As

#### 5.9.1 Determinación de Metales usando Atomización con Flama

En general, aquellos metales que se encuentran en concentraciones elevadas ( $\geq 10$  ppm) pueden ser determinados empleando este sistema de atomización.

Las curvas de calibración se realizaron aforando a las soluciones estándar a 50 ml con agua desionizada.

**Tabla 5.3 Concentración de las curvas de calibración y condiciones para el análisis**

Muestra	Metal	Estándares (ppm)	Longitud de onda
Suelo	Cr	0.75, 1.50, 2.25, 3.00, 3.75	357.9
	Cu	0.12, 0.25, 0.50, 1.00, 1.50	324.8
	Pb	2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00	217.0
	Zn	1.20, 2.40, 3.60, 4.80, 6.00	213.9
Plantas	Zn	0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25	213.9

Se utilizó una flama aire-acetileno, la altura del quemador fue de 13 mm de altura y las demás condiciones tal y como recomienda el equipo para cada metal.

### 5.9.2 Determinación de Metales por Atomización con Horno de Grafito

Los metales que se encuentran en concentraciones de microgramos por litro (ppb) deben de ser determinados empleando este sistema de atomización.

Una de las ventajas de este sistema es que necesita una cantidad mínima de muestra y el análisis es más automatizado que los otros sistemas de atomización. Aunque el montaje del dispositivo es delicado.

**Tabla 5.4 Concentraciones y condiciones generales para el análisis con horno de grafito.**

Muestra	Metal	Estándares (ppb)	Longitud de onda
Suelo	Cd	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5	228.8
	Pd	30, 60, 90, 120, 150	247.6
	Pt	50, 100, 150, 200, 250	265.9
Plantas	Cd	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5	228.8
	Cu	25, 50, 75, 100, 125	324.8
	Pb	10, 20, 30, 40, 50	217.0
	Pd	2, 4, 6, 8, 10	247.6
	Pt	50, 100, 150, 200, 250	265.9

### 5.9.3 Generador de hidruros y vapor frío

Los metales volátiles tales como el mercurio, y aquellos que pueden formar hidruros pueden ser detectados con mejores límites de detección (ppb) con este método de atomización.

#### 5.9.3.1 Arsénico

Para analizar este metal se debe llevar a cabo una reacción de reducción (adicionando KI al 1% y HCl 10 M), ya que al término de la digestión de la muestra, el As se encuentra en su máximo estado de oxidación, es decir como  $As^{+5}$ , y para la generación del hidruro, el As debe encontrarse en su estado óptimo de oxidación (como  $As^{+3}$ ).

El gas de arrastre utilizado fue Nitrógeno. La flama utilizada fue de aire-acetileno. Se utilizó una solución de Borohidruro de Sodio ( $NaBH_4$ ) al 0.6 % (p/v), disuelto en una solución de NaOH al 0.5% (p/v) como canal reductor y como canal ácido una solución de HCl 10 M. La velocidades de flujo de las mangueras de la bomba peristáltica fueron 1 ml /min para el ácido y el reductor y para la muestra fue de 8 ml/ min.

#### 5.9.3.2 Mercurio

En tanto que el Hg al ser un metal muy volátil a temperatura ambiente, se cuantificó mediante la técnica de vapor frío, y no requirió la adición de ninguna solución después a su digestión ya que éste se cuantifica mediante la técnica de vapor frío.

El gas de arrastre utilizado para generar vapor frío fue nitrógeno. Se utilizó una solución de Cloruro Estanoso ( $SnCl_2$ ) al 25 % (v/v), disuelto en una solución de HCl al 20% (v/v) como canal reductor y como canal ácido se utilizó agua desionizada.

La velocidades de flujo de las mangueras de la bomba peristáltica fueron 1 ml min tanto para el ácido como para el reductor y para la muestra un flujo de 8 ml/ min.

**Tabla 5.5 Concentraciones y condiciones generales para el análisis con generador de hidruros y vapor frío.**

Muestra	Metal	Estándares (ppb)	Longitud de onda
Suelo	As	20, 40, 60, 80, 100	193.7
	Hg	5, 10, 15, 20, 25	253.7
Plantas	As	20, 40, 60, 80, 100	193.7
	Hg	5, 10, 15, 20, 30	253.7

---

CAPITULUM  
PESCHIADE

## 7 RESULTADOS EXPERIMENTALES SUELO

### 7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el análisis estadístico para suelos y plantas por medio del programa Statgraphics Plus 4 para cada metal ( As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt y Zn ). Se realizó un análisis multifactorial, categórico obteniéndose la tabla de ANOVA para analizar la variancia de cada metal y las contribuciones debido a diversos factores: el mes, la zona industrial y su interacción. La contribución de cada factor es independiente de los otros. El valor de P es la prueba estadística de cada uno de los factores. Evaluando con un nivel de confianza del 95 %, se establece que si el valor de p obtenido es mayor que 0.05 el factor o la interacción no tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el metal analizado con un 95.0% de nivel de confianza.

#### 7.1.1 Análisis estadístico Plantas

Ho: Los factores Mes , Zona industrial y su interacción(Mes – Zona Industrial) no tienen efecto sobre la concentración del metal en Plantas.

Hi : Los factores tienen efecto sobre la concentración del metal. (Se acepta si  $P < 0.05$ ).

RESULTADOS Y DISCUSION

Tabla 7.1.1. Análisis de variancia multifactorial para Plantas Municipio Tlalnepantla de Baz.

Metal	FUENTE DE VARIACION	F CALCULADA	P
As	Mes	1.77	0.1921
	Zona Industrial	0.46	0.7105
	Mes * Zona	3.10	0.0215
Cd	Mes	0.44	0.6465
	Zona Industrial	0.88	0.4656
	Mes * Zona	0.45	0.8354
Cr	Mes	1.17	0.3269
	Zona Industrial	6.98	0.0015
	Mes * Zona	4.22	0.0049
Cu	Mes	9.00	0.0012
	Zona Industrial	2.48	0.0851
	Mes * Zona	0.27	0.9466
	Mes	10.06	0.0007
Hg	Zona Industrial	0.93	0.4413
	Mes * Zona	1.64	0.1783
Pb	Mes	1.21	0.3156
	Zona Industrial	2.81	0.0608
	Mes * Zona	2.17	0.0814
Pd	Mes	1.71	0.2018
	Zona Industrial	3.29	0.0378
	Mes * Zona	8.55	0.0000
Pt	Mes	1.03	0.3721
	Zona Industrial	4.72	0.0100
	Mes * Zona	0.79	0.5894
Zn	Mes	0.12	0.8879
	Zona Industrial	2.63	0.0733
	Mes * Zona	0.85	0.5428

En general se acepta  $H_0$  debido a que el valor de P es mayor de 0.05 sin embargo para el caso de Cr y Pd (interacción Mes-Zona), Cr, Pd y Pt (Zona Industrial) al igual que Hg y Cu (Mes) se observa que tienen efecto sobre la concentración del Metal.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1.2 Análisis estadístico Suelo

Ho: Los factores mes , Zona industrial y su interacción no tienen efecto sobre la concentración del metal en Suelo

Hi : Los factores tienen efecto sobre la concentración del metal en suelo. (Se acepta si  $P < 0.05$ )

**Tabla 7.1.2. Análisis de variancia multifactorial para Suelo Municipio Tlalnepantla de Baz.**

Metal	FUENTE DE VARIACION	F CALCULADA	P
As	Mes	1.95	0.1638
	Zona Industrial	31.39	0.0000
	Mes * Zona	0.40	0.8743
Cd	Mes	0.57	0.5755
	Zona Industrial	1.27	0.3067
	Mes * Zona	0.26	0.9516
Cr	Mes	1.54	0.2342
	Zona Industrial	0.59	0.6276
	Mes * Zona	0.78	0.5927
Cu	Mes	0.44	0.6512
	Zona Industrial	1.81	0.1729
	Mes * Zona	0.99	0.4517
Hg	Mes	11.49	0.0003
	Zona Industrial	5.49	0.0051
	Mes * Zona	1.76	0.1503
Pb	Mes	0.28	0.7546
	Zona Industrial	2.38	0.0946
	Mes * Zona	2.62	0.0425
Pd	Mes	2.37	0.1155
	Zona Industrial	3.53	0.0299
	Mes * Zona	0.32	0.9181
Pt	Mes	1.13	0.3398
	Zona Industrial	3.94	0.0204
	Mes * Zona	0.25	0.9534
Zn	Mes	0.22	0.8059
	Zona Industrial	0.84	0.4852
	Mes * Zona	0.32	0.9176

En general se acepta Ho para todos los casos debido a que el valor de P es mayor a 0.05 con excepción de Pb (interacción Mes-Zona), As, Hg, Pd y Pt (Zona Industrial) al igual que Hg (Mes) es decir que tienen efecto sobre la concentración del metal en suelo.

7.2 DETERMINACIÓN DE PH EN SUELO

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

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

Se presentan los resultados obtenidos experimentalmente para las determinaciones de pH en suelo individualmente método potenciométrico según la norma NMX-AA- 051-1985<sup>(15)</sup>

Tabla 7. 2 Resultados experimentales de pH para suelos

Zona Industrial	Zona	Mes		
		1	2	3
Barrientos	1	7.82	7.94	7.90
	2	8.85	8.24	8.25
	3	8.95	8.56	8.49
Tlalnepantla. Centro	1	8.48	8.14	8.75
	2	8.57	8.80	8.91
	3	7.87	7.42	8.28
Tabla Honda	1	8.66	8.18	8.44
	2	8.18	7.57	6.92
	3	7.67	8.08	7.46
La Presa	1	8.76	8.42	8.48
	2	8.63	8.22	8.52
	3	8.72	8.51	7.77

De acuerdo al tipo de suelo en el municipio de Tlalnepantla de Baz la mayoría de los suelos se encuentran dentro del rango considerado ligeramente alcalinos para suelos de zonas áridas.

El pH indica que el metal al encontrarse bajo características ligeramente básicas no se encuentran tan biodisponibles, lo que podría repercutir en la absorción en plantas y su movilidad a otras parte medioambientales.

### **7.3 REPRESENTACIONES GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LAS CONCENTRACIONES DETERMINADAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS DIFERENTES METALES EN MUESTRAS SUELO EN EL MUNICIPIO.**

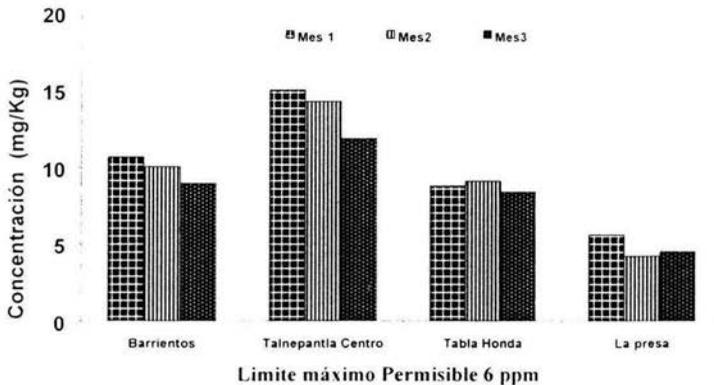
Los gráficos del 1 al 9 (páginas de la 45 a la 56) presentados a continuación muestran la concentración del metal en suelo en mg/Kg de muestra seca para cada metal analizado y el límite máximo permisible (Anexo I pág.79) para cada traza metálica. Cada barra se elaboró realizando el promedio de concentración de cada área (Promedio de la concentración de áreas 1,2 y 3) por mes , para cada metal, respectivamente para suelos.

RESULTADOS Y DISCUSION

7.3.1 Arsénico en Suelo

Tabla 7.3.1 Resultados experimentales para Arsénico obtenidas para muestras de Suelo

Zona industrial	Área Muestreada	CONCENTRACIÓN (mg/kg) ppm		
		Mes de muestreo		
		1º	2º	3º
Barrientos	1	9.03	8.30	7.06
	2	12.96	11.76	8.54
	3	10.04	10.04	11.29
Tlalnepantla Centro	1	14.80	15.17	13.51
	2	17.72	17.34	13.02
	3	12.49	10.29	9.10
Tabla Honda	1	10.92	9.73	10.08
	2	7.63	7.65	7.67
	3	7.88	9.94	7.47
La Presa	1	6.06	5.50	4.03
	2	5.59	3.03	5.10
	3	5.08	4.10	4.41



Gráfica 1 Concentración de Arsénico en muestras de suelo

## RESULTADOS Y DISCUSION

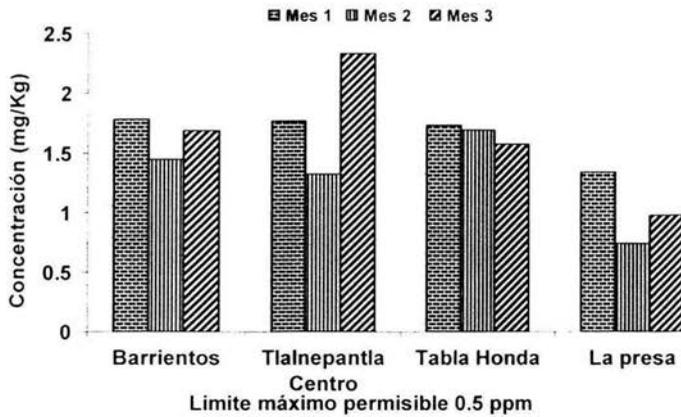
En el caso de las muestras de suelo observamos en la **gráfica 1** que todas las muestras rebasan el límite de 6 mg/kg (Anexo I) con excepción de las **muestras** tomadas en la zona Industrial la Presa (en los tres meses de **muestreo**). El análisis **estadístico** nos indica que la Zona Industrial muestreada si tiene influencia sobre la **concentración** este metal en suelo. En la gráfica anteriormente citada se puede observar que la Zona industrial que presenta mayores concentraciones de Arsénico es la de Tlalnepantla Centro.

