



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

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



METODOS DE SEPARACION PARA EL ANALISIS QUIMICO
Y EL DESARROLLO TECNOLOGICO

Departamento de
Exámenes Profesionales

CUANTIFICACION DE METALES (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd,
Pt, Rh, Zn) EN MUESTRA AMBIENTALES (AGUA, SUELO,
PASTO) POR ESPECTROSCOPIA DE EMISION ATOMICA
CON PLASMA DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO

INFORME DE SERVICIO SOCIAL - TITULACION
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A :
FERMIN JIMENEZ DIAZ

ASESORA:
DRA. ALMA LUISA REVILLA VAZQUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2003.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

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



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE



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

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

El Informe de Servicio Social: Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico: Cuantificación de Metales (Pt, Pd, Hg, Pb, Cr, Cu, As, Cd, Zn, Rh) en muestras ambientales (agua, suelo, pasto) por espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo.
que presenta el pasante: Fernán Jiménez Díaz
con número de cuenta: 09757266-4 para obtener el título de :
Ingeniero Químico

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de Agosto de 2003.

PRESIDENTE	<u>Q. Ma. Eugenia Carbajal Arenas</u>	
VOCAL	<u>I.Q. Margarita Alonso Espinosa</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. Alma Luisa Revilla Vázquez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M. en C. Ricardo Baltazar Ayala</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Q. Mercedes Montemayor García</u>	

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Gracias siempre por todo lo que me has dado: mi familia y esta misión cumplida.

A mis Padres

Laura y Luis por todo lo que me han dado a lo largo de estos años y que gracias a su esfuerzo y sacrificio se ha podido lograr este objetivo. Nunca podré pagarles todo lo que han hecho por mí. Gracias siempre.

A mis hermanas

Rosario, Luisa y Carolina por su apoyo incondicional en las buenas y en las malas. Nunca lo voy a olvidar. Gracias siempre.

A la Dra. Alma Revilla

Por el gran apoyo y la confianza que usted siempre me ha dado incondicionalmente. Le aseguro que nunca le voy a fallar.

A Pilar Millán

Por todo el apoyo y paciencia en los últimos años. Lo mejor está por venir.

A la Dra. Raquel

Por la ayuda y contribuciones a este trabajo.

A los profesores que tomaron parte del jurado por el tiempo dedicado en la revisión de este trabajo.

A Alejandro

Por su amistad incondicional siempre.

A la Universidad Nacional Autónoma de México en especial a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Al CONACYT, por el apoyo otorgado al proyecto J32518T.

INDICE GENERAL

INDICE	I
INTRODUCCIÓN	III
OBJETIVOS	VI
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DE AGUA, SUELO Y PASTO POR METALES PESADOS	1
1.1.1 Ciclo del agua	5
1.2. EFECTOS GENERALES DE LA CONTAMINACIÓN POR TRAZAS DE METALES PESADOS EN EL HOMBRE	6
1.3. ORIGEN DE LOS METALES PESADOS EN AGUA PASTO Y SUELO ASÍ COMO SU RELACIÓN CON LOS MUNICIPIOS SELECCIONADOS	8
1.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MUNICIPIOS	13
1.4.1 Nezahualcóyotl	13
1.4.2 Lerma	14
1.4.3 Tlalnepantla	15
2. INSTRUMENTACIÓN ANALÍTICA	19
2.1. HORNO DE MICROONDAS	19
2.2. ESPECTROMETRIA DE EMISIÓN ATÓMICA CON PLASMA DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO	24
2.2.1 Nebulizadores	30
2.2.2 Bomba peristáltica	31
2.2.3 Cámara de rocío	32
2.2.4 Sistema de emisión para desechos	32
2.2.5 Antorcha	33
2.2.6 Generador de radiofrecuencia	33
2.2.7 Sistema de transferencia óptica	34
2.2.8 Sistema para dispersión de longitud de onda	34
2.2.9 Detector	35
2.2.10 Procesamiento de la señal	35

3. PARTE EXPERIMENTAL	36
3.1. EQUIPO, MATERIAL Y REACTIVOS	36
3.2. TOMA DE MUESTRA	37
3.3. TRATAMIENTO DE LA MUESTRA	38
3.3.1 Secado	38
3.3.2 Molienda de la muestra	39
3.3.3 Proceso de digestión de las muestras	39
3.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS TRAZAS METÁLICAS	44
3.4.1 Curvas de calibración	44
3.4.2 Métodos de análisis para las trazas metálicas	46
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. CURVAS DE CALIBRACIÓN	47
4.2. RESULTADOS DE pH PARA SUELO Y AGUA	59
4.3. RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE TRAZAS METÁLICAS EN MUESTRAS DE SUELO, PASTO Y AGUA PARA LOS MUNICIPIOS ANALIZADOS	63
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	86
4.4.1 Análisis multifactorial general	86
4.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	101
CONCLUSIONES	107
ANEXOS	108
BIBLIOGRAFÍA	118

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

De todos los seres vivientes, el hombre es el único que ha logrado superar las fuerzas de la naturaleza para tener cierto dominio sobre el medio ambiente; en cierto sentido, ha podido modificarlo de una forma que parece benéfica, y que a menudo lo es. Sin duda, muchos de los logros del hombre sobre la naturaleza tiene el objetivo de satisfacer las necesidades humanas; pero, por otra parte, es innegable que el hombre, en su intento por dominar la naturaleza, ha transformado el medio ambiente. Apenas se ha comenzado a comprender que la actividad del hombre influye en muchos de los procesos complejos que se efectúan continuamente en la naturaleza. Este criterio de conservación del ambiente se deriva del estudio de la estructura del medio y de las principales actividades humanas que modifican dicho entorno. Los ciudadanos de hoy se ven obligados a tomar numerosas decisiones relacionadas con el medio ambiente. Cuando se trata de problemas ambientales, hay que tomar en cuenta una gran variedad de hechos físicos, estadísticos, opiniones o juicios valorativos, así como predicciones. En la actualidad, la mayoría de la gente ya tiene puntos de vista o valores específicos acerca de estos problemas, o bien estos pueden crearse cuando se conoce cada caso determinado. Mediante las ciencias se intenta describir situaciones de degradación ambiental en una forma sistemática y lógica. La realidad física se relaciona con los objetos físicos que existen y con los fenómenos que se producen dentro del medio ambiente. La contaminación del ambiente afecta de manera importante a todas las actividades del ser humano pues afecta a todos los recursos naturales (agua, aire, suelos y plantas) que están en contacto con el hombre[1-3].

El agua utilizable constituye uno de los recursos más importantes del hombre. El agua potable es fundamental para la vida; las civilizaciones modernas han desarrollado técnicas para transportar el agua a grandes distancias y lograr administrarla de tal manera que se pueda usar y reutilizar en forma adecuada. Sin embargo, puesto que el agua es abundante en ciertas regiones, se ha descuidado y usado mal, lo que ha conducido a su contaminación.

En realidad, la contaminación del agua ha constituido un problema desde que los seres humanos se han congregado en ciudades. A lo largo de los siglos, los cuerpos abiertos de agua como ríos, lagos y lagunas fueron una fuente común de enfermedades y muerte. En

México, la mayoría de los abastecimientos de agua son más seguros que los que existieron en el pasado. Por supuesto, la industrialización y la alta densidad de la población generan nuevos aspectos en la contaminación del agua.

La contaminación del agua y la atmósfera afecta a los suelos, debido a que en la lluvia, las sustancias contaminantes del aire se disuelven y se infiltran en el suelo, convirtiéndose éste en gran receptor de los desechos y/o de las zonas urbanas y industriales. El suelo no es un recurso que cuando se contamina por residuos se purifica automáticamente. Puede ocurrir una autopurificación dependiendo de diversos factores, pero ésta es muy lenta, así que una vez contaminado el suelo, se mantiene en este estado por un tiempo considerable. La razón de lo anterior es la conexión existente, tanto para contaminarse como para autopurificarse, entre la matriz suelo y el agua subterránea. Los contaminantes se mueven dentro del suelo como lo hace el agua subterránea, obedeciendo a los fenómenos de infiltración, percolación, evaporación, difusión y transportación.

Así como el agua y el suelo presentan una tendencia a la acumulación de contaminantes químicos, también la flora es viable a ser afectada por una gran variedad de contaminantes ya que estos pueden ser absorbidos por raíces o bien depositarse superficialmente.

En este trabajo de investigación queremos evaluar la presencia de algunos metales como son platino, paladio, cadmio, rodio, cromo, cobre, plomo, zinc, arsénico y mercurio para complementar un proyecto de investigación que permita establecer la situación del Valle de México en cuanto a estos metales. Para tal efecto, se recolectaron muestras de suelo, pasto y agua en tres municipios de la parte norte del estado de México. El criterio principal de selección de dichos municipios fue tener zonas agrícolas, zonas con altas densidad poblacional así como zonas industriales bien delimitadas, cercanas al Distrito Federal. De esta manera se trata de conocer la presencia de dichos analitos en estas tres situaciones tradicionales del desarrollo económico de cualquier país. Los municipios seleccionados fueron: Lerma, Nezahualcóyotl y Tlalnepantla. Además de utilizar la técnica analítica de espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo para cuantificar Cd, Cr, Cu, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn se utiliza espectroscopia de absorción atómica para cuantificar As y Hg por cuestiones de viabilidad económica. La finalidad principal de este trabajo es en relación a emisión atómica y bajo ese precepto no se hace ningún

planteamiento con respecto a absorción atómica que básicamente fue la primera parte del proyecto “Determinación de trazas metálicas (Pt, Pd, Hg, Pb, Cu, As, Cd, Zn, Cr), contaminantes en el medio ambiente” avalado por CONACYT (J32518T) del cual se derivaron tres trabajos en absorción atómica[19-21]. Nuestra contribución al proyecto es para completar el 50% del mismo y es únicamente en el enfoque de emisión atómica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

Determinar la concentración de Pt, Pd, Hg, Pb, Cr, Cu, As, Cd, Zn, Rh en muestras de agua, pasto, suelo de tres municipios del Estado de México por medio de espectrofotometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo y compararlos con resultados anteriores a fin de establecer las tendencias de acumulación de dichos metales en los municipios estudiados.

OBJETIVOS PARTICULARES.

1. Muestrear los cuerpos de agua, pasto y suelo de tres municipios del Estado de México (Nezahualcóyotl, Lerma y Tlalnepantla) para la posterior determinación de los metales bajo estudio.
2. Establecer una metodología analítica para la cuantificación de los metales seleccionados (Pt, Pd, Pb, Cr, Cu, Cd, Zn, Rh) en las muestras de agua, pasto y suelo, a través de espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo.
3. Cuantificar los metales propuestos en las diferentes muestras de agua, pasto y suelo a través de espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo y corroborar si se encuentran en niveles permisibles de acuerdo a las normas existentes.
4. Determinar en base a las concentraciones de Pt, Pd y Rh si hay un efecto por el uso de los convertidores catalíticos de tres vías en los automóviles, que se introdujeron como una medida para la disminución de contaminantes atmosféricos en el medio ambiente.

OBJETIVO ACADEMICO.

Conocer y manejar la metodología analítica para utilizar las técnicas de espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo como técnica para la cuantificación de trazas metálicas de ciertos elementos de interés ambiental y toxicológico (Pt, Pd, Hg, Pb, Cr, Cu, As, Cd, Zn, Rh) a fin de comprender las ventajas y desventajas de este tipo de técnicas y el uso del equipo relacionado como el manejo del horno de microondas para para efectuar digestiones ácidas.

OBJETIVO SOCIAL.

Determinar la concentración de los siguientes metales: Pt, Pd, Hg, Pb, Cr, Cu, As, Cd, Zn, Rh, en tres municipios del Estado de México para determinar los posibles riesgos a la población urbana localizada en dichos municipios y dar divulgación a los resultados obtenidos a fin de crear conciencia en las autoridades y población afectada.

MARCO TEÓRICO

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO.

1.1 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DE AGUA, SUELO Y PASTO POR METALES PESADOS.

Todas las trazas de elementos se presentan por una variación importante dentro de todos los componentes del medio ambiente. El término, contaminación del medio ambiente se refiere a un incremento, por ejemplo, de las trazas metálicas referido a la existencia natural del elemento[2,3]. Este incremento puede deberse a situaciones naturales, pero en general están asociados con actividades humanas. En particular, las prácticas agrícolas e industriales son las causas de la amplia contaminación ambiental por trazas metálicas.

Una amplia cantidad de actividades humanas contribuyen a la contaminación por trazas metálicas de los mantos acuíferos. Las actividades principales incluyen procesos de minería, procesos de combustión de combustibles fósiles, procesamientos industriales (productos químicos, aleaciones de metales, cloro álcalis, procesos petroleros), el uso de productos agrícolas como fertilizantes, pesticidas y herbicidas, efluentes o drenajes domésticos o agrícolas, transportación urbana y foránea así como actividades nucleares, todas estas situaciones son causa fundamental del deterioro ambiental en cuerpos de agua, suelo y pasto en forma directa. Los elementos pesados pueden provenir de precipitaciones radioactivas de la atmósfera, por lixiviaciones o descargas de componentes químicos a la litosfera, o directamente al ambiente acuático (incluyendo ríos subterráneos, superficies acuosas, ríos superficiales, lagos, estuarios, océanos, etc.).

El impacto de la contaminación del agua depende de la cantidad de trazas metálicas (tanto como elementos sencillos o múltiples), tiempo de agregación al ambiente, formas físicas y químicas así como ligandos químicos asociados. Todos estos factores relacionados profundamente determinan las concentraciones de los elementos en los sistemas de agua, su relativa actividad, transporte y toxicidad. Uno de los factores más importantes es la forma química en la cual existen los elementos en solución. Esto depende del pH,

solubilidad, temperatura, la naturaleza de otras especies químicas, y muchos factores básicos de química de soluciones.

Muchas trazas metálicas de elementos pesados contaminan los medios acuáticos causando efectos dramáticos sobre la biodisponibilidad y toxicidad en los procesos biológicos. En particular, la biodegradación por bacterias en la interfase sedimento metálico- agua posee gran importancia sobre la toxicidad de los elementos ya que debido a los aumentos de concentración de metales pesados se vuelve mucho más complicado tratar de neutralizarlos biológicamente. En algunos casos, elementos como plomo, arsénico o mercurio a través de un proceso de biometilación en el agua producen especies químicas más tóxicas las cuales pueden llegar a concentrarse en algunos seres vivos acuáticos como los peces. Durante los últimos cincuenta años hubo un rápido incremento de concentración en el número de elementos metálicos pesados relacionados con contaminación en aguas.

Este es un problema creciente que causa efectos importantes sobre la contaminación ambiental y un aumento importante de lluvia ácida sobre los ambientes acuáticos. Algunas veces la relativamente pura agua de lluvia tiene un pH de 5.5 y en ocasiones el pH de la lluvia puede llegar hasta 2. Estos incrementos en la acidez de los lagos y las aceleradas acumulaciones de elementos traza en suelos, cambian la composición biológica de los suelos y por consiguiente la estabilidad en los mantos acuíferos.

La contaminación por trazas de elementos pesados de sólidos superficiales y sedimentos esta ocurriendo suavemente en una escala global, en respuesta al crecimiento de las actividades industriales y agrícolas. En muchos casos los suelos actúan como amortiguadores naturales controlando el transporte de trazas de elementos pesados contaminantes a la hidrosfera como a la biodiversidad general. Por ejemplo, el pH y los contenidos orgánicos de suelos juegan un mejor papel en la degradación y posterior dispersión de iones elementales. Como tal, la persistencia de los contaminantes en suelos es mucho más larga que en otros componentes de la biosfera.

La superficie global de suelo contaminada por trazas de elementos pesados ocurre a diferentes velocidades y se debe principalmente a las dimensiones moleculares de los analitos moleculares. En contraste, la contaminación local ocurre principalmente alrededor de centros industriales, tales como, fundidoras de metal, fábricas de procesos químicos, plantas de combustión de carbón así como de combustibles fósiles, a los costados de las carreteras, y junto a los incineradores de basura doméstica e industrial. Varias prácticas agrícolas, incluyendo la adición de fertilizantes, pesticidas o herbicidas, abonos de dudosa procedencia, y riego con aguas negras pueden agregar trazas de elementos pesados a los suelos. Por ejemplo, cadmio, arsénico y plomo, son trazas comunes de elementos pesados en roca fosfórica, la cual es ampliamente usada como fertilizantes super fosfatados. Similarmente, la aplicación por largos periodos de tiempo de abonos a jardines y suelos de granja aumenta los niveles de cromo, cobre, zinc, cadmio, mercurio y plomo lo que sugeriría periodos de tiempo para que se pueda llevar acabo la renovación biológica del suelo.

La adición de trazas metálicas pesadas a suelos normalmente resulta en acumulación de cantidades importantes conforme pasa el tiempo. Esto es equivalente al suelo orgánico, el cual es rico en sustancias metabólicas y ácidos orgánicos que tienen una gran afinidad por iones elementales pero se tienen límites para mantener un equilibrio. En general, diferentes tipos de suelo, sus propiedades químicas y físicas, pH, contenido de agua, las especies de vegetales y organismos asociados con el suelo influirán en el grado de contaminación por trazas de elementos pesados, la distribución dentro del perfil del suelo y la biodisponibilidad a las raíces de los vegetales.

Por lo tanto, la contaminación con trazas de elementos metálicos a los suelos es principalmente relacionada a fuentes materiales, esas envuelven la hidrosfera concentrada en sedimentos. Para muchos metales traza como cromo, cobre, zinc, cadmio, mercurio y plomo, el análisis de sedimentos es usado para investigar el transporte de elementos y el potencial de contaminación de ríos, lagos, estuarios y sus cercanos ambientes acuáticos. Aún más, muchos importantes procesos químicos y biológicos ocurren en la interfase agua-sedimento.

La contaminación por elementos traza del pasto tiene un impacto mayor sobre los ciclos ambientales de nutrientes y la calidad de los medios alimenticios. Los pastos y las plantas pueden acumular elementos traza, donde dichos elementos traza pueden ser plomo, cromo, cadmio provenientes principalmente del viento y del agua. La forma normal de que los pastos y plantas reciben estos contaminantes es por depósitos o acumulación en la superficie o vía las raíces. Por lo tanto, como ejemplo de lo anterior tenemos que en las áreas de la industria minera y de fundición, los depósitos a través del aire provocan la presencia de este tipo de elementos en las superficies de los pastos[1-3] .

El impacto de contaminación por elementos pesados tomado por las raíces de las plantas es dependiente de muchos factores, incluyendo: la magnitud y forma química de los elementos traza presentes; pH del suelo, humedad, aereación, temperatura, materia orgánica y contenido de fosfatos; la presencia o ausencia de iones en competencia; las especies de pasto y plantas, la edad de las raíces más profundas; y los efectos del crecimiento debido a temporadas. Entonces, la presencia elemental excesiva induce toxicidad y efectos de deficiencia en pastos y plantas así como en la relación suelo-planta.

Una acumulación de elementos en el pasto o en una planta puede tener mayores efectos sobre los procesos metabólicos, tales como la respiración, la fotosíntesis, y la fijación o asimilación de mayores nutrientes. En algunos casos, el impacto en la contaminación sobre el metabolismo de pasto y plantas puede ser usado para monitorear la contaminación en aire y suelo.[1]

1.1.1 CICLO DEL AGUA.

Para poder comprender mejor la estrecha relación entre la contaminación del agua, suelo y pasto veamos qué ocurre con el agua. Este material lo encontramos en la tierra en estado gaseoso, líquido y sólido, pero no en forma estática sino en continuo cambio. El agua del mar, de los ríos y de los lagos se evapora y pasa a la atmósfera, formando las nubes; éstas se enfrían y se precipitan en forma de lluvia, y pasan a formar parte del mar, ríos y lagos. Lo importante en este proceso es que cubre un ciclo que está en continua acción. Los seres vivos aprovechan el agua y después la desechan en forma de agua, vapor, sudor, etc.[2]

Todo esto garantiza que el agua de un determinado sitio, se mantenga dentro de ciertos niveles, justo lo adecuado para que la fauna y la flora de ese sitio se conserve. Si el movimiento del agua no fuera cíclico, hasta el ambiente más húmedo se convertiría en un desierto inhóspito, o al revés, habría lugares en donde el agua aumentaría hasta inundarse todo. De acuerdo a este ciclo, si el agua sufre algún nivel de contaminación, en el momento que llegue al suelo o en su caso al subsuelo proporcionara cierto grado de contaminación a dicho suelo y el suelo a su vez proporcionara un grado equivalente de contaminación a pasto y plantas. Por lo tanto, el grado de contaminación de cada elemento ambiental analizado en esta investigación se encuentra muy correlacionado entre sí y debido a esto explicamos algunos de los posibles factores de una manera objetiva.

1.2 EFECTOS GENERALES DE LA CONTAMINACIÓN POR TRAZAS DE METALES PESADOS EN EL HOMBRE.

El mayor problema por la contaminación por trazas metálicas pesadas sobre pasto, suelo y agua, es el efecto que se tiene en los requerimientos tanto en los animales como en los humanos. La relación entre la alimentación, la salud y la exposición a trazas de metales pesados es a través de alimentos, agua y aire, lo cual implica una mayor área de actividades de prevención con respecto a los daños que provocan este tipo de elementos. La contaminación por trazas de elementos metálicos en la actualidad va en aumento[23,25-27], especialmente los metales pesados, que al mismo tiempo pueden ser causantes directos en el aumento de la incidencia de varias enfermedades, como lo son el asma, deformaciones físicas congénitas, deficiencias mentales, cáncer y otras de actual aumento como el Alzheimer[4]. Aunque la presencia de numerosas trazas de elementos pesados son reconocidos por ser esenciales para humanos y animales (As, Cr, Cu, Zn, Co, Sn, Fe) al ser consumidos en exceso como alimento o con muy amplias exposiciones a este tipo de elementos en el ambiente, son capaces de llegar a ser tóxicos[4] y disminuir las funciones biológicas correspondientes teniendo como resultado condiciones humanas de salud muy pobres por ejemplo, mutaciones genéticas debido a contacto excesivo de Co, Fe, Sn así como intoxicaciones severas con As y Cr. El aluminio es considerado como un elemento traza no esencial, pero bajo condiciones complicadas ambientales o biológicas (bajo pH o deficiencias en hidróxidos de silicio o Fe^{3+}) llega a ser tóxico. El cadmio, el mercurio, el plomo y el talio son conocidos como elementos muy tóxicos y aún en pequeños incrementos de concentración sufridos por un organismo ellos pueden afectar dramáticamente la salud o bienestar de cualquier ser vivo.

Además, el impacto de muchos elementos pesados sobre la salud de animales y humanos no están solamente relacionados con la magnitud en la concentración, sino también con la forma química así como también con los efectos de mezclado. Muchos elementos pesados son más tóxicos en formas orgánicas que en formas inorgánicas; por ejemplo, CH_3Hg^+ , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ son mucho más tóxicos que el Hg^{2+} . Una mezcla de elementos

traza pesados puede incluir relaciones intraelementales por lo cual un exceso de un elemento induciría una deficiencia en otro elemento. También, en algunos casos los elementos compiten por sitios cubiertos por alguna enzima específica o pelean por algún ligando específico, y con eso impedir la absorción, transportación, o utilización de otros elementos. Estos resultados son los que alteran la actividad psicológica y empobrecen los estados de salud. Por ejemplo, una dieta o excesos ambientales de plomo interfieren con la absorción de calcio, hierro, cobre y zinc, y esto puede provocar problemas de salud, tales como osteoporosis, anemia, disminución en la actividad reproductiva y de crecimiento[3]. En términos generales elementos como el arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo, paladio, platino y rodio son demasiado tóxicos no así el cobre y el zinc que llegan a ser tóxicos en concentraciones arriba de 6 ppm para el Cu y de 20ppm para el zinc[23].

“Hay una necesidad para una continua vigilancia y monitoreo de todos los constituyentes ambientales, incluyendo aire, agua, suelo, sedimentos, pasto, plantas, alimentos, animales así como fluidos y tejidos humanos, a fin de evaluar la magnitud e impacto de la contaminación por trazas metálicas pesadas en el medio ambiente. El químico analítico ambiental esta enfrentado a muchas preguntas antes de que pueda tomar una primera muestra a analizar”.[3]

En años recientes mucha atención ha sido enfocada en la sensibilidad y límite de detección del instrumento analítico en relación con los problemas, manejando estas variables antes de que las muestras ambientales sean introducidas en el instrumento. Los estudios analíticos ambientales son solamente de algún valor si todos los aspectos de la secuencia analítica son confiables. De esta manera podemos establecer la importancia de las técnicas analíticas para ayudar a prevenir efectos contaminantes que pueden llegar a dañar la salud humana del hombre así como de cualquier ser vivo debido a la presencia de trazas metálicas pesadas en agua, suelo y pasto.

1.3 ORIGEN DE LOS METALES PESADOS EN AGUA, PASTO Y SUELO ASÍ COMO SU RELACIÓN CON LOS MUNICIPIOS SELECCIONADOS.

Los metales pesados como arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo, paladio, platino, rodio y zinc, con lo que sus densidades son altas en comparación con los otros materiales. Aunque asociamos a los metales pesados con la contaminación de agua, suelo y pasto, en realidad son transportados en su mayor parte de un lugar a otro a través del aire, como gases o como especies absorbidas en las partículas materiales suspendidas, sin embargo a concentraciones mayores a las indicadas por la norma[apéndice 2-4] son tóxicos.

Durante el siglo pasado, las propiedades catalíticas de los elementos pertenecientes al grupo del platino han encontrado aplicaciones amplias en la industria química. El constante aumento de platino, paladio y rodio como catalizadores para minimizar la emisión de contaminantes producida por los motores de combustión durante su operación ha aumentado de manera importante los niveles de concentración en diversos sistemas ambientales como lagunas, ríos, suelos y pastos. Algunos estudios revelan que los niveles de emisiones del platino dependen de la edad de los convertidores catalíticos[4], la velocidad[4] y las temperaturas de emisión.[4]

Algunos autores han demostrado que los catalizadores automotrices no son las únicas fuentes de los elementos del grupo al que pertenece el platino. Las descargas de hospitales, los cuales usan platino en las bases de drogas anticancerígenas y que posteriormente son enviadas a los sistemas de basura municipal, deben de ser considerados, así como también el platino y el paladio usado por los dentistas. En ciudades con industria metalúrgica, las concentraciones de platino, paladio y rodio medidas en aguas municipales pueden ser muy altas en relación a la norma[4,23].

Una gran cantidad de estudios[4, 15-21] están proporcionando información acerca de los depósitos de platino en las calles emitidos por carros equipados con equipos catalíticos. Las vías de comunicación analizadas en este trabajo de investigación son

grandes avenidas así como sistemas de comunicación con circulación automotriz constante en los municipios de Tlalnepantla, Lerma y Nezahualcóyotl además de calles en parques industriales y caminos en zonas agrícolas. Algunas publicaciones en cuanto a flujo de automóviles (de acuerdo al número de autos que circulan por día) y información gubernamental relacionada con la velocidad acumulativa de componentes como el platino, paladio y rodio establecen la existencia de acumulaciones de trazas elementales pesadas derivadas de catalizadores automotrices en una situación actual de constante crecimiento poblacional[4].

“Porcentajes importantes de platino, paladio y rodio consumidos en los mercados son adquiridos y manejados por la industrias que producen desarrollos catalíticos de control atmosférico o de orden equivalente. Generalmente una gran parte de las industrias procesadoras y manufactureras de metales generan emisiones en diferentes proporciones a la atmósfera y en ocasiones a sistemas generadores de aguas utilizadas en diferentes procesos dentro de dichas corporaciones. El platino así como el paladio y el rodio una vez que son emitidos se depositan en gran parte en los suelos. Los asentamientos por flujos atmosféricos son directamente proporcionales al aumento del parque vehicular en cada entidad analizada. Se espera que la mayor contaminación producida por este tipo de componentes químicos al medio ambiente en corto plazo sea precisamente en los suelos cercanos a grandes vías de comunicación. También publicaciones recientes[15-18] nos permiten conocer investigaciones que han estudiado pasto y suelo con concentraciones relevantes de platino, paladio y rodio aunque las mediciones de paladio son todavía inciertas debido principalmente a interferencias poliatómicas”[4].

Aunque es conveniente establecer que el platino, paladio y rodio en sus formas metálicas son insolubles, esto es, no son biológicamente disponibles en esas condiciones; entonces la oxidación y otras reacciones de transformación en los suelos pueden generar especies disponibles para plantas. Por lo tanto, debido a estos procesos se pueden llegar a formar complejos que si pueden ser absorbidos biológicamente por el pasto, entonces la contaminación por platino, paladio y rodio en plantas es por acumulación superficial o por absorción biológica[4]. En comparación con el plomo que es otro metal pesado que siempre

ha tenido altos índices contaminantes. En la actualidad debido a la modernización en la producción de gasolinas y al control estricto sobre empresas que manejan este elemento han disminuido de manera importante los niveles manejados hace unos años y en contraparte platino, paladio y rodio han aumentado debido principalmente al uso de convertidores catalíticos para autos.[4]

El mercurio contamina el agua, aire y suelo de los municipios establecidos como mercurio metálico, inorgánico y compuestos orgánicos como pérdida de los procesos industriales y de equipos convertidos en chatarra, así como en la forma de compuestos de mercurio debido a las actividades industriales y agrícolas. Hay cantidades importantes de mercurio en las aguas negras, como resultado del uso que hace un gran número de personas de compuestos químicos, farmacéuticos y pinturas que tienen un pequeño contenido de mercurio. “Otra fuente de este elemento es la combustión del carbón, el petróleo y la gasolina”[4]. Se calcula que debido a este fuente, cada año entran al medio ambiente alrededor de tres mil toneladas de mercurio, este dato es del año 2000[4]. El mercurio se incorpora a los alimentos del hombre a través de usos agrícolas y de los abastecimientos de agua así como a través de organismos vivos consumibles[2].

