



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

U. N. A. M.
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN



Departamento de
Exámenes Profesionales

“DETERMINACIÓN DE TRAZAS METÁLICAS (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn) EN MUESTRAS AMBIENTALES DE AGUA, PASTO, SUELO, POR ESPECTROSCOPIA ATÓMICA EN DOS MUNICIPIOS DE LA ZONA METROPOLITANA.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

PRESENTA:

NANCY HERNÁNDEZ ROAN

ASESOR: *DRA. ALMA LUISA REVILLA VAZQUEZ*



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

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



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

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

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

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

Determinación de Trazas Metálicas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn) en Muestras Ambientales de Agua, Pasto, Suelo por Espectroscopia atómica en dos Municipios de la Zona Metropolitana.

que presenta la pasante: Nancy Hernández Roan
con número de cuenta: 09208573-0 para obtener el título de :
Química Farmacéutica Bióloga

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

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 6 de MAYO de 2004

PRESIDENTE

QFI. Leticia Zuñiga Ramírez

VOCAL

QFB. Elia Granados Enríquez

SECRETARIO

DRA. Alma L. Revilla Vázquez

PRIMER SUPLENTE

Q. Arcadia Hernández Beltran

SEGUNDO SUPLENTE

MC. Lidia Rangel Trujano

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: Gracias por iluminar mi camino, por todo el amor y las bendiciones pero sobre todo por darme la dicha de compartir la vida con los seres que amo.

A MIS PADRES: Gracias por darme la vida, su amor, ternura y confianza ya que sin su apoyo incondicional no estaría logrando el día de hoy una de las metas más grandes de mi vida, los admiro y los amo.

A MIS HERMANOS: Carlos Alberto, Araceli, Maribel y Luis Antonio por que siempre están ahí apoyándome y brindándome su amor y ternura por hacer que los momentos de mi vida sean tan placenteros este logro también es de ustedes los quiero mucho.

A Maricruz y a MIS NIÑOS: Aide Guadalupe y Gerardo porque llenan mi vida de alegría, son mi adoración.

A MIS ABUELOS Y TÍOS: Gracias por confiar en mi y demostrarme todo su apoyo en todos los momentos.

A MIS AMIGOS:

Adriana y Jorge por enseñarme que la amistad no tiene limites y que todo se puede lograr con un poco de perseverancia y esfuerzo, por creer en mi y alentarme siempre a seguir gracias los quiero mucho.

Ara, Ceci, Claudia, Elivet, Gaby, Lupita, Judit, Karina, Maru Nely y Pily por brindarme su amistad y cariño y porque todos los momentos compartidos nos hacen recordar las ilusiones y sueños por apoyarme en las buenas y en las malas, creer en mi y por todos sus consejos gracias las quiero.

Gracias Agustín, Edgar y Juan Pablo por apoyarme siempre, por el tiempo que conviví con ustedes por creer en mi, su paciencia y enseñanzas me enseñaron a seguir adelante.

A Elías, Gerardo, Javier, Ricardo y Toño por su amistad y enseñanzas gracias por estar siempre conmigo.

A Luz gracias por compartir conmigo toda esta experiencia, por tu cariño y apoyo en los momentos difíciles por alentarme a seguir y sobre todo por darme la oportunidad de conocer a una persona tan maravillosa.

A MI ASESORA: Dra. Alma Luisa Revilla Vázquez gracias por todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo, por dejarme ser parte de este proyecto, por su apoyo incondicional y enseñanzas, comprensión y paciencia y sobre todo por su amistad.

Gracias a la Dra. Raquel López Arellano por todo el apoyo, consejos, recomendaciones y enseñanzas en la elaboración de este trabajo.

A mis sinodales por el tiempo que dedicaron en revisar este trabajo, por todos sus consejos y recomendaciones para el mejoramiento del mismo gracias.

A todos los de la nave 3000 en especial al Q. Porfirio García, Gaby, Edgar, Rosy por todo su apoyo gracias.

Gracias a la UNAM por darme la oportunidad de formar parte de ella y permitirme lograr mis sueños y a todos los profesores que colaboraron en mi formación académica.