Los suelos del tipo volcánico como el de la zona **metropolitana** contienen niveles elevados de arsénico. Se ha estimado que un tercio del flujo **atmosférico** de arsénico es de origen natural. La actividad volcánica es la **fuentes** natural más **importante** de arsénico, seguida de la volatilización a baja temperatura.. La **extracción** y **fundición** de metales no ferrosos y la utilización de combustibles fósiles son los **principales** procesos **industriales** que contribuyen a la contaminación antropogénica del aire, suelo y agua con Arsénico <sup>(31)</sup>

### 7.3.2 Cadmio en Suelo

**Tabla 7.3.2** Resultados experimentales para Cadmio obtenidas para muestras de Suelo

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes de muestreo		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	3.39	2.35	2.81
	2	1.44	1.20	0.75
	3	0.52	0.80	1.50
Tlalnepantla Centro	1	2.23	1.86	2.07
	2	0.79	0.27	2.10
	3	2.28	1.83	2.83
Tabla Honda	1	0.64	1.22	0.43
	2	1.51	1.40	1.99
	3	3.05	2.45	2.31
La Presa	1	0.61	0.80	1.52
	2	2.73	1.07	0.57
	3	0.69	0.35	0.85



Gráfica 2 Concentración de Cadmio en muestras de suelo

Se presentaron concentraciones mayores de cadmio para las muestras de suelo y en este caso todas rebasaron el limite máximo permisible para suelo de 0.5 mg/kg. En la zona industrial de Tlalnepantla Centro se alcanzó la mayor concentración de este metal durante el tercer mes de muestreo como se observa en el grafico 2. El análisis estadístico indico que el tiempo y lugar de muestreo no influye en la concentración de este metal.

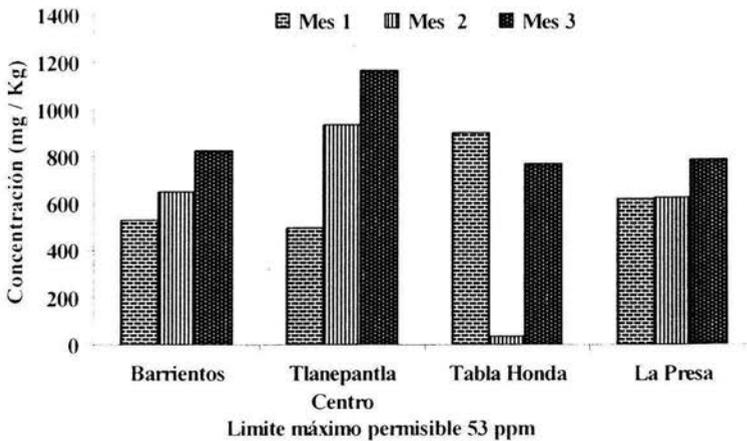
Se sabe que existen industrias que se dedican a la transformación de Aceros en esta zona industrial, que emiten cantidades importantes de trazas metálicas y que se alojan en la superficie de suelos y en las plantas de la zona, al igual que Industrias Cementeras como ubicadas en la zona Industrial Barrientos.

RESULTADOS Y DISCUSION

7.3.3 Cromo en Suelo

Tabla 7.3.3 Resultados experimentales para Cromo obtenidas para muestras de Suelo

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes de muestreo		
		1°	2°	3°
Barrios	1	500.00	692.19	1021.62
	2	435.94	631.09	696.70
	3	659.21	629.69	762.50
Tlanepantla Centro	1	529.56	801.36	821.88
	2	510.94	371.88	692.01
	3	459.26	1641.78	1994.81
Tabla Honda	1	1663.65	610.78	596.73
	2	243.69	587.35	996.63
	3	806.25	625.00	721.88
La Presa	1	518.62	532.81	677.96
	2	743.75	615.47	825.00
		601.41	735.94	865.63



Grafica 3 Concentración de Cromo en muestras de suelo

## RESULTADOS Y DISCUSION

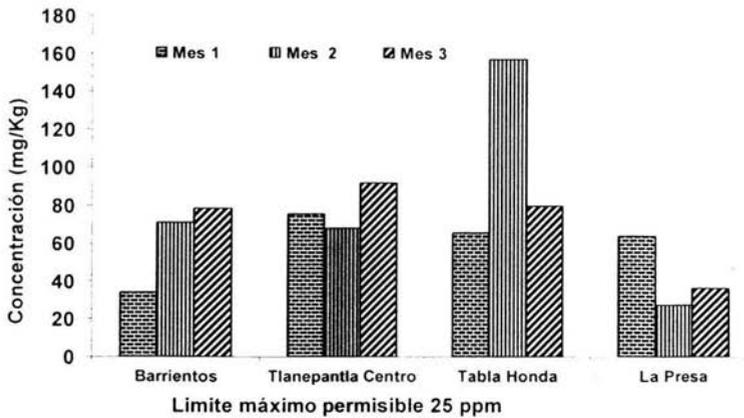
Como se observa en la grafica 3 en las muestras de suelo se presentaron cantidades aún mayores de este metal en comparación a plantas 10, obteniéndose las mayores concentraciones en la zona industrial de Tlalnepantla Centro, aumentando en función del tiempo en que duro el estudio. Como ya se había comentado en la zona existen también empresas dedicadas al cromado de piezas que contaminan suelos y plantas en el municipio. Todas las muestras tomadas en suelo rebasaron los límites máximos permisibles.

### 7.3.4 Cobre en Suelo

**Tabla 7.3.4** Resultados experimentales para Cobre obtenidas para muestras de Suelo

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes de muestreo		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	45.61	124.59	114.75
	2	35.13	63.36	37.50
	3	21.87	25.25	82.88
Tlalnepantla Centro	1	87.75	66.13	52.63
	2	70.50	16.12	40.74
	3	68.50	121.97	181.95
Tabla Honda	1	111.85	87.48	25.88
	2	20.00	77.48	118.10
	3	64.98	306.92	95.00
La Presa	1	20.74	25.22	26.63
	2	112.63	36.88	25.74
	3	58.38	20.12	56.25

## RESULTADOS Y DISCUSION



**Gráfica 4** Concentración de Cobre en muestras de suelo.

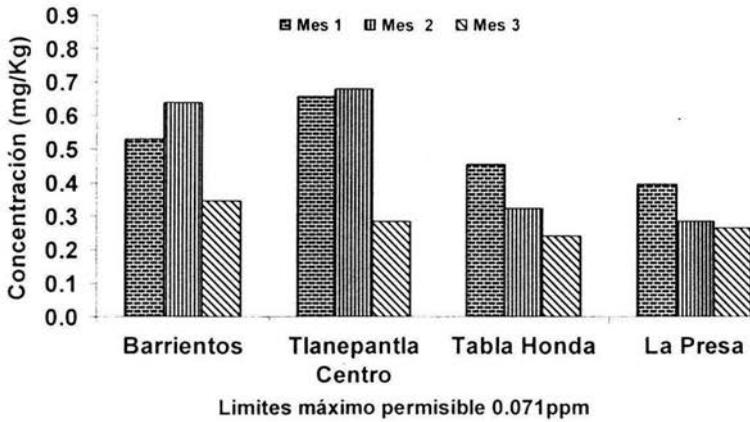
En este caso en suelo todas las muestras rebasaron los límites, como se observa en el gráfico 4 la mayor concentración de este metal en la Zona industrial de tabla Honda durante el segundo mes de muestreo. Se sabe que existen empresas aledañas a la vía Dr. Gustavo Baz Prada que emiten Cu al medio ambiente; por ejemplo, empresas dedicadas a la manufactura y transformación de acabados de cobre.

### 7.3.5 Mercurio en Suelo

**Tabla 7.3.5** Resultados experimentales para Mercurio obtenidas para muestras de Suelo

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes de muestreo		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	0.68	0.51	0.25
	2	0.48	0.59	0.25
	3	0.39	0.41	0.36
Tlanepantla Centro	1	0.72	0.91	0.42
	2	0.44	0.58	0.25
	3	0.60	0.86	0.42
Tabla Honda	1	0.93	0.60	0.19
	2	0.37	0.21	0.20
	3	0.55	0.39	0.27
La Presa	1	0.45	0.37	0.25
	2	0.39	0.30	0.29
	3	0.30	0.31	0.24

## RESULTADOS Y DISCUSION



**Grafica 5 Concentración de Mercurio en muestras de suelo.**

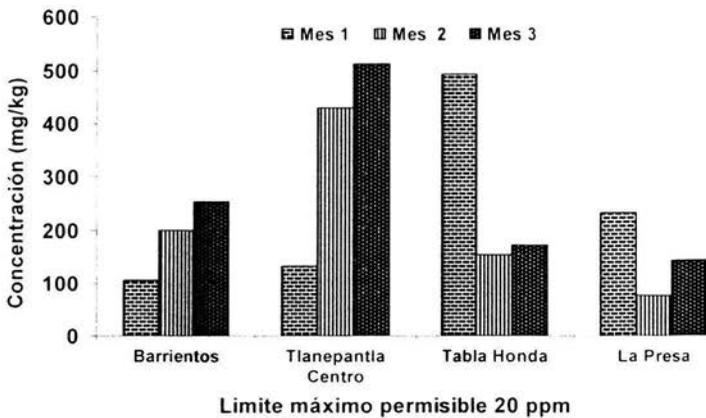
Las concentraciones de Mercurio presentes en muestras de Suelo no rebasan el límite establecido 0.071 mg/kg. El análisis estadístico revela que el factor tiempo y zona industrial si tiene influencia en la concentración de Hg determinado. Las mayores concentraciones se presentaron en el segundo mes de muestreo en Tlanepantla Centro. Las mayores fuentes antropomórficas de mercurio pueden ser la combustión de carbón, de aceite, incineración<sup>(10)</sup>

RESULTADOS Y DISCUSION

7.3.6 Plomo en suelo

Tabla 7.3.6 Resultados experimentales para Plomo obtenidas para muestras de Suelo.

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	92.48	317.42	318.75
	2	155.00	221.19	101.25
	3	72.48	63.75	342.50
Tlalnepantla Centro	1	172.50	587.50	410.00
	2	120.00	59.99	336.17
	3	106.25	642.34	793.55
Tabla Honda	1	866.03	139.97	77.50
	2	106.22	131.22	251.19
	3	507.37	191.25	188.75
La Presa	1	66.23	77.42	262.50
	2	372.50	85.00	72.48
	3	261.25	71.23	98.75



Gráfica 6 Concentración de Plomo en muestras de suelo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

---

En el caso de suelos se presentaron niveles de concentración de plomo que rebasaron los límites de 20 mg/Kg, como se observa en la tabla 7.2.6 se presentó una mayor concentración de plomo en la zona industrial de Tlalnepantla Centro y en Tabla Honda durante el primer mes de muestreo y de acuerdo al análisis estadístico la interacción entre la zona industrial y el tiempo si tienen alguna influencia sobre la concentración de este metal.

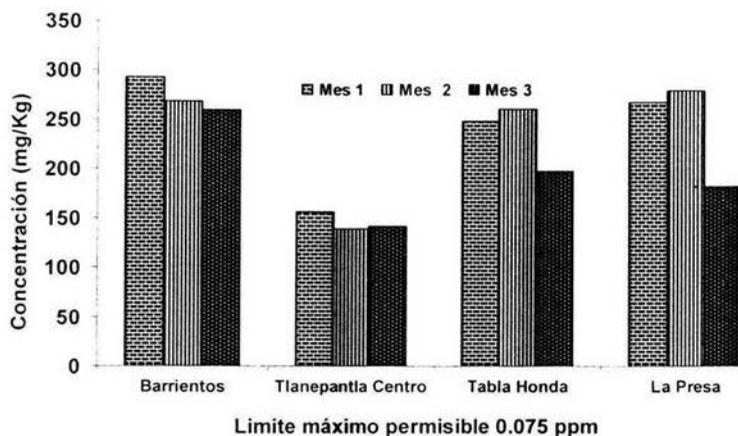
Estos niveles contaminantes de plomo provienen de los vehículos automotores que circulan por las principales vialidades del municipio que comunican el municipio con el distrito federal.

### 7.3.7 Platino Suelo

**Tabla 7.3.7** Resultados experimentales para Platino obtenidas para muestras de Suelo.

Zona industrial	Area Muestreada	Continuación (mg/kg) ppm		
		Mes de muestreo		
		1°	2°	3°
Barrientos	Area 1	207.50	179.38	186.98
	Area 2	286.41	232.13	366.63
	Area 3	385.37	394.84	225.94
Tlalnepantla Centro	Area 1	161.21	157.46	164.38
	Area 2	108.91	99.06	95.13
	Area 3	199.95	160.58	165.90
Tabla Honda	Area 1	315.39	257.59	260.25
	Área 2	260.40	280.55	153.87
	Area 3	172.03	245.94	179.69
La Presa	Area 1	355.07	224.38	155.12
	Area 2	220.31	180.58	320.94
	Area 3	229.63	434.84	70.47

## RESULTADOS Y DISCUSION



Gráfica 7 Concentración de Platino en muestras de suelo.