“El plomo, que es un metal pesado como el mercurio, es un elemento tóxico que se acumula en el cuerpo conforme se inhala del aire o se ingiere con los alimentos y el agua. Este metal puede provenir de una gran cantidad de productos como baterías de almacenamiento, compuestos químicos antidetonantes para la gasolina, pigmentos para pintura y vidriados cerámicos. El plomo atmosférico tiende a asentarse en las plantas y el suelo o lo pueden inhalar las personas o absorber del agua”[2]. En municipios como Tlalnepantla se tienen parques vehiculares muy amplios así como industrias dedicadas al tratamiento de metales como el plomo, creando grandes focos de riesgo a la población.

El cadmio es un metal tóxico que debe vigilarse, ya que también se esta distribuyendo ampliamente en el medio ambiente a consecuencia de las actividades del hombre. Casi todo el cadmio se origina como subproducto de la refinación del zinc a partir de sus minerales que contienen algo de cadmio. También se genera en las aleaciones de

hierro, pigmentos, baterías y aditivos para plásticos. El cadmio se puede difundir en el aire proveniente del procesamiento de acero de desecho, la recuperación del cobre y la refinación del cobre, plomo y zinc. Los fertilizantes fosfatados poseen algo de cadmio que las plantas pueden absorber. El cadmio se absorbe en el cuerpo humano y al igual que los componentes anteriores es acumulativo pero lo más alarmante es que puede provocar problemas todavía desconocidos para la medicina por lo que es importante conocer los niveles de cadmio en el ambiente[2].

Las fuentes ambientales de arsénico provienen del uso continuado de sus compuestos como pesticidas, a partir de su emisión no intencionada durante la extracción y fundición de oro, plomo, cobre y níquel (en cuyos minerales se encuentra con frecuencia), de la producción de hierro y acero, y de la combustión de carbón, del cual es su contaminante. El lixiviado de metales es una fuente significativa de contaminación por arsénico en sistemas hidrosféricos. El agua de bebida, especialmente el agua subterránea, es la mayor fuente de arsénico en muchos alimentos y particularmente en el valle de México por ser componente común en rocas volcánicas[3].

El cromo es producido principalmente en la fabricación de pinturas y pigmentos, en la producción de celdas eléctricas, cerámicos, explosivos. También es producido por el manejo de combustibles pulverizados, desechos de fundiciones así como asbestos. Todas estas posibles emisiones pueden producir acumulaciones en suelos principalmente[4].

El cobre es manejado para la producción de alambre de uso eléctrico, tuberías y de una manera muy importante en la formación de aleaciones con otros metales como el zinc(bronce). Normalmente el cobre se encuentra adsorbido en el suelo formando complejos estables, situación similar ocurre en el pasto así como en otro tipo de plantas.

La producción de zinc se da en la fabricación de celda seca y en el desarrollo industrial de aleaciones para aumentar los parámetros de dureza de materiales metálicos además de las balatas del sistema de frenos automotriz principalmente. La actividad del zinc tanto en suelo como en pasto es debida a las condiciones de pH en los medios antes

mencionados ya que puede formar complejos estables con una gran variedad de ligandos. Bajo ciertas consideraciones biológicas y de concentración son elementos participantes en el desarrollo de la vida en diferentes seres vivos[4].

1.4 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS MUNICIPIOS.

1.4.1 NEZAHUALCÓYOTL.

El origen y desarrollo histórico de Ciudad Nezahualcóyotl (ver mapa 3 del anexo 1) constituye un fenómeno de gran crecimiento poblacional que, por su singularidad, sus características son dignas de analizarse. La palabra Nezahualcóyotl proviene del náhuatl y significa "Coyote en ayuno".

Este municipio cuenta con un territorio de 63.44 Km² y se integró con territorios de los municipios de Chimalhuacán, Los Reyes La Paz, Texcoco, Ecatepec y Atenco, quedando constituido el primero de enero de 1964, como el municipio número 120 del Estado de México.

La vecindad entre el Distrito Federal y el Estado de México ha engendrado un fenómeno singular y espectacular: el área metropolitana del valle de México se ha extendido a costa del Estado de México una tercera parte de la superficie y una quinta parte de la población del valle es aportada por Ciudad Nezahualcóyotl. Colinda al norte con Ecatepec, al noroeste con la delegación Gustavo A. Madero del Distrito Federal(D.F.), al oriente con los municipios de los Reyes La Paz y Chimalhuacán, al poniente con la delegación Venustiano Carranza, y al sur con las delegaciones de Iztacalco e Iztapalapa del D.F. Existen 85 colonias que abarcan un total de 4,574 manzanas. En la zona centro se encuentran 69 colonias y 16 en la zona norte.

En cuanto al relieve terrestre y al conjunto de montañas de la región, el territorio de Nezahualcóyotl se formó en lo que dejara la desecación del Lago de Texcoco, no cuenta con niveles y prominencias significativas. Su suelo se compone por lo general por arcillas con un alto porcentaje de salinidad y humedad condición que le da un alto grado de dificultad para el manejo de construcciones. Por lo que respecta a las aguas marinas y continentales, el municipio cuenta con tres ríos de relativa importancia, el Churubusco, el de la Compañía y el de los Remedios, los cuales se encuentran en los límites con el Distrito Federal, Chimalhuacán y Ecatepec respectivamente, luego se transformaron en canales de

desalojo de agua residual y de líquidos. El clima que prevalece es seco, templado, con lluvias en verano. Su temperatura media anual es de 16°C, con una máxima de 34°C y una mínima de -4°C. La precipitación pluvial es de menos de 600 mm. anuales, los vientos dominantes se presentan del noroeste, la altura media sobre el nivel del mar es de 2240 metros. Para 1999 se tiene un estimado de población cercano a 1,228,075 habitantes (disminución debida a la migración de habitantes en busca de condiciones mejores de vida)[5].

Las principales actividades generadoras de recursos en el municipio se han dividido en sectores. El sector agropecuario (agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca) no existe ya que el municipio desde hace muchos años es urbano en su totalidad. En el sector industrial se cuenta con establecimientos que implican la transformación de materias primas a través de diversos procesos: existe una zona industrial muy pequeña que básicamente son empacadoras de alimentos o manufactureras de baja capacidad económica. El sector que económicamente es el más desarrollado en Nezahualcóyotl es el de comercio y servicios y es la base en ingreso de la mayoría de la población. Este municipio cuenta con calles altamente congestionadas por transporte público en su mayoría y es un municipio de paso para transporte pesado a nivel industrial debido a su ubicación geográfica.[5].

1.4.2 LERMA.

El municipio de Lerma (ver mapa 2 del anexo 1) cuenta con extensiones grandes de tierra para uso agrícola. Lerma significa "Lugar donde hay cuervos en las milpas". Es un municipio que colinda con Toluca, San Mateo Atenco, Huixquilucan y Ocoyoacac principalmente. Cuenta con una extensión territorial de 228.64 Km² de los cuales más del 60% del territorio es utilizado para actividades agrícolas y ganaderas.

En cuanto a la orografía del lugar, Lerma esta situado en el valle de Toluca, su suelo es principalmente tierra de cultivo muy fértil. Se tienen precipitaciones pluviales durante la mayor parte del año lo cual favorece de manera importante a la agricultura. En cuestión de hidrografía, a Lerma llegan algunos ríos provenientes de la cuenca del Río Lerma que en

algunos brazos que corren a través del municipio son utilizados para la descarga de aguas residuales. Los ramales principales provenientes del nacimiento del Río Lerma son entubados y bombeados al Distrito Federal como uno de los sistemas hidráulicos abastecedores de agua potable y del cual el municipio de Lerma no tiene ningún beneficio. Para 1999 Lerma tenía una población de 90,946 habitantes que esencialmente durante los últimos años ha permanecido constante debido a que la condición económica poblacional ha sido estable en esta área geográfica del país.

Como ya fue mencionado, la principal actividad económica de Lerma es la agricultura principalmente en la producción de granos tales como maíz, frijol y arroz. La ganadería también ocupa un lugar importante en la actividad económica de los pobladores y en especial la producción de leche. En Lerma se ha establecido un parque industrial llamado parque industrial Toluca-Lerma con una gran gama de tipos de industrias tales como química, textil, alimentaria y metal-mecánica. Este desarrollo industrial puede llegar a ser uno de los más importantes del Estado de México principalmente por su cercanía con los desarrollos industriales en Toluca capital del Estado de México[6].

1.4.3 TLALNEPANTLA.

El municipio de Tlalnepantla (ver mapa 1 del anexo 1) es uno de los más industrializados del país. Tlalnepantla significa "Tierra de enmedio". El territorio correspondiente al municipio de Tlalnepantla se sitúa geográficamente en el centro del Estado de México, sobre el valle de México en su porción septentrional. El municipio está constituido por dos porciones territoriales: Zona Oriente y Zona poniente. La zona poniente limita al norte con los municipios de Cuautitlán Izcalli y Tultitlán; al sur con el Distrito Federal(Delegación Azcapotzalco) y el municipio de Naucalpan de Juárez; al este, con el D.F.(Delegación Gustavo A. Madero); y al oeste con el municipio de Atizapán de Zaragoza. En su zona oriente, limita con el municipio de Ecatepec al norte y al este; y con el D.F.(Delegación Gustavo A. Madero), al sudoeste. La superficie total del territorio municipal es de 85.40 Km², representando el 0.39% de la superficie total del Estado.

El territorio del municipio de Tlalnepantla constituye el límite norponiente de la cuenca del valle de México, definido topográficamente por la Sierra de Guadalupe. Predominan en los cerros rocas ígneas extrusivas: tobas y andesitas; la parte más baja del valle está formada por suelos de origen aluvial y limos arenoso. El clima se considera templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación pluvial media anual de 605 mm., con porcentajes de lluvias invernal menor al 5%. La temperatura media anual es de 15.6°C. Anteriormente los ríos más importantes fueron: el Tlalnepantla, San Javier, Los Remedios y la Zanja Madre. Lamentablemente, en la actualidad se encuentran altamente contaminados, ya que forman parte del sistema de drenaje entubado o a la intemperie del municipio.

El municipio de Tlalnepantla desde el siglo pasado ha sido un centro de población de suma importancia. Para 1995 los datos arrojados por el Censo realizado por el INEGI reportan una población total de 713,143 habitantes, con ello se estimó la tasa de crecimiento presentándose ésta en números positivos con un 0.292% lo que significa que en la actualidad la población no ha variado demasiado en los últimos años.

El municipio de Tlalnepantla durante la década de los cincuenta comienza un acelerado crecimiento industrial. El acelerado proceso de industrialización de la Ciudad de México, genera el desplazamiento de población y la realización de importantes actividades económicas dentro de la metrópoli, provocando cambios significativos en la estructura de la ciudad y su periferia. El motor de desarrollo económico en Tlalnepantla está sustentado por el sector industrial, que lo ha llevado hoy en día a constituirse en uno de los municipios más importantes del país por el valor de su producción.

La estructura industrial de Tlalnepantla para 1997 se distribuye (según la actividad de los establecimientos industriales) en el siguiente orden de importancia:

Tabla 1. Actividades industriales en Tlalnepantla.

Establecimientos industriales por actividad en %.	
Productos metálicos, maquinaria, equipo y autopartes.	31.9%
Química, caucho y plástico.	17.2%
Otras industrias.	13.0%
Papel, imprenta y editorial.	9.4%
Industria de la madera y sus productos.	6.7%
Industrias metálicas básicas.	6.7%
Textiles y prendas de vestir e industria de cuero.	6.0%
Minerales no metálicos.	3.5%
Eléctrica y electrónica.	3.5%
Alimentos, bebidas y tabacos.	3.1%

De acuerdo a publicación municipal de Tlalnepantla el grueso mayoritario en la estructura de la producción se encuentra en el sector manufacturero con el 68%, después el de comercio con el 23% y por último el de servicios con el 9%. Por lo anterior, el análisis de las condiciones en cuanto a metales pesados se refiere en Tlalnepantla es fundamental debido a su gran desarrollo industrial.

Adicionalmente, los sistemas de vialidad y transporte de Tlalnepantla presentan serios problemas en su funcionamiento debido principalmente a que las vías de comunicación primarias y secundarias no guardan la debida continuidad, propiciando la concentración de desplazamientos en las escasas vías de trazo continuo, las que también corresponden con las empleadas con el tránsito foráneo, lo que ocasiona su congestión. La zona urbana de Tlalnepantla es paso obligado de todo tipo de transporte, desde vehículos particulares, transporte foráneo de carga así como un intenso flujo de transporte público con origen y destino al norte, occidente o centro del país, que tiene a su vez como principal origen o destino la zona industrial de Tlalnepantla, las zonas industriales y la Terminal Central del Norte del Distrito Federal, además es paso obligado

de gran cantidad de trabajadores que se desplazan cotidianamente entre los municipios del norponiente del área metropolitana y el Distrito Federal[7].

**I NSTRUMENTACION
ANALITICA**

CAPITULO 2. INSTRUMENTACIÓN ANALÍTICA.

2.1 HORNO DE MICROONDAS.

La disolución de muestras es una de las operaciones más comunes en química analítica. Debido a que muchas técnicas de análisis cuantitativo requieren que las muestras sean introducidas en forma líquida, miles de muestras son preparadas todos los días en laboratorios químicos. La continua presencia en el laboratorio de tediosas y peligrosas técnicas de preparación de muestras sugieren la necesidad de una alternativa más moderna. Afortunadamente, la disolución por microondas, una alternativa a los métodos de digestión tradicionales, ha crecido durante los últimos años de una manera por demás exagerada como una opción analítica instrumental de digestión[8].

La técnica de microondas que será descrita en este apartado hace posible a una velocidad mucho menor la preparación de muestras sólidas por combinación de rápido calentamiento a través de una energía de microondas con la ventaja inherente de contar con recipientes de digestión cerrados. Las ventajas de la disolución por microondas incluye parámetros de reacción mucho más rápidos que resultan de la temperatura y presión altas obtenidas dentro de los contenedores cerrados. Estos recipientes son más sofisticados que los recipientes tradicionales (vidrio o algún polímero sencillo). Ellos son generalmente hechos de polímeros especiales que no contaminaran o absorberán la muestra y de la misma manera no absorberán energía en forma de microondas[8].

El uso de recipientes cerrados también hace posible eliminar posibles descontrolés en pérdidas de elementos traza de especies volátiles que pueden estar presentes en una muestra o que se puede formar en el transcurso de la digestión. Tales pérdidas pueden fácilmente destruir la integridad de una medición. Es bien sabido en el campo del análisis elemental que porcentajes significativos de elementos tales como arsénico, mercurio, cromo y selenio son perdidos a temperaturas moderadas en procedimientos de digestión ácida con recipientes abiertos[4,8]. Otra ventaja de la disolución por microondas es una disminución en los valores de blanco cuando no se ocupan reactivos de muy alta pureza por que se evitan contaminaciones ambientales adicionales presentes en el laboratorio al usar

recipientes cerrados y también hace posible el uso de menores cantidades de reactivos. Los sistemas denominados blancos son muy importantes por que frecuentemente se usan como parámetro de calibración en un análisis cuantitativo instrumental[8].

Como resultado de una serie de investigaciones coordinadas, los procedimientos de digestión por microondas se están usando para tratar sustancias metalúrgicas y geológicas, muestras botánicas y de alimentos, para especímenes biológicos y clínicos, así como muchas otras importantes aplicaciones[8].

Ahora discutiremos la teoría del calentamiento por microondas para posteriormente conocer los requerimientos para digestiones ácidas. Las microondas son energía electromagnética. La energía de microondas es una radiación no ionizada que causa movimiento molecular por la migración de iones y rotación de dipolos, pero no produce cambios en la estructura molecular. La energía de microondas tiene un rango de frecuencia de 300 a 300,000 MHz. Cuatro frecuencias son usadas para calentamiento por microondas a nivel industrial y científico: 915, 2450, 5800 y 22125 MHz. La energía típica de salida en un sistema de microondas es de 600 a 700 W[8].

Cuando la energía de microondas penetra una muestra, la energía es absorbida por la muestra a un parámetro dependiente de cómo fluye dicha energía en la muestra en cuestión. La penetración es considerada infinita en materiales que son transparentes a la energía de microondas como agua, suelo y pasto, y es considerada cero en materiales reflexivos, tal como los metales[8].

Típicamente, la energía por microondas es pérdida por la muestra en dos formas: por conducción iónica y por rotación dipolar. En muchas aplicaciones prácticas de calentamiento por microondas, la conducción iónica y la rotación dipolar se llevan a cabo al mismo tiempo. La conducción iónica es la migración conductiva de iones disueltos en el campo magnético aplicado. Esta migración iónica es un flujo de corriente que resulta en pérdidas de la producción de calor parecido a la resistencia al flujo de iones. Los parámetros que afectan la conducción iónica son la concentración de iones, la movilidad de

los iones y la temperatura de la solución. La rotación dipolar se refiere al alineamiento, parecido al campo eléctrico, de moléculas en la muestra que tienen momentos dipolares permanentes o inducidos. Como el campo eléctrico de la energía por microondas aumenta, alinea las moléculas polarizadas y cuando el campo eléctrico decrece, térmicamente el desorden inducido es restaurado. Por lo tanto, la eficacia de calentamiento por rotación dipolar depende de la característica dieléctrica de la muestra que a su vez depende del aumento de temperatura y de la viscosidad de la muestra[8].

Los tiempos de calentamiento por microondas pueden llevarse a cabo de 5 a 15 minutos en comparación con las digestiones tradicionales que pueden llevarse de 2 a muchas horas. Esto se debe a que el calentamiento por microondas actúa en todo el sistema simultáneamente sin calentar el recipiente que contiene a la muestra[8].

Con respecto a la velocidad de calentamiento, tres variables predominantes influyen en este sentido. Estas variables son la conductividad del ácido usado, el tiempo de relajación dieléctrica del ácido, y el volumen del ácido. El tiempo de relajación dieléctrica del ácido no puede ser cambiado; por lo tanto, la frecuencia de las microondas ahora disponibles con instrumentos analíticos es adecuada para calentamiento rápido de muestras. Muchas muestras analíticas son pequeñas, y la muestra es completamente penetrada por la energía de las microondas.[8]

El instrumento de microondas típico usado para digerir muestras analíticas consiste de seis componentes principales: el generador de microondas llamado magnetrón, el conductor de la onda, la cavidad de las microondas, el promotor de las microondas, un circulador y una plataforma giratoria. La energía por microondas es producida por el magnetrón, propagada por el conductor de ondas, e inyectada directamente en la cavidad de microondas donde el promotor de microondas distribuye la energía interior en varias direcciones. El magnetrón es un diodo cilíndrico con un ánodo y un cátodo. Superpuesto sobre el diodo está un campo magnético que está alineado con el cátodo. Un anillo de cavidades resonantes acopladas mutuamente está en el ánodo, para que un potencial de varios miles de volts esté establecido a los costados del diodo, se liberan electrones bajo la

influencia de un campo magnético, hay resonancia, y el magnetrón oscila. Los electrones oscilantes proporcionan energía al campo de microondas que emite de una antena encerrada en un tubo a vacío[8].

Las microondas generadas por el magnetrón son canalizadas al aplicador (cavidad de microondas) por el conductor de microondas. Los conductores de microondas son contruidos de material reflexivo tales como hojas de metal, y son diseñados para enviar las microondas directas a la cavidad. El promotor de microondas es una especie de ventilador con aspas que es usado para reflejar y mezclar la energía completa que entra a la cavidad de microondas haciendo que el calentamiento sea independiente de la posición. La cavidad de microondas es el espacio general del horno en donde se efectúa el proceso de digestión y la plataforma giratoria es un sistema de distribución proporcional adicional en todas las muestras introducidas en el compartimiento principal del sistema de microondas[8].

Los recipientes para la digestión son contruidos de material especial, los cuales no absorban microondas pero permitan su paso hacia el interior de la muestra. El teflón [poli(tetrafluoroetileno)] y el poliestireno son materiales excelentes para la elaboración de materiales para accesorios de microondas. Estos materiales tienen la principal propiedad de ser química y térmicamente estables. Además, el teflón es un material ideal para la construcción de recipientes para muchas de las aplicaciones en digestiones ácidas por que es muy resistente a todos los ácidos[8].

De acuerdo con lo anterior, los sistemas de recipientes cerrados para digestiones ácidas tienen un número importante de ventajas como:

1. Una digestión con recipiente cerrado maneja temperaturas altas por que el punto de ebullición del ácido es elevado por la presión producida en el recipiente. Con más altas temperaturas producidas en un recipiente cerrado, el tiempo requerido para la digestión puede disminuirse de una manera muy importante[8].
2. La posibilidad de pérdida en elementos volátiles durante la digestión es virtualmente eliminada en un recipiente cerrado por que hay muy pequeñas pérdidas de vapor[8].

3. Menos ácido es requerido. No hay evaporación en recipientes cerrados, no hay necesidad de agregar continuamente ácido para mantener el volumen y de esta forma el riesgo de contaminación es eliminado[8].
4. Los vapores producidos por la digestión son contenidos dentro del recipiente, entonces no hay necesidad de diseñar un método para controlar emisiones peligrosas de vapor[8].
5. Con una digestión en recipientes cerrados la posibilidad de contaminación debida al aire es eliminada o reducida substancialmente[8].

Entonces, la digestión con microondas en recipientes cerrados tiene muchas ventajas y reduce el tiempo requerido para digerir todo tipo de muestra. El uso de energía por microondas para resolver problemas de digestión por calentamiento en el laboratorio analítico es un problema extremadamente resuelto y de mucha ayuda en la química analítica instrumental actual.

2.2. ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ATÓMICA CON PLASMA DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO.

Las fuentes de plasma presentan algunas ventajas con respecto a los métodos de llama y electrotérmicos existentes. Entre sus ventajas está la menor interferencia entre elementos, que es una consecuencia directa de sus temperaturas más elevadas. En segundo lugar, se pueden obtener buenos espectros para la mayoría de los elementos con unas mismas condiciones de excitación; en consecuencia, es posible registrar simultáneamente los espectros para docenas de elementos. Esta propiedad tiene especial importancia en el análisis multielemental de muestras diversas. Las fuentes de llama, desde este punto de vista, son menos apropiadas por que las condiciones óptimas de excitación varían mucho de elemento a elemento; se necesitan altas temperaturas para la excitación de algunos elementos y bajas para otros; por último, la región de la llama que permite obtener intensidades óptimas de línea es distinta de un elemento a otro. Otra ventaja de las fuentes más energéticas es que permite la determinación de bajas concentraciones de elementos que tienden a formar compuestos refractarios[9].

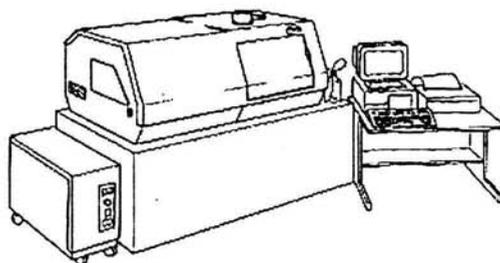


Figura 1. Equipo para espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo

La espectrometría de emisión se basa en los espectros de líneas producidos por los iones y átomos excitados. Las líneas espectrales que se encuentran en los espectros de plasma provienen de los iones correspondientes a cada átomo[9]. La radiación procedente

de las emisiones atómicas contiene líneas características de todos o de casi todos los elementos de la muestra, sin que influya para ello el método utilizado en la atomización de la misma. La espectrometría de emisión es intrínsecamente una técnica de análisis simultáneo multielemental. La fuente emisora tiene que tener una temperatura muy estable para obtener la mejor precisión. Por otro lado la fuente debe ser tan constante como sea posible en todo el volumen de la fuente emisora para limitar los efectos de autoabsorción. Asimismo, fuentes más calientes normalmente producen una atomización más completa. Como consecuencia, en espectrometría de emisión, se prefiere una fuente de plasma a una fuente de llama por que las fuentes de plasma son más calientes y la temperatura más homogénea [10].

Por definición, un plasma es una mezcla gaseosa conductora de la electricidad que contiene una concentración significativa de cationes y electrones. En el plasma de argón que se emplea en los análisis de emisión, los iones argón y los electrones son las principales especies conductoras, aunque los cationes de la muestra también están presentes en menor cantidad. Los iones argón, una vez que se han formado en un plasma, son capaces de absorber suficiente potencia de una fuente externa, como para mantener un nivel de temperatura en el que la ionización adicional sustenta el plasma indefinidamente; la temperatura puede llegar a ser de $10,000^{\circ}\text{K}$ [9].

Una fuente de plasma acoplado inductivamente se crea, en términos generales, cuando un flujo de argón pasa a través de una antorcha. Dicha antorcha consiste en tres tubos concéntricos de cuarzo a través de los cuales fluye una corriente de argón con un caudal total comprendido entre 11 y 17 litros por minuto. El diámetro del tubo más grande es aproximadamente de 2.5 cm. Rodeando la parte superior de este tubo se encuentra una bobina de inducción refrigerada por agua, alimentada por un generador de radiofrecuencias capaz de producir una potencia de 2KW a unos 27MHz. La ionización del argón que fluye se inicia por medio de una chispa que proviene de una bobina Tesla. Los iones resultantes y sus electrones asociados interactúan entonces con el campo magnético oscilante que se produce por la bobina de inducción. Esta interacción hace que los iones y los electrones

dentro de la bobina se muevan en trayectorias anulares cerradas. El calentamiento óhmico es una consecuencia de la resistencia a este movimiento[9].

La temperatura del plasma así formado, es suficientemente elevada como para hacer necesario el aislamiento térmico del cilindro externo de cuarzo. Para lograr este aislamiento, se hace fluir argón en forma tangencial alrededor de las paredes del tubo; el caudal de esta corriente de argón es de unos 5 a 15 litro por minuto. El flujo tangencial enfría las paredes interiores del tubo central y centra el plasma radialmente[9].

Las muestras deben de ser líquidos y el análisis por ICP comienza por la nebulización (proceso en el cual gotas grandes de líquido se convierten en neblina)[12]. Bajo las condiciones de neblina muy fina la muestra es introducida en el ICP. La muestra en forma de neblina es entonces arrastrada hacia el centro del plasma por un flujo de argón que funge como gas de arrastre. En este punto las funciones del plasma descrito anteriormente son de una gran importancia[11].

La primera función del plasma de alta temperatura es remover el solvente, y formar un aerosol (suspensión de partículas muy finas de líquido o sólido en el aire o gas[12]). Los siguientes pasos envuelven la descomposición de las partículas en un gas de moléculas individuales (vaporización) que son entonces disociadas en átomos(atomización). Estos procesos, los cuales ocurren predominantemente en la primera zona de la antorcha y los cuales ocurren de la misma forma en todos los sistemas espectrométricos. Una vez que a la muestra en aerosol se le ha eliminado el solvente, vaporizada, y atomizada, el plasma tiene aún otras dos funciones importantes. Estas funciones son la excitación y la ionización. De acuerdo a principios atómicos, para que un átomo o ion emita su radiación característica, uno de sus electrones debe ser promovido a un nivel de energía más alto a través de un proceso de excitación. Muchos elementos tienen sus líneas más fuertes de emisión debido principalmente a iones excitados. Los procesos de excitación y ionización ocurren en la zona de radiación inicial del plasma. Existe otra zona en el plasma llamada zona analítica normal que es la región dentro del plasma en la cual la emisión analítica es normalmente medida. Dicha zona se encuentra en el centro del plasma.[11].

Mientras que los mecanismos exactos de excitación y ionización en el ICP no son completamente entendidos, se cree que muchas excitaciones y ionizaciones se presentan como resultado de colisiones de los átomos analizados con electrones y es otra característica importante. Además de mejorar la eficiencia de excitación y ionización, las altas temperaturas en el ICP también elimina muchas interferencias químicas que se pueden presentar en otras técnicas analíticas.

Un importante rasgo distintivo del ICP poco común en otras fuentes es que desde el inicio la muestra es introducida en el centro del plasma, es rodeada a alta temperatura en aproximadamente 2 milésimas de segundo. Este es el tiempo de residencia de la partícula analizada en el centro del plasma que a la vez es ampliamente responsable de la carencia de interferencias que pudieran producirse por la matriz. Además, cuando el aerosol esta en el centro del plasma y la energía abastecida por las espiras de inducción rodean al plasma, el aerosol no interfiere con la transferencia de energía en ninguna forma.

En espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo, la luz emitida por los átomos y los iones excitados por el plasma es medida para obtener información acerca de la muestra. Ya que las especies excitadas en el plasma emiten luz a longitudes de onda bastante diferente, la emisión producida por el plasma debida a las especies analizadas es policromática. Esta radiación policromática debe ser separada en longitudes de onda individuales así la emisión de cada especie excitada puede ser identificada y su intensidad puede ser medida sin interferencia de emisión a otra longitud de onda. La separación de la luz de acuerdo a las longitudes de onda, es generalmente hecha usando un monocromador, el cual es usado para medir luz a una longitud de onda y a un tiempo determinado, o un policromador, el cual puede ser usado para medir la emisión de luz a diferentes longitudes de onda en una sola exposición.