Un agradecimiento especial al CONACYT por el apoyo otorgado para la realización del proyecto J32518-T.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
Introducción	1
Objetivo general	3
Objetivos particulares	3
1. Generalidades acerca de la contaminación	4
1.1 Principales efectos de los contaminantes sobre la salud	4
1.2 Toxicología de los metales	5
1.2.1 Arsénico	7
1.2.2 Cadmio	7
1.2.3 Cobre	8
1.2.4 Cromo	9
1.2.5 Mercurio	9
1.2.6 Plomo	10
1.2.7 Platino	11
1.2.8 Zinc	12
1.3 Suelo	13
1.3.1 Contaminación del suelo	14
1.4 Agua	14
1.5 Plantas	15
2. Características generales de los municipios en estudio	16
2.1 Municipio de Zumpango	16
2.2 Municipio de Nezahualcoyotl	18
3 Horno de Microondas	19
3.1 Instrumentación	20
3.2 Procedimientos	23
3.3 Mantenimiento del equipo al finalizar la sesión	28

4. Espectrofotometría de Absorción y Emisión Atómica	31
4.1 Espectrofotometría de Absorción Atómica	31
4.2 Espectroscopia de Emisión Atómica	32
4.2.1 Aplicaciones	34
4.2.2 Ventajas	35
5. Material, Equipo y Reactivos	36
5.1 Equipo	36
5.2 Material	37
5.3 Reactivos	37
5.4 Estándares	38
6. Desarrollo experimental	39
6.1 Recolección de las muestras (agua, pasto, suelo)	40
6.1.1 Muestras de agua	41
6.1.2 Muestras de pasto	41
6.1.3 Muestras de suelo y sedimento	42
6.2 Digestión ácida empleando horno de microondas	42
6.2.1 Procedimiento para la digestión ácida de agua	42
6.2.2 Procedimiento para la digestión ácida de pasto	43
6.3 Optimización de la digestión ácida asistida por horno de microondas para suelo	44
6.3.1 Procedimiento de la digestión ácida para suelo	45
6.4 Determinación del pH en las muestras de suelo	47
6.5 Determinación de metales por generador de hidruros y vapor frío	48
7. Resultados	49
7.1 Resultados del municipio de Nezahualcoyotl	49
7.2 Resultados del municipio de Zumpango	52
7.2.1 Gráficas de resultados	54
7.3 Análisis estadístico	64
7.4 Discusión	79

8 Conclusiones	82
9 Anexos	83
10 Bibliografía	100

INTRODUCCIÓN

Los problemas de la contaminación se han vuelto más opresivos, ya que tanto el crecimiento demográfico como la expansión del consumo de materiales y energía aumentan las cantidades de desechos que van al ambiente.

Los altos índices de urbanización y crecimiento en la Ciudad de México la han convertido en una de las regiones más pobladas del país y del mundo, esto ha ocasionado un incremento en los niveles de contaminantes ambientales, producto de las emisiones industriales no controladas, los desechos industriales y domésticos aunado a las emisiones de más de 4 millones de automóviles que circulan en la ciudad. El gran consumo de combustibles por parte de los vehículos automotores constituye la principal fuente de emisiones contaminantes del Valle de México.

Dentro de los contaminantes que se conocen por su importancia en la salud, se hablará en el presente trabajo de los denominados metales pesados. Entre los más peligrosos están el plomo, mercurio, el arsénico, el cadmio, el cromo, el zinc y el cobre, ya que estos metales entran en los ciclos del medio ambiente. Los metales pesados son considerados metales de toxicidad extrema porque en forma libre o formando ciertos compuestos, son solubles en agua y los organismos los absorben con facilidad.

Dentro del cuerpo humano, los metales pesados tienden a combinarse con ciertas enzimas e inhiben su funcionamiento, otra característica que hace que estos metales sean considerados tan peligrosos es su tendencia a acumularse en los organismos. Por esta causa, cantidades reducidas y en apariencia inofensivas absorbidas durante un largo periodo llegan a alcanzar niveles tóxicos, ocasionando intoxicaciones crónicas.

Varios intentos ha realizado el ser humano tratando de disminuir la contaminación que el mismo ha generado, uno de estos esfuerzos fue el implementar el uso de convertidores catalíticos en automóviles, el uso de los convertidores catalíticos ha beneficiado enormemente al medio ambiente, sin embargo representa una nueva fuente de contaminación ambiental ya que la abrasión y el deterioro de estos causa el desprendimiento de partículas que contienen elementos preciosos como platino, paladio y rodio de tal manera que las muestras ambientales como agua, plantas, suelos y sedimentos aumentan la concentración de estos.

La contaminación de suelos influye directamente con la salud humana, ya que los sólidos son considerados como transportadores ecológicos muy eficientes.

La finalidad de este trabajo es llevar a cabo la cuantificación de trazas metálicas presentes en muestras ambientales en dos municipios de la Zona Metropolitana del Valle de México en el cual se hace una comparación con estudios realizados con anterioridad, periodo 2000-2000¹_[14, 18, 25, 27, 31] para tratar de determinar la tendencia de los metales en estudio con respecto al tiempo.