Para las muestras de Suelo se encontraron altas concentraciones de este metal alcanzando hasta 293 mg /kg de igual manera en la zona de Barrientos durante el primer mes. la zona industrial influye la concentración de platino presente.

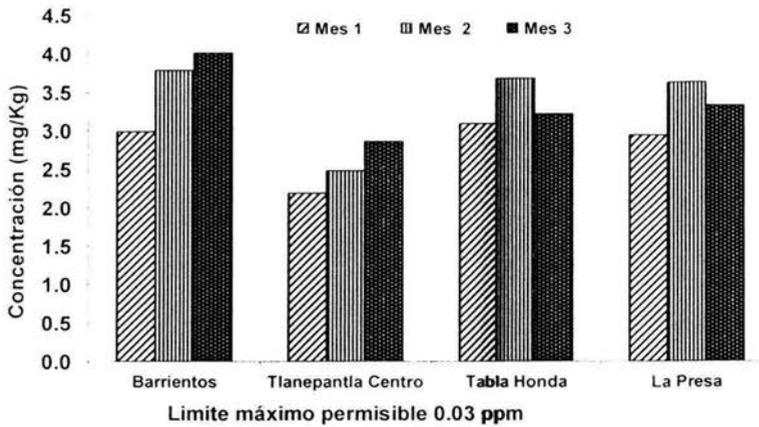
Estudios han revelado que el Platino se encuentra de manera natural en suelos, en otras investigaciones se han reportado concentraciones de platino en la superficie de los suelos en un rango de 20 a 75 ppb. Y se sabe que el platino inerte no muestra ser un peligro para la salud pero en complejos son fácilmente tomados por plantas y es acumulado en la raíz<sup>(10)</sup>

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.3.8 Paladio Suelo

**Tabla 7.3.8** Resultados experimentales para **Paladio** obtenidas para muestras de Suelo.

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes de muestreo		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	2.29	2.57	3.07
	2	3.31	4.05	5.34
	3	3.37	4.75	3.64
Tlanepantla Centro	1	2.03	2.81	3.20
	2	1.66	2.01	2.49
	3	2.90	2.64	2.91
Tabla Honda	1	4.09	3.59	3.37
	2	2.52	3.48	2.94
	3	2.69	3.98	3.37
La Presa	1	2.69	3.03	2.82
	2	3.32	2.86	4.17
	3	2.83	5.02	3.02



**Gráfica 8** Concentración de **Paladio** en muestras de suelo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Y en el caso de suelos la mayor concentración se localizó en la Zona Industrial de Barrientos, donde se observa que a medida que aumenta el tiempo aumenta la concentración de este metal. Para este metal el análisis estadístico indica que la Zona industrial si tiene un efecto sobre la concentración de este metal.

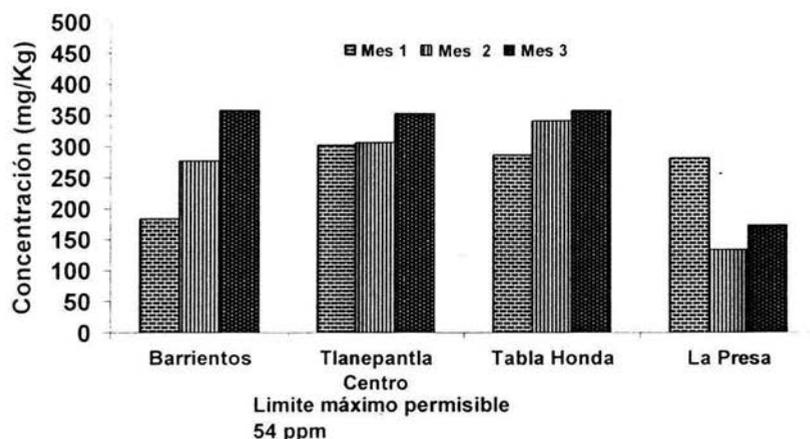
El paladio es mas reactivo y más abundante que el platino, perdidas de paladio al medioambiente ocurren principalmente por el procesamiento de metales. En suelos se depositan alrededor de 0.5 a 30 ppb. Se sabe que es relativamente inocuo en pequeñas concentraciones, sin embargo en plantas es absorbido y produce ligero daño a las estructuras celulares.

### 7.3.9 Zinc en Suelo

**Tabla 7.3.9** Resultados experimentales para Zinc obtenidas para muestras de Suelo.

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes muestreado		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	162.17	513.70	575.11
	2	299.43	231.70	173.60
	3	90.26	86.51	328.31
Tlalnepantla Centro	1	450.80	302.41	207.13
	2	272.74	33.07	162.58
	3	186.06	586.53	692.69
Tabla Honda	1	559.64	336.65	88.26
	2	46.59	321.49	591.24
	3	254.95	369.40	396.60
La Presa	1	74.08	149.29	199.04
	2	543.15	170.44	86.57
	3	230.60	83.20	234.53

## RESULTADOS Y DISCUSION



Gráfica 9 Concentración de Zinc en muestras de suelo en las 4 zonas industriales.

El zinc en el caso de suelos todas las muestras se encuentran por arriba del límite observándose una tendencia a aumentar conforme al tiempo de muestreo en las zonas industriales de Barrientos, Tlanepantla Centro y Tabla Honda. Pero de acuerdo al análisis estadístico el tiempo, la zona industrial y su interacción no tienen un efecto en la concentración del metal. El Zinc se encuentra de manera natural en grandes cantidades en rocas ígneas, sin embargo en casi todas las muestras determinadas rebasan los 100 ppm en promedio (ver gráfico 9). Otras formas por las cuales el Zinc puede llegar a suelos es por la contaminación de Industrias dedicadas al fundido de metales, acabados metálicos, industrias textiles, combustión de gasolinas, por oxidación de piezas galvanizadas, en fertilizantes, etc.

Cabe mencionar que en Tlanepantla como se ha ido mencionando en el municipio se encuentran empresas dedicadas a la transformación de metales.

**7.4 REPRESENTACIONES GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LAS CONCENTRACIONES DETERMINADAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS DIFERENTES METALES EN MUESTRAS PLANTAS EN EL MUNICIPIO.**

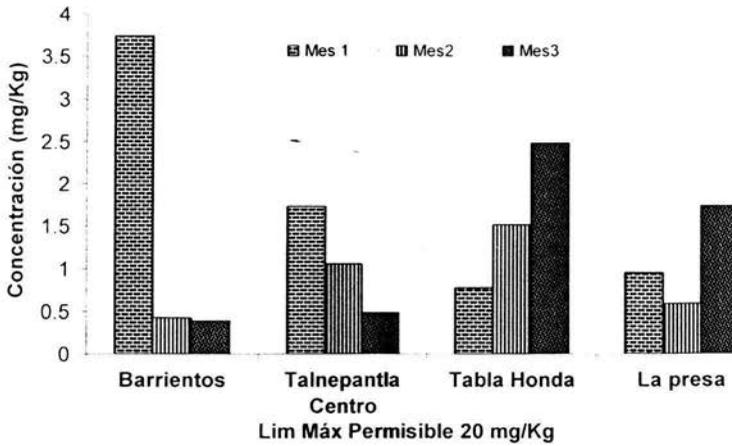
Gráficos del 10 al 18 paginas 57 a la 69

**7.4.1 Arsénico Plantas**

**Tabla 7.4.1** Resultados experimentales para Arsénico obtenidas para muestras de Plantas.

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	7.07	0.63	0.37
	2	2.42	0.55	0.40
	3	1.73	0.10	0.40
Tlalnepantla Centro	1	0.43	1.33	0.47
	2	0.24	1.01	0.39
	3	4.54	0.83	0.60
Tabla Honda	1	0.47	1.22	1.60
	2	1.03	1.66	3.49
	3	0.84	1.69	2.38
La Presa	1	0.29	1.18	1.63
	2	2.09	0.39	1.95
	3	0.50	0.21	1.67

## RESULTADOS Y DISCUSION



Gráfica 10 Concentración de Arsénico en muestras de Plantas .

Podemos observar en la tabla que las concentraciones mas elevadas de arsénico se presentaron en la zona industrial de Barrios, con cerca de 3 ppm seguida por la zona industrial Tabla Honda, en la zona industrial de Tlalnepantla Centro en donde se observa una tendencia a disminuir en función del tiempo. El análisis estadístico revela que solo la interacción del tiempo y de la zona industrial tienen efecto sobre los niveles de arsénico en plantas. Las plantas terrestres pueden acumular arsénico por absorción radicular del suelo o mediante la adsorción del arsénico que deposita el aire en las hojas.<sup>(31)</sup>

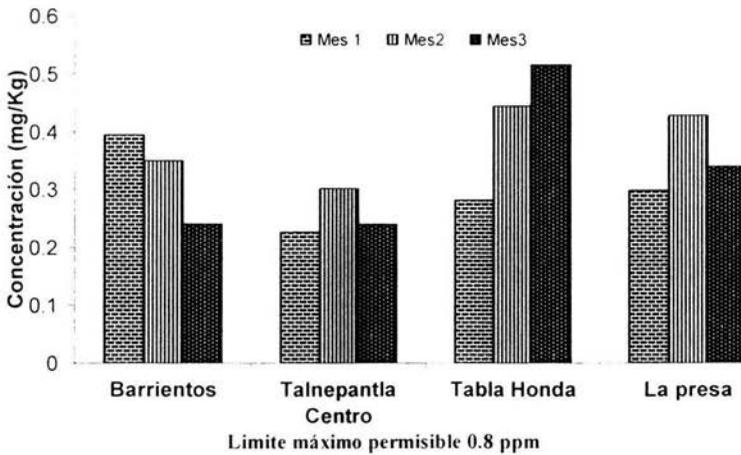
Niveles mayores de Arsénico producen retardo en el crecimiento de la plantas<sup>(24)</sup>

RESULTADOS Y DISCUSION

7.4.2 Cadmio en Plantas

**Tabla 7.4.2** Resultados experimentales para Cadmio obtenidas para muestras de Plantas.

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes muestreado		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	0.51	0.14	0.23
	2	0.47	0.40	0.21
	3	0.21	0.51	0.29
Tlalnepantla Centro	1	0.37	0.32	0.49
	2	0.09	0.39	0.07
	3	0.23	0.20	0.16
Tabla Honda	1	0.23	0.24	1.10
	2	0.33	0.31	0.22
	3	0.29	0.79	0.24
La Presa	1	0.41	0.54	0.45
	2	0.27	0.28	0.24
	3	0.22	0.47	0.34



**Gráfica II** Concentración de Cadmio en muestras de Plantas

## RESULTADOS Y DISCUSION

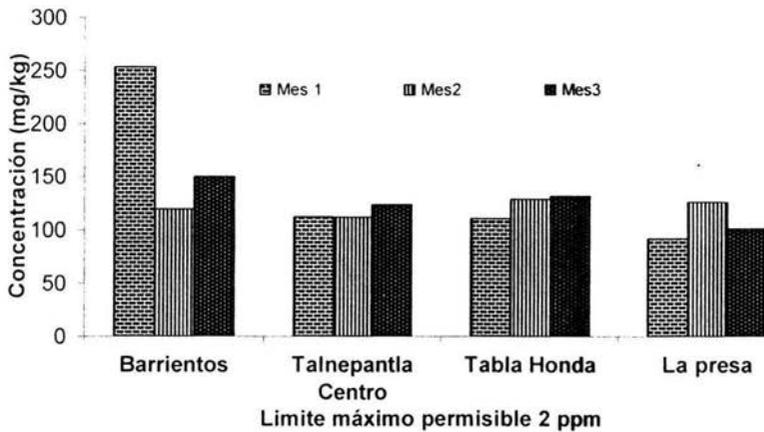
Para el caso de Cadmio ninguna muestra rebasó los límites establecidos de 0.8 mg/kg (ver anexo I Pág. 79) en las muestras tomadas de plantas. Las mayores concentraciones de este metal se observaron en la zona industrial Tabla Honda como se puede observar en la grafica 11.

De acuerdo al análisis estadístico en este metal se determinó que las variaciones en las concentraciones de las muestras de este metal no dependen del tiempo, ni de la zona industrial del que se tomaron. Se sabe que el Cadmio es un metal no esencial en el crecimiento de las plantas y que se acumula en la raíz y hojas también existen estudios donde se observa una relación lineal entre la concentración cadmio en suelo y la concentración de cadmio absorbida por la planta. Este metal es perjudicial ya que tanto en plantas y animales se acumula y es venenoso.<sup>(9)</sup>

### 7.4.3 Cromo en Plantas

**Tabla 7.4.3** Resultados experimentales para Cromo obtenidas para muestras de Plantas.

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes muestreado		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	344.18	120.08	174.68
	2	241.06	150.14	149.88
	3	176.64	89.40	126.63
Tlalnepantla Centro	1	120.10	120.63	172.81
	2	114.83	101.04	82.81
	3	103.92	115.03	117.55
Tabla Honda	1	112.87	118.59	170.04
	2	106.28	104.96	84.38
	3	114.79	163.36	143.01
La Presa	1	100.00	138.06	92.80
	2	87.37	131.15	116.95
	3	89.64	111.43	95.44



Gráfica 12 Concentración de Cromo en muestras de plantas.