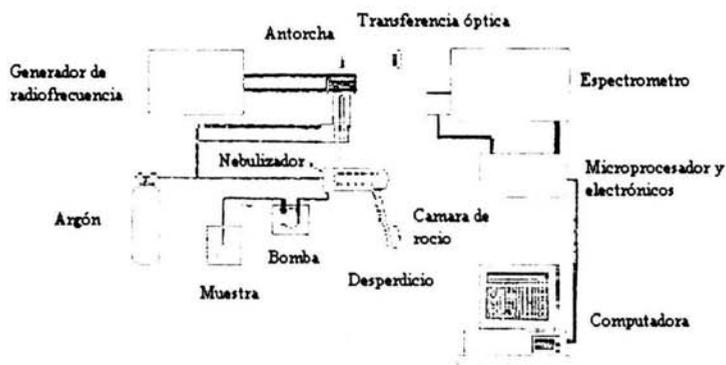
La extracción de información tanto cualitativa como cuantitativa acerca de una muestra usando ICP-AES es generalmente de forma directa. Obtener información cualitativa, por ejemplo, que elementos están presentes en una muestra, incluye identificar

la presencia de emisión a las longitudes de onda características para el elemento de interés. Muy ocasionalmente las interferencias de líneas espectrales de otros elementos pueden hacer un poco incierta la presencia de un elemento en el plasma.

Para la obtención de información cuantitativa, cuando un elemento está en la muestra puede ser cuantificado usando curvas de calibración en las que se grafica intensidad de emisión contra concentración. Las soluciones con concentraciones conocidas de los elementos de interés, llamadas soluciones estándar, son introducidas en el ICP y la intensidad de la emisión característica es medida para cada elemento. Estas intensidades pueden entonces ser graficadas contra las concentraciones de los estándares para formar una curva de calibración para cada elemento. Cuando la intensidad de emisión de un elemento en la muestra es medida, la intensidad es comparada contra la curva de calibración del elemento para determinar la concentración correspondiente a esa intensidad.

Las computadoras y software utilizados en los instrumentos de ICP-AES representan estas curvas de calibración en forma de gráficos matemáticos. Así que es necesario para el analista construir estas curvas manualmente para la cuantificación de los elementos en una muestra. Las curvas de calibración son generalmente lineales sobre 4 o 6 ordenes de magnitud en ICP-AES, por lo que es usual medir solamente uno o dos soluciones estándar y un blanco para calibrar el instrumento.

Figura 2. Diagrama de flujo para operación de un equipo de espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo.



La técnica de espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo es aplicable, como ya lo comentamos anteriormente, a la determinación simultánea de un gran número de elementos. Los límites de detección para estos elementos son generalmente en el rango de partes por billón. Existen algunos elementos que no pueden ser determinados a nivel de trazas por esta técnica analítica debido a que sus átomos tienen requerimientos de energía muy altos para su excitación. La energía disponible en el plasma de acoplamiento inductivo a base de argón no es suficiente para excitar flúor, cloro o gases nobles a la extensión donde los niveles traza de estos elementos pueden ser determinados fácilmente a través de sistemas de detección convencionales. Otros elementos que no pueden ser determinados por esta técnica son los hechos por el hombre, los cuales son típicamente radioactivos o de vida corta y para los cuales es mejor usar otras técnicas como la espectrometría de rayos gamma. Por lo tanto, a través de la espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo se pueden idealmente determinar 73 elementos de la tabla periódica y se puede efectuar esto en una sola corrida analítica.

La precisión y exactitud de los análisis con ICP-AES son considerados suficientes para la mayoría de la experimentaciones para trazas elementales. La precisión de los análisis es usualmente del 1 al 2% del rango de desviación estándar relativa. Mayor precisión puede ser obtenida efectuando cambios en la velocidad de inyección o a través del uso de tiempos de medición largos así como usando técnicas de compensación de señales especiales (manejo en varios tipos de nebulizadores)[11].

La espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo también ha aumentado de una manera importante su uso en el campo analítico debido a que no se presentan interferencias importantes. Por interferencia se entiende cualquier causa que perturbe la señal aún cuando las concentraciones de analito no cambien. Existen tres tipos principales posibles de interferencias: la interferencia espectral, la interferencia química y la interferencia por ionización[12].

El término interferencia espectral se refiere a la superposición de la señal del analito con señales debidas a otros elementos. La mejor forma de proceder con la superposición entre las líneas de diferentes elementos presentes en la muestra es seleccionar otra longitud de onda para el análisis. La interferencia química es causada por cualquier componente de la muestra que reduzca el grado de atomización del analito. La interferencia por ionización puede ser un problema cuando se analizan elementos a altas temperaturas.[12]

La finalidad obvia de los instrumentos para espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo es determinar la concentración de elementos en diferentes tipos de muestras. Por lo tanto el analista debe determinar los objetivos analíticos, tomando con cuidado factores de consideración tal como tipo de muestra, elementos a ser determinados, sensibilidad, costo y velocidad de análisis.

Ahora, las partes principales para un sistema de espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo esta dividido en secciones contando con la instrumentación para introducción de muestras, producción de emisión, colección y detección de emisión, y procesamiento de señal así como control de computo.

2.2.1 NEBULIZADORES.

El sistema de introducción para la muestra tiene como primer elemento al nebulizador que es un mecanismo que convierte un líquido en un aerosol que puede ser transportado por el plasma. El proceso de nebulización es un paso crítico en espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo. El sistema de introducción ideal de una muestra sería uno que entregara toda la muestra al plasma en una forma que el plasma reproduciblemente pudiera eliminar el solvente, vaporizar, atomizar, ionizar y excitar. Solamente pequeñas neblinas o aerosoles son usadas en el plasma de acoplamiento inductivo y esa es la gran función que tiene el nebulizador.

Muchas fuerzas pueden ser usadas para transformar un líquido en un aerosol, sin embargo, solamente dos han sido usadas exitosamente en el plasma con acoplamiento inductivo, fuerzas neumáticas y fuerzas mecánicas ultrasónicas. La mayoría de los nebulizadores comerciales para plasma con acoplamiento inductivo son de tipo neumático. Estos nebulizadores usan flujos de gas a altas velocidades para crear un aerosol. El uso de nebulizadores neumáticos en ICP-AES necesita un flujo de argón de aproximadamente 1 litro por minuto.

El tipo de nebulizador neumático más comúnmente usado en ICP-AES es el nebulizador concéntrico. En este nebulizador, la solución es introducida a través de un tubo capilar a una región de presión baja creada por un flujo de gas que pasa rápidamente al final del capilar. La baja presión y la alta velocidad del gas combinados fragmentan la solución en un aerosol. El equipo utilizado en esta investigación posee un nebulizador de este tipo.

2.2.2 BOMBA PERISTÁLTICA.

Algunos sistemas de nebulización requieren que la solución sea bombeada hacia el nebulizador. Con una solución bombeada, el porcentaje de flujo de la solución en el nebulizador es corregido y no es tan dependiente sobre propiedades específicas de la solución tales como viscosidad y tensión superficial. De la misma manera, el porcentaje de flujo controlado y constante de líquido es mayor tanto en el nebulizador así como en la cámara de atomización.

Las bombas peristálticas son prácticamente usadas en todos los sistemas de ICP-AES. Estas bombas utilizan una serie de cilindros que empujan la solución muestra a través de un tubo usando un proceso conocido como peristalsis(a base de contracciones). La bomba por si misma no se encuentra en contacto con la solución, solamente esta en contacto con el tubo que acarrea la solución del recipiente de la muestra al nebulizador. Así, la posibilidad de contaminación de la solución no es un problema de cuidado.

Los tubos especiales usados con una bomba peristáltica tienen que ser compatibles con la muestra que pasa a través del interior. La mayoría de los tipos de tubo para bombas peristálticas son compatibles para medios acuosos acidificados. Aún así los tubos deben estar hechos de material especial (como por ejemplo el tygon que es un polímero muy resistente a ataques químicos orgánicos e inorgánicos pero con una apariencia física muy suave). Los tubos o mangueras para bombas peristálticas están en la primera parte de un sistema de ICP-AES y usualmente requiere reemplazos frecuentes. La falla en el reemplazo de estos tubos o mangueras para la bomba peristáltica puede resultar en una operación pobre del instrumento de ICP-AES durante la realización de una corrida analítica.

2.2.3 CÁMARA DE ROCÍO.

La cámara de rocío es también un instrumento importante en la introducción de muestras al ICP-AES. Una vez que la muestra en aerosol es creada por el nebulizador, debe ser transportada a la antorcha para posteriormente ser introducida en el plasma. Debido a que solamente unas cuantas gotas en aerosol son las que llegan al plasma se ubica una cámara de rocío entre el nebulizador y la antorcha. La función primaria de la cámara de rocío es remover grandes gotas de aerosol. Un propósito secundario es eliminar los pulsos que ocurren durante la nebulización frecuentemente debido al bombeo de la solución problema. En general, las cámaras de rocío para un ICP son diseñadas para permitir gotas con un diámetro aproximado de $10\mu\text{m}$ o más pequeñas hacia el plasma. En nebulizadores típicos, estos porcentajes de gotas constituyen cerca del 1-5% de la muestra que es introducida al nebulizador. El remanente 95-99% de la muestra es drenado a un contenedor de desechos.

2.2.4 SISTEMA DE EMISIÓN PARA DESECHOS.

El sistema de emisión para desechos también tiene una función concreta. Aparte de acarrear los excesos de muestra, el sistema de desechos produce la presión de retorno necesaria para forzar la muestra aerosol-acarreo del fluido nebulizado en el gas a través del

tubo inyector a la antorcha y a la descarga en el plasma. Si el sistema de emisión no hace la eliminación de desperdicios de forma constante o si se permite la entrada de burbujas a este sistema, la inyección de la muestra en el plasma puede ser afectada y pueden resultar señales de emisión ruidosas.

2.2.5 ANTORCHA.

Las antorchas usadas actualmente en ICP-AES son muy similares en diseño y funcionamiento. Las antorchas contienen tres tubos concéntricos para flujo de argón e inyección de aerosol proveniente de la muestra. El espacio entre los dos tubos externos están conservados estrechamente así que el gas introducido entre ellos emerge a gran velocidad. Para los plasmas de acoplamiento inductivo a base de argón, el flujo de gas es usualmente cercano a 7-15 litros por minuto. El flujo de gas que acarrea la muestra en aerosol es inyectada en el plasma por el tubo central de la antorcha o a veces también llamado inyector. Debido al pequeño diámetro al final del inyector la velocidad aumenta de una manera muy importante. Generalmente las antorchas de una sola pieza tienen desventajas como: 1) Generalmente no son resistentes a la corrosión por ácido fluorhídrico, y 2) Si la antorcha es dañada, normalmente la antorcha completa debe ser reemplazada.

2.2.6 GENERADOR DE RADIOFRECUENCIA.

El generador de radiofrecuencia es el mecanismo que proporciona el poder para la generación y sustento de las descargas en el plasma. Este poder, típicamente estipulado de 600 a 1800W, es transferido al argón a través de un alambre cargado rodeando la parte alta de la antorcha. El alambre cargado, el cual actúa a la vez como una antena para transferir el poder de radiofrecuencia al plasma, es usualmente hecho por alambre de cobre y es enfriado por gas o agua durante la operación. La mayor parte de los generadores de radiofrecuencia utilizados para la operación del ICP-AES operan a una frecuencia entre 27 y 56MHz.

2.2.7 SISTEMA DE TRANSFERENCIA ÓPTICA.

La transferencia óptica es el primer paso para la detección en la señal de emisión. La radiación de emisión en la región del plasma es conocida como zona analítica normal y es muestreada en mediciones espectrométricas. Esta radiación es usualmente colectada por un enfocamiento óptico tal como una lente convexa o un espejo cóncavo. Esta óptica enfoca la imagen del plasma dividiéndose en longitudes de onda y dispersándose sobre el aparato.

2.2.8 SISTEMA PARA DISPERSIÓN DE LONGITUD DE ONDA.

El siguiente paso en el ICP-AES es la diferenciación en la radiación de emisión de un elemento de la radiación emitida por otros elementos y moléculas. La dispersión física de las diferentes longitudes de onda por una rejilla de difracción es la más ampliamente usada. Una rejilla de difracción es simplemente un espejo con líneas espaciadas rígidamente o grabadas en su superficie. Para separar la luz policromática, la rejilla es incorporada a un instrumento óptico llamado espectrómetro. La función de un espectrómetro es formar la luz en un rayo bien definido, dispersarlo de acuerdo a la longitud de onda en una rejilla y enfocar la luz dispersa sobre un plano de salida. Una o más ranuras de salida sobre el plano son entonces usados para permitir ciertas longitudes de onda pasar al detector mientras se bloquean otras de menor interés.

En análisis multielemento como es el caso para ICP-AES, la medición de varios elementos de una misma muestra, es acoplada con mecanismos de dispersión. Cuando varias ranuras de salida y detectores son usados en el mismo espectrómetro, el mecanismo es llamado un policromador y es fundamentalmente el sistema de detección de cualquier ICP-AES. Cada ranura de salida en un policromador es alineada a una línea de emisión atómica o iónica para un elemento específico para permitir análisis simultáneos multielementos. Muchas de las líneas de emisión más usadas analíticamente son en la

región de 190-450nm; así, los espectrometros usados para ICP-AES son usualmente optimizados para operación en esta región de longitud de onda.

2.2.9 DETECTOR.

Una vez que las líneas de emisión han sido aisladas por el espectrometro, el detector y su electrónica son usados para medir la intensidad de las líneas de emisión. Por mucho, el más ampliamente usado para ICP-AES es el tubo fotomultiplicador, o PMT. El tubo fotomultiplicador es un tubo vacío que contiene un material fotosensitivo, llamado el fotocátodo, que expulsa electrones cuando es golpeado por la luz. Estos electrones expulsados son acelerados hacia un diodo(dispositivo semiconductor que consiste en una unión a través de la cual la corriente sólo puede pasar en un sentido[12]). Los electrones golpean otro diodo expulsando más electrones causando un efecto multiplicativo por el camino. Los tubos fotomultiplicadores contienen de 9 a 16 etapas de diodos. El paso final es la recolección de los electrones del último diodo por un ánodo. La corriente eléctrica se mide en el ánodo y es como una medición relativa de la intensidad en la radiación que llega al tubo fotomultiplicador.

2.2.10 PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL.

Los electrones usados para el procesamiento de la señal en ICP-AES son la parte principal de la medición. Aquí, la corriente eléctrica medida en el ánodo del tubo fotomultiplicador es convertida en información que puede ser usada en una computadora por el analista. El resultado final será que la información será presentada en forma de un número el cual representará una intensidad de emisión o concentración de algún elemento de interés[11].

PARTE
EXPERIMENTAL

CAPITULO 3. PARTE EXPERIMENTAL.

3.1 EQUIPO, MATERIAL Y REACTIVOS.

EQUIPO

- ✓ Espectrofotómetro de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo Thermo Jarrell Ash.
- ✓ Horno de microondas Mars 5 con vasos modelo HP-500.
- ✓ Sistema Millipore (10 M Ω Cm). Milli-Q™ Water System.

MATERIAL

Matraces volumétricos (10, 25, 50 y 100 ml).

Pipetas volumétricas (1, 2, 3, 5 y 10 ml).

Probeta graduada (10 ml).

Vasos de precipitado (50, 100 y 250 ml).

Micropipetas (5-50, 20-200, 100-1000 μ l y 1-5 ml).

Mortero con pistilo de porcelana.

Perilla.

Pro pipeta.

Embudo de vidrio.

Agitador magnético.

Barra magnética.

Agitador de vidrio.

Papel Whatman No. 40.

Espátula.

Frascos de polietileno.

Bolsas de polietileno.

Papel aluminio.

REACTIVOS

HCl, marca J.T. Baker al 37.7% (alta pureza).
HNO₃, marca J.T. Baker al 65.6% (alta pureza).
KI, marca J.T. Baker.
NaBH₄, marca Sigma.
NaOH, marca J.T. Baker.
SnCl₂, marca Sigma.
Agua desionizada.

ESTÁNDARES COMERCIALES

Zn (concentración de 997 ppm).
As (concentración de 1000.1 ppm).
Rh (concentración de 998.2 ppm).
Cd (concentración de 998.4 ppm).
Pt (concentración de 998.4 ppm).
Cr (concentración de 997.9 ppm).
Pd (concentración de 998.3 ppm).
Cu (concentración de 997.2 ppm).
Pb (concentración de 998.1 ppm).
Hg (concentración de 997.7 ppm).

3.2 TOMA DE MUESTRA.

Se tomaron un total de 119 muestras, de las cuales 64 son de Tlalnepantla (34 muestras de suelo, 18 muestras de pasto, 12 muestras de agua)[ver mapa 1 en el anexo 1], 29 son de Lerma (11 muestras de suelo, 8 muestras de pasto, 10 muestras de agua)[ver mapa 2 en el anexo 1] y finalmente 26 son del municipio de Nezahualcóyotl (12 muestras de suelo, 9 muestras de pasto, 5 muestras de agua)[ver mapa 3 en el anexo 1].

Todas estas muestras fueron tomadas principalmente en zonas agrícolas, en zonas con alta densidad poblacional así como en zonas con desarrollos industriales muy importantes (con grandes diferencias en los ramos de producción).

Se tomaron cerca de 200 gr de muestra cuando se trataban de muestras sólidas como lo son el suelo y el pasto así como aproximadamente 1 Lt cuando se trataba de muestras de agua. Las muestras de suelo y pasto se colocaron en bolsas de polietileno para evitar posteriores tipos de contaminación debidamente selladas y rotuladas. Las muestras de agua se tomaron directamente en un recipiente de polietileno de los cuerpos acuíferos seleccionados (los cuerpos de agua eran principalmente ríos de aguas residuales, lagunas de aguas lacustres). Dichos recipientes fueron cuidadosamente cerrados y rotulados. La técnica de muestreo fue aleatoria y los lugares que fueron muestreados se encuentran señalados en los mapas municipales presentados en los anexos de esta tesis.

3.3 TRATAMIENTO DE LA MUESTRA.

3.3.1 SECADO.

Finalizada la toma de muestras, todas las que eran sólidas como pasto y suelo fueron puestas al sol para disminuir el porcentaje de humedad con el que contaban. El lugar donde fueron expuestas fue el laboratorio de métodos analíticos de la FES-Cuautitlán que es un lugar con ventilación y espacio suficiente para efectuar el proceso de acondicionamiento de muestras y en el que además existía bajo riesgo de contaminación adicional de las muestras a tratar en cuanto a los analitos que serían cuantificados. También se cuidó que no se presentara crecimiento de microorganismos relacionados con el nivel de humedad existente en cada muestra. Con lo que respecta al agua, únicamente se acidularon las muestras ligeramente para evitar el crecimiento de microorganismos.

Posteriormente, las muestras de suelo fueron puestas en charolas de papel aluminio con una cantidad aproximada de 50 gr de muestra e introducidas en grupos de 6 a una

estufa que se encontraba a 35°C por un tiempo aproximado de 15 horas. El mismo procedimiento se utilizó para el pasto pero debido a la estructura fibrosa del vegetal que variaba de acuerdo a la zona de muestreo en ocasiones se requería un tiempo de secado en la estufa de entre 3 y 5 horas adicionales a la temperatura antes mencionada.

3.3.2 MOLIENDA DE LA MUESTRA.

En el momento en el que las muestras de suelo se encontraban en un nivel de humedad significativamente más bajo se hizo pasar a través de un tamizador del número 10 (2 milímetros) para retirar los sólidos de gran volumen. Esto se realizó con todas las muestras de suelo. Una vez tamizadas, cada muestra fue molida en un mortero de porcelana hasta ser reducidas a polvo con un pistilo. Después de molidas las muestras de suelo fueron puestas en bolsas de plástico perfectamente marcadas y selladas para evitar cualquier contaminación o humedad que dañara a las muestras de suelo.

Las muestras de pasto inmediatamente después de que estuvieran secas también fueron trituradas hasta un apariencia polvosa en un mortero con pistilo y de igual manera fueron guardadas en bolsas de plástico bien señaladas y cerradas para también evitar posible contaminación y humedad.

3.3.3 PROCESO DE DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS.

Todas las muestras fueron sometidas a un proceso de digestión para que puedan ser cuantificadas a través de la técnica analítica en cuestión (Espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo). Los procesos de digestión logran ser muy efectivos cuando logran descomponer de manera satisfactoria a la matriz que contiene al analito que se desea cuantificar. A través de estos procesos de digestión se busca que los analitos logren liberarse de la materia (orgánica e inorgánica) que los contiene de una manera total así como posteriormente dichos analitos, también, logren solubilizarse en el medio de digestión. Normalmente, desde un punto de vista analítico, el éxito de una cuantificación depende de manera directa de la eficiencia del proceso de digestión.

En este trabajo analítico se utilizó para efectuar el proceso de digestión la técnica basada en el uso de un horno de microondas. Como ya se mencionó, dicha técnica tiene muchas ventajas en comparación con los métodos de digestión tradicionales como lo es reducir los tiempos de digestión, ayuda de manera importante a la reducción de posible contaminación de la muestra, se optimiza también la cantidad de reactivo utilizado y de una manera importante también se reduce la cantidad de muestra. Como el dispositivo para llevar a cabo la digestión se encuentra cerrado herméticamente se puede disminuir la pérdida de analitos que puedan poseer alta volatilidad y que al mismo tiempo sean de interés para su cuantificación.

Por lo tanto el proceso de digestión se lleva a cabo utilizando un horno de microondas de la marca Mars 5 y vasos de teflón HP-500, con esto se garantiza eliminar la materia orgánica así como también poder poner a los analitos de interés en solución. Dichos procesos de digestión se encuentran relacionados con las variables que el equipo requiere se establezcan para lograr los resultados deseados. Dichas variables son el % de poder (máxima capacidad de operación del equipo), máxima potencia (potencia en wats desarrollada por el equipo al máximo % de poder), rampa de potencia (es el tiempo establecido en el que se alcanza la temperatura y la presión requerida, la rampa o aumento es gradual), la temperatura y la presión son las requeridas así como el tiempo de operación es el tiempo en el que en forma constante la temperatura y la presión requeridas se mantienen. Una vez terminado este tiempo el proceso de digestión finaliza. Todos los valores de los parámetros utilizados son los óptimos obtenidos a lo largo de muchas pruebas.

El procedimiento para digerir el pasto fue el siguiente:

1. Se pesó 250mg. de muestra de pasto en un vaso de teflón HP-500 usando una balanza analítica para tal propósito.
2. Se adicionaron 10ml. de ácido nítrico concentrado de alta pureza, inmediatamente después se cerraron los vasos de manera hermética y segura hasta completar el carrusel de digestión del horno de microondas.

- Inmediatamente después se colocó el carrusel dentro del horno de microondas y se programó el ciclo de digestión. Es pertinente establecer que para la digestión de pasto se utilizó una rampa de temperatura en el ciclo de digestión. El programa de calentamiento se efectuó como de indica a continuación:

Tabla 2. Programa de digestión para trazas metálicas en pasto.

%poder.	Máxima potencia.	Rampa de potencia(min.)	Temperatura °C	Presión (psi.)	Tiempo de operación (min.)
100	1200	10:00	200	500	10:00

- Una vez realizada la digestión se efectúa la filtración del contenido de los vasos de teflón utilizando papel wattman del numero 40. Una vez filtrada la solución resultante se afora a un volumen de 50 ml. utilizando agua desionizada. Esta solución esta lista para ser cuantificada.

El procedimiento para digerir el agua fue el siguiente:

- Se agregan 10 ml. de la muestra de agua a digerir en un matraz volumétrico de 50 ml.
- Inmediatamente después se agregan 5 ml. de ácido nítrico concentrado de alta pureza y se termina de aforar el sistema a 50 ml. con la misma muestra.
- El contenido del matraz volumétrico aforado se agrega a los vasos de teflón HP-500 del horno de microondas cerrándolos de inmediato de manera hermética hasta completar el carrusel de digestión.
- Finalmente se coloca el carrusel en el horno de microondas y se programa el ciclo de digestión. El ciclo de digestión para componentes volátiles (con este término se caracterizó al arsénico y al mercurio en relación a las presiones de vapor de dichos componentes en la diferentes matrices en la que se encuentren) y no volátiles (son los componentes tales como cadmio, cromo, cobre, plomo, paladio, platino, rodio y zinc en relación de igual manera a las presiones de vapor de dichos analitos en la matriz en las diferentes matrices en las que se encuentran) se programó como se indica a continuación:

Tabla 3. Programa de digestión para trazas metálicas volátiles (agua).

Etapa.	Potencia(%)	Presión(psi)	Potencia(w)	Rampa(min.)	Tiempo de aplicación (min.)	Temp (°C).
1	100	350	1200	10	15	90

Tabla 4. Programa de digestión para trazas metálicas no volátiles (agua).

Etapa.	Potencia(%)	Presión(psi)	Potencia(w)	Rampa(min.)	Tiempo de Aplicación (min.)	Temp (°C).
1	100	350	1200	4	2	140
2	100	350	1200	2	2	180
3	100	350	1200	2	4	200

5. Una vez efectuada la digestión y si se presenta cierto grado de turbiedad se procede a filtrar con papel wattman del numero 40. Si posterior a la digestión se presenta una solución sin turbiedad esto implica que se encuentra lista para ser cuantificada.

El procedimiento para digerir el suelo fue el siguiente:

1. Se pesaron 400mg. de suelo para cada sistema en vasos de teflón HP-500 usando una balanza analítica para tal propósito.
2. Se agregaron 10 ml. de ácido nítrico concentrado de alta pureza cuando se efectuaba digestión para componentes no volátiles. Cuando se efectuaba digestión para componentes volátiles se agregaban 6 ml. de ácido clorhídrico concentrado de alta pureza, 2 ml. de ácido nítrico concentrado de alta pureza además de 10 ml. de agua. Posteriormente se cierran los vasos de manera hermética y segura.
3. Inmediatamente después se programa el ciclo para llevar a cabo la digestión y se inicia dicho proceso. El programa de digestión se efectuó como se indica a continuación:

Tabla 5. Programa de digestión para trazas metálicas volátiles (suelo).

Etapa.	Potencia(%)	Presión(psi)	Potencia(w)	Rampa(min.)	Tiempo de aplicación (min.)	Temp (°C).
1	100	350	1200	10	15	90

Tabla 6. Programa de digestión para trazas metálicas no volátiles (suelo).

Etapa.	Potencia(%)	Presión(psi)	Potencia(w)	Rampa(min.)	Tiempo de Aplicación (min.)	Temp (°C).
1	100	350	1200	4	2	140
2	100	350	1200	2	2	180
3	100	350	1200	2	4	200

- Una vez realizada la digestión se filtra el contenido de los vasos con papel wattman del numero 40 y se afora con agua desionizada hasta un volumen final de 50 ml. Esta solución esta lista para que pueda ser cuantificada.

3.4 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS TRAZAS METÁLICAS

La cuantificación de los analitos de interés como lo son: Cd, Cu, Cr, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn, en las muestras de suelo, pasto y agua se llevo a cabo por espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo utilizando la antorcha tradicional. De acuerdo con los principios teóricos de esta técnica analítica y por su gran sensibilidad se pudieron cuantificar los analitos antes mencionados hasta niveles de ppb. El arsénico y el mercurio fueron cuantificados por espectroscopia de absorción atómica utilizando el generador de hidruros (arsénico) y el vapor frío (mercurio) relacionados con la técnica analítica antes mencionada. Los anterior se efectuó debido a la alta volatilidad que presentan el arsénico y el mercurio. La justificación para utilizar espectroscopia de absorción atómica en lugar de espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo es que con el plasma se debían de cuantificar dichos analitos uno por uno lo cual resultaría extremadamente caro de efectuar si tomamos en cuenta que con el plasma podemos cuantificar hasta 72 elementos en una sola exposición.

3.4.1 CURVAS DE CALIBRACIÓN.

Las curvas de calibración para la determinación de los analitos de interés por espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo se prepararon de la siguiente manera:

1. Se preparó una solución principal multielementos de concentración elevada a partir de estándares de concentración conocida (1000 ppm) de los analitos poco volátiles como lo son: Cd, Cu, Cr, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn.
2. Alícuotas de esta solución principal multielementos se tomaron para obtener las concentraciones requeridas para cada analito y los sistemas formados con la concentración deseada se aforaron hasta un volumen final de 50 ml. con agua desionizada.
3. El blanco que se tomo para correr las curvas de calibración fue una solución de ácido nítrico al 5%.

4. Como ya se comentó anteriormente el arsénico fue cuantificado por espectroscopia de absorción atómica por su alta volatilidad utilizando generador de hidruros. La curva de calibración se preparó para las concentraciones elegidas a las cuales se les agregó 1 ml. de KI al 1% y 1 ml. de HCl 10 M y se aforaron a 50 ml. Lo anterior se llevo a cabo ya que el análisis para arsénico por la técnica de generación de hidruros se debe de efectuar una reducción de arsénico (V) a arsénico (III) a través de yoduro de potasio en medio muy ácido. El proceso de reducción requería de cincuenta minutos para completarse y una vez realizado este procedimiento correr la curva de calibración correspondiente.
5. El mercurio también fue cuantificado por espectroscopia de absorción atómica por su alta volatilidad utilizando vapor frío. La curva de calibración se preparó para las concentraciones elegidas a las cuales se les agregó de 0.5 ml. hasta 2.5 ml. de una mezcla de cloruro estanoso al 25% en HCl al 20% (reductor) para llevar al mercurio (II) al mercurio (I) que es mucho más estable para un proceso de cuantificación por vapor frío.

Tabla 7. Concentraciones para las curvas de calibración.

Analito.	Concentración puntual para curva (ppm).
Cadmio.	0,0.25,0.5,1,3,6,9,12.
Cobre.	0,0.25,0.5,1,3,6,9,12.
Cromo.	0,0.25,0.5,1,3,6,9,12.
Plomo.	0,0.25,0.5,1,3,6,9,12.
Paladio.	0,0.25,0.5,1,3,6,9,12.
Platino.	0,0.25,0.5,1,3,6,9,12.
Rodio.	0,0.25,0.5,1,3,6,9,12.
Zinc.	0,0.25,0.5,1,3,6,9,12.

Volvemos a establecer que la cuantificación de los analitos metálicos de interés se realizó por espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo para los no volátiles (Cd, Cu, Cr, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn) y por espectroscopia de absorción atómica con generación de hidruros y vapor frío para los volátiles (As y Hg).

3.4.2 MÉTODO DE ANÁLISIS PARA LAS TRAZAS METÁLICAS.

Los pasos más representativos para cuantificar trazas metálicas por espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo serán mencionados a continuación.

1. Una vez preparadas todas las curvas de calibración así como los sistemas a analizar se procede a establecer el flujo de argón a una presión de 60 psi, inmediatamente después se enciende el equipo y se espera hasta que se alcance la temperatura óptima (-210°C) que es la temperatura a la cual opera óptimamente el sistema de detección (CID).
2. Cuando el equipo en relación a sus parámetros básicos de operación se encuentra en condiciones óptimas en cuanto a flujos, presión y temperatura se procede a la generación de un campo magnético vía software.
3. Inmediatamente después que el plasma es inicializado se corre la curva de calibración multielementos y posteriormente se pasan las muestras problema. Cabe recordar que el sistema de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo para su operación genera temperaturas de 10000°K por lo cual genera grandes niveles de excitación molecular. Por lo anterior, este equipo como todos los equipos modernos se operan completamente a través de un software específico para las necesidades existentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 CURVAS DE CALIBRACIÓN.

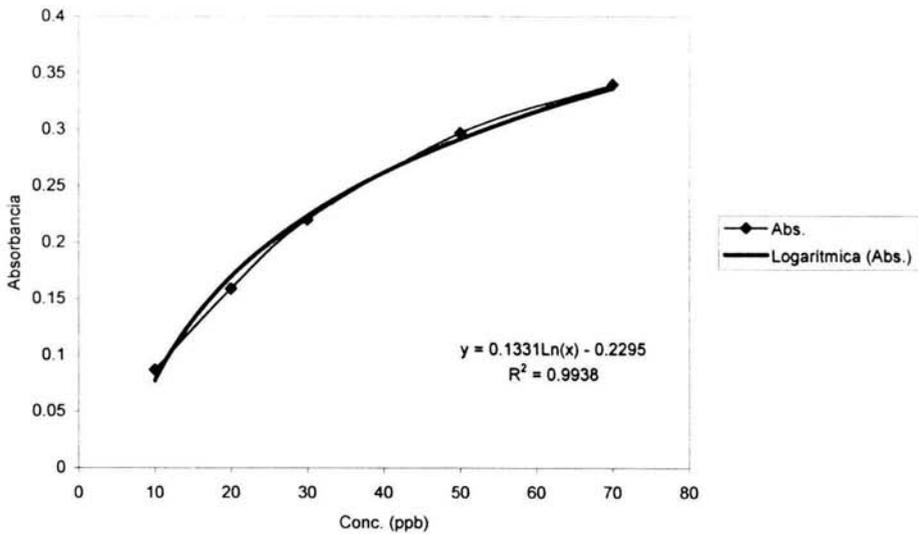
Para llevar acabo la cuantificación de los analitos en el estudio de las muestras de pasto, suelo y agua se realizaron curvas de calibración únicas para el arsénico y el mercurio así como curvas de calibración multielementos para el resto de los componentes de las cuales todas y cada una fueron preparadas a través de soluciones estándar. A continuación se ilustrarán los datos y las curvas de calibración correspondientes a cada analito además de los datos estadísticos relacionados con cada curva. Ahora, para llevar acabo la estadística correspondiente nos apoyaremos en el método lineal para encontrar la ecuación que mejor se ajusta a los datos.

Análisis estadístico para la curva de calibración de As.

En el caso de arsénico y mercurio el estudio se realizo con ayuda del espectrofotómetro de absorción atómica (generador de hidruros y vapor frío). Utilizado la siguiente curva para el As.

Tabla 8. Curva de calibración As.

Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Absorbancia
10	0.0856
20	0.1575
30	0.2192
50	0.2959
70	0.3388



Gráfica 1. Curva de Calibración para As.

El coeficiente de determinación indica que el 99.38 % de la variabilidad observada en la absorción está explicada por los cambios en la concentración de arsénico.

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

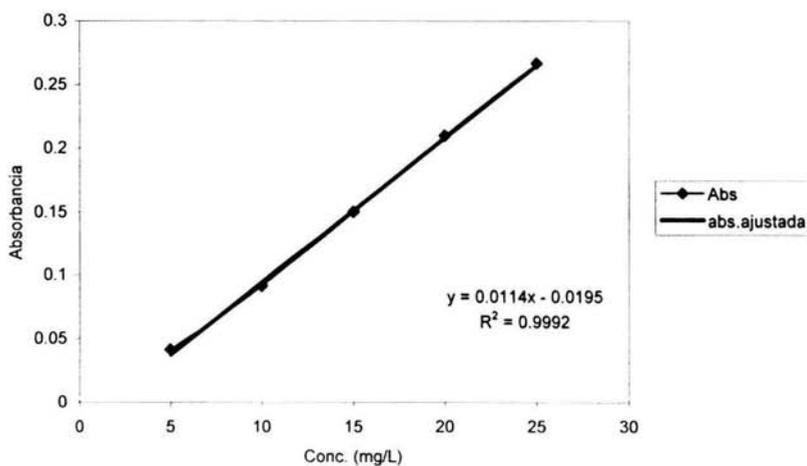
Parámetro	Valor estimado
Intercepto	- 0.2295
Pendiente ($\mu\text{g/L}$)	0.1331
Coef. De correlación (r)	0.9968
Coef. De determinación(r^2)	0.9938

Análisis estadístico para la curva de calibración de Hg.

Tabla 10. Curva de calibración Hg.

Conc.($\mu\text{g/L}$)	Absorbancia
5	0.0405
10	0.0907
15	0.1495
20	0.2011
25	0.2657

Gráfica 2. Curva de Calibración Hg



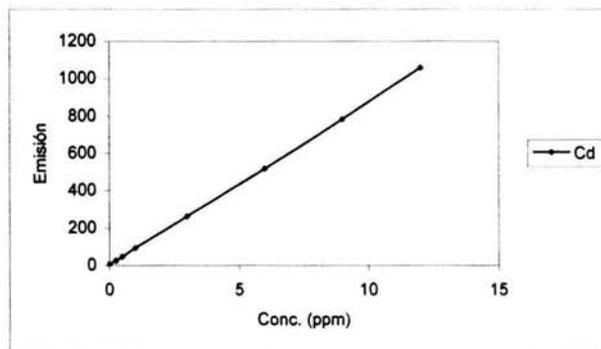
El coeficiente de determinación indica que el 99.92 % de la variabilidad observada en la absorción está explicada por los cambios en la concentración de Hg.

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

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-0.0195
Pendiente ($\mu\text{g/L}$)	0.0114
Coef. de correlación (r)	0.9995
Coef. de determinación (r^2)	0.9992

Análisis estadístico para la curva de calibración Cd (214.4).**Tabla 12 Curva de calibración Cd.**

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
0	0
0.25	21.064
0.5	40.996
1	87.812
3	257.61
6	512.5
9	778.63
12	1052.6

Gráfica 3. Curva de calibración de Cd**Gráfica 3. Curva de calibración de Cd**

El coeficiente de determinación indica que el 99.98 % de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de Cd.

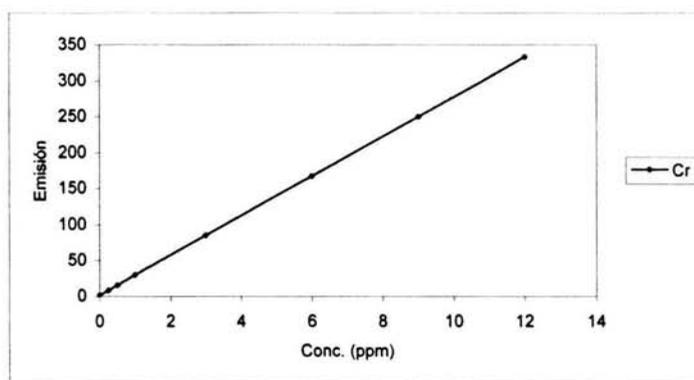
Tabla 13. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Cd.

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-2.4653
Pendiente (mg/L)	87.275
Coef. De correlación (r)	0.9999
Coef. De determinación(r^2)	0.9998

Análisis estadístico para la curva de calibración Cr.

Tabla 14. Curva de calibración Cr.

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
0	0
0.25	6.9048
0.5	14.18
1	28.33
3	83.722
6	166.17
9	248.58
12	331.46



Gráfica 4. Curva de calibración de Cr

El coeficiente de determinación indica que el 100 % de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de Cr.

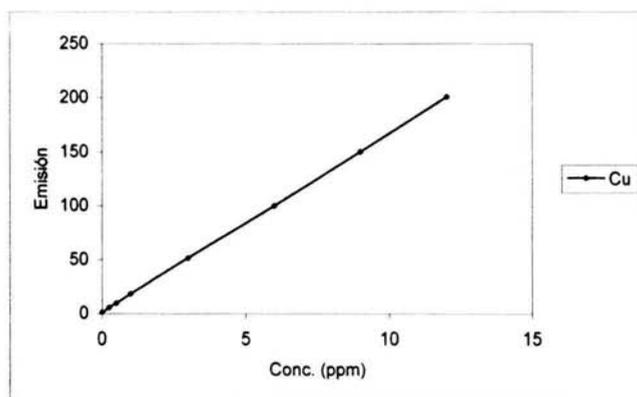
Tabla 15. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Cr.

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	0.3875
Pendiente (mg/L)	27.598
Coef. de correlación (r)	1
Coef. de determinación (r^2)	1

Análisis estadístico para la curva de calibración Cu.

Tabla 16. Curva de calibración Cu.

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
0.25	4.7676
0.5	8.8315
1	17.54
3	50.604
6	99.032
9	149.34
12	199.88



Gráfica 5. Curva de calibración de Cu

El coeficiente de determinación indica que el 100 % de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de Cu.

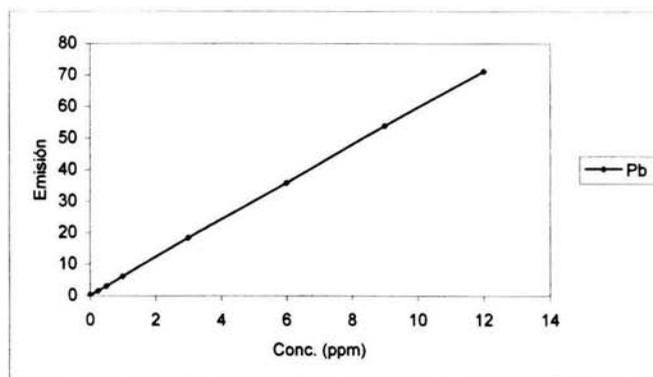
Tabla 17. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Cu.

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	0.4693
Pendiente (mg/L)	16.575
Coef. de correlación (r)	1
Coef. de determinación (r^2)	1

Análisis estadístico para la curva de calibración Pb.

Tabla 18. Curva de calibración Pb.

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
0.25	1.2549
0.5	2.7132
1	5.8574
3	18.051
6	35.537
9	53.613
12	70.818



Gráfica 6. Curva de calibración de Pb

El coeficiente de determinación indica que el 99.99 % de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de Pb.

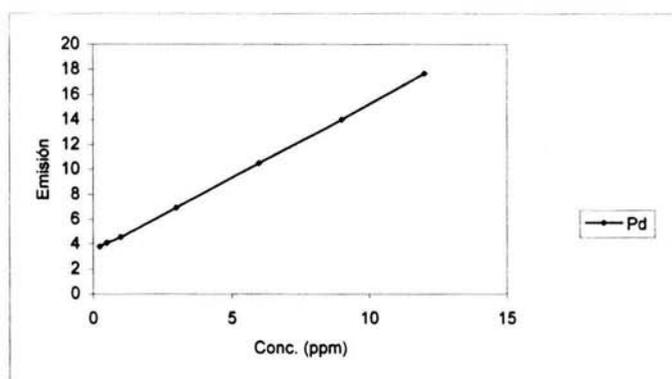
Tabla 19. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Pb.

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-0.0561
Pendiente (mg/L)	5.9305
Coef. de correlación (r)	0.9999
Coef. de determinación (r^2)	0.9999

Análisis estadístico para la curva de calibración Pd.

Tabla 20. Curva de calibración Pd.

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
0.25	3.7231
0.5	4.0338
1	4.491
3	6.8543
6	10.417
9	13.924
12	17.588



Gráfica 7. Curva de calibración de Pd

El coeficiente de determinación indica que el 99.99 % de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de Pd.

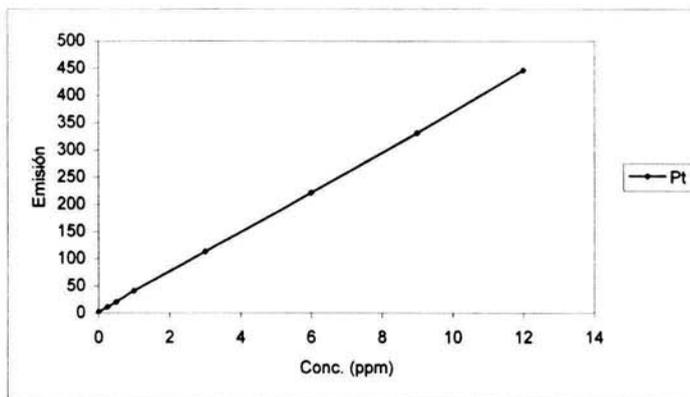
Tabla 21. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Pd

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	3.3724
Pendiente (mg/L)	1.1787
Coef. de correlación (r)	0.9999
Coef. de determinación (r^2)	0.9999

Análisis estadístico para la curva de calibración Pt.

Tabla 22. Curva de calibración Pt.

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
0.25	9.5509
0.5	18.464
1	38.957
3	110.87
6	219.33
9	329.07
12	444.78



Gráfica 8. Curva de Calibración de Pt

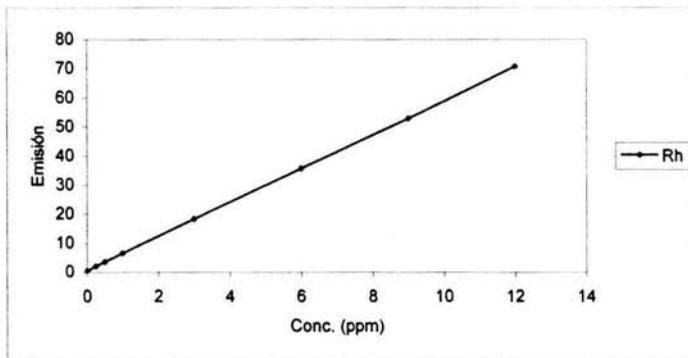
El coeficiente de determinación indica que el 99.99 % de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de Pt.

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

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	0.2335
Pendiente (mg/L)	36.824
Coef. de correlación (r)	0.9999
Coef. de determinación (r^2)	0.9999

Análisis estadístico para la curva de calibración Rh.**Tabla 24. Curva de calibración Rh.**

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
0.25	1.6512
0.5	3.184
1	6.2174
3	18.093
6	35.295
9	52.586
12	70.504

**Gráfica 9. Curva de calibración de Rh**

El coeficiente de determinación indica que el 99.99 % de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de Rh.

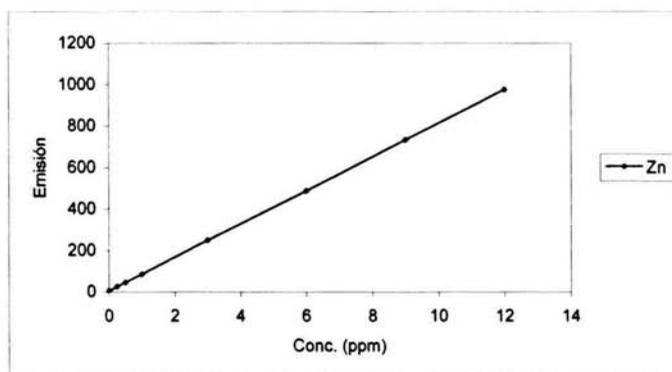
Tabla 25. Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de Rh.

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	0.2433
Pendiente (mg/L)	5.8452
Coef. de correlación (r)	0.9999
Coef. de determinación (r ²)	0.9999

Análisis estadístico para la curva de calibración Zn.

Tabla 26. Curva de calibración Zn.

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
0.25	21.23
0.5	41.394
1	82.287
3	244.26
6	483.3
9	727.66
12	971.92



Gráfica 10. Curva de calibración de Zn

El coeficiente de determinación indica que el 100 % de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de Zn.

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

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	0.7111
Pendiente (mg/L)	80.83
Coef. de correlación (r)	1
Coef. de determinación (r ²)	1

4.2.RESULTADOS DE pH PARA SUELO Y AGUA.

Las mediciones de pH para suelo fueron efectuadas de acuerdo a la norma mexicana para la protección al ambiente[22]. La metodología efectuada fue la siguiente:

1. Se calibra el potenciómetro con soluciones amortiguadoras de pH =4 y pH =7.
2. Se pesan 2 gr. de cada muestra.
3. Se añaden 18 ml. de agua destilada y desionizada.
4. Es agitado el sistema por medio de un agitador magnético durante 10 minutos.
5. La solución se deja reposar durante 30 minutos y al término de este tiempo se inician las mediciones.

Los resultados son los siguientes:

Tabla 28.Resultados de pH para el suelo.

Nombre de la muestra.	Valor de pH.
Tlalnepantla 1	8.22
Tlalnepantla 2	8.11
Tlalnepantla 3	7.56
Tlalnepantla 4	8.80
Tlalnepantla 5	7.81
Tlalnepantla 6	8.75
Tlalnepantla 7	7.69
Tlalnepantla 8	9.51
Tlalnepantla 9	7.70
Tlalnepantla 10	7.43
Tlalnepantla 11	7.20
Tlalnepantla 12	6.83
Tlalnepantla 13	7.44
Tlalnepantla 14	7.66
Tlalnepantla 15	9.01
Tlalnepantla 16	7.11
Tlalnepantla 17	7.95

Tlalnepantla 18	7.06
Tlalnepantla 19	9.16
Tlalnepantla 20	8.69
Tlalnepantla 21	7.30
Tlalnepantla 22	7.23
Tlalnepantla 23	10.05
Tlalnepantla 24	8.24
Tlalnepantla 25	8.10
Tlalnepantla 26	8.19
Tlalnepantla 27	7.41
Tlalnepantla 28	7.79
Tlalnepantla 29	7.87
Tlalnepantla 30	7.85
Tlalnepantla 31	10.47
Tlalnepantla 32	8.89
Tlalnepantla 33	7.45
Tlalnepantla 34	7.38
Lerma 1	7.24
Lerma 2	7.11
Lerma 3	7.55
Lerma 4	7.33
Lerma 5	7.38
Lerma 6	5.79
Lerma 7	6.92
Lerma 8	6.02
Lerma 9	5.76
Lerma 10	5.60
Lerma 11	7.04
Neza 1	8.19
Neza 2	8.18

Neza 3	8.02
Neza 4	9.88
Neza 5	7.69
Neza 6	7.52
Neza 7	10.53
Neza 8	7.78
Neza 9	9.45
Neza 10	7.68
Neza 11	8.06
Neza 12	7.71

Las mediciones para el pH del agua se efectuaron de manera tradicional utilizando un electrodo de vidrio. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 29. Resultados de pH para el agua.

Nombre de la muestra.	Valor de pH.
Tlalnepantla 1	9.15
Tlalnepantla 2	8.10
Tlalnepantla 3	8.55
Tlalnepantla 4	7.18
Tlalnepantla 5	6.99
Tlalnepantla 6	7.12
Tlalnepantla 7	8.13
Tlalnepantla 8	7.32
Tlalnepantla 9	7.24
Tlalnepantla 10	7.17
Tlalnepantla 11	8.80
Tlalnepantla 12	7.30
Lerma 1	10.35
Lerma 2	7.33
Lerma 3	7.12
Lerma 4	10.04
Lerma 5	8.12
Neza 1	9.17
Neza 2	8.32
Neza 3	8.80
Neza 4	8.25
Neza 5	7.43

Con respecto al pasto no se tiene norma oficial que acredite una metodología para la medición de pH. La localización y descripción de cada punto establecido se encuentra en los mapas 1,2 y 3 del anexo 1.

4.3 RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE TRAZAS METÁLICAS EN MUESTRAS DE SUELO, PASTO Y AGUA PARA LOS MUNICIPIOS ANALIZADOS.

Los resultados de las concentraciones obtenidos para cada analito, esto es para arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, paladio, plomo, platino, rodio y zinc, a través de espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo así como también con absorción atómica son analizados en las secciones siguientes. Se efectuará un análisis estadístico para ver si existe alguna relación entre las concentraciones obtenidas y el tipo de zona donde fue realizado el muestreo. Debido a lo anterior se utilizará un paquete computacional denominado Statgraphics 4.0 para efectuar dicho análisis de la manera más certera.

TLALNEPANTLA.

Tabla 30. Concentración en SUELO (mg/Kg muestra seca) para el municipio de Tlalnepantla.

MTA	ZONA	TV*	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Pd	Pt	Zn
1	urbana	a	5.98	0.32	2.10	39.24	163.38	160.13	130.88	0.54	415.13
2	urbana	a	2.74	0.12	1.38	38.94	63.23	154.13	121.60	0.04	193.50
3	industrial	a	2.88	0.25	3.29	72.16	237.50	281.63	136.00	1.18	504.75
4	urbana	a	15.43	0.09	2.36	59.60	176.88	309.38	131.25	0.68	422.00
5	industrial	a	3.80	0.10	3.59	145.38	277.13	742.50	138.25	0.35	503.38
6	urbano	a	7.85	0.41	1.40	31.84	935.88	1230.38	122.48	0.21	270.25
7	urbano	a	5.54	8.58	1.84	53.15	80.71	356.00	130.00	0.28	503.38
8	urbano	b	2.54	0.25	1.60	28.99	40.46	25.04	109.33	0.00	97.78
9	industrial	b	21.13	7.32	2.73	53.75	93.28	484.75	118.38	0.79	447.50
10	industrial	a	12.41	0.12	1.79	36.38	131.50	273.13	123.13	0.18	209.13
11	industrial	a	5.19	0.13	1.84	78.53	152.38	359.25	132.50	0.21	550.75
12	urbano	b	20.00	1.74	1.73	31.50	1167.00	122.49	123.55	0.44	873.50
13	industrial	a	1.27	0.15	2.40	80.38	148.88	426.50	132.38	0.75	275.13
14	industrial	b	11.80	0.22	3.06	39.98	157.63	527.63	125.13	0.94	1445.00
15	industrial	a	1.94	0.30	2.34	54.83	207.38	314.25	126.25	0.13	1778.75
16	urbano	b	1.81	0.27	0.80	61.30	33.48	212.63	0.00	0.60	150.50
17	industrial	a	7.24	0.14	1.81	46.95	121.75	209.25	0.00	0.43	323.38
18	industrial	a	4.05	0.33	2.66	45.89	175.88	366.50	0.00	1.95	658.25
19	urbano	a	1.14	0.39	1.53	51.94	265.75	262.50	0.00	0.81	470.38
20	urbano	a	6.24	0.20	1.33	48.18	345.88	170.50	0.00	0.65	524.38
21	urbano	a	2.87	0.12	1.45	47.28	114.05	187.25	0.00	0.78	281.25
22	urbano	a	1.95	0.13	1.74	53.74	185.88	252.25	0.00	1.16	330.63
23	urbano	a	4.73	0.36	1.99	42.20	63.16	204.50	0.00	1.46	295.63

24	industrial	a	1.00	0.13	0.54	162.75	55.60	622.25	3.08	0.28	125.38
25	industrial	a	11.61	0.49	1.88	44.34	97.85	950.88	0.00	1.43	370.13
26	industrial	a	2.80	0.23	1.81	88.33	234.88	454.13	0.00	0.88	660.25
27	urbano	a	2.17	1.70	1.46	98.13	117.99	120.83	0.00	0.88	571.13
28	industrial	a	16.44	0.97	4.74	64.89	142.25	419.63	0.00	3.18	768.75
29	industrial	a	9.97	0.32	0.79	31.30	74.84	118.06	0.00	0.50	144.63
30	industrial	a	4.15	0.25	1.24	56.94	199.75	180.13	0.00	0.58	423.38
31	industrial	a	4.15	0.39	2.54	557.88	294.13	330.75	136.38	0.70	432.13
32	industrial	a	7.89	0.14	3.28	129.13	325.50	620.63	0.00	1.98	405.75
33	urbano	b	2.57	0.36	0.59	38.66	45.34	16.64	0.00	0.26	95.33
34	industrial	a	3.52	0.85	1.41	134.50	181.13	144.13	0.00	1.04	466.13

TV = Transito vehicular: a = alto, b = bajo.

Tabla 31. Concentración en PASTO (mg/Kg muestra seca) para el municipio de Tlalnepantla.

MTA	ZONA	TV*	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Pd	Pt	Zn
1	urbano	a	4.268	0.132	3.16	53.4	30.96	265.4	187.84	2.06	215.8
2	industrial	a	4.484	0.082	3.76	9.8	37.2	30.72	176.86	2.2	173.46
3	industrial	a	5.26	0.07	3.74	2.66	30.5	30.7	183.3	2.2	129.02
4	urbano	a	5.122	0.676	3.44	5.42	31.44	28.46	182.3	2.04	227.4
5	industrial	b	4.778	0.766	3.42	6.34	30.66	39.86	183.6	2.14	228.8
6	urbano	a	4.904	0.048	3.12	2.34	22.54	17.94	175.82	2.04	154.44
7	urbano	a	4.556	0.692	3.58	7.1	27.52	64.82	177.64	1.92	232
8	industrial	a	1.404	0.616	3.98	48.36	47.44	62.66	193.4	2.14	205.6
9	urbano	b	3.676	0.03	3.92	48.46	47.14	62.56	187.96	2.14	205.8
10	urbano	a	4.764	0.556	3.06	0.84	15.88	13.46	178.4	1.92	97.18
11	industrial	a	7.902	0.088	3.62	10.4	41.06	28.84	171.48	2.2	287.6
12	industrial	a	5.968	0.05	3.06	2.04	14.3	12.88	190.48	1.96	107.44
13	urbano	a	4.828	0.564	3.76	13.44	43.46	78.8	183.84	2.2	331.6
14	urbano	b	1.894	0.61	3.68	9.9	36.54	53.94	181.26	2.22	289.2
15	industrial	a	4.856	0.586	3.44	7.16	103.12	27.54	177.98	2.08	302.6
16	urbano	b	4.686	0.724	4.56	1.7	18.84	27.28	182.4	2.64	207.2
17	urbano	b	4.848	0.556	3.46	9.8	21.4	9.82	178.62	2.1	142.68
18	urbano	a	4.982	0.654	3.28	3	18.14	9.84	181.28	2.02	239.4

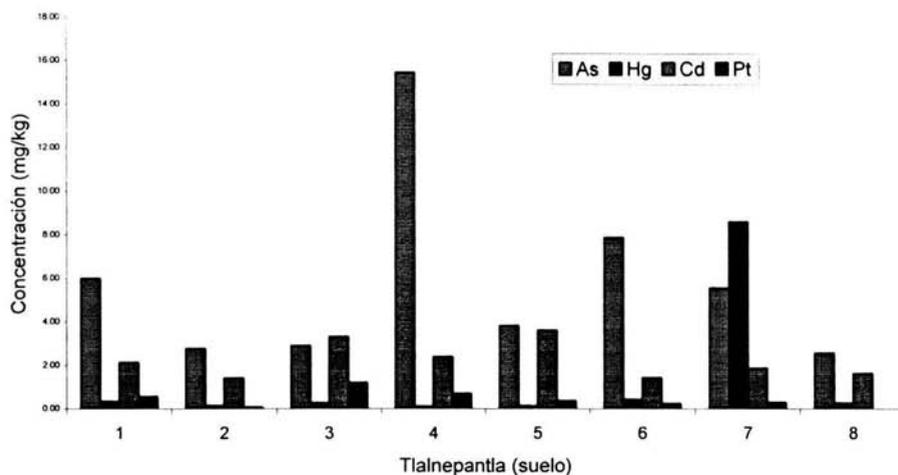
TV = Transito vehicular: a = alto, b = bajo.