No existe evidencia de que el Cromo sea un metal esencial en el metabolismo de la plantas<sup>(9)</sup>

En Talnepanitla se observaron concentraciones desde 82 ppm Talnepanitla centro hasta 344 en Tabla Honda (ver tabla 7.3.3) . Al realizar el análisis estadístico se encontró que no influye la zona industrial ni el tiempo en que se tomaron las muestras en la concentración del metal.

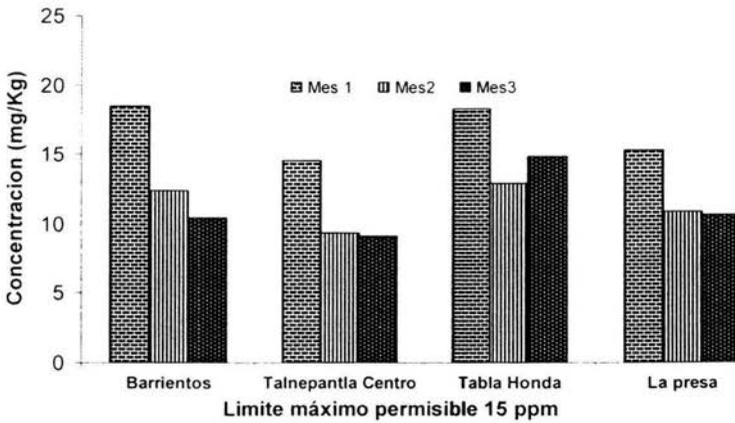
El cromo se encuentra de forma natural en suelos, no como contaminante pero debido a actividades industriales puede incrementarse en suelos y por lo tanto ser absorbidas por las plantas.

RESULTADOS Y DISCUSION

7.4.4 Cobre en Plantas

Tabla 7.4.4 Resultados experimentales para Cobre obtenidas para muestras de Plantas

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes muestreado		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	23.83	12.28	9.50
	2	19.37	9.24	7.67
	3	12.28	15.63	14.23
Tlalnepantla Centro	1	14.98	12.30	9.34
	2	17.60	8.15	5.99
	3	11.09	7.73	12.16
Tabla Honda	1	15.57	13.43	18.34
	2	21.21	11.72	10.36
	3	18.12	13.56	15.87
La Presa	1	15.92	14.49	12.80
	2	9.94	7.33	8.53
	3	20.12	10.81	10.72



Gráfica 13 Concentración de Cobre en muestras de Plantas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

---

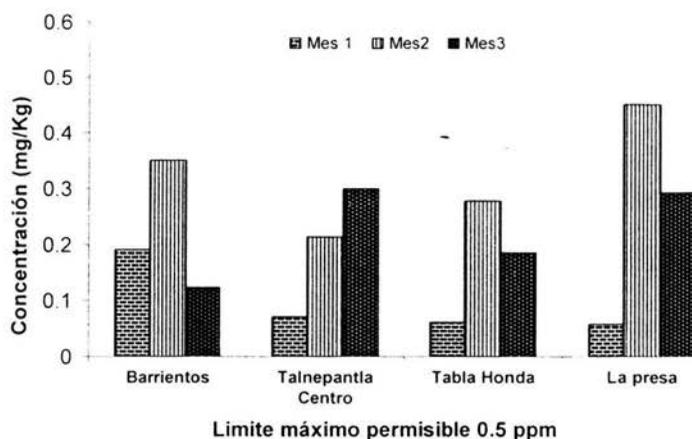
Las concentraciones de Cobre en plantas rebasaron los limites de 15 mg/kg durante el primer mes en las muestras obtenidas de Barrientos, Tabla Honda y La Presa. Sin embargo el análisis estadístico revela que los factores tiempo y zona industrial muestreada y su interacción no tienen influencia en la concentración de Cu en plantas ni en suelo.

El cobre es esencial en el crecimiento de las plantas , pues actúa en la fotosíntesis , respiración y distribución de carbohidratos(bibliografía)

### 7.4.5 Mercurio en Plantas

**Tabla 7.4.5 Resultados experimentales para Mercurio**

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	0.24	0.54	0.14
	2	0.16	0.31	0.14
	3	0.18	0.20	0.09
Tlalnepantla Tlalnepantla Centro	1	0.10	0.23	0.31
	2	0.09	0.22	0.28
	3	0.02	0.19	0.30
Tabla Honda	1	0.04	0.15	0.20
	2	0.08	0.34	0.21
	3	0.06	0.34	0.16
La Presa	1	0.08	0.17	0.07
	2	0.03	0.40	0.46
	3	0.07	0.79	0.35



**Gráfica 14 Concentración de Mercurio en muestras de Plantas**

Las concentraciones de Mercurio presentes en muestras de Plantas no rebasan el límite establecido de 0.5 mg/Kg. El análisis estadístico revela que el factor tiempo(mes) sí tiene influencia sobre la concentración de este metal. La mayor concentración se observa en la zona industrial la Presa durante el segundo mes de muestreo, aunque disminuye durante el último mes.

Se sabe que las plantas que crecen en suelos contaminados con mercurio pueden acumularlo y que dependiendo de las especies de plantas será la cantidad acumulada.

En este caso la presa fue la que presentó mayores niveles de mercurio cabe mencionar que en la zona existen las industrias que se dedican a la transformación de aceros, transformación de cristales y gaseras, además de ser una importante vía de comunicación como lo es periférico norte.

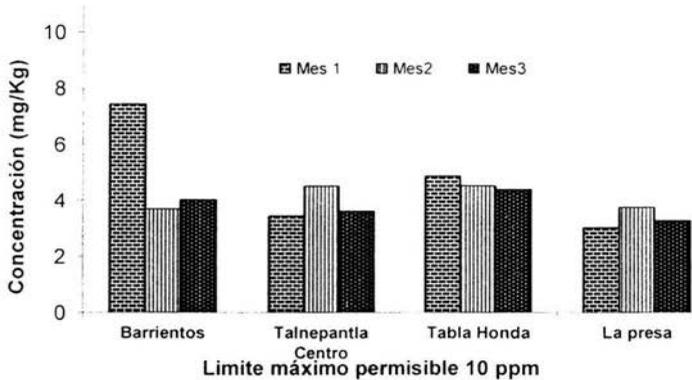
Es de vital importancia monitorear los niveles de mercurio en plantas ya que forman parte de la cadena alimenticia.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.4.6 Plomo plantas

**Tabla 7.4.6** Resultados experimentales para Plomo obtenidas para muestras de Plantas.

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Muestras por mes		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	5.16	3.65	4.75
	2	6.57	3.93	3.99
	3	10.58	3.52	3.37
Tlalnepantla Centro	1	3.13	5.74	3.68
	2	3.60	3.11	3.40
	3	3.58	4.73	3.79
Tabla Honda	1	4.29	4.48	6.21
	2	3.90	3.95	4.53
	3	6.45	5.19	2.49
La Presa	1	1.80	1.79	2.24
	2	2.81	3.81	3.68
	3	4.41	5.67	3.89



**Gráfica 15** Concentración de Plomo en muestras de plantas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En las muestras de plantas no se presentaron muestras que rebasaran los límites de Plomo de 10 mg / kg y el factor tiempo y zona industrial no tienen efecto sobre la concentración.

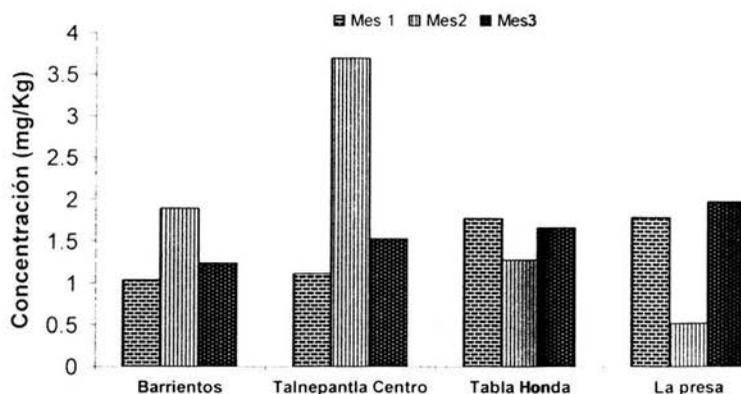
Los niveles más elevados de este metal se localizaron en la zona industrial Barrientos con hasta con 10.58 ppm durante el tercer mes de muestreo (ver tabla 7.3.6).

La contaminación puede deberse a las emisiones de los vehículos que circulan diariamente por la zona, por medio del aire o por medio del plomo que es depositado en suelos y que es absorbido

### 7.4.7 Paladio en Plantas

Tabla 7.4.7 Resultados experimentales para Paladio obtenidas para muestras de Plantas

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	1.92	2.60	0.68
	2	0.68	1.36	1.88
	3	0.52	1.72	1.16
Tlalnepantla Centro	1	1.16	3.76	1.60
	2	1.20	3.88	1.36
	3	1.00	3.44	1.64
Tabla Honda	1	1.92	1.32	0.44
	2	0.88	1.20	2.04
	3	2.52	1.32	2.52
La Presa	1	2.16	0.60	1.64
	2	1.40	0.60	2.48
	3	1.80	0.36	1.80



Gráfica 16 Concentración de Paladio en muestras de Plantas

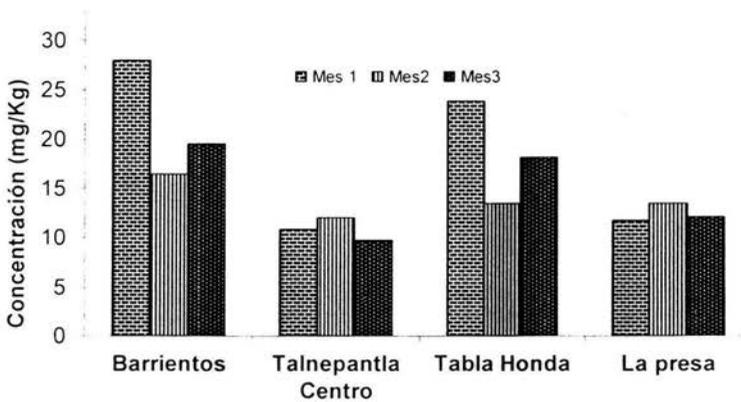
Las concentraciones mas elevadas se presentaron durante el primer mes de muestreo en la zona industrial de Barrientos donde la concentración más elevada se observó en el primer mes de muestreo (ver tabla 7.3.8). La zona que presentó la menor concentración de este metal fue la de Tlalnepanitla centro .

El análisis estadístico revela que la zona industrial si tiene efecto sobre la concentración el metal al igual que la interacción entre el mes muestreado y la zona. (ver tabla 7.4.1 pág 71) Según autores el paladio es ligeramente toxico a las plantas , pero en concentraciones de 1 a 3 mg/l puede causar daños a las estructuras celulares.<sup>(10)</sup>

7.4.8 Platino en plantas

Tabla 7.4.8 Resultados experimentales para Platino obtenidas para muestras de Plantas

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	32.23	29.34	19.30
	2	32.07	3.40	23.20
	3	19.70	16.67	16.15
Tlalnepantla Centro	1	12.33	11.64	13.55
	2	11.00	11.35	7.20
	3	9.34	13.13	8.59
Tabla Honda	1	21.87	15.53	28.66
	2	21.25	6.56	9.29
	3	28.71	18.48	16.69
La Presa	1	13.97	15.63	13.86
	2	13.97	12.71	13.39
	3	7.50	12.27	9.12



Gráfica 17 Concentración de Platino en muestras de Plantas.

Las concentraciones de platino en plantas se encuentran por debajo de los 28 mg/kg peso, la mayor concentración de este metal se determinó en las muestras tomadas en Barrientos durante el primer mes de muestreo y sólo la zona industrial influye la concentración de platino presente.

Las mayores concentraciones se presentaron en la zona industrial de Barrientos donde la máxima concentración se presentó durante el primer mes muestreado 32.23 mg / kg (ver tabla 7.3.8). El análisis estadístico revela que la Zona si tiene influencia sobre la concentración del metal en plantas. (ver tabla 7.4.2).

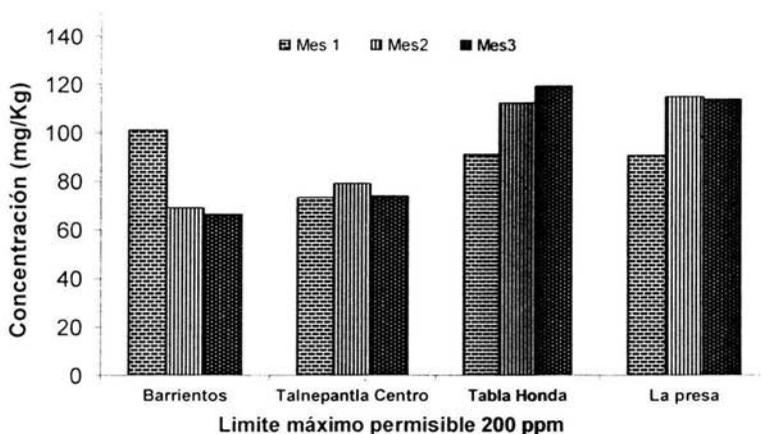
Existen estudios que determinan que metales del grupo del platino (Pt,Pd,Os,Ru,Ir.) son venenosos para las plantas.<sup>(9)</sup>

De acuerdo a bibliografía no existe un limite máximo permisible para las concentraciones de este metal en plantas, sin embargo es de vital importancia seguir monitoreando este metal ya que es tóxico y puede ser usado como referencia de futuras investigaciones.

7.4.9 Zinc en Plantas

Tabla 7.4.9 Resultados experimentales para Zinc obtenidas para muestras de Plantas.

Zona industrial	Area Muestreada	Concentración (mg/kg) ppm		
		Mes muestreado		
		1°	2°	3°
Barrientos	1	154.94	72.80	60.48
	2	84.37	74.51	73.28
	3	64.36	60.22	65.61
Tlalnepantla Centro	1	63.07	67.07	68.03
	2	90.92	72.50	86.91
	3	65.97	98.16	67.45
Tabla Honda	1	89.66	98.16	138.60
	2	99.48	122.45	120.01
	3	85.01	117.26	100.04
La Presa	1	142.39	145.04	155.70
	2	53.28	92.52	88.00
	3	76.86	108.05	98.50



Gráfica 18 Concentración de Zinc en muestras de Plantas.

El Zn presente en muestras de plantas no rebasa los límites establecidos, en la zona de Tabla Honda se observa la tendencia a aumentar la concentración en función del tiempo muestreado.

Las mayores concentraciones se determinaron en la Zona industrial tabla Honda, ninguna de ellas rebasó el límite máximo permisible de 200ppm.

El análisis estadístico indicó que ningún efecto (tiempo, Zona industrial y su interacción) tienen efecto sobre la concentración del metal en plantas. (Ver tabla 7.4.1)

El Zinc forma parte del metabolismo en plantas es por ello que lo captan del suelo. El zinc también lo captan se fertilizantes pero en grandes concentraciones las plantas pueden crear tolerancia y en mayor concentración le es toxico.

Como se observa de los resultados, en general se puede estimar que el municipio de Tlalnepanitla de Baz ha sido afectado por el uso de su suelo. Las muestras de suelo en su mayoría rebasan los límites permisibles para casi todos los metales cuantificados. Las

## RESULTADOS Y DISCUSION

---

concentraciones encontradas en la muestras de plantas son menores, sin embargo esto puede deberse los procesos de absorción intrínsecas de cada tipo de plantas.

Las plantas se utilizan como indicadores biológicos pues estas absorben del suelo algunos metales que se encuentran disponibles ya sea en forma de sales o en estado metálico. En suelos naturalmente se encuentran trazas metálicas pero en ciertas formas no se encuentran disponibles a las plantas.

El análisis estadístico revela que existe acumulación de trazas de mercurio para suelo y plantas y existe acumulación de cobre en plantas. Para las muestras de suelo existe una influencia entre la concentración y la zona industrial para los metales arsénico, mercurio, paladio y platino. En el caso de plantas los metales que presentan influencia con las zonas industriales son: cromo, paladio y platino.

Al comparar los resultados obtenidos con niveles de concentración permisibles<sup>11</sup> en plantas se encontró que sólo las trazas metálicas de Cu y Cr rebasan estos límites, mientras que en el caso de suelo todas las muestras rebasan estos límites con excepción de Hg.

Los valores obtenidos de pH en suelo se encontraban dentro de los límites considerados como normales para suelos de tipo áridos es decir de pH 7 a 9<sup>(7,14)</sup>.

De acuerdo a los resultados obtenidos estadísticamente no existe una diferencia significativa en la mayoría de las muestras obtenidas entre los tres meses analizados. Esto nos permite estimar que la acumulación de los metales es necesario el muestreo por mayores periodos de tiempo (inclusive años). Sin embargo, existe ya una diferencia significativa para ciertos metales en relación con la zona industrial muestreada.

---

# CONCLUSIONES

## 5. CONCLUSIONES

- ⇒ Se llevó a cabo la cuantificación de las trazas metálicas por un periodo de tres meses de las cuatro principales zonas industriales del municipio en muestras suelo y plantas encontrándose que existe una tendencia a la acumulación en el caso de mercurio y que todas las muestras de suelo rebasaron los límites permisibles establecidos y para el caso de plantas sólo trazas de cobre y cromo rebasaron estos límites.
- ⇒ Durante la realización de este trabajo se estableció un plan de muestreo enfocándose en las principales zonas industriales del Municipio de Tlalnepantla de Baz, y tomando las muestras en las principales vías de comunicación cercanas.
- ⇒ Se logró la optimización del método de digestión ácida para plantas por medio del uso del horno de microondas para llevar a cabo una digestión total y llevar todas las trazas metálicas a solución.
- ⇒ Mediante el análisis de un diseño experimental multifactorial categórico se determinó la influencia del tiempo muestreado y la zona industrial en el nivel de concentración y se encontró que la zona industrial influye en la concentración de metales en suelo de As, Hg, Pd y Pt, para el caso de plantas Cr, Pd y Pt.
- ⇒ Con base a los resultados obtenidos se logró determinar que existe una tendencia a la acumulación sólo de trazas metálicas de mercurio en plantas durante el tiempo muestreado en la zona industrial de Tlalnepantla Centro.
- ⇒ Se compararon los resultados obtenidos con niveles de concentración establecidos en plantas encontrando que sólo las trazas metálicas de Cu y Cr rebasan estos límites, y que en caso de suelo todas rebasan estos límites con excepción de Hg.

## CONCLUSIONES

---

- ⇒ De acuerdo a los resultados obtenidos se puede confirmar la influencia de las industrias dedicadas al cromado y galvanizado en las concentraciones de Cu y Cr en plantas.

---

# BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

---

1. Daniel C. Harris **Análisis Químico Cuantitativo**. Editorial Grupo editorial Iberoamerica, S.A. de C.V. México, D.F. 3ª Edición p.p. 579-599.
2. Skoog Douglas A., **Química Analítica**, 1994 6ª Edición Editorial Mc. Graw Hill México, p.p. 453-475, 1995.
3. Skoog Douglas A., et. al. **Análisis Instrumental**, 4ta ed., Editorial Mc. Graw Hill México, p.p. 227-271. 1994.
4. Dominique Pradeau **Análisis Químicos Farmacéuticos de Medicamentos** Editorial UTHEA NORIEGA EDITORES México 1998 p.p. 602-632.
5. 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**. FESC-Cuautitlán, UNAM 1997.
6. Ramírez, Maria del Pilar, **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** FESC-Cuautitlán, UNAM.
7. Uribe Gabriela, **Métodos de separación para el análisis químico y el desarrollo tecnológico: Cuantificación de trazas metálicas en muestras de suelo por Espectrofotometría de Absorción Atómica**, FESC-Cuautitlán, UNAM, 2002.
8. F. Zereine, F. Alt, **Anthropogenic Platinum Group Element Emissions their impact on man and environment**, Ed. Springer Germany, 2000.
9. Sheila M. Ross **Toxic Metals in soil Plants systems**. John Wiley & Sons. Chichester U.K. 1994 pag.9.
10. Kabata Pendias, **Trace 2<sup>nd</sup> Elements in Soils and Plants** Ed. CRC PRESS, USA. 1992 pag.83,295 y 296.
11. Gary W. Van Loon, Stephen J. Duffy. **Environmental chemistry, a global perspective**. Oxford university press. USA. 2000, pag. 384-391, 404-407.
12. Alloway B.J **Heavy Metals in Soils** Adel M: Ed. Prince Chemistry of soils solutions Miami Florida 1990.
13. Adel M. El Prince **Chemistry of Soils Solutions** Miami Florida 1990.
14. Arturo Aguirre Gómez **Química de los suelos salinos y Sódicos** UNAM.

## BILBIOGRAFIA

---

15. Norma Mexicana NMX-AA-52-1985. Protección al ambiente- Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales preparación de muestras en el laboratorio para su análisis.
16. Norma mexicana NMX-AA-51-1981, Análisis de agua, Determinación de metales, Método Espectrofotometría de Absorción Atómica.
17. NORMA MEXICANA NMX-AA-91-1987. CALIDAD DEL SUELO TERMINOLOGÍA
18. H.M. (Skip) Kingston, Editor Introduction to Microwave Sample Preparation Theory and Practice. ACS Professional Reference Book. Washington, D.C. 1988.
19. Jon C. Van Loon Selected Methods of trace Metal Analysis: Biological and Environmental Samples. Wiley-Interscience publication p.p. 277-280.
20. R. R. Barefoot Department of Geology, University of Toronto, Toronto, Ont. M5S 3B1, Canadá Trends in analytical Chemistry, Vol. 18, No. 11 1999.
21. A.D. Robson "Zinc in Soils and Plants" Kluwer Academic Publishers university of western Australia, p.p.45 1993.
22. Ofelia Morton Traffic-related platinum group elements (PGE) in soils from Mexico City. Journal of Geochemical exploration. 72 p.p. 223-227. 2001.
23. [http://www.tlalnepantla.gob.mx/Municipio/Mu\\_Ig\\_Geografia.asp](http://www.tlalnepantla.gob.mx/Municipio/Mu_Ig_Geografia.asp)
24. Horst Marschner Mineral Nutrition of Higher Plants 2nd Edition Ed. Academic Press Cambridge p.p.1-3. 333, 345,347,362, 605,641,657. 1988.
25. K. Boch, M. Schuster, Microwave-assisted digestion procedure for the determination of palladium in road dust. Analytica Chimica Acta 459 (2002) p.p. 257-265.
26. M. Bertinelli, Determination of heavy metals in soils and sediments by microwave-assisted digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry analysis. Analytica Chimica Acta 424 (2000) p.p. 289-296.
27. Datos proporcionados por el Municipio de Tlalnepantla de Baz
28. Bern Market. Plants as biomonitors Indicator for heavy metals in the terrestrial environment. 1993 USA.
29. Swaine, D.J.(1955)The trace element content of soils. Common Bureau Soil Science Technical Communication No. 48. CAB. Farnham Royal, Bucks. England.

## BIBLIOGRAFIA

---

30. Muñoz R. Edgar. Tesis: Cuantificación de metales pesados en suelos del municipio de Cuautitlán Izcalli por Absorción Atómica. U.N.A.M., F.E.S.C., 2002.
31. Environmental Health Criteria, No. 224 Arsenic World Health Organization CH Geneva 27 Switzerland. 2003

---

# ANEXOS

---

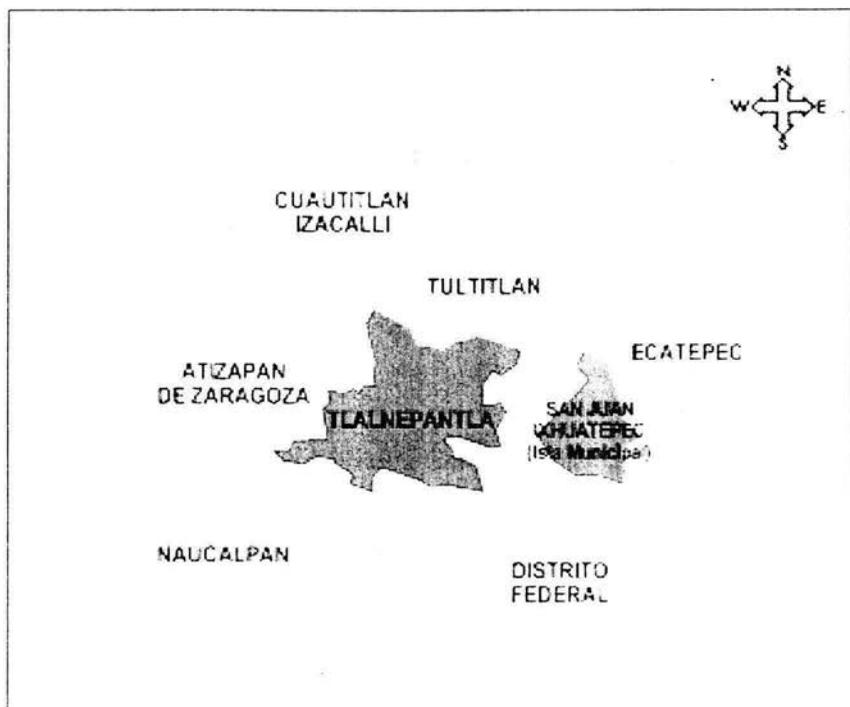
ANEXO I

---

ANEXO I  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA SUELOS Y PLANTAS.<sup>(9,10,11)</sup>

TRAZA METALICA	CONCENTRACIÓN (mg/Kg) PESO SECO	
	PLANTAS	SUELO
As	1-20	6
Cd	0.2 – 0.8	0.5
Cu	15	25
Cr	1 - 2	53
Hg	0.5	0.071
Pb	10	20
Pd	-	0.03
Pt	-	0.075
Zn	200	54

ANEXO II MAPA DEL MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA DE BAZ



ANEXO III LOCALIZACIÓN DE TOMA DE MUESTRAS

Mapa del Municipio de Tlalnepantla de Baz ubicado en el Estado de México. los recuadros azules representan las 4 Zonas Industriales muestreadas del Municipio:

1. Zona industrial Barrientos.
2. Zona industrial Tlalnepantla Centro.
3. Zona industrial Tabla Honda.
4. Zona industrial La Presa.

Los puntos rojos representan las 3 áreas muestreadas en cada zona industrial.