Concentración de analito (mg/Kg).

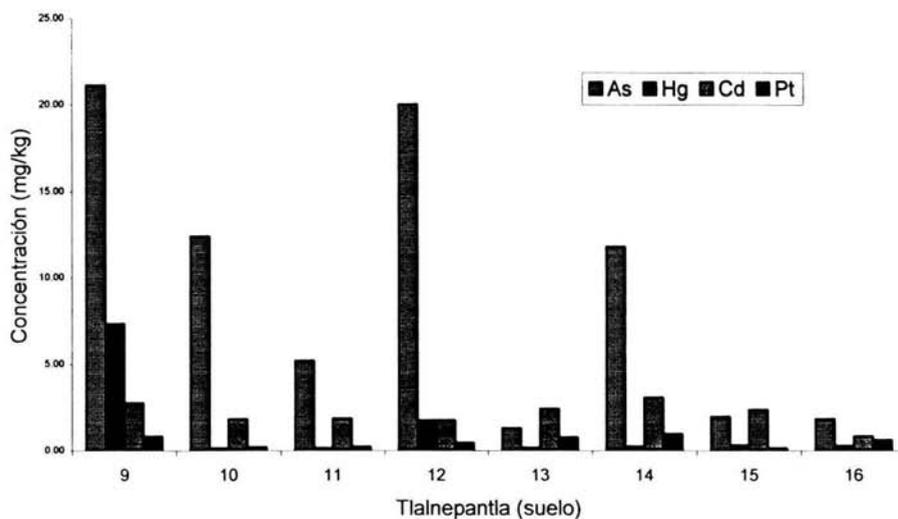
Tabla 32. Concentración en AGUA (mg/L) para el municipio de Tlalnepantla

M	ZONA	TV	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Pd	Pt	Zn
1	urbano	b	0.0068	0.0035	0.0159	0.0456	0.0311	0.0396	0.8106	0.0106	0.4808
2	urbano	b	0.0336	0.0001	0.0141	0	0.0175	0.0317	0.8043	0.009	0.124
3	indust	a	0.02834	0.00022	0.0129	0.0019	0.0415	0.0287	0.8032	0.0093	0.234
4	urbano	b	0.03108	0.00304	0.0142	0.0563	0.1312	0.0184	0.8096	0.0084	0.2278
5	indust	a	0.03315	0.00335	0.0177	0.0472	0.1514	0.053	0.81	0.0082	10.66
6	urbano	a	0.03063	0.00341	0.0161	0.0518	0.0289	0.0305	0.7457	0.0109	0.4522
7	urbano	a	0.03364	0.0031	0.0135	0.0108	0.0109	0.0149	0.7853	0.0092	0.1121
8	indust	a	0.0312	0.0035	0.0142	0.0628	0.0754	0.0274	0.7946	0.0089	0.1913
9	indust	a	0.03001	0.00215	0.0138	0.0142	0.0476	0.0236	0.8023	0.009	0.2327
10	indust	a	0.03518	0.00342	0.0168	0.0589	0.1609	0.0352	0.8169	0.0082	10.54
11	urbano	a	0.02651	0.00029	0.014	0.072	0.1195	0.0245	0.8422	0.0087	0.2351
12	urbano	a	0.03041	0.00388	0.0142	0.0774	0.0655	0.0206	0.7882	0.0085	0.1828

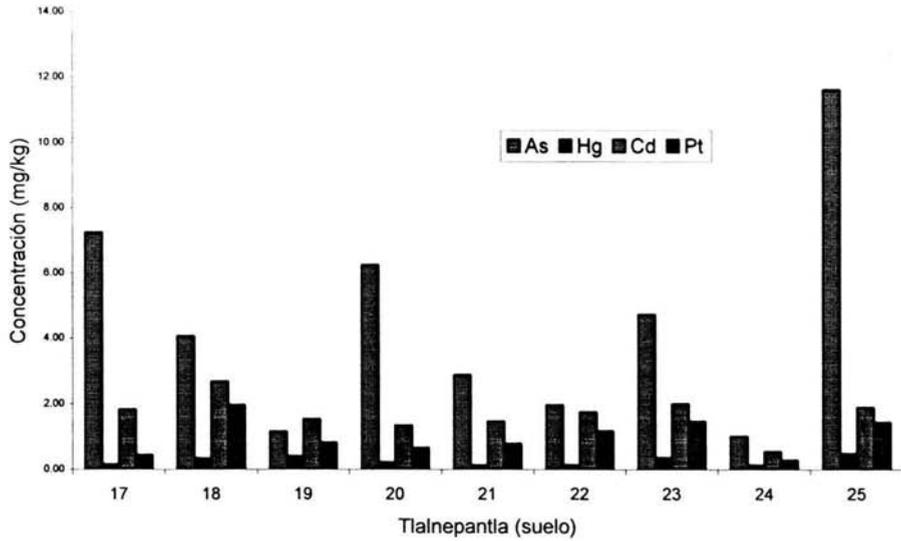
TV = Transito vehicular: a = alto, b = bajo.



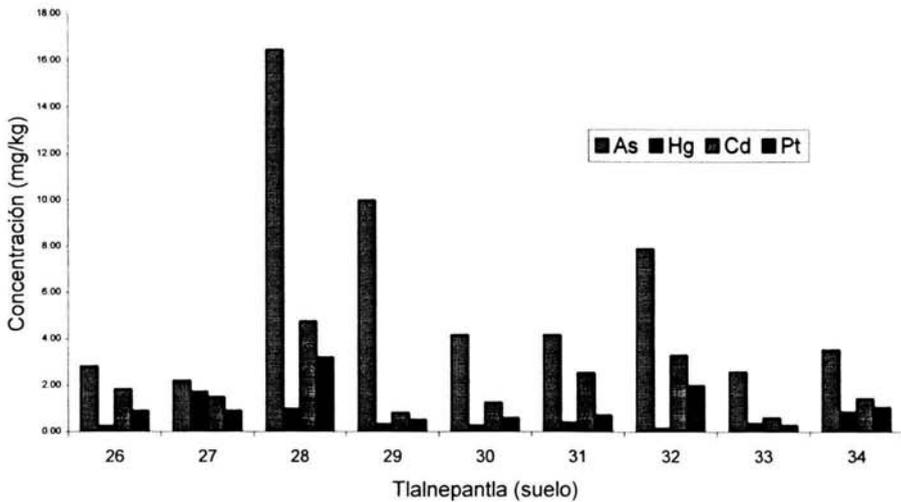
Gráfica 11. Resultados para las muestras de suelo de Tlalnepantla (As, Hg, Cd, Pt)



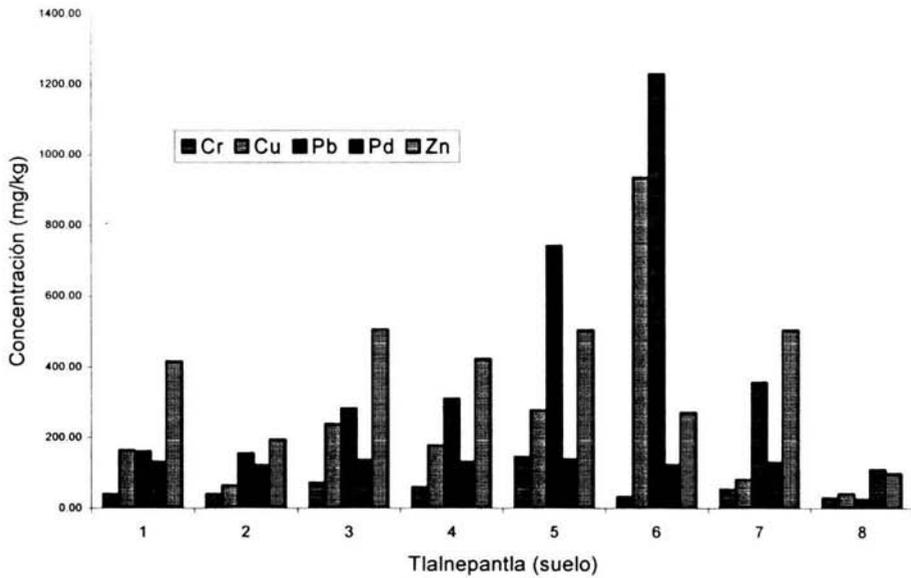
Gráfica 12. Resultados para las muestras de suelo de Tlalnepantla (As, Hg, Cd, Pt)



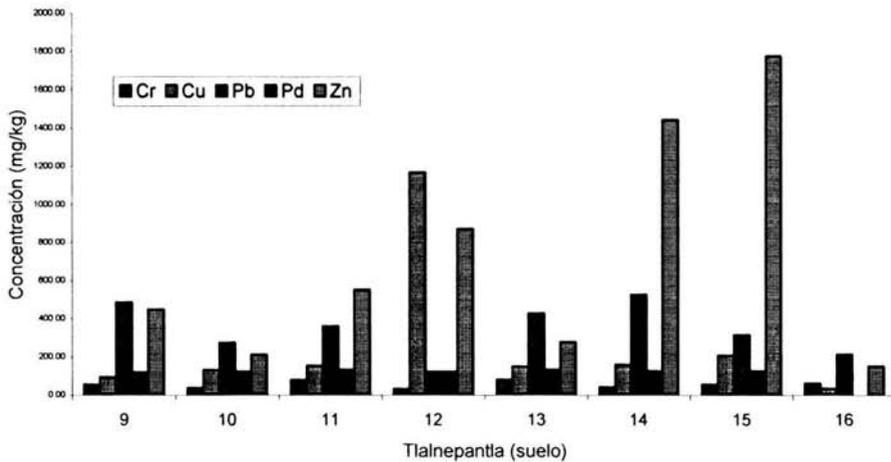
Gráfica 13. Resultados para las muestras de suelo de Tlalnepantla (As, Hg, Cd, Pt)



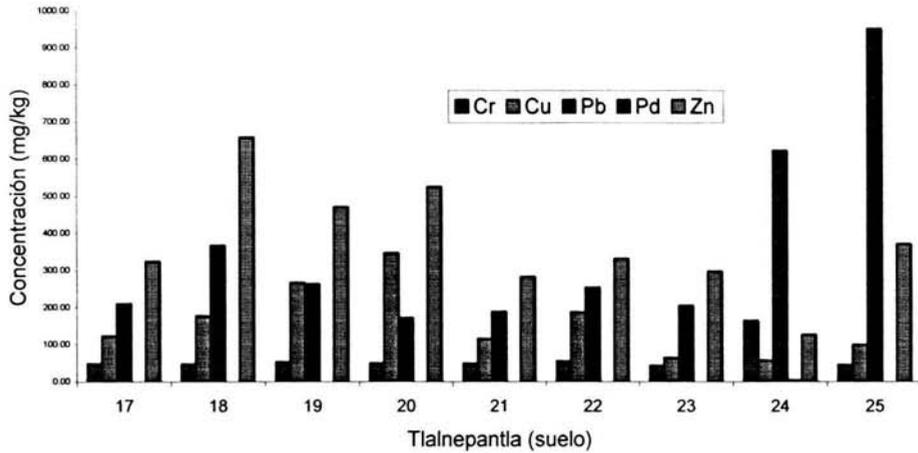
Gráfica 14. Resultados para las muestras de suelo de Tlalnepantla (As, Hg, Cd, Pt)



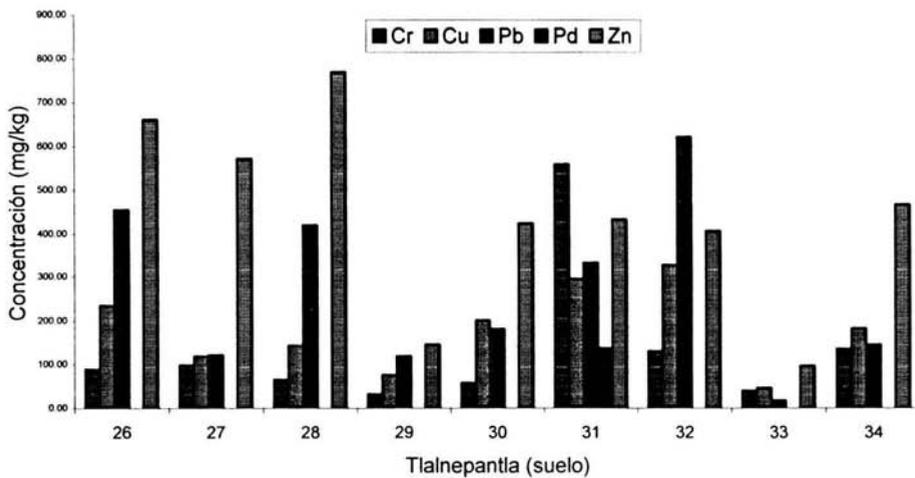
Gráfica 15. Resultados para las muestras de suelo de Tlalnepantla (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



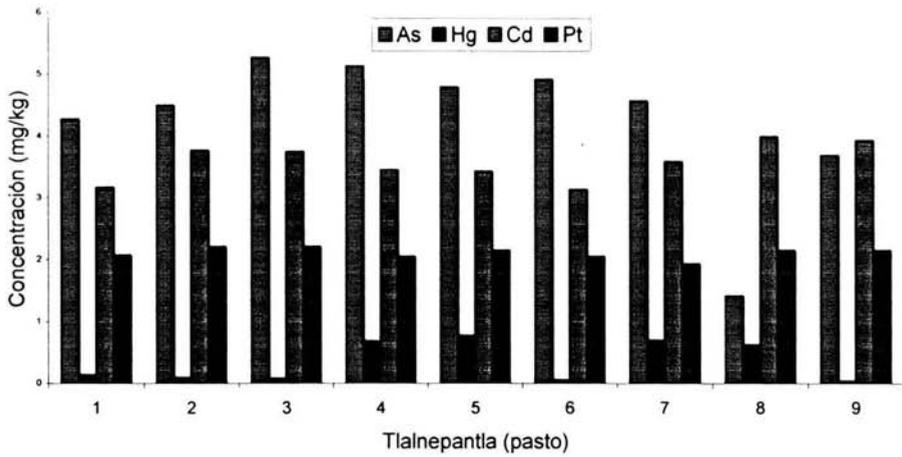
Gráfica 16. Resultados para las muestras de suelo de Tlalnepantla (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



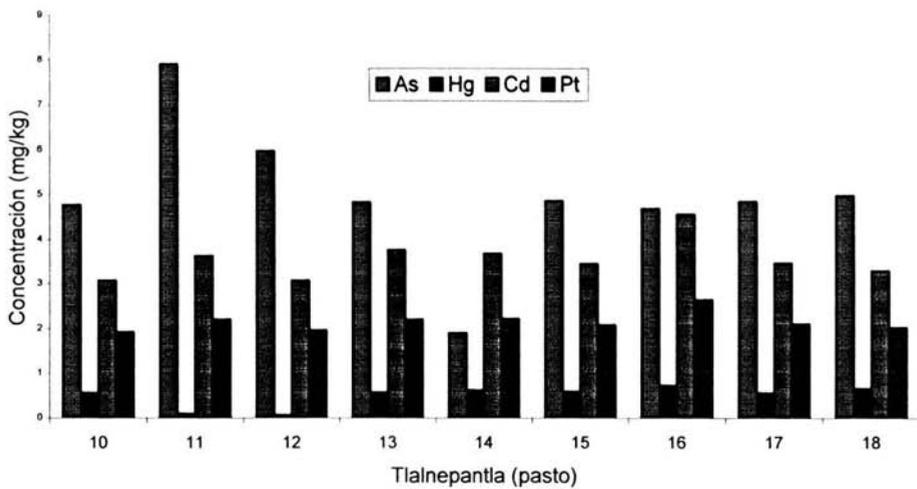
Gráfica 17. Resultados para las muestras de suelo de Tlalnepantla (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



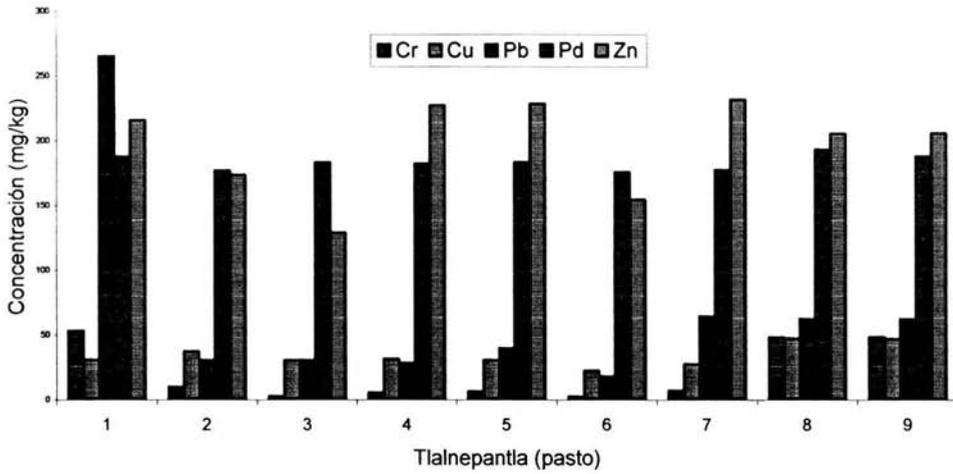
Gráfica 18. Resultados para las muestras de suelo de Tlalnepantla (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



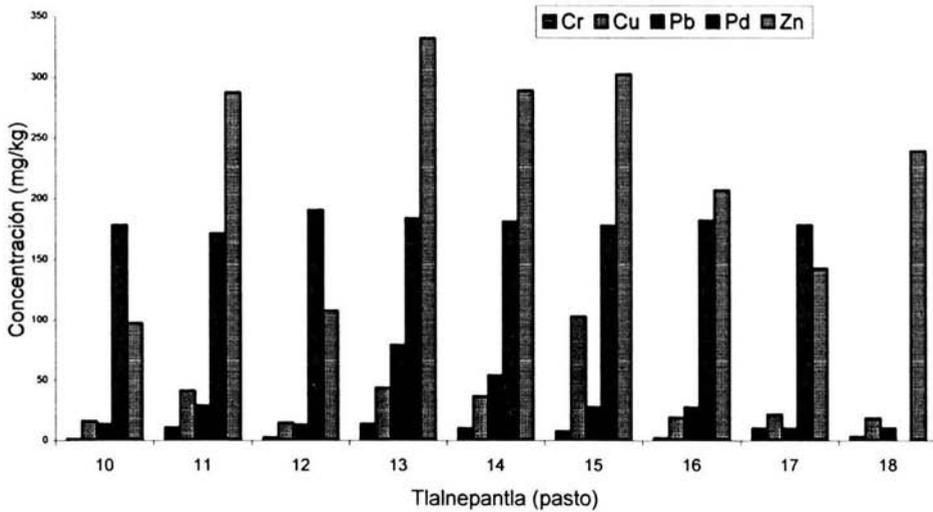
Gráfica 19. Resultados para las muestras de pasto de Tlalnepantla (As, Hg, Cd, Pt)



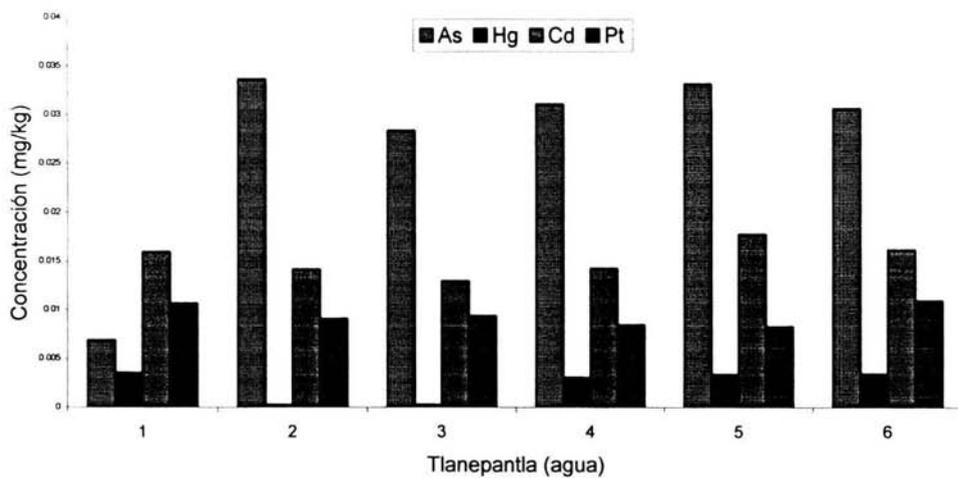
Gráfica 20. Resultados para las muestras de pasto de Tlalnepantla (As, Hg, Cd, Pt)



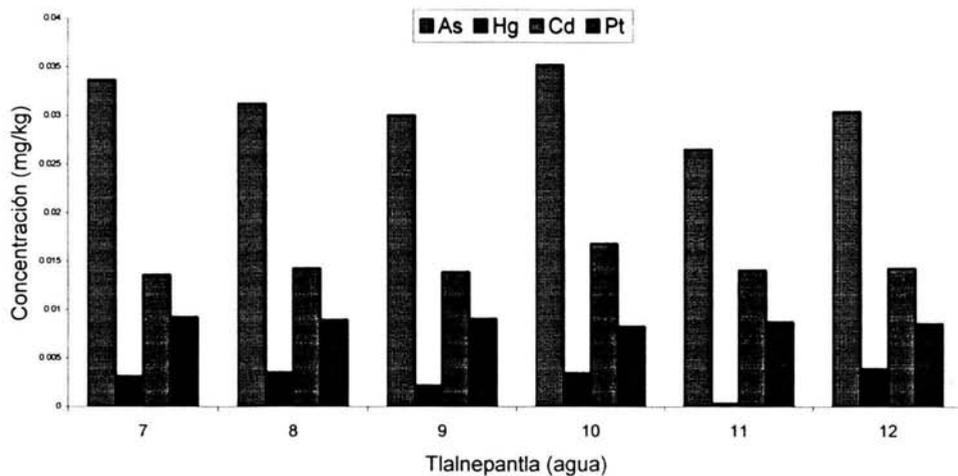
Gráfica 21. Resultados para las muestras de pasto de Tlalnepantla (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



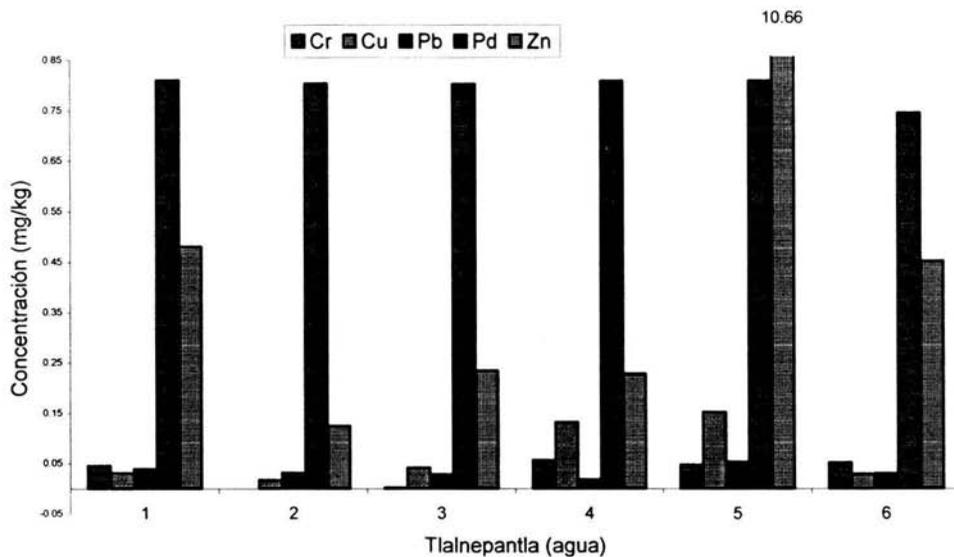
Gráfica 22. Resultados para las muestras de pasto de Tlalnepantla (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



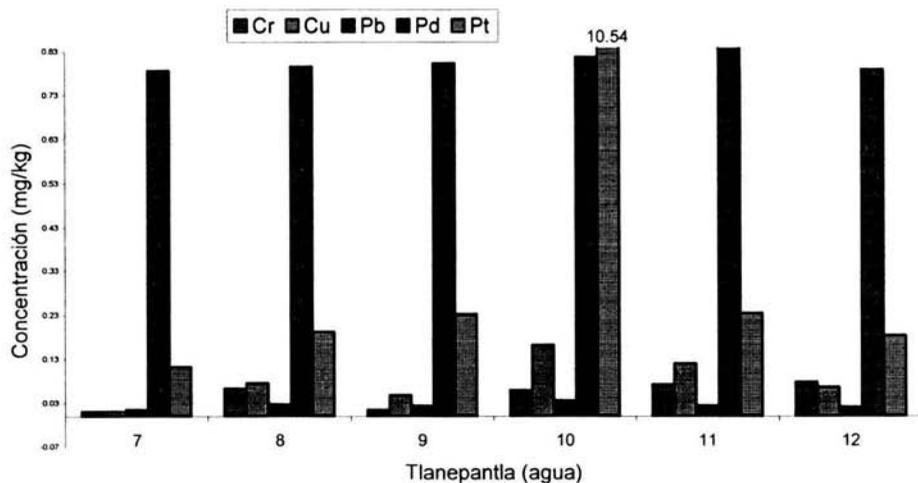
Gráfica 23. Resultados para las muestras de agua de Tlalnepantla (As, Hg, Cd, Pt)



Gráfica 24. Resultados para las muestras de agua de Tlalnepantla (As, Hg, Cd, Pt)



Gráfica 25. Resultados para las muestras de agua de Tlalnepantla (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



Gráfica 26. Resultados para las muestras de agua de Tlalnepantla (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)

LERMA.

Tabla 33. Concentración en SUELO (mg/Kg muestra seca) para el municipio de Lerma

M	ZONA	TV*	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Pd	Pt	Zn
1	urbano	a	0.838	0.078	0.163	12.475	24.925	25.738	0.000	0.450	52.150
2	urbano	a	3.098	0.191	0.438	19.963	29.775	6.500	0.000	0.495	42.263
3	industrial	b	2.015	0.470	0.225	18.488	35.875	8.225	0.000	0.375	31.375
4	urbano	a	2.546	0.108	0.688	22.513	53.038	44.900	0.000	0.840	128.000
5	industrial	b	1.729	0.113	5.475	41.050	121.450	52.025	0.000	5.730	151.250
6	urbano	a	1.699	0.124	0.238	20.800	27.888	30.725	0.000	0.330	58.900
7	agrícola	b	0.693	0.321	0.250	28.288	23.225	11.450	0.000	0.570	39.463
8	agrícola	b	2.946	0.718	4.200	131.125	72.925	42.838	2.988	4.305	359.500
9	agrícola	b	1.960	1.049	1.488	41.313	62.888	31.375	0.000	1.320	114.925
10	agrícola	b	1.229	0.446	0.450	14.350	25.913	44.213	0.000	0.825	55.788
11	agrícola	b	1.715	0.456	1.738	50.913	65.913	32.475	0.000	1.470	99.563

TV = Transito vehicular: a = alto, b = bajo.

Tabla 34. Concentración en PASTO (mg/Kg muestra seca) para el municipio de Lerma

M	ZONA	TV*	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Pd	Pt	Zn
1	agrícola	b	4.504	0.676	2.600	10.180	16.90	17.38	147.76	2.20	80.44
2	agrícola	b	5.338	0.158	11.66	183.74	147.98	78.22	192.72	9.24	720.60
3	industrial	b	0.894	0.594	4.080	6.44	41.02	16.04	161.78	3.26	138.58
4	agrícola	b	3.928	0.026	2.440	5.50	21.36	15.38	163.48	1.84	112.36
5	agrícola	b	4.902	0.126	2.640	7.76	39.56	38.68	162.56	2.28	113.72
6	urbano	a	4.402	0.562	3.260	19.70	26.02	19.04	164.44	2.32	82.64
7	urbano	a	5.124	0.656	2.540	4.16	30.90	15.76	169.66	2.10	102.60
8	urbano	a	4.450	0.736	2.600	1.06	18.68	15.32	175.74	2.04	140.64
9	industrial	b	4.582	0.596	2.620	3.06	24.08	15.78	182.66	1.96	96.10

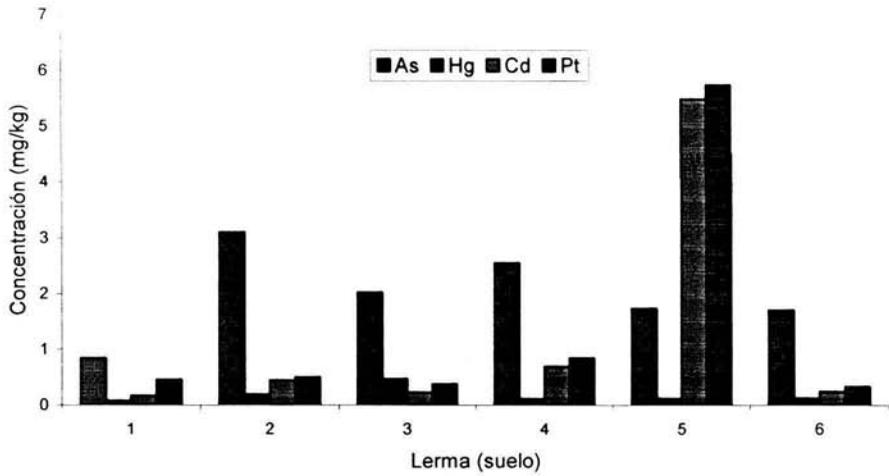
TV = Transito vehicular: a = alto, b = bajo.

Concentración de analito (mg/Kg).

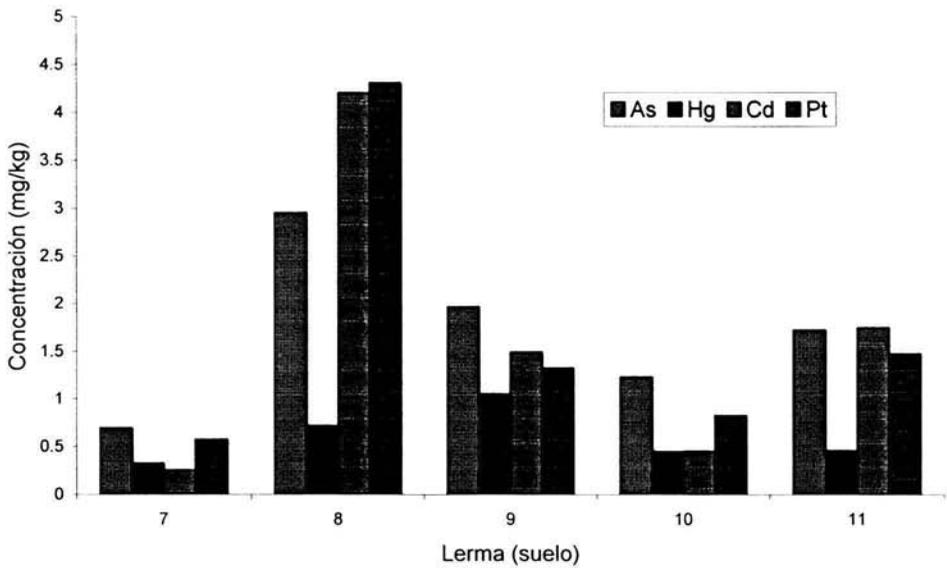
Tabla 35. Concentración en AGUA (mg/L) para el municipio de Lerma

M	ZONA	TV	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Pd	Pt	Zn
1	indust	b	0.0291	0.0029	0.0135	0.0016	0.0092	0.0165	0.7837	0.0081	0.0325
2	indust	b	0.0398	0.0000	0.0172	0.0497	0.0273	0.0085	0.7275	0.0105	0.2282
3	agrícola	b	0.0048	0.0029	0.0137	0.0014	0.026	0.0115	0.6738	0.0085	0.1528
4	agrícola	b	0.0308	0.0029	0.0132	0.0004	0.0062	0.008	0.8103	0.0078	0.0222
5	agrícola	b	0.0309	0.0030	0.0137	0.0659	0.0273	0.013	0.7719	0.0095	0.0862

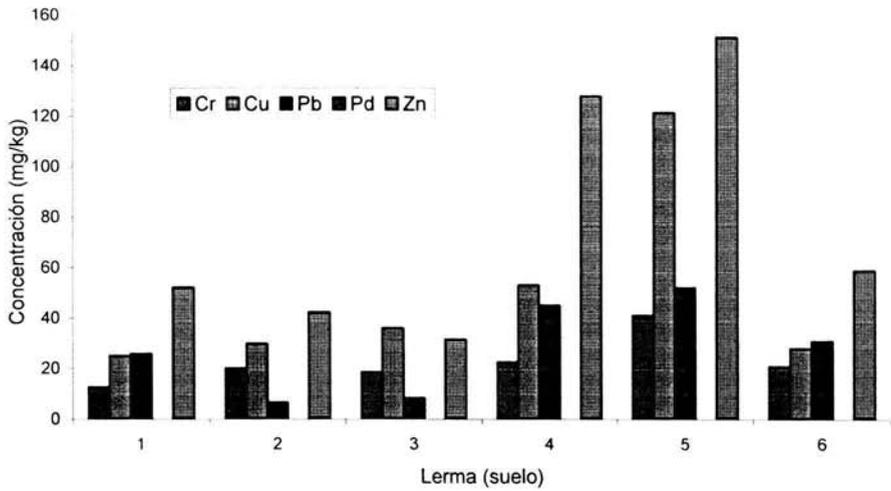
TV = Transito vehicular: a = alto, b = bajo.



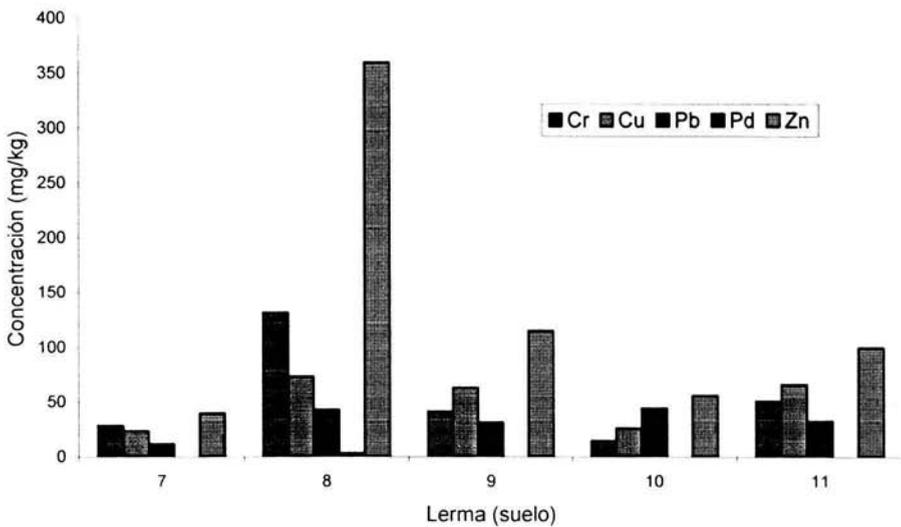
Gráfica 27. Resultados para las muestras de suelo de Lerma (As, Hg, Cd, Pt)



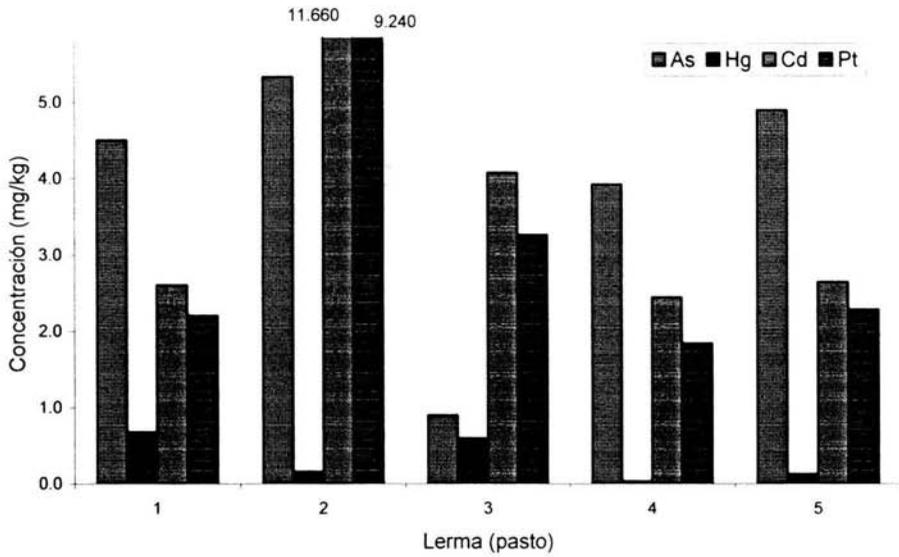
Gráfica 28. Resultados para las muestras de suelo de Lerma (As, Hg, Cd, Pt)



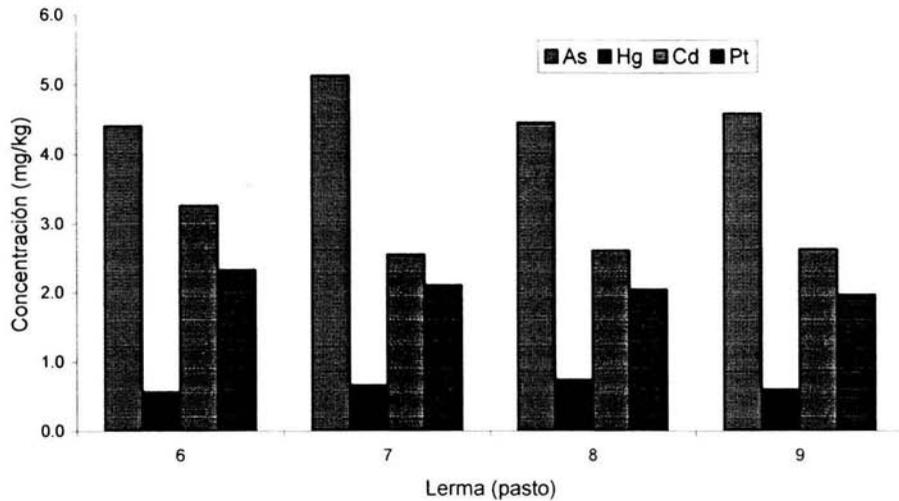
Gráfica 29. Resultados para las muestras de suelo de Lerma (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



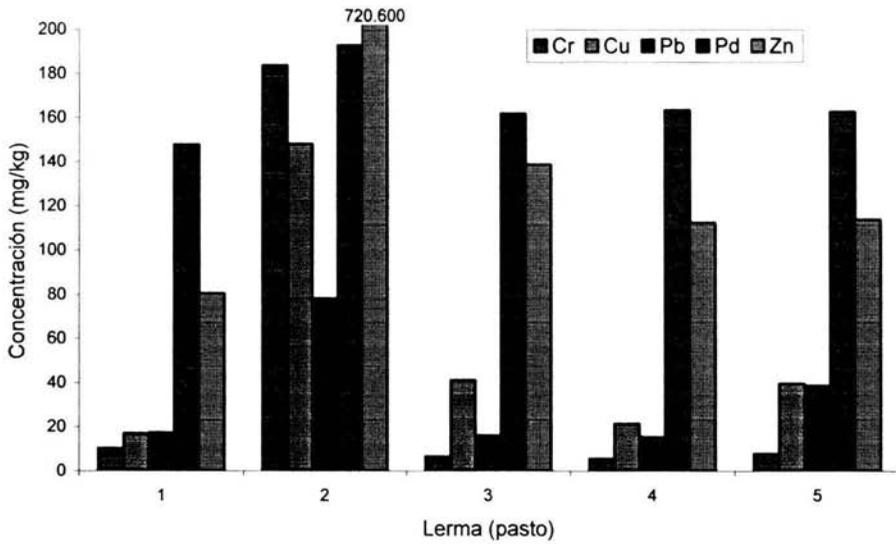
Gráfica 30. Resultados para las muestras de suelo de Lerma (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



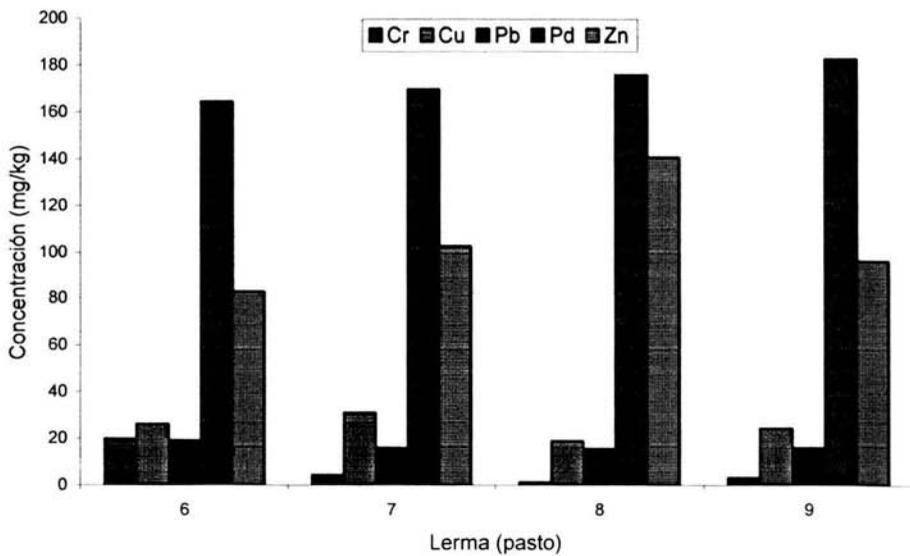
Gráfica 31. Resultados para las muestras de pasto de Lerma (As, Hg, Cd, Pt)



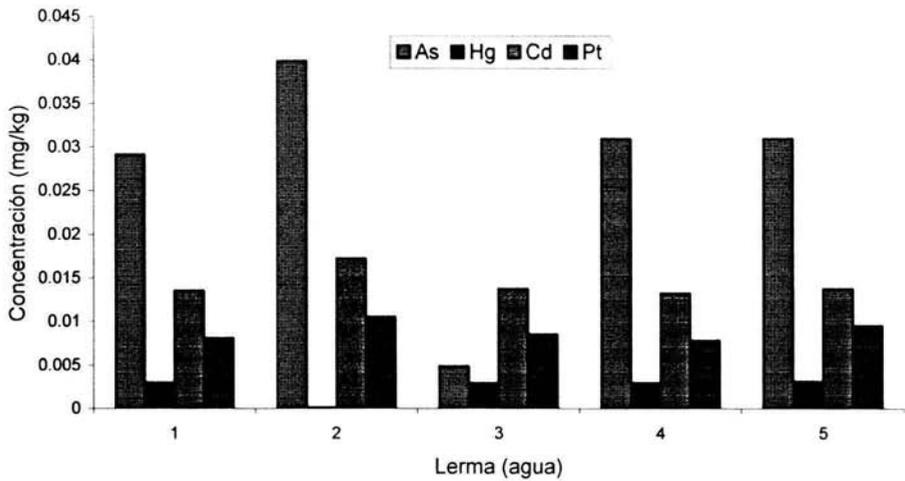
Gráfica 32. Resultados para las muestras de pasto de Lerma (As, Hg, Cd, Pt)



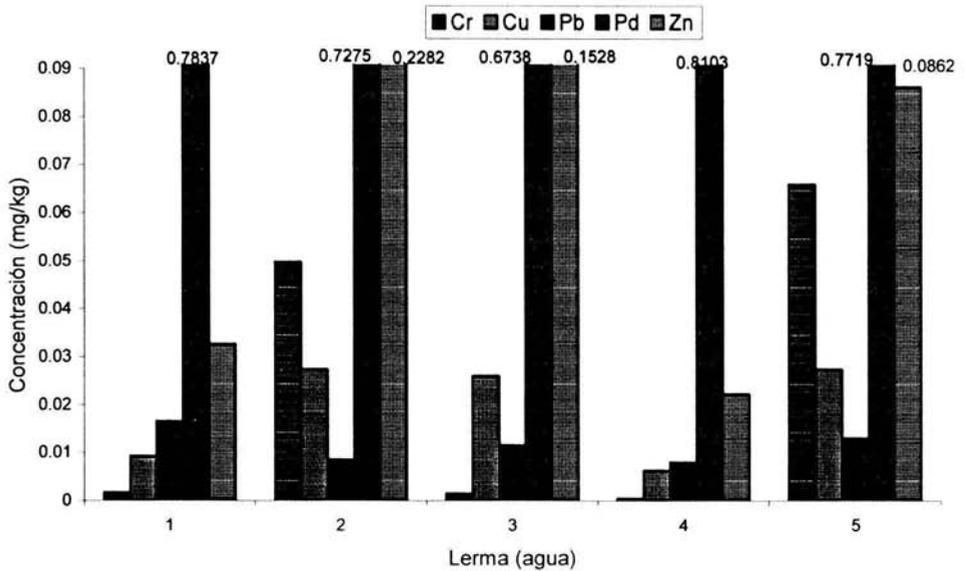
Gráfica 33. Resultados para las muestras de pasto de Lerma (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



Gráfica 34. Resultados para las muestras de pasto de Lerma (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



Gráfica 35. Resultados para las muestras de agua de Lerma (As, Hg, Cd, Pt)



Gráfica 36. Resultados para las muestras de agua de Lerma (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)

NEZAHUALCOYOTL.

Tabla 36. Concentración en SUELO (mg/Kg muestra seca) para el municipio de Nezahualcóyotl.

M	ZONA	TV	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Pd	Pt	Zn
1	industrial	a	3.745	0.438	0.675	28.025	120.950	67.250	0	0.675	161.875
2	urbana	b	4.545	0.856	0.688	24.738	48.500	95.213	0	0.750	120.763
3	urbana	a	5.044	0.614	0.388	21.675	38.825	88.113	0	0.513	104.138
4	urbana	b	4.756	0.356	0.338	25.038	37.875	10.000	0	0.538	69.863
5	urbana	a	1.469	0.510	1.150	82.363	73.100	490.875	0	0.913	339.625
6	urbana	a	2.531	0.488	1.238	35.425	59.400	209.125	0	1.050	198.000
7	urbana	b	1.448	0.396	0.413	23.713	31.338	0.000	0	0.463	35.475
8	urbana	b	2.435	0.044	2.113	31.288	85.888	124.588	0	0.675	995.875
9	urbana	a	2.780	0.101	0.538	34.725	39.213	117.113	0	0.613	119.663
10	urbana	b	2.780	0.053	0.675	41.738	83.700	254.875	0	0.675	171.000
11	urbana	b	0.730	0.439	0.988	37.013	74.975	69.025	0	0.688	177.000
12	urbana	b	1.564	0.094	0.438	28.600	34.775	0.000	0	0.075	33.075

TV = Transito vehicular: a = alto, b = bajo.

Tabla 37. Concentración en PASTO (mg/Kg muestra seca) para el municipio de Nezahualcóyotl.

M	ZONA	TV	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Pd	Pt	Zn
1	urbana	a	3.344	0.668	3.080	10.340	29.900	45.840	167.740	2.16	145.04
2	urbana	b	4.722	0.576	2.800	1.780	19.140	21.240	179.660	2.06	208.60
3	urbana	a	3.452	1.274	2.960	2.920	26.800	26.640	175.420	2.14	239.80
4	urbana	a	4.858	0.750	2.900	0.820	14.440	18.900	185.820	1.94	81.06
5	urbana	b	4.818	0.540	11.700	5.520	30.960	41.700	163.740	6.48	2068.0
6	urbana	b	6.602	0.586	3.260	2.760	23.160	26.600	179.760	1.98	136.98
7	urbana	a	4.352	0.092	3.440	6.440	27.680	35.780	173.860	2.06	157.58
8	urbana	b	4.776	0.646	3.180	2.840	17.660	15.200	190.580	2.04	70.18
9	urbana	b	4.602	0.684	3.720	11.840	21.980	15.180	154.540	2.12	69.50

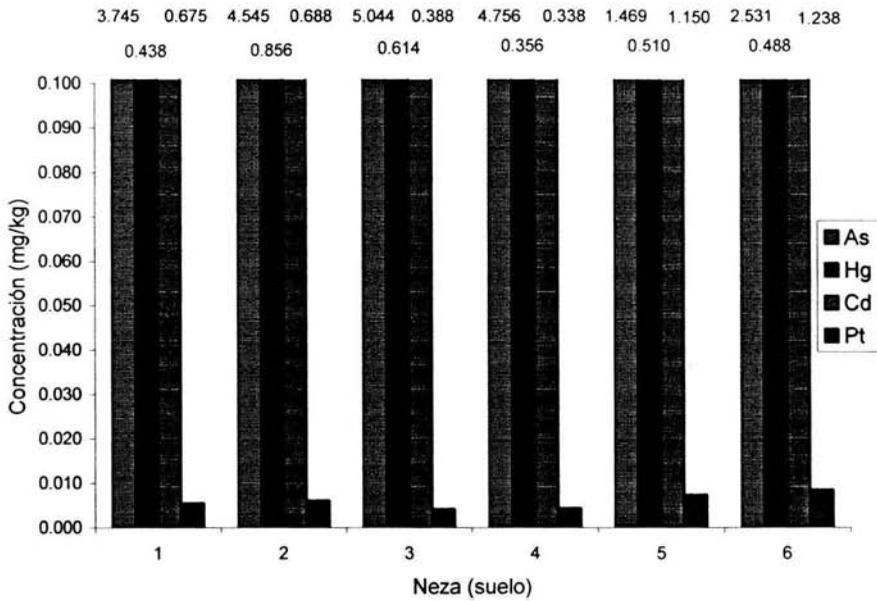
TV = Transito vehicular: a = alto, b = bajo.

Concentración de analito (mg/Kg).

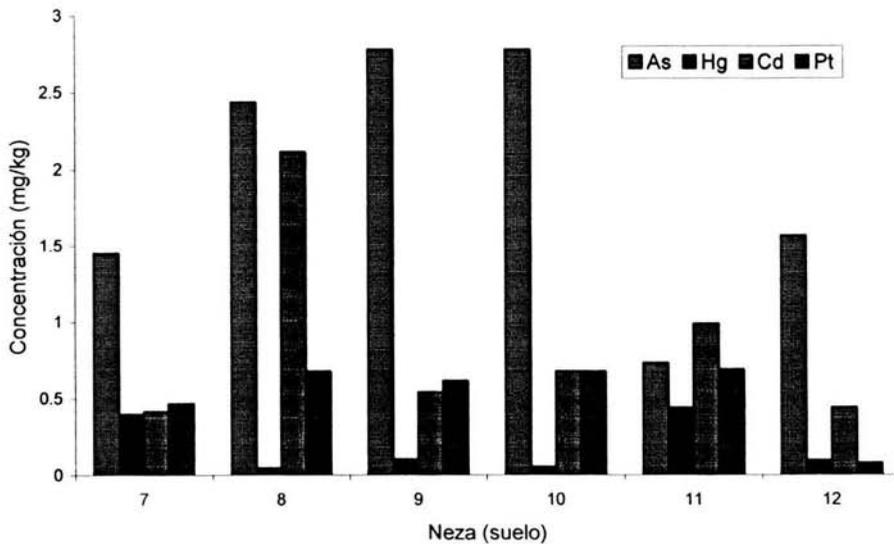
Tabla 38. Concentración en AGUA (mg/L) para el municipio de Nezahualcóyotl.

M	ZONA	TV	As	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Pd	Pt	Zn
1	urbana	b	0.030	0.003	0.014	0.000	0.005	0.019	0.785	0.009	0.019
2	urbana	b	0.031	0.003	0.014	0.000	0.006	0.021	0.767	0.008	0.022
3	urbana	b	0.030	0.003	0.014	0.018	0.010	0.019	0.792	0.008	0.023
4	urbana	b	0.031	0.003	0.014	0.017	0.006	0.017	0.815	0.009	0.021
5	urbana	a	0.031	0.000	0.015	0.014	0.031	0.030	0.874	0.009	0.138

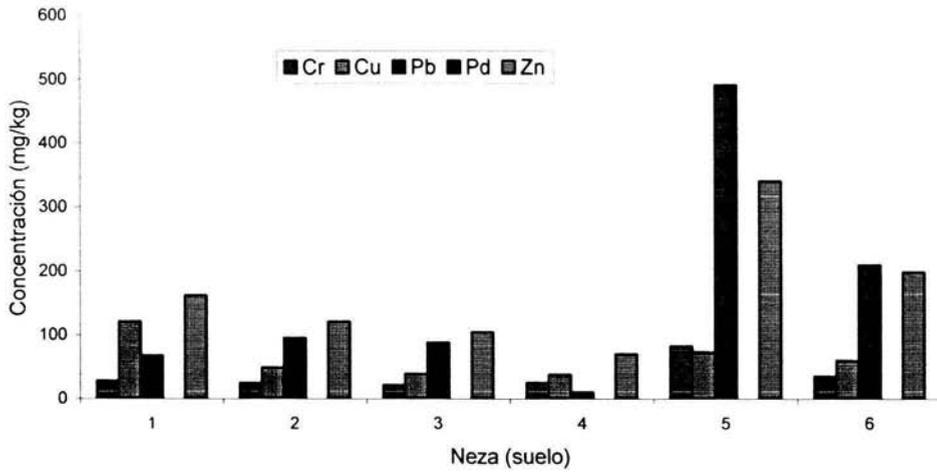
TV = Transito vehicular: a = alto, b = bajo.



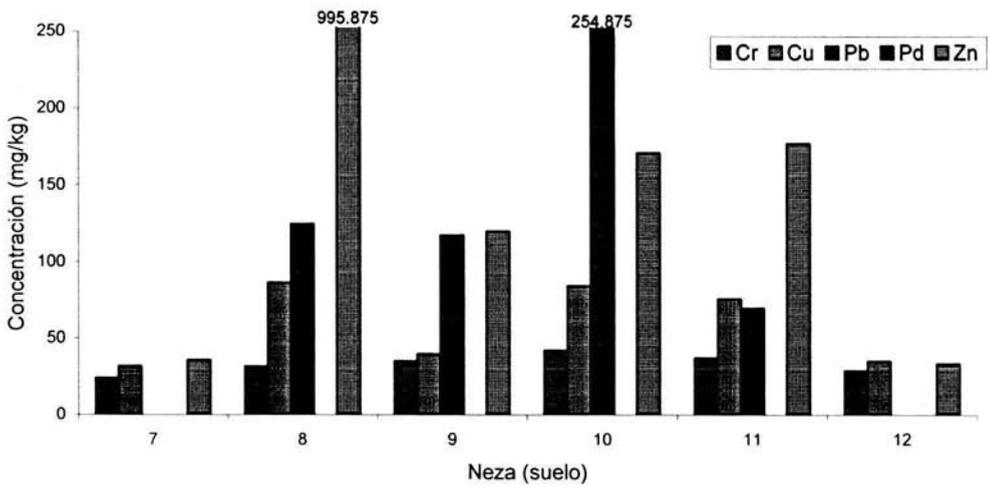
Gráfica 37. Resultados para las muestras de suelo de Nezahualcóyotl (As, Hg, Cd, Pt)



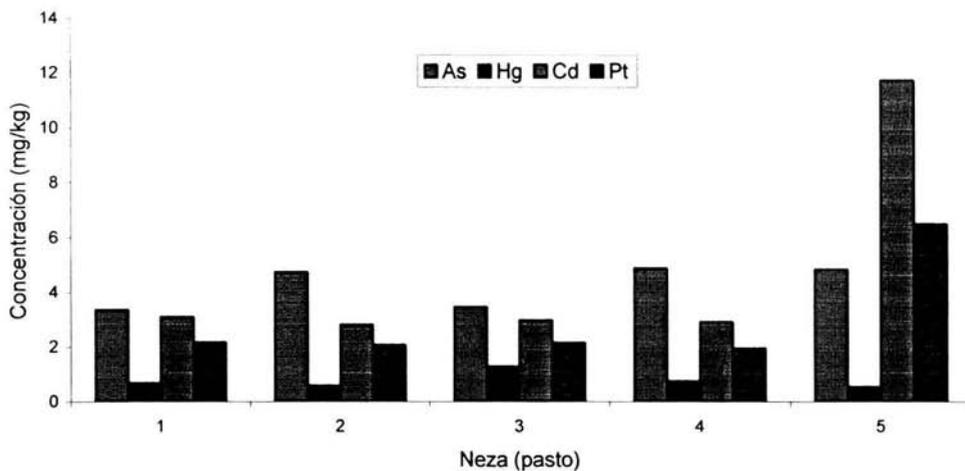
Gráfica 38. Resultados para las muestras de suelo de Nezahualcóyotl (As, Hg, Cd, Pt)



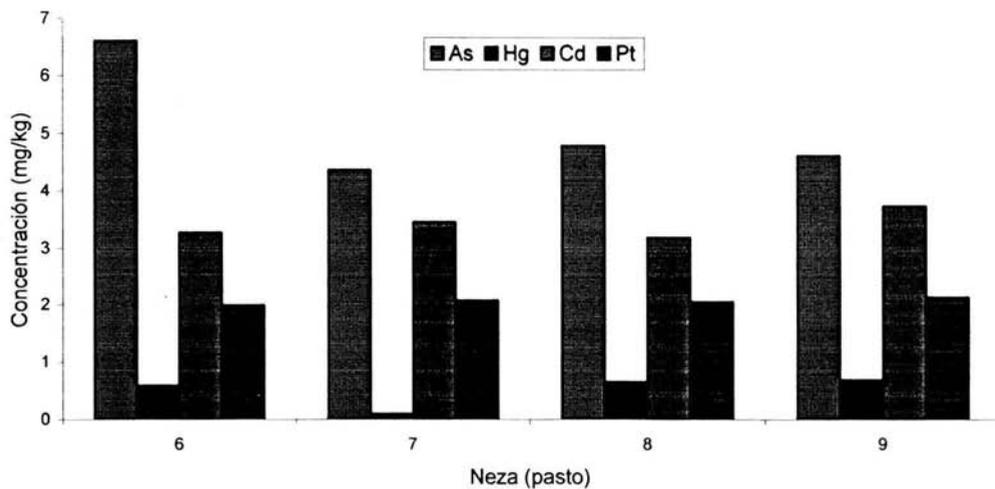
Gráfica 39. Resultados para las muestras de suelo de Nezahualcóyotl (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