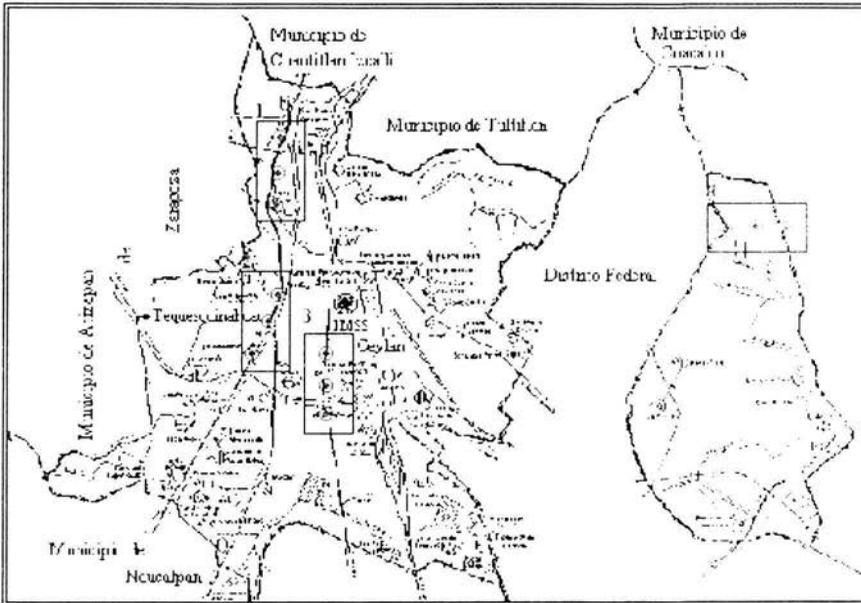


Fig. 1 Mapa de Tlalnepantla de Baz, Estado de México.

ANEXO IV

**ANEXO IV CONDICIONES DEL PROGRAMA DE ATOMIZACIÓN UTILIZADO EN HORNO DE GRAFITO.**

⇒ Condiciones de atomización para Cu en plantas

Paso No.	Temperatura °C	Tiempo Seg	Flujo de gas L/min	Tipo de gas	Leer	Guardar
1	85	5	3	Normal	No	No
2	95	40	3	Normal	No	No
3	120	10	3	Normal	No	No
4	800	5	3	Normal	No	No
5	800	1	3	Normal	No	No
6	800	2	0	Normal	No	Si
7	2300	1.1	0	Normal	Si	Si
8	2300	2	0	Normal	Si	Si
9	2300	2	3	Normal	No	Si

⇒ Condiciones de atomización para Cd en plantas y suelo.

Paso No.	Temperatura °C	Tiempo seg	Flujo de gas L/min	Tipo de gas	Leer	Guardar
1	85	5	3	Normal	No	No
2	95	40	3	Normal	No	No
3	120	10	3	Normal	No	No
4	250	5	3	Normal	No	No
5	250	1	3	Normal	No	No
6	250	2	0	Normal	No	Si
7	1800	0.8	0	Normal	Si	Si
8	1800	2	0	Normal	Si	Si
9	1800	2	3	Normal	No	Si

⇒ Condiciones de atomización para Pd en plantas y suelo.

Paso No.	Temperatura °C	Tiempo seg	Flujo de gas L/min	Tipo de gas	Leer	Guardar
1	85	5	3	Normal	No	No
2	95	40	3	Normal	No	No
3	120	10	3	Normal	No	No
4	1000	5	3	Normal	No	No
5	1000	1	3	Normal	No	No
6	1000	2	0	Normal	No	Si
7	2500	1.2	0	Normal	Si	Si
8	2500	2	0	Normal	Si	Si
9	2500	2	3	Normal	No	Si

ANEXO IV

⇒ Condiciones de atomización para Pt en plantas y suelo.

Paso No.	Temperatura °C	Tiempo seg	Flujo de gas L/min	Tipo de gas	Leer	Guardar
1	90	5	3	Normal	No	No
2	100	40	3	Normal	No	No
3	150	10	3	Normal	No	No
4	1000	5	3	Normal	No	No
5	1000	1	3	Normal	No	No
6	1000	2	0	Normal	No	Si
7	2700	1.3	0	Normal	Si	Si
8	2700	2	0	Normal	Si	Si
9	2800	2	3	Normal	No	Si

⇒ Condiciones de atomización para Pb en plantas.

Paso No.	Temperatura °C	Tiempo seg	Flujo de gas L/min	Tipo de gas	Leer	Guardar
1	85	5	3	Normal	No	No
2	95	40	3	Normal	No	No
3	120	10	3	Normal	No	No
4	400	5	3	Normal	No	No
5	400	1	3	Normal	No	No
6	400	2	0	Normal	No	Si
7	2100	1	0	Normal	Si	Si
8	2100	2	0	Normal	Si	Si
9	2100	2	3	Normal	No	Si

## ANEXO V TABLAS DE ANOVA

La Hipótesis nula indica que la concentración de cada uno de los metales no está determinado por el tiempo, el lugar muestreado y la interacción de ambos factores.

**Ho:** Los factores mes, Zona industrial y su interacción no tienen efecto sobre la concentración del metal en Plantas

**Hi :** Los factores tienen efecto sobre la concentración del metal.  $P < 0.05$

Criterio para aceptar Ho (nivel de significancia) =  $p > 0.05$

Tabla 1. Resultados de ANOVA para As Plantas

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Mes	4.96	2	2.4789	1.7700	0.1921
B: Zona Industrial	1.95	3	0.6496	0.4600	0.7105
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	26.09	6	4.3484	3.10	0.0215
RESIDUAL	33.64	24	1.4017		
TOTAL (CORREGIDO)	66.64	35			

Tabla 2. Resultados de ANOVA para Cd Plantas

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Mes	0.04	2	0.0196	0.44	0.6465
B: Zona Industrial	0.12	3	0.0388	0.88	0.4656
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.12	6	0.0200	0.45	0.8354
RESIDUAL	1.06	24	0.0441		
TOTAL (CORREGIDO)	1.33	35			

## ANEXO V

Tabla 3 Tabla de ANOVA para Cr Plantas

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Mes	2764.21	2	1382.1	1.17	0.3269
B:Zona Industrial	24704.00	3	8234.67	6.98	0.0015
<b>INTERACIONES</b>					
AB	29837.60	6	4972.93	4.22	0.0049
RESIDUAL	28309.90	24	1179.58		
TOTAL (CORREGIDO)	85615.70	35			

Tabla 4 Tabla de ANOVA para Cu Plantas

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Mes	227.13	2	113.56	9	0.0012
B:Zona Industrial	94.02	3	31.34	2.48	0.0851
<b>INTERACIONES</b>					
AB	20.28	6	3.38	0.27	0.9466
RESIDUAL	302.92	24	12.62		
TOTAL (CORREGIDO)	644.34	35			

Tabla 5 Tabla de ANOVA para Hg Plantas

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Mes	0.31	2	0.1566	10.06	0.0007
B:Zona Industrial	0.04	3	0.0145	0.93	0.4413
<b>INTERACIONES</b>					
AB	0.15	6	0.0256	1.64	0.1783
RESIDUAL	0.37	24	0.0156		
TOTAL (CORREGIDO)	0.88	35			

## ANEXO V

Tabla 6 Tabla de ANOVA para Pb Plantas

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	4.51	2	2.25543	1.21	0.3156
B:Zona Industrial	15.73	3	5.24202	2.81	0.0608
<i>INTERACIONES</i>					
AB	24.32	6	4.05259	2.17	0.0814
RESIDUAL	44.72	24	1.86335		
TOTAL (CORREGIDO)	89.27	35			

Tabla 7 Tabla de ANOVA para Pd Plantas

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	1.0508	2	0.525399	1.71	0.2018
B:Zona Industrial	3.02984	3	1.00995	3.29	0.0378
<i>INTERACIONES</i>					
AB	15.7431	6	2.62386	8.55	0
RESIDUAL	7.36394	24	0.306831		
TOTAL (CORREGIDO)	27.1877	35			

Tabla 8 Tabla de ANOVA para Pt Plantas

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	87.75	2	43.87	1.03	0.3721
B:Zona Industrial	602.68	3	200.89	4.72	0.0100
<i>INTERACIONES</i>					
AB	200.81	6	33.47	0.79	0.5894
RESIDUAL	1021.82	24	42.58		
TOTAL (CORREGIDO)	1913.06	35			

## ANEXO V

Tabla 9 Tabla de ANOVA para Zn Plantas

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	205.785	2	102.89	0.12	0.8879
B:Zona Industrial	6795.88	3	2265.29	2.63	0.0733
<i>INTERACIONES</i>					
AB	4407.14	6	734.52	0.85	0.5428
RESIDUAL	20674.30	24	861.43		
TOTAL (CORREGIDO)	32083.20	35			

Tabla 10 Tabla de ANOVA para As Suelo

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	15.18	2	7.59014	1.95	0.1638
B:Zona Industrial	366.12	3	122.038	31.39	0
<i>INTERACIONES</i>					
AB	9.24	6	1.53929	0.4	0.8743
RESIDUAL	93.30	24	3.88757		
TOTAL (CORREGIDO)	483.83	35			

Tabla 11 Tabla de ANOVA para Cd Suelo

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	0.98	2	0.4886	0.57	0.5755
B:Zona Industrial	3.30	3	1.0985	1.27	0.3067
<i>INTERACIONES</i>					
AB	1.33	6	0.2218	0.26	0.9516
RESIDUAL	20.74	24	0.8642		
TOTAL (CORREGIDO)	26.34	35			

## ANEXO V

Tabla 12 Tabla de ANOVA para Cu Suelo

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	2689.40	2	1344.70	0.44	0.6512
B:Zona Industrial	16689.20	3	5563.06	1.81	0.1729
<i>INTERACIONES</i>					
AB	18363.80	6	3060.64	0.99	0.4517
RESIDUAL	73898.10	24	3079.09		
TOTAL (CORREGIDO)	111641.00	35			

Tabla 13 Tabla de ANOVA para Cr Suelo

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	402291.00	2	201145.00	1.54	0.2342
B:Zona Industrial	230652.00	3	76883.90	0.59	0.6276
<i>INTERACIONES</i>					
AB	611227.00	6	101871.00	0.78	0.5927
RESIDUAL	3128440.00	24	130351.00		
TOTAL (CORREGIDO)	4372600.00	35			

Tabla 14 Tabla de ANOVA para Hg Suelo

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	0.43	2	0.21	11.49	0.0003
B:Zona Industrial	0.31	3	0.10	5.49	0.0051
<i>INTERACIONES</i>					
AB	0.20	6	0.03	1.76	0.1503
RESIDUAL	0.45	24	0.02		
TOTAL (CORREGIDO)	1.38	35			

ANEXO V

Tabla 15 Tabla de ANOVA para Pb Suelo

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	18460.3	2	9230.14	0.28	0.7546
B:Zona Industrial	231389	3	77129.7	2.38	0.0946
<i>INTERACIONES</i>					
AB	509475	6	84912.6	2.62	0.0425
RESIDUAL	777609	24	32400.4		
TOTAL (CORREGIDO)	1.54E+06	35			

Tabla 16 Tabla de ANOVA para Pd Suelo

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	2.64	2	1.32	2.37	0.1155
B:Zona Industrial	5.91	3	1.97	3.53	0.0299
<i>INTERACIONES</i>					
AB	1.08	6	0.18	0.32	0.9181
RESIDUAL	13.37	24	0.56		
TOTAL (CORREGIDO)	23.00	35			

Tabla 17 Tabla de ANOVA para Pt Suelo

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	15700.3	2	7850.14	1.13	0.3398
B:Zona Industrial	82122.6	3	27374.2	3.94	0.0204
<i>INTERACIONES</i>					
AB	10536.5	6	1756.09	0.25	0.9534
RESIDUAL	166808	24	6950.32		
TOTAL (CORREGIDO)	275167	35			

## ANEXO V

Tabla 17 Tabla de ANOVA para Zn Suelo

<i>ANALISIS DE VARIANCIA</i>					
FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUARADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F	VALOR DE P
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Mes	17319.80	2	8659.92	0.22	0.8059
B:Zona Industrial	100266.00	3	33421.90	0.84	0.4852
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	77437.00	6	12906.20	0.32	0.9176
RESIDUAL	954668.00	24	39777.80		
TOTAL (CORREGIDO)	1149690.00	35			

## ANEXO VI CURVAS DE CALIBRACION

## Curvas de calibración Suelo

## I. Análisis estadístico para las curvas de calibración As.

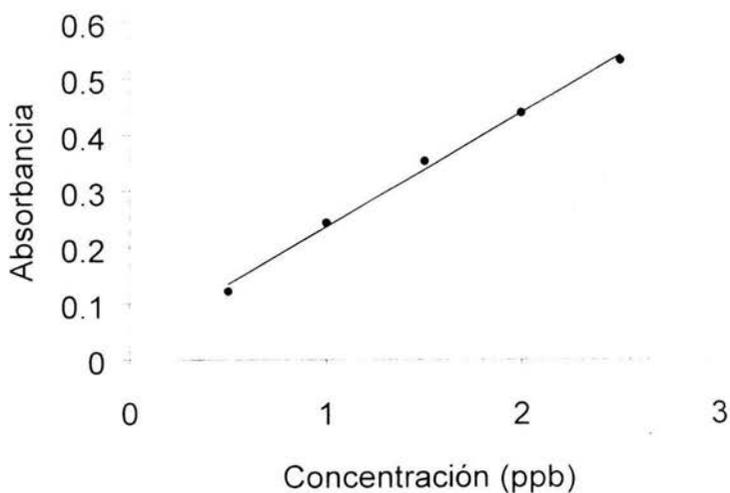
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.01903
Pendiente( $\mu\text{g/L}$ ) <sup>-1</sup>	0.00567
Coef. de Corr.	0.99116

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	ABSORBANCIA
20	0.1144
40	0.2541
60	0.3827
80	0.4736
100	0.5718

La ecuación del modelo ajustado para As en suelo es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0057x + 0.0190 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.12 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de As.