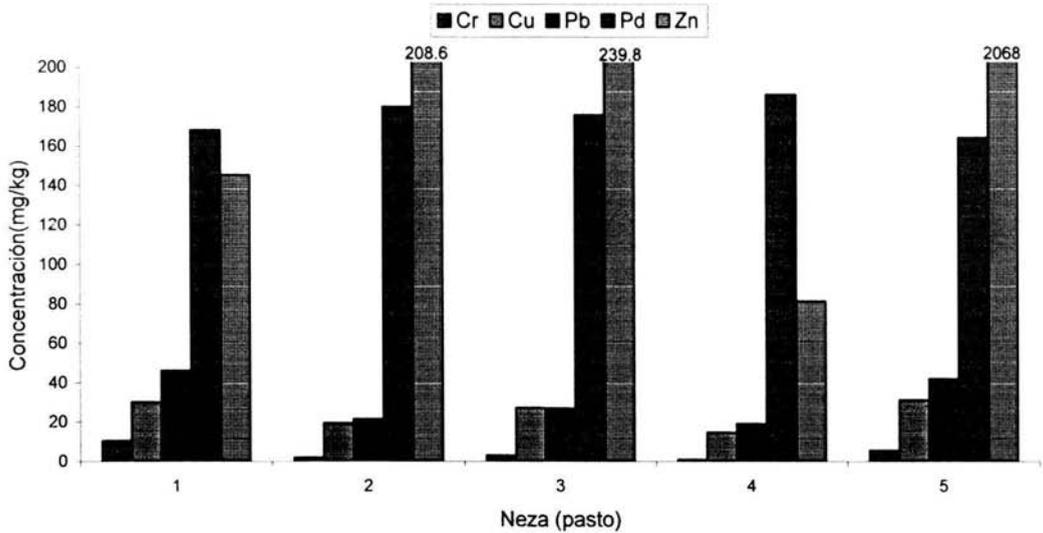
Gráfica 40. Resultados para las muestras de suelo de Nezahualcóyotl (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



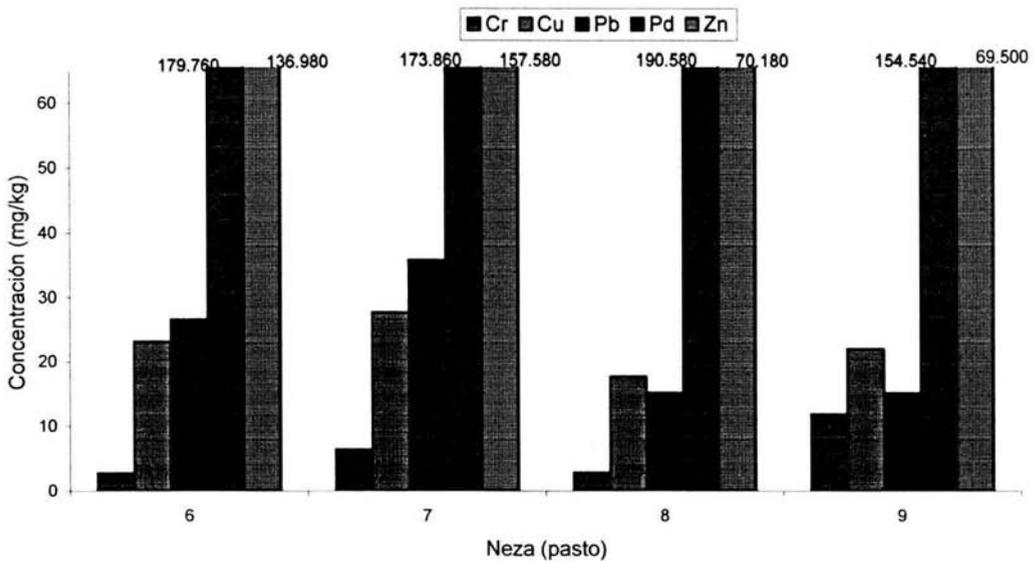
Gráfica 41. Resultados para las muestras de pasto de Nezahualcóyotl (As, Hg, Cd, Pt)



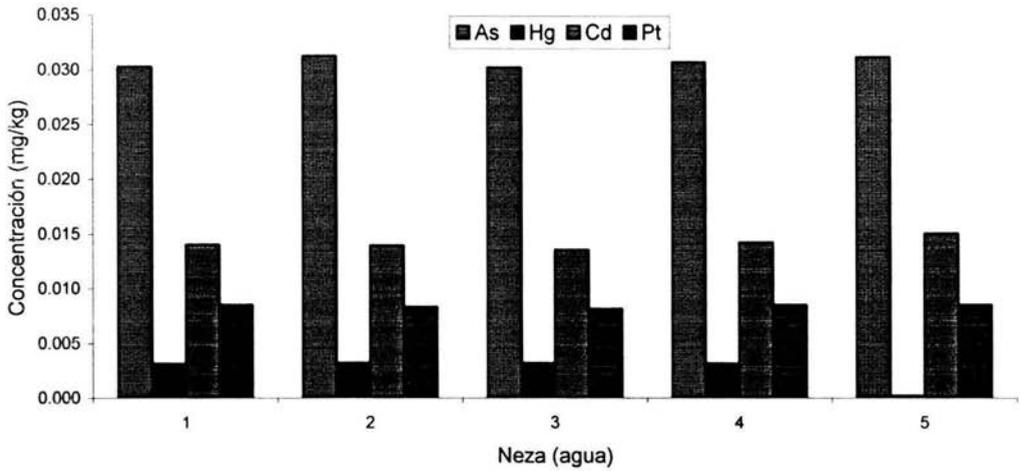
Gráfica 42. Resultados para las muestras de pasto de Nezahualcóyotl (As, Hg, Cd, Pt)



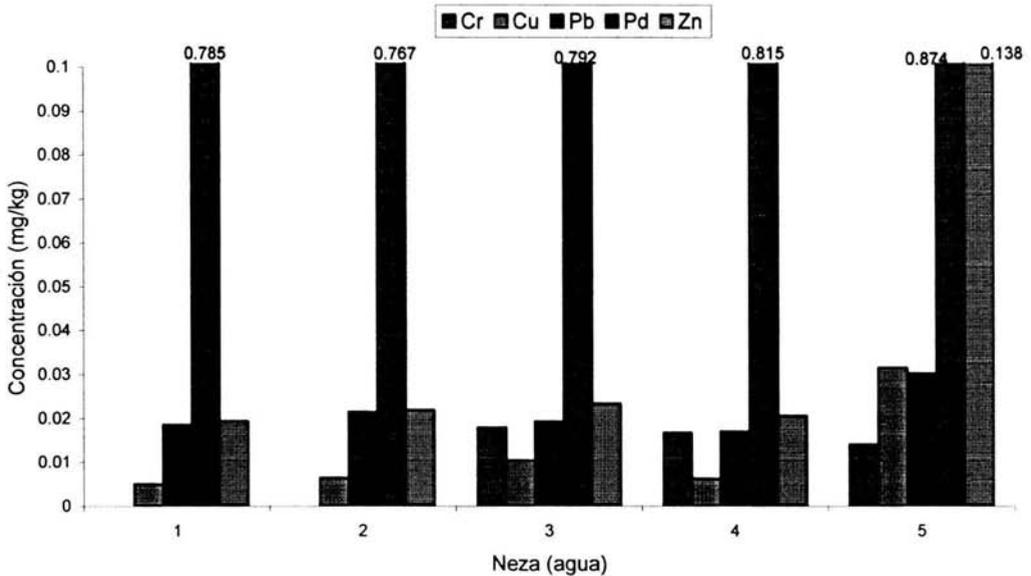
Gráfica 43. Resultados para las muestras de pasto de Nezahualcóyotl (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



Gráfica 44. Resultados para las muestras de pasto de Nezahualcóyotl (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)



Gráfica 45. Resultados para las muestras de agua de Nezahualcóyotl (As, Hg, Cd, Pt)



Gráfica 46. Resultados para las muestras de agua de Nezahualcóyotl (Cr, Cu, Pb, Pd, Zn)

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Empleando el software estadístico Statgraphics 4.0 se efectuó el análisis estadístico (multifactorial), para cada uno de los analitos en consideración (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn) para poder saber si existía alguna relación entre las cantidades establecidas y parámetros como:

- ✓ Zona (urbana, agrícola, industrial).
- ✓ Muestra (suelo, pasto y agua).
- ✓ Transito vehicular (bajo o alto)

El software efectúa dichas relaciones ajustando todos los valores experimentales obtenidos mediante técnicas estadísticas tradicionales como puede ser el análisis multifactorial. Los tres parámetros anteriores se efectuaron para los municipios de interés en este trabajo: Tlalnepantla, Lerma y Nezahualcóyotl.

4.4.1 ANÁLISIS MULTIFACTORIAL GENERAL.

Hi (hipótesis nula): Los factores zona, muestra y transito vehicular no representan efecto sobre la concentración del metal. ($P > 0.05$) donde P(más conocida como alfa) es el intervalo de confianza.

Hf (hipótesis alterna): Los factores tienen efecto sobre la concentración del metal. ($P < 0.05$)

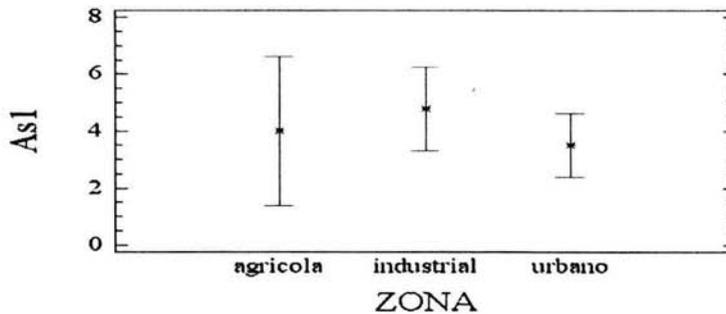
Tabla 39 Valores de p estadísticos (análisis multifactorial) en función del municipio, zona y tráfico vehicular.

Factor	P(As)	P(Cd)	P(Cr)	P(Cu)	P(Hg)	P(Pb)	P(Pd)	P(Pt)	P(Rh)	P(Zn)
Municipio	0.9773	1	0	0.9936	0.9979	0.7514	1	1	n.d.	0.7772
Zona	0.6849	0.7862	0.0354	0.9739	0.9501	0.2647	0.7636	0.7804	n.d.	0.5050
T.V	0.7610	0.5200	0.4265	0.4398	0.4833	0.2983	0.7920	0.5716	n.d.	0.3295

n.d. = no determinado.

Los valores de P calculados en la parte superior fueron establecidos de un análisis de varianza dentro del análisis multifactorial general.

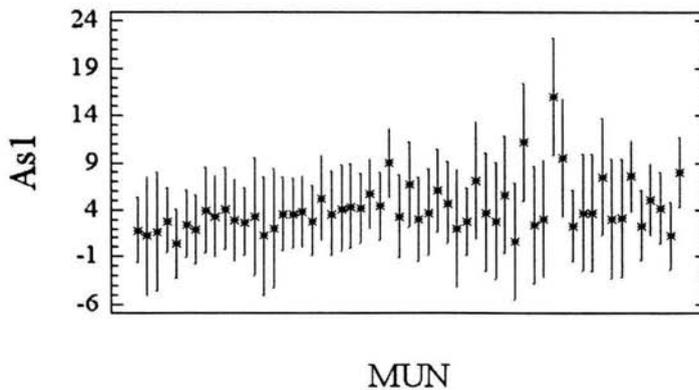
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de arsénico y la zona (urbana, agrícola, industrial) es:



Gráfica 47. Relación de la concentración de As con la zona de muestreo.

Esta gráfica establece que la concentración del arsénico no depende de la zona de muestreo debido a que los puntos se encuentran a un mismo nivel y equidistantes.

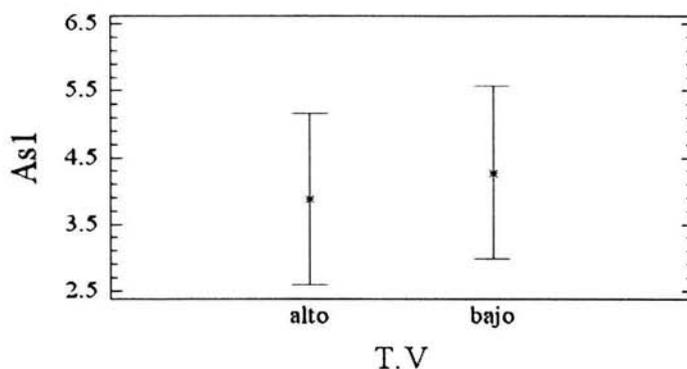
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de arsénico y el tipo de muestra del municipio (suelo, pasto y agua) es:



Gráfica 48. Relación de la concentración de As con el tipo de muestra del municipio.

Esta gráfica establece que la concentración del arsénico depende del tipo de muestra del municipio debido a que los puntos de la gráfica se encuentran a un mismo nivel.

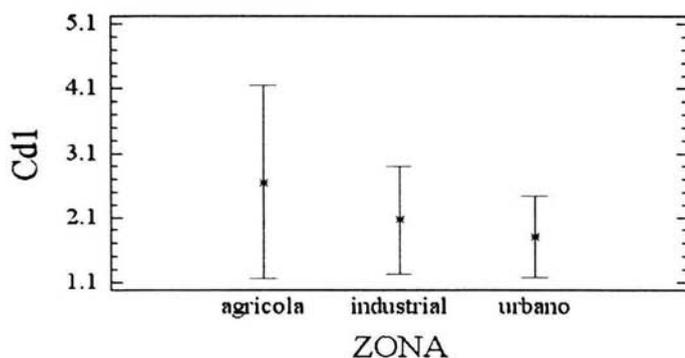
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de arsénico y el flujo de tráfico vehicular es:



Gráfica 49. Relación de la concentración de As con el flujo de tráfico vehicular.

Esta gráfica establece que la concentración del arsénico no depende del flujo de tráfico vehicular debido a que los puntos de la gráfica se encuentran al mismo nivel.

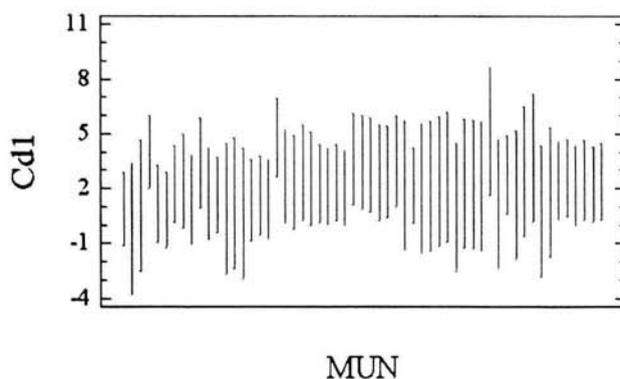
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de cadmio y la zona (urbana, agrícola, industrial) es:



Gráfica 50. Relación de la concentración de Cd con la zona de muestreo.

Esta gráfica establece que la concentración del cadmio no depende de la zona de muestreo debido a que los puntos se encuentran a un mismo nivel y equidistantes.

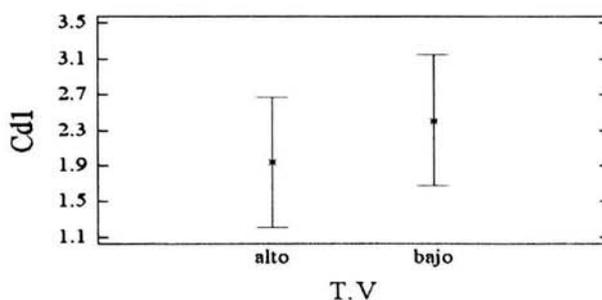
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de cadmio y el tipo de muestra del municipio (suelo, pasto y agua) es:



Gráfica 51. Relación de la concentración de Cd con el tipo de muestra del municipio.

Esta gráfica establece que la concentración del cadmio depende del tipo de muestra del municipio debido a que los puntos de la gráfica se encuentran a un mismo nivel.

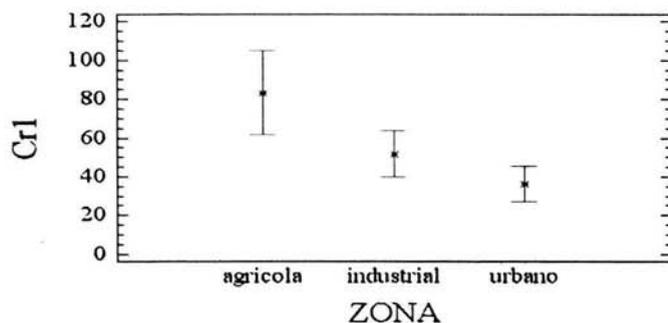
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de cadmio y el flujo de tráfico vehicular es:



Gráfica 52. Relación de la concentración de Cd con el flujo de tráfico vehicular.

Esta gráfica establece que la concentración del cadmio no depende del flujo de tráfico vehicular debido a que los puntos de la gráfica se encuentran al mismo nivel.

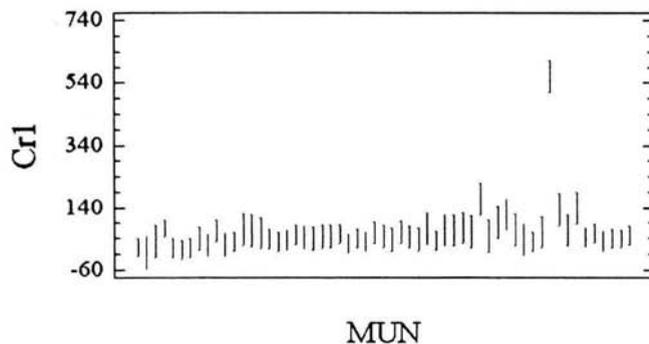
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de cromo y la zona (urbana, agrícola, industrial) es:



Gráfica 53. Relación de la concentración de Cr con la zona de muestreo.

Esta gráfica establece que la concentración del cromo depende de la zona de muestreo debido a que los puntos se encuentran con cierta diferencia de niveles.

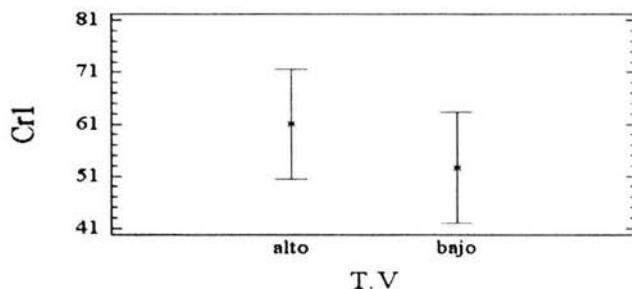
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de cromo y el tipo de muestra del municipio (suelo, pasto y agua) es:



Gráfica 54. . Relación de la concentración de Cr con el tipo de muestra del municipio.

Esta gráfica establece que la concentración del cromo no depende del tipo de muestra del municipio debido a que ciertos puntos de la gráfica se encuentran con algún grado de dispersión.

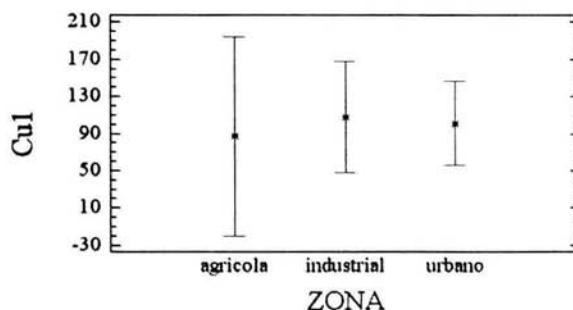
. La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de cromo y el flujo de tráfico vehicular es:



Gráfica 55. Relación de la concentración de Cr con el flujo de tráfico vehicular.

Esta gráfica establece que la concentración del cromo no depende del flujo de tráfico vehicular debido a que los puntos de la gráfica se encuentran al mismo nivel.

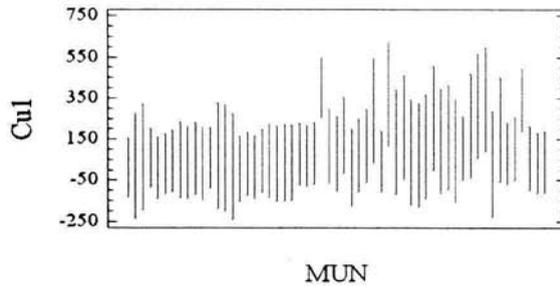
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de cobre y la zona (urbana, agrícola, industrial) es:



Gráfica 56. Relación de la concentración de Cu con la zona de muestreo.

Esta gráfica establece que la concentración del cobre no depende de la zona de muestreo debido a que los puntos se encuentran a un mismo nivel y equidistantes.

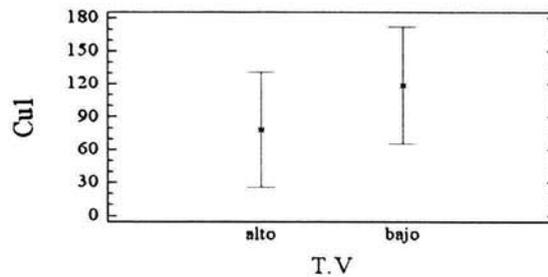
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de cobre y el tipo de muestra del municipio (suelo, pasto y agua) es:



Gráfica 57. Relación de la concentración de Cu con el tipo de muestra del municipio.

Esta gráfica establece que la concentración del cobre depende del tipo de muestra del municipio debido a que los puntos de la gráfica se encuentran a un mismo nivel.

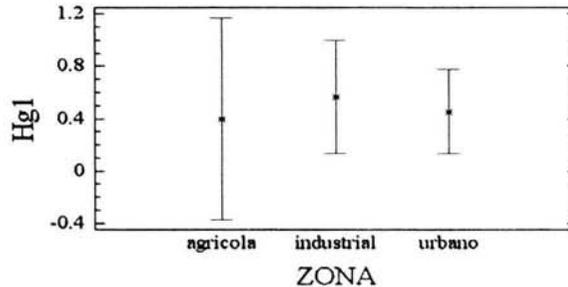
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de cobre y el flujo de tráfico vehicular es:



Gráfica 58. Relación de la concentración de Cu con el flujo de tráfico vehicular.

Esta gráfica establece que la concentración del cobre no depende del flujo de tráfico vehicular debido a que los puntos de la gráfica se encuentran al mismo nivel.

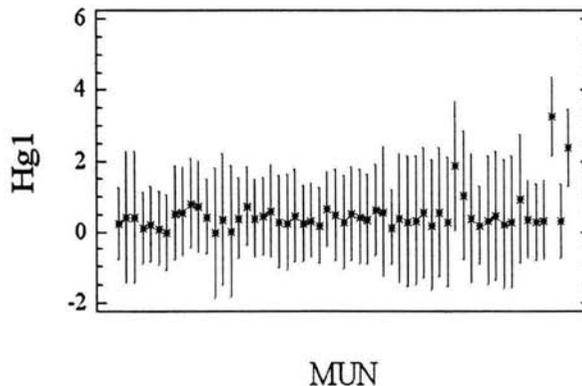
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de mercurio y la zona (urbana, agrícola, industrial) es:



Gráfica 59. Relación de la concentración de Hg con la zona de muestreo.

Esta gráfica establece que la concentración del mercurio no depende de la zona de muestreo debido a que los puntos se encuentran a un mismo nivel y equidistantes.

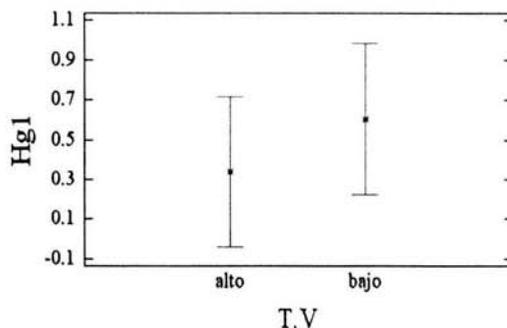
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de mercurio y el tipo de muestra del municipio (suelo, pasto y agua) es:



Gráfica 60. Relación de la concentración de Hg con el tipo de muestra del municipio.

Esta gráfica establece que la concentración del mercurio depende del tipo de muestra del municipio debido a que los puntos de la gráfica se encuentran a un mismo nivel.

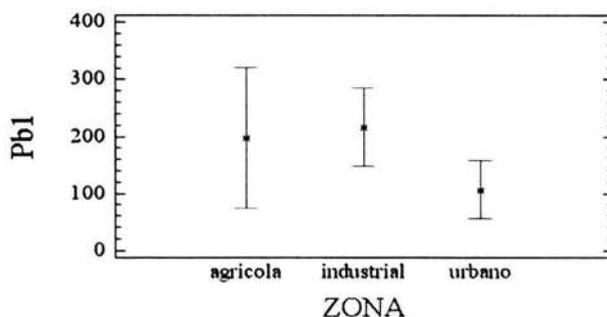
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de mercurio y el flujo de tráfico vehicular es:



Gráfica 61. Relación de la concentración de Hg con el flujo de tráfico vehicular.

Esta gráfica establece que la concentración del mercurio no depende del flujo de tráfico vehicular debido a que los puntos de la gráfica se encuentran al mismo nivel.

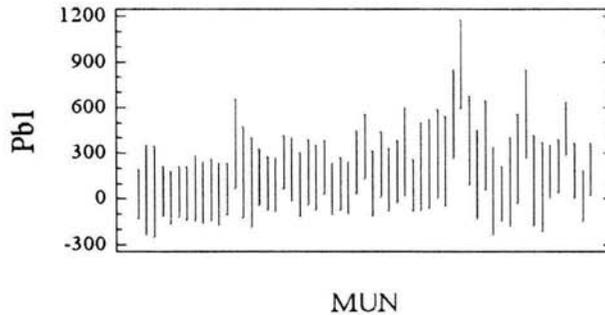
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de plomo y la zona (urbana, agrícola, industrial) es:



Gráfica 62. Relación de la concentración de Pb con la zona de muestreo.

Esta gráfica establece que la concentración del plomo no depende de la zona de muestreo debido a que los puntos se encuentran a un mismo nivel y equidistantes.

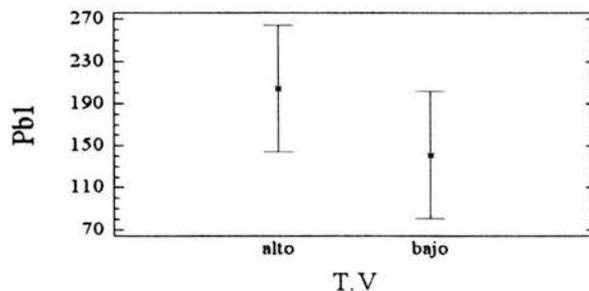
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de plomo y el tipo de muestra del municipio (suelo, pasto y agua) es:



Gráfica 63. Relación de la concentración de Pb con el tipo de muestra del municipio.

Esta gráfica establece que la concentración del plomo depende del tipo de muestra del municipio debido a que los puntos de la gráfica se encuentran a un mismo nivel.

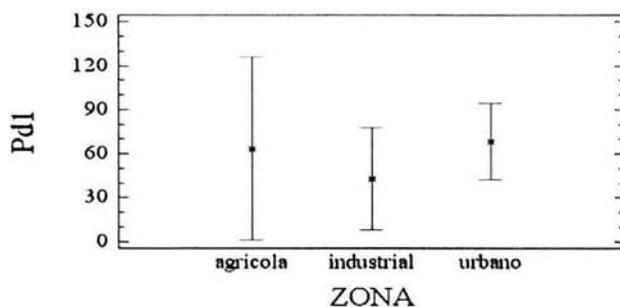
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de plomo y el flujo de tráfico vehicular es:



Gráfica 64. Relación de la concentración de Pb con el flujo de tráfico vehicular.

Esta gráfica establece que la concentración del plomo no depende del flujo de tráfico vehicular debido a que los puntos de la gráfica se encuentran al mismo nivel.

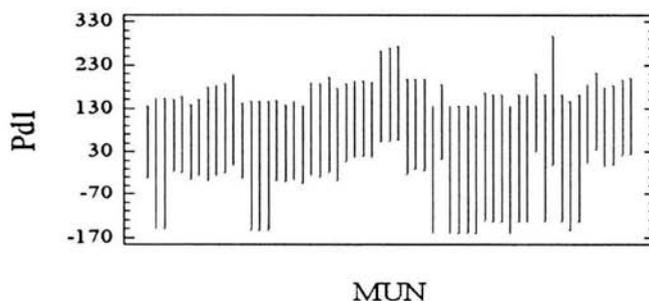
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de paladio y la zona (urbana, agrícola, industrial) es:



Gráfica 65. Relación de la concentración de Pd con la zona de muestreo.

Esta gráfica establece que la concentración del paladio no depende de la zona de muestreo debido a que los puntos se encuentran a un mismo nivel y equidistantes.

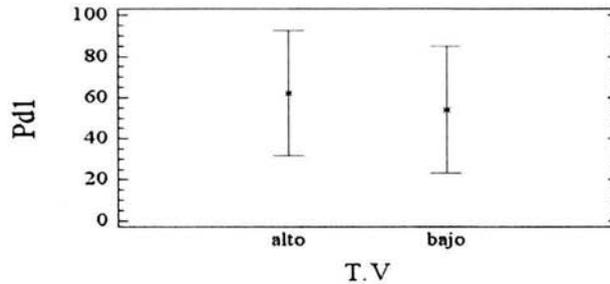
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de paladio y el tipo de muestra del municipio (suelo, pasto y agua) es:



Gráfica 66. Relación de la concentración de Pd con el tipo de muestra del municipio.