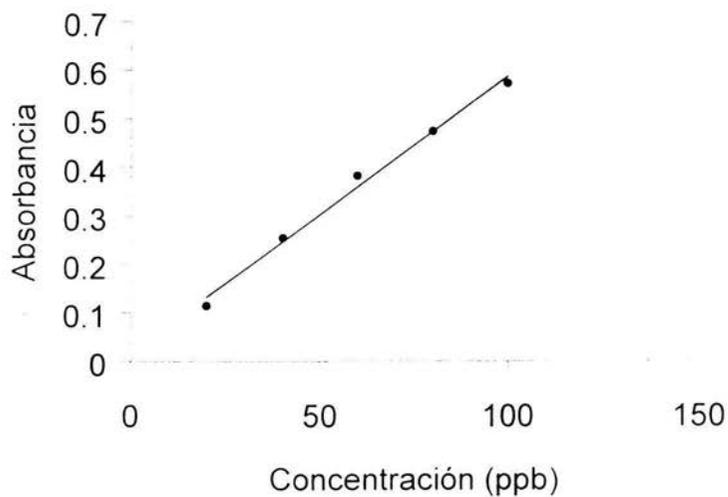
## II. Análisis estadístico para las curvas de calibración Cd en suelo

PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO	Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	ABSORBANCIA
Intercepto	0.03373	0.5	0.1221
Pendiente( $\mu\text{g/L}$ ) <sup>-1</sup>	0.20314	1	0.2441
Coef. de Corr.	0.99459	1.5	0.3541
		2	0.4398
		2.5	0.5321

La ecuación del modelo ajustado para Cd en suelo es:

$$\text{Absorbancia} = 0.2031x + 0.01337 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.46 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Cd.



ANEXO VI

III. Análisis estadístico para las curvas de calibración Cr en suelo

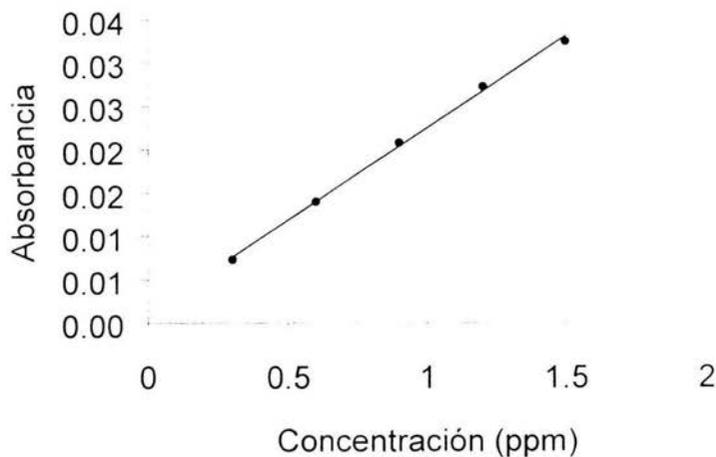
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.00127
Pendiente(mg/L) <sup>-1</sup>	0.02127
Coef. de Corr.	0.99759

Conc. (mg/ml)	ABSORBANCIA
0.29952	0.0073
0.59904	0.014
0.89856	0.0208
1.19808	0.0273
1.4976	0.0325

La ecuación del modelo ajustado para Cr en suelo es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0213x + 0.0013 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.76 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Cr.



## IV. Análisis estadístico para las curvas de calibración Cu en suelo

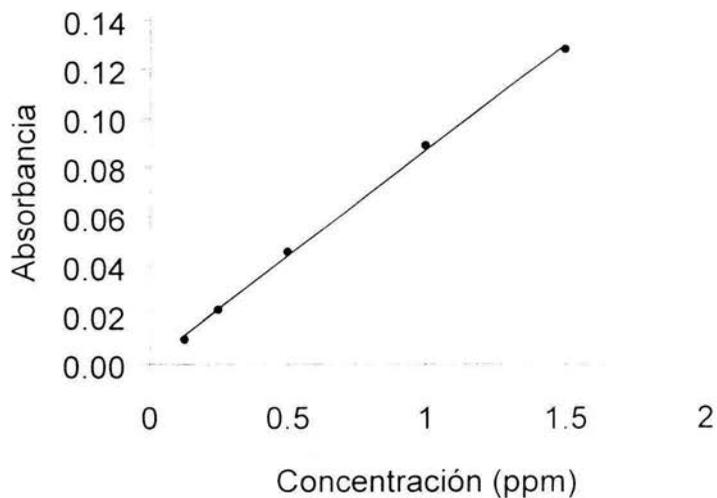
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.00101
Pendiente(mg/L) <sup>-1</sup>	0.08594
Coef. de Corr.	0.99869

Conc. (mg/ml)	ABSORBANCIA
0.125	0.0101
0.25	0.0222
0.5	0.0456
1	0.089
1.5	0.1282

La ecuación del modelo ajustado para Cu en suelo es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0859x + 0.0010 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.87 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Cu.



## V. Análisis estadístico para las curvas de calibración Hg en suelo

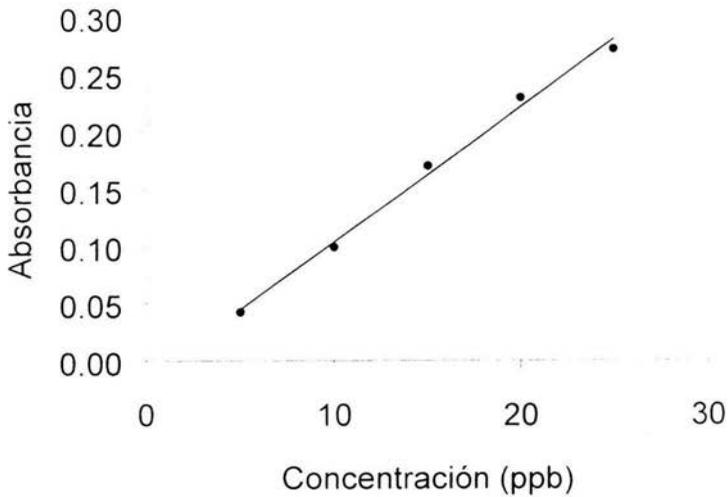
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	-0.01401
Pendiente( $\mu\text{g/L}$ ) <sup>-1</sup>	0.01177
Coef. de Corr.	0.99347

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	ABSORBANCIA
5	0.0424
10	0.0991
15	0.1703
20	0.2294
25	0.2715

La ecuación del modelo ajustado para Hg en suelo es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0118x - 0.0140 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.35 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Hg.



## VI. Análisis estadístico para las curvas de calibración Pb

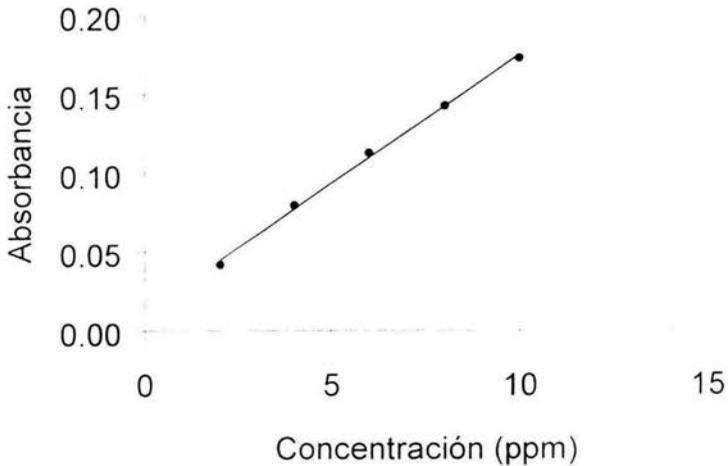
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.01235
Pendiente(mg/L) <sup>-1</sup>	0.01627
Coef. de Corr.	0.99716

Conc. (mg/ml)	ABSORBANCIA
2	0.0416
4	0.0797
6	0.1129
8	0.1428
10	0.1727

La ecuación del modelo ajustado para Pb en suelo es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0163x + 0.0124 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.72 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Pb.



## VII. Análisis estadístico para las curvas de calibración Pd

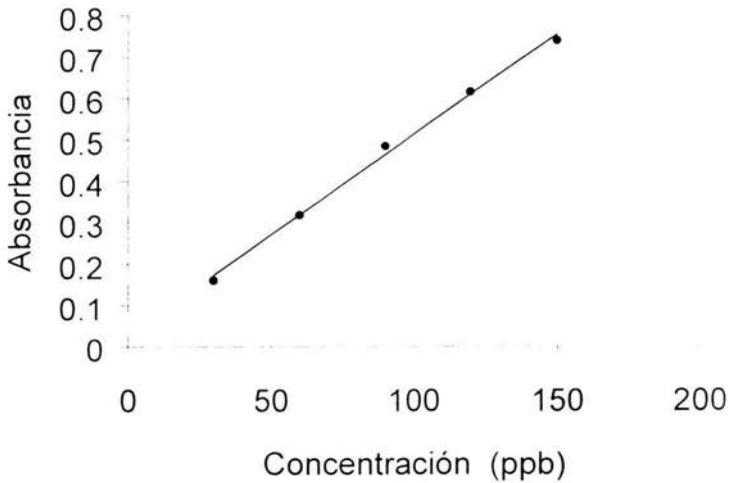
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.02734
Pendiente( $\mu\text{g/L}^{-1}$ )	0.00485
Coef. de Corr.	0.99597

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	ABSORBANCIA
30	0.1607
60	0.3182
90	0.4845
120	0.6154
150	0.7392

La ecuación del modelo ajustado para Pd en suelo es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0048x + 0.0273 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.60 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Pd.



## VIII. Análisis estadístico para las curvas de calibración Pt en suelo

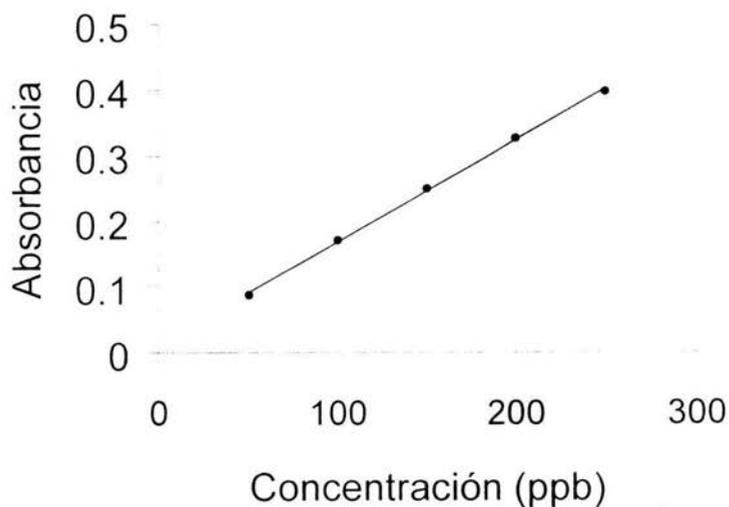
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.01411
Pendiente( $\mu\text{g/L}$ ) <sup>-1</sup>	0.00155
Coef. de Corr.	0.99891

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	ABSORBANCIA
50	0.0872
100	0.1718
150	0.2504
200	0.3267
250	0.3974

La ecuación del modelo ajustado para Pt en suelo es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0016x + 0.0141 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.89 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Pt.



## IX. Análisis estadístico para las curvas de calibración Zn

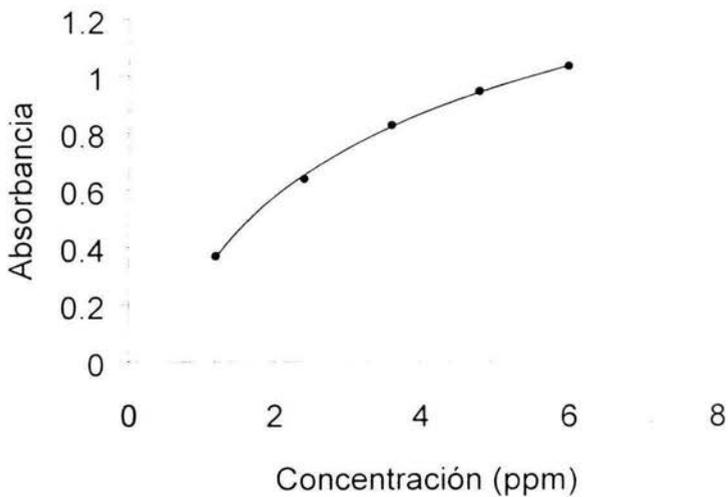
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.28899
Pendiente(mg/L) <sup>-1</sup>	0.41674
Coef. de Corr.	0.99906

Conc. (mg/ml)	ABSORBANCIA
1.2	0.3704
2.4	0.6402
3.6	0.8285
4.8	0.9465
6	1.0344

La ecuación del modelo ajustado para Zn en suelo es:

$$\text{Absorbancia} = 0.4167 \ln(X) + 0.2889 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.90 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Zn.