Esta gráfica establece que la concentración del paladio depende del tipo de muestra del municipio debido a que los puntos de la gráfica se encuentran a un mismo nivel.

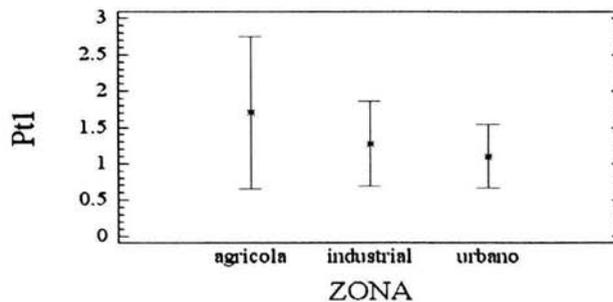
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de paladio y el flujo de tráfico vehicular es:



Gráfica 67. Relación de la concentración de Pd con el flujo de tráfico vehicular.

Esta gráfica establece que la concentración del paladio no depende del flujo de tráfico vehicular debido a que los puntos de la gráfica se encuentran al mismo nivel.

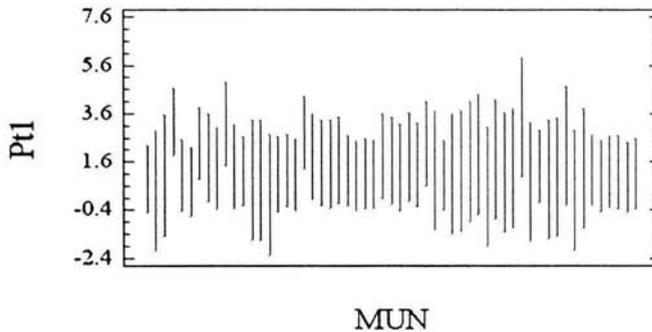
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de platino y la zona (urbana, agrícola, industrial) es:



Gráfica 68. Relación de la concentración de Pt con la zona de muestreo.

Esta gráfica establece que la concentración del platino no depende de la zona de muestreo debido a que los puntos se encuentran a un mismo nivel y equidistantes.

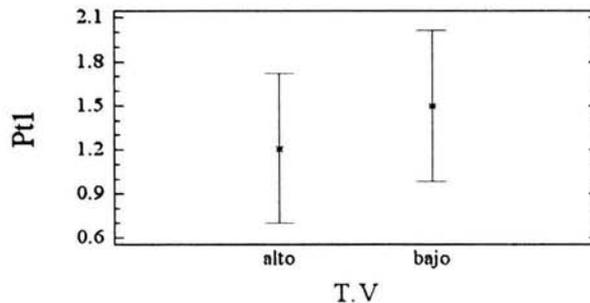
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de platino y el tipo de muestra del municipio (suelo, pasto y agua) es:



Gráfica 69. Relación de la concentración de Pt con el tipo de muestra del municipio.

Esta gráfica establece que la concentración del platino depende del tipo de muestra del municipio debido a que los puntos de la gráfica se encuentran a un mismo nivel.

La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de platino y el flujo de tráfico vehicular es:

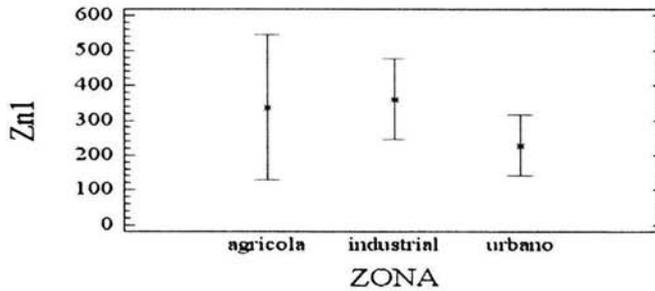


Gráfica 70. Relación de la concentración de Pt con el flujo de tráfico vehicular.

Esta gráfica establece que la concentración del platino no depende del flujo de tráfico vehicular debido a que los puntos de la gráfica se encuentran al mismo nivel.

Para el rodio, dicho analito no fue determinado.

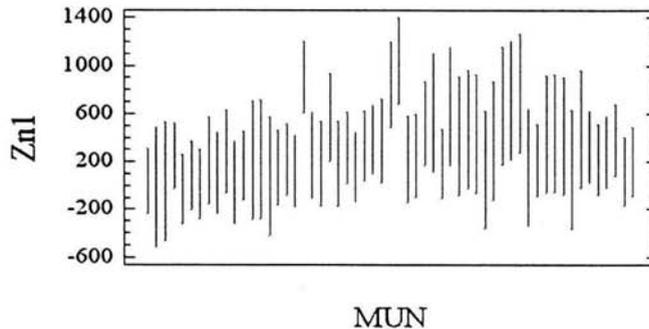
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de zinc y el flujo de tráfico vehicular es:



Gráfica 71. Relación de la concentración de Zn con la zona de muestreo.

Esta gráfica establece que la concentración del zinc no depende de la zona de muestreo debido a que los puntos se encuentran a un mismo nivel y equidistantes.

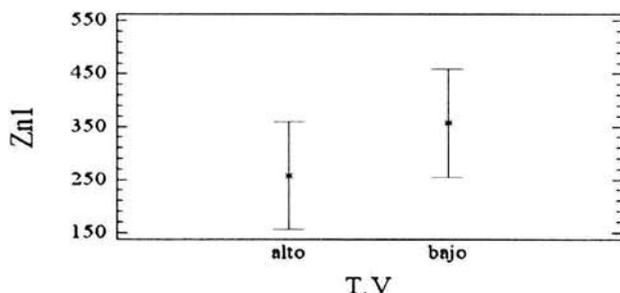
La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de zinc y el tipo de muestra del municipio (suelo, pasto y agua) es:



Gráfica 72. Relación de la concentración de Zn con el tipo de muestra del municipio.

Esta gráfica establece que la concentración del Zn depende del tipo de muestra del municipio debido a que los puntos de la gráfica se encuentran a un mismo nivel.

La gráfica que hace el comparativo resultante entre la concentración de Zinc y el flujo de tráfico vehicular es:



Gráfica 73. Relación de la concentración de Zn con el flujo de tráfico vehicular.

Esta gráfica establece que la concentración del zinc no depende del flujo de tráfico vehicular debido a que los puntos de la gráfica se encuentran al mismo nivel.

De acuerdo al análisis estadístico podemos establecer que: con respecto al municipio todos los metales no presentan una relación de su concentración con el tipo de municipio en el que se muestreó. Esto se concluye de acuerdo con la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alterna (H_1) planteadas anteriormente.

En relación a la zona en la mayoría de los metales no hay relación entre la zona y la concentración de dichos metales a excepción del cromo donde el valor del p estadístico es de 0 y 0.0354 lo que indica que la concentración del presente depende de la zona en la que se tomo la muestra.

Por lo que respecta al tráfico vehicular no se encontró ninguna relación entre las concentraciones de los analitos y dicho concepto de acuerdo a las hipótesis establecidas previamente.

4.5 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

En esta sección se analizarán las concentraciones obtenidas para cada analito en el siguiente orden: Arsénico, cadmio, Cromo, Cobre, mercurio, plomo, paladio, platino, rodio y zinc. Dichas concentraciones serán comparadas con los límites permisibles reportados tanto en normas mexicanas como en referencias internacionales cuando no exista referencia dentro de la normatividad mexicana.

Para el arsénico en muestras de suelo en el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 13, 15, 16, 19, 22, 24, 27 estarían dentro de los límites permisibles y el resto se encontrarían sobrepasando la norma. Para el municipio de Lerma, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 2, 4, 8 estarían fuera de los límites permisibles. Para el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 5, 7, 8 y 12 estarían dentro de los límites permisibles.

Para el arsénico en muestras de pasto para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [28]. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [28]. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [28].

Para el arsénico en muestras de agua para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano.

Para el cadmio en muestras de suelo en el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 16, 24,

29, 33 estarían dentro de los límites permisibles y el resto se encontrarían sobrepasando la norma. Para el municipio de Lerma, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 5, 8, 9, 11 estarían fuera de los límites permisibles. Para el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 5, 6, 8 estarían fuera de los límites permisibles.

Para el cadmio en muestras de pasto para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [28]. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [28]. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [28].

Para el cadmio en muestras de agua para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano.

Para el cromo en muestras de suelo en el municipio de Tlalnepantla, se rebasan los límites permisibles según [23] en las muestras 24, 31, 32, 34 pero de acuerdo con [25] ninguna de las muestras estarían dentro de los límites permisibles. Para el municipio de Lerma, se rebasa el límite permisible según [23] en la muestra 8 pero de acuerdo con [25] ninguna de las muestras estarían dentro de los límites permisibles. Para el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] ninguna de las muestras estarían dentro de los límites permisibles.

Para el cromo en muestras de pasto para el municipio de Tlalnepantla, se rebasan los límites permisibles según [28] en las muestras 1, 8, 9. En el municipio de Lerma, se rebasan los límites permisibles según [28] en las muestras 2, 6. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [28].

Para el cromo en muestras de agua para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano.

Para el cobre en muestras de suelo en el municipio de Tlalnepantla, se rebasan los límites permisibles según [23] en las muestras 6, 12 pero de acuerdo con [25] ninguna de las muestras estarían dentro de los límites permisibles. Para el municipio de Lerma, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] las muestras 3, 4, 5, 8, 9, 11 estarían fuera de los límites permisibles. Para el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] ninguna de las muestras estaría dentro de los límites permisibles.

Para el cobre en muestras de pasto para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [28] en la muestra 12 y el resto sobrepasan la norma. En el municipio de Lerma, se rebasan los límites permisibles según [28] en todas las muestras. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [28] en la muestra 4 el resto sobrepasan la norma.

Para el cobre en muestras de agua para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano.

Para el mercurio en muestras de suelo en el municipio de Tlalnepantla, se rebasan los límites permisibles según [23] en las muestras 7, 9 pero de acuerdo con [25] ninguna de las muestras estarían dentro de los límites permisibles y el resto se encontrarían

sobrepasando la norma. Para el municipio de Lerma, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente la muestra 1 estaría dentro de los límites permisibles. Para el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] ninguna de las muestras estarían dentro de los límites permisibles.

Para el mercurio en muestras de pasto para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [28] en las muestras 2, 3, 6, 9, 11, 12, y el resto sobrepasan la norma. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [28] en la muestra 4. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [28] en la muestra 7 el resto sobrepasan la norma.

Para el mercurio en muestras de agua para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano.

Para el plomo en muestras de suelo en el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 8, 33 estarían dentro de los límites permisibles y el resto se encontrarían sobrepasando la norma. Para el municipio de Lerma, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 4, 5, 8, 10 estarían fuera de los límites permisibles. Para el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 4, 7 estarían dentro de los límites permisibles.

Para el plomo en muestras de pasto para el municipio de Tlalnepantla, se rebasan los límites permisibles según [28] en la muestra 1 y el resto están dentro de la norma. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [28]. En el municipio de

Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [28] en ninguna de las muestras.

Para el plomo en muestras de agua para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano.

Para el zinc en muestras de suelo en el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 2, 6, 8, 10, 13, 16, 21, 23, 24, 29, 33 estarían dentro de los límites permisibles y el resto se encontrarían sobrepasando la norma. Para el municipio de Lerma, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente la muestra 8 estaría fuera de los límites permisibles. Para el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasa el límite permisible según [23] pero de acuerdo con [25] únicamente las muestras 5, 8 estarían fuera de los límites permisibles.

Para el zinc en muestras de pasto para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [28]. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [28]. En el municipio de Nezahualcóyotl, se rebasan los límites permisibles según [28] en la muestra 5 el resto están dentro de la norma.

Para el zinc en muestras de agua para el municipio de Tlalnepantla, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Lerma, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano. En el municipio de Nezahualcóyotl, no se rebasan los límites permisibles según [23] tanto para uso en riego agrícola como para uso público urbano.

En cuanto a los componentes como platino, paladio y rodio no existen límites permisibles en alguna norma mexicana para algún tipo de matriz (suelo, pasto, agua). Se efectúa un comparativo con límites permisibles de normas internacionales[25] principalmente para platino encontrándose que en todas las muestras se está ligeramente por arriba de la norma. Para evaluar al paladio y al rodio no se cuenta con resultados suficientes. En cuanto a los valores de pH se obtuvieron valores aceptables tanto en suelo como en agua siendo el pH un parámetro únicamente de referencia en cuanto al estado en que fueron tomadas las muestras.

Por último es necesario mencionar que este trabajo de investigación posee sólo la finalidad de dar un diagnóstico de cual es la situación actual en cuanto a este tipo de analitos en el área metropolitana de la capital del país. Esto es sólo un preámbulo a seguramente posteriores investigaciones muy rigurosas que a futuro se deben de seguir dando por el bien de la población en su conjunto.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

- ✓ Con la técnica de espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo se logró la cuantificación de los analitos requeridos.
- ✓ Se efectuó la cuantificación de 10 analitos en muestras de suelo, pasto y agua tomadas en los municipios de Tlalnepantla, Lerma y Nezahualcóyotl por espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo.
- ✓ Los analitos que presentaron mayor magnitud de concentración fueron el zinc, cobre y plomo.
- ✓ La acumulación de metales como el platino presenta cierto incremento en vías de alto flujo vehicular de acuerdo al análisis de los resultados obtenidos y en relación a los límites permisibles manejados.
- ✓ En relación a magnitud de concentraciones el municipio que presenta mayor cantidad de límites permisibles rebasados es Tlalnepantla.
- ✓ Los resultados obtenidos en cuanto a la magnitud de las concentraciones de platino parecerían indicar cierta influencia por el uso de convertidores catalíticos de tres vías, pero se recomienda analizar una mayor cantidad de muestras para poder respaldar firmemente tal aseveración.
- ✓ Las concentraciones de los elementos analizados es todavía tan pequeña que en muchos casos no representan aún peligro para la población tanto urbana como rural.
- ✓ Es muy notorio que los municipios colindantes con el D.F presenten los mayores niveles en cuanto a concentración de los componentes analizados vía principalmente automotriz sin tomar en cuenta muchas otras fuentes de contaminantes.

ANEXOS

ANEXO 1.

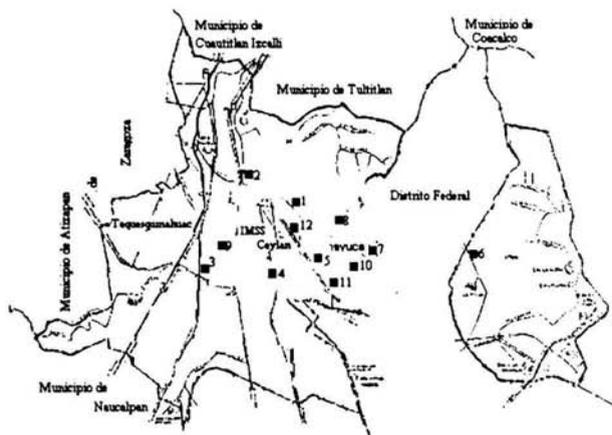
ZONAS DE MUESTREO EN LOS MUNICIPIOS ESTUDIADOS.

Municipio de Tlalnepantla (suelo y pasto).

Muestra.	Zona.	Lugar.
tlane 1	urbana	Entrada CBTIS clínica 64.
tlane 2	urbana	Periférico Ma. Barbara.
tlane 3	industrial	Reyes Heroles y Mario Colín (orienteponiente)
tlane 4	urbana	Aut. México-Querétaro limite con Izcalli. Dirección Querétaro.
tlane 5	industrial	Av. Santa Mónica y Gustavo Baz.
tlane 6	urbano	Clínica Santa Mónica Blvd. Querétaro Periférico.
tlane 7	urbano	Periférico Gigante Santa Mónica (norte a sur).
tlane 8	urbano	Calle Santiago y Toronto. Valle Dorado.
tlane 9	industrial	Roberto Fulton frente a Sony.
tlane 10	industrial	Puente de Vigas frente al vaso El Cristo.
tlane 11	industrial	Reyes Heroles y Mario Colin (ponienteorientes)
tlane 12	urbano	Av. Río San Javier y Tizoc.
tlane 13	industrial	Calle Alfredo Nóbel parque industrial.
tlane 14	industrial	Calle Lázaro Cárdenas 47 parque industrial.
tlane 15	industrial	Gustavo Baz y viveros sur.
tlane 16	urbano	Calle Santiago y Toronto (camellón).
tlane 17	industrial	Compañía CEMEX autopista.
tlane 18	industrial	Salida CBTIS clínica 64.
tlane 19	urbano	Presidente Juárez y Lázaro Cárdenas.

tlane 20	urbano	Ceylan y Vallejo (Covadonga).
tlane 21	urbano	Aquiles Serdan y Av. De las Armas.
tlane 22	urbano	Bazar perinorte periférico.
tlane 23	urbano	Periférico Gigante Santa Mónica (sur a norte).
tlane 24	industrial	Periférico Oriente Calzada Vallejo.
tlane 25	industrial	Gustavo Baz Mega Arboledas.
tlane 26	industrial	Desviación Vallejo y Gustavo Baz.
tlane 27	urbano	Calzada Vallejo y Río Tlalnepantla.
tlane 28	industrial	Calle Río Lerma y Ayuntamiento. Aceros Nacionales.
tlane 29	industrial	Av. Industria y Av. Reyes. Zona industrial.
tlane 30	industrial	Periférico Oriente y Carretera México-Pachuca.
tlane 31	industrial	Gustavo Baz frente a CEMEX.
tlane 32	industrial	Gustavo Baz Mega Arboledas camellon.
tlane 33	urbano	Calle Iztacala y Av. de las civilizaciones.
tlane 34	industrial	Carretera México-Pachuca y periférico oriente (otro punto de muestreo).

tlane 4	urbano	Río de los Remedios. Av. Iztacala y civilizaciones.
tlane 5	industrial	Calzada Vallejo con Río Tlalnepantla.
tlane 6	urbano	Río de los Remedios. Aut. México-Pachuca y periférico oriente.
tlane 7	urbano	Río de los Remedios, periférico oriente y vallejo
tlane 8	industrial	Río San Javier sobre avenida Tenayuca.
tlane 9	industrial	Río San Javier Valle Ceylan.
tlane 10	industrial	Río de los remedies, planta de tratamiento periférico oriente.
tlane 11	urbano	Río de los Remedios San Antonio Iztacala.
tlane 12	urbano	Río Tlalnepantla, acueducto Tenayuca.



Mapa 1: Municipio de Tlalnepantla, los números representan las zonas muestreadas de agua.

Municipio de Lerma (pasto, suelo, agua(a)).

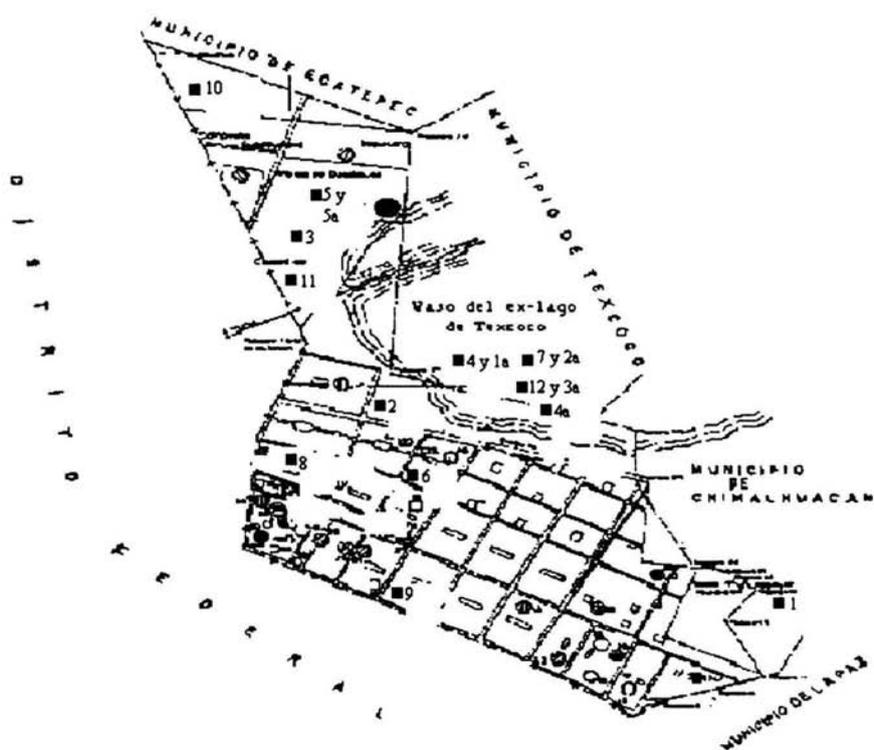
Muestra	Zona.	Lugar.
Lerma 1	urbano	Amomolulco (costado de la autopista).
Lerma 2	urbano	Parque centro.
Lerma 3	industrial	Compañía Caysa zona industrial.
Lerma 4	urbano	Estatua Zapata lateral autopista.
Lerma 5	industrial	Fabrica The Urban Apparel zona industrial.
Lerma 6	urbano	Parada de camiones centro palacio municipal.
Lerma 7	agrícola	Río Lerma zona de pastoreo.
Lerma 8	agrícola	Río Lerma San Pedro.
Lerma 9	agrícola	Río Lerma Av. Reon Barejon (entrada Toluca).
Lerma 10	agrícola	Río Lerma Col. Cerrillo.
Lerma 11	agrícola	Río Lerma Col. Pensamientos.
Lerma 1a	Industrial	Fabrica The Urban Apparel zona industrial
Lerma2a	Industrial	Coladera parque industrial
Lerma 3a	agrícola	Río Lerma Col. Cerrillo
Lerma 4a	agrícola	Río Lerma Av. Reon Barejon (entrada Toluca).
Lerma5a	agrícola	Río Lerma Col. Pensamientos.



Mapa 2: Municipio de Lerma. Los números muestran las zonas muestreadas de suelo, pasto y agua.

Municipio de Nezahualcóyotl (suelo, pasto, agua(a)).

Muestra.	Zona.	Lugar.
Neza 1	industrial	Parque industrial Nezahualcóyotl.
Neza 2	urbano	Av. Ferrocarril del sur.
Neza 3	urbano	Av. Pantitlán y periférico sur.
Neza 4	urbano	Campo de fútbol y Av. Churubusco.
Neza 5	urbano	Anillo periférico.
Neza 6	urbano	Palacio municipal.
Neza 7	urbano	Laguna El Tesorito.
Neza 8	urbano	Av. Río Churubusco (Xochiaca).
Neza 9	urbano	Estatua Nezahualcóyotl.
Neza 10	urbano	Av. Xochiaca y Av. López Mateos.
Neza 11	urbano	Calle Hda. San Agustín esquina con ENEP Aragón.
Neza 12	urbano	Calle valle San Lorenzo esquina con río de los remedios.
Neza 1a	urbano	Río Xochiaca.
Neza 2a	urbano	Río Churubusco (Xochiaca) campo de fútbol.
Neza 3a	urbano	Río Churubusco (Xochiaca) barda.
Neza 4a	urbano	El Tesorito.
Neza 5a	urbano	Anillo periférico (agua acumulada).



Mapa 3: Municipio de Nezahualcóyotl. Los números muestran las zonas muestreadas de suelo, pasto y agua.

ANEXO 2.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE METALES EN SUELO (REFERENCIAS INTERNACIONALES).

METAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/Kg)	REFERENCIA
Arsénico	0.5-2.5	25
Cadmio	0.06-1.1	26
Cromo	5.0	26
Cobre	20-30	26
Mercurio	0.040	25
Plomo	10-40	26
Paladio	0.0005-0.030	27
Platino	0.020-0.075	27
Rodio	0.020	27
Zinc	300	25

ANEXO 3.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE METALES EN SUELO (Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996).

PARÁMETROS (mg/L)	SUELO Uso en riego agrícola (A)		SUELO Humedales naturales (B)	
	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.05	0.1	0.1	0.2
Cobre	4	6	4	6
Cromo	0.5	1	0.5	1
Mercurio	0.005	0.01	0.005	0.01
Plomo	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20

P.D = Promedio diario

P.M = Promedio mensual

(A) Y (B) = Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Desechos.

Los valores tomados como referencia para éste trabajo son los reportados por Promedio diario (P.D), debido a que se trabajó con muestras simples en todos los casos.

ANEXO 4.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE METALES EN PASTO.

METAL	CONCENTRACIÓN DE PLANTAS CONTAMINADAS (mg/Kg)	REFERENCIA
Arsénico	21-72	28
Cromo	5-18	28
Cobre	13-15	28
Cadmio	45-48	28
Mercurio	0.12	28
Plomo	Mayor a 78	28
Zinc	880	28

ANEXO 5.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES, AGUAS Y BIENES NACIONALES (Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996).

PARÁMETROS (mg/L)	RÍOS			
	USO EN RIEGO AGRÍCOLA		USO PÚBLICO URBANO	
	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico	0.20	0.40	0.1	0.2
Cadmio	0.20	0.40	0.1	0.2
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1.0	1.5	0.5	1.0
Mercurio	0.001	0.02	0.01	0.01
Plomo	0.5	1.0	0.2	0.40
Zinc	10	20	10	20

P.D = Promedio diario

P.M = Promedio mensual

Los valores tomados como referencia para éste trabajo son los reportados como Promedio diario (P.D), debido a que se trabajó con muestras simples en todos los casos.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

1. Fifield, F.W. , Environmental Analytical Chemistry, Editorial Blackwell science Second Edition , p.p. 490. 2000
2. T.R. Dickson, Química Enfoque Ecológico, Editorial Limusa segunda reimpresión, p.p. 406. 2000
3. Bard Colin, Química Ambiental , Editorial Reverte, Primera Edición, p.p. 622. 2001
4. Zereini, Fathi y Alti Friedrich, Anthropogenic Platinum-Group Element emissions their impact on man and environment, Editorial Springer primera edición Berlin Heidelberg, p.p. 308. 2000
5. Datos municipales de Netzahualcoyotl , Ayuntamiento de Nezahualcóyotl. 2000
6. Datos municipales de Lerma, Ayuntamiento de Lerma. 2000
7. Datos municipales de Tlalnepantla, Ayuntamiento de Tlalnepantla. 2000
8. Kingston, H. (Skip) y Jossie, H.M., Introduction to microware Sample Preparation Theory and Practice, ACS Professional Reference Book Washington D.C. 1988.
9. Skoog Douglas A., et. Al. Análisis instrumental, 4ta ed., Mc Graw hill, México. 1997
10. Robinson, Kenneth A. y Robinson Judith F., Análisis Instrumental, Prentice Hall. 2000
11. Boss, Charles B. and Fredeen Kenneth J., Concepts instrumentation and techniques in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, Perkin Elmer.
12. Harris Daniel C., Análisis químico cuantitativo, Grupo editorial iberoamericano. 1992
13. Hobart H. Willard, et. Al. Métodos Instrumentales de Análisis. 4ta ed. Iberoamérica, México, p.p. 219-248. 1991.

14. Skoog Douglas A., Química Analítica, 6ta ed., Mc Graw Hill, México, p.p. 453-475, 1995.
15. Otruba, Strnadova, Skalníková, Determination of Platinum in Plants by Emisión Spectrometry after Preconcentration on Modified Silicagel, Talanta, Vol. 40, No.2, p.p. 221-224, 1993.
16. V. Kanický, V. Otruba, J.Mermet, Comparison of some analytical performance characteristics in inductively coupled plasma spectrometry of platinum group metals and gold. Talanta, Vol. 48, p.p 859-866,1999.
17. Klaus R. Koch, Derek Auer, Determination of Platinum and Palladium in strongly acid solution by means of flow injection analysis. Talanta, Vol. 40, No. 12, p.p 1975-1980, 1993.
18. Vlasánkova, V. Otruba, J. Bendl, M. Fisera V. Kanický, Preconcentration of platinum group metals on modified Silicagel and their determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry in airborne particulates. Talanta, 48, p.p. 839-846. 1999.
19. Uribe Díaz Gabriela, Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico: Cuantificación de Trazas Metálicas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn) en Muestras de Suelo por Espectrofotometría de Absorción Atómica, FES-Cuautitlán, UNAM, 2002.
20. Salamanca Cova Judith, Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico: Determinación de Trazas Metálicas Contaminantes en Cuerpos de Agua por Espectrofotometría de Absorción Atómica, FES-Cuautitlán, UNAM, 2002.
21. Ramírez Navor 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, FES-Cuautitlán, UNAM, 2002.
22. Norma mexicana NMX-AA-25-1984 (1992). Protección al ambiente-Contaminación de suelo- Residuos sólidos- Determinación del pH- Método potenciométrico.
23. NOM-001-Ecol-1996 (1997). Norma oficial mexicana, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

24. Norma mexicana NMX-AA-15-1985 (1992). Protección al ambiente – contaminación del suelo- Residuos sólidos municipales –Muestreo- Método de cuarteo.
25. Alloway B.J. (1993). Heavy metals in soils, Halsted Press, Great Britain.
26. <http://www.epa.gov/tio/tsp/download/issue14.pdf>. Noviembre 04, 2001
27. Kabata-Pendias Alina, Pendias Henryk (1992), Trace elements in soils and plants, 2da ed. CRC PRESS, USA.
28. http://www.vetiver.org/LAVN_Prot%20Amb.htm