## PLANTAS

## X. Análisis estadístico para las curvas de calibración As

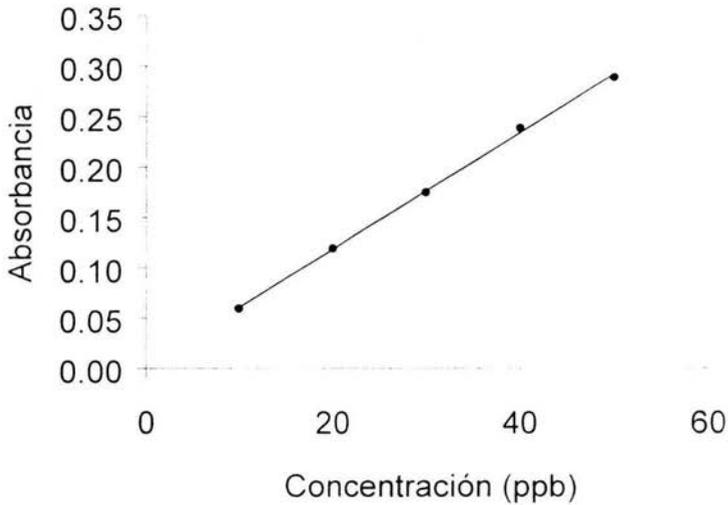
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.01903
Pendiente( $\mu\text{g/L}^{-1}$ )	0.00567
Coef. de Corr.	0.99116

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	ABSORBANCIA
20	0.1144
40	0.2541
60	0.3827
80	0.4736
100	0.5718

La ecuación del modelo ajustado para As en Plantas es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0057x + .0190 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.12 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de As.



### XI. Análisis estadístico para las curvas de calibración Cd en plantas

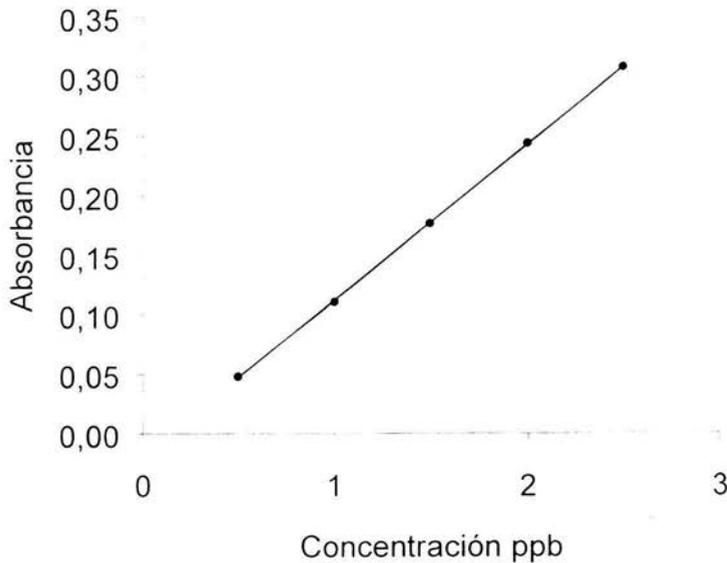
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	-0.01881
Pendiente( $\mu\text{g/L}^{-1}$ )	0.13074
Coef. de Corr.	0.99985

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	Absorbancia
0.5	0.0478
1	0.1102
1.5	0.1768
2	0.2439
2.5	0.3078

La ecuación del modelo ajustado para Cd en Plantas es:

$$\text{Absorbancia} = 0.1307x - 0.0188 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.99 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Cd.



## XII. Análisis estadístico para las curvas de calibración Cr en plantas

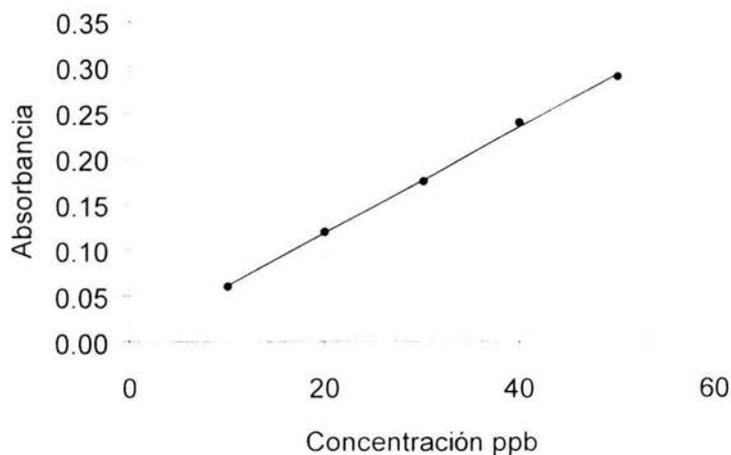
PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.00310
Pendiente( $\mu\text{g/L}$ ) <sup>-1</sup>	0.00577
Coef. de Corr.	0.99893

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	Absorbancia
10	0.0597
20	0.1194
30	0.1750
40	0.2388
50	0.2887

La ecuación del modelo ajustado para Cr en Plantas es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0058x + 0.0031 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.89 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Cr.



## XIII Análisis estadístico para las curvas de calibración Cu en plantas.

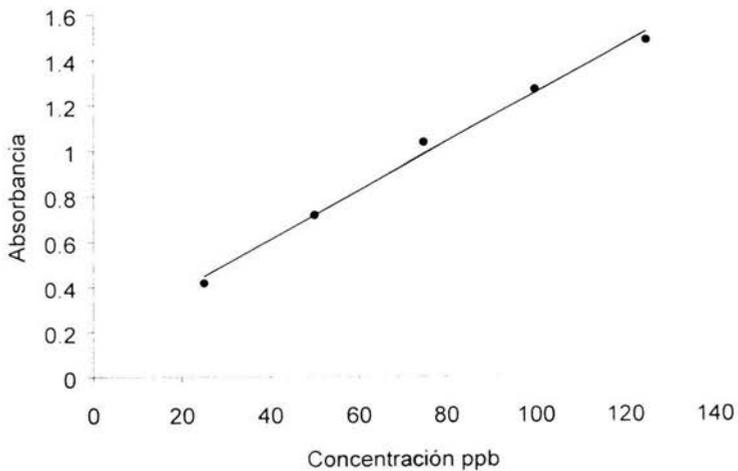
PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.17951
Pendiente( $\mu\text{g/L}$ ) <sup>-1</sup>	0.01072
Coef. de Corr.	0.99272

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	Absorbancia
25	0.4170
50	0.7168
75	1.0355
100	1.2671
125	1.4822

La ecuación del modelo ajustado para Cu en Plantas es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0107x + 0.1795 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.27 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Cu.



## XIV. Análisis estadístico para las curvas de calibración Hg en plantas

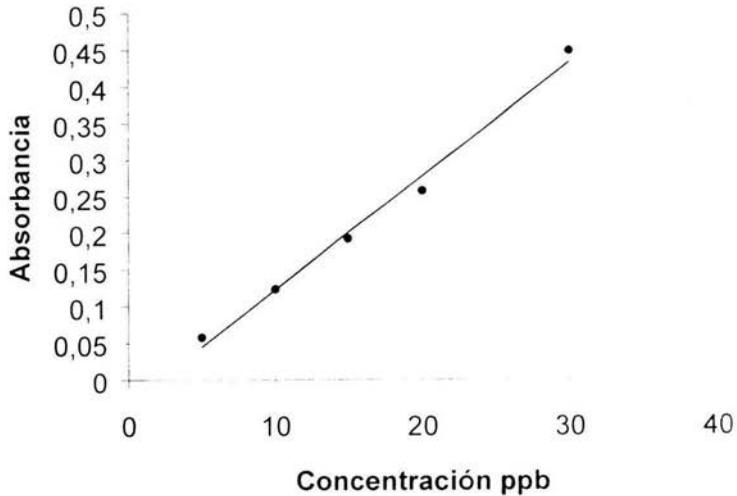
PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	-0.03240
Pendiente( $\mu\text{g/L}^{-1}$ )	0.01551
Coef. de Corr.	0.99018

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	Absorbancia
5	0.0578
10	0.1235
15	0.1915
20	0.2576
30	0.4483

La ecuación del modelo ajustado para Hg en Plantas es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0155x - 0.0324 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.02 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Hg.



## XV. Análisis estadístico para las curvas de calibración Pb

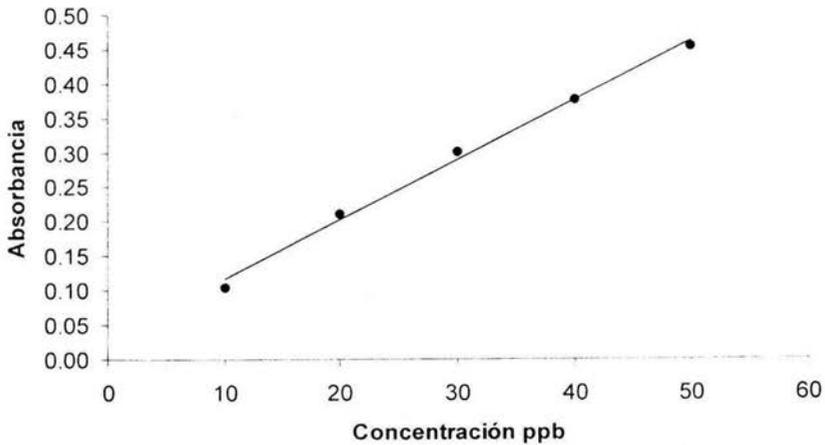
PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.02965
Pendiente( $\mu\text{g/L}$ ) <sup>-1</sup>	0.00865
Coef. de Corr.	0.99411

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	Absorbancia
10	0.1036
20	0.2113
30	0.3004
40	0.3772
50	0.4531

La ecuación del modelo ajustado para Pb en Plantas es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0086x + 0.0297 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.41 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Pb.



## XVI. Análisis estadístico para las curvas de calibración Pd

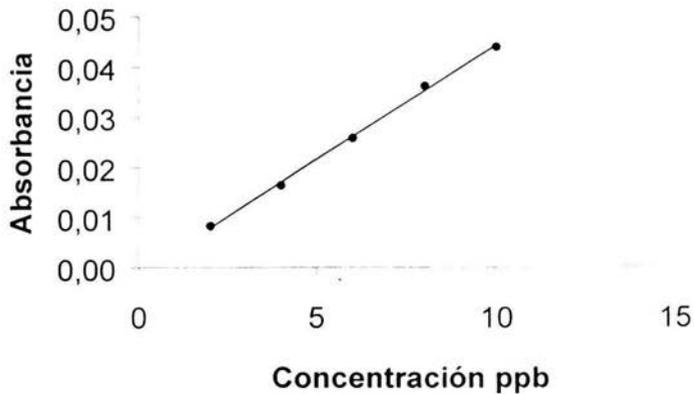
PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	-0.00122
Pendiente( $\mu\text{g/L}$ ) <sup>-1</sup>	0.00456
Coef. de Corr.	0.99797

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	Absorbancia
2.0000	0.0083
4.0000	0.0164
6.0000	0.0258
8.0000	0.0362
10.0000	0.0440

La ecuación del modelo ajustado para Pd en Plantas es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0046x - 0.0012 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.79 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Pd.



## XVII. Análisis estadístico para las curvas de calibración Pt

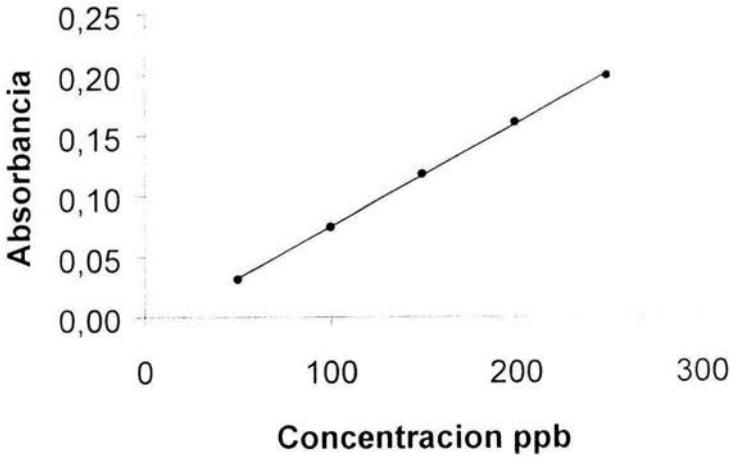
PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	-0.00947
Pendiente( $\mu\text{g/L}$ ) <sup>-1</sup>	0.00085
Coef. de Corr.	0.99932

Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	Absorbancia
49.8	0.0316
99.6	0.0747
149.4	0.1185
199.2	0.1612
249	0.1992

La ecuación del modelo ajustado para Pt en Plantas es:

$$\text{Absorbancia} = 0.0008x - 0.0095 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.93 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Pt.



## XVIII. Análisis estadístico para las curvas de calibración Zn

PARAMETRO	VALOR ESTIMADO
Intercepto	0.00358
Pendiente(mg/L) <sup>-1</sup>	0.19478
Coef. de Corr.	0.99816

Conc. (mg/ml)	Absorbancia
0.0997	0.0217
0.1994	0.0429
0.2991	0.0633
0.3988	0.0821
0.4985	0.0992

La ecuación del modelo ajustado para Zn en Plantas es:

$$\text{Absorbancia} = 0.1948x + 0.0036 \text{ Conc ppb}$$

El coeficiente de determinación indica que el 99.82 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración de Zn.