Para lograr lo anterior se utilizó la espectroscopia atómica en combinación con el pre-tratamiento de las muestras por digestión ácida asistida por microondas

OBJETIVO GENERAL

1. Determinar la concentración de trazas metálicas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn) en muestras ambientales de suelo, pasto y agua por espectroscopía atómica, para estimar la tendencia que presenta la concentración de dichos contaminantes con respecto al tiempo en los municipios de Netzahualcoyotl y Zumpango.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Determinar si existe una correlación entre las zonas agrícola y urbana y la concentración de trazas metálicas con base en los resultados obtenidos.
2. Evaluar cual de los factores (Tipo de muestra, Tipo de zona, Flujo vehicular, Municipio y Año) tiene una influencia importante en la determinación de la concentración de los metales en estudio.
3. Establecer si existe una tendencia en la acumulación de trazas metálicas en el periodo estudiado (2000-2002) en el proyecto global, con base en un análisis estadístico de todos los resultados.
4. Estimar si existe alguna relación entre los niveles de concentración de los metales y las vías de comunicación ubicadas a los alrededores de la zona muestreada.

MARCO TEÓRICO

1. GENERALIDADES ACERCA DE LA CONTAMINACIÓN.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro planeta y surge cuando, por presencia cuantitativa o cualitativa de materia y energía, se produce un desequilibrio ambiental. Se puede definir como la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidades tales, que cause efectos adversos en los seres humanos, animales, vegetales o materiales que se encuentren expuestos a dosis (concentración por tiempo) que sobrepasen los niveles que se encuentran regularmente en la naturaleza [4].

1.1 PRINCIPALES EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES SOBRE LA SALUD.

Existe una gran cantidad de sustancias químicas que afectan directamente la salud de las personas. Este efecto depende principalmente, de los siguientes factores: concentración del compuesto a la que se encuentra expuesta la persona; edad, tiempo de exposición, de igual manera los contaminantes pueden presentar efectos a corto, mediano y largo plazo en la salud del individuo [4].

Los metales pesados más peligrosos son el plomo, mercurio, arsénico, cadmio, cromo, cobre y zinc. Estos metales entran al ambiente dondequiera que los artículos en los que intervienen se produzcan, se usen y se desechen. 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. Todos los elementos trazas son predominantemente tóxicos cuando exceden los límites de exposición [1,19].

La característica que hace que los metales pesados sean tan peligrosos es su tendencia a acumularse en los organismos, por esta causa, cantidades reducidas y en apariencia inofensivas absorbidas durante un largo periodo llegan a alcanzar niveles tóxicos [19].

1.2 TOXICOLOGÍA DE LOS METALES

Existen elementos metálicos en todos los organismos vivos, en los que desempeñan papeles muy diversos: pueden comportarse como elementos estructurales, estabilizadores de estructuras biológicas, activadores enzimáticos y componentes de sistemas redox. Por ello, algunos metales son elementos esenciales de funciones biológicas, pero si se presentan en exceso, todos se convierten en elementos tóxicos. [9]

En la naturaleza, los elementos metálicos se encuentran en varios estados de oxidación: compuestos inorgánicos convencionales, como las sales iónicas simples, complejos metálicos o compuestos de coordinación y compuestos organometálicos. Los átomos que forman los compuestos metálicos pueden estar unidos por enlaces iónicos, covalentes y por enlaces que poseen un carácter intermedio. Cuando se disuelven en agua, muchos compuestos metálicos se disocian en iones, comportándose a menudo como cationes, aunque, en ocasiones, pueden ser oxoaniones. Pueden formar también compuestos con otros metales [9].

La exposición de los seres humanos a los elementos metálicos, así como la contaminación del ambiente, se debe tanto a factores naturales como a factores derivados de las actividades humanas. El uso industrial y comercial de los metales continúa creciendo con rapidez, se encuentran nuevas aplicaciones a metales menos familiares, como los metales de transición; se usan con profusión catalizadores, en su mayoría de carácter metálico; la industria plástica utiliza compuestos metálicos como estabilizadores de la temperatura; el chapeado o la producción de lubricantes requieren también el uso de compuestos metálicos. Por todo ello aumenta considerablemente la descarga de metales al medio ambiente; lo que varía es la distancia que puedan recorrer desde su origen, pero a veces es considerable, tanto por aire como por agua o por tierra [9].

Desde el punto de vista de la toxicología ambiental, los elementos que causan mayor preocupación son el cadmio, el plomo, el mercurio y el arsénico, debido a la abundancia y extensión de su presencia y a su capacidad de incorporarse a amplios sectores de la población [9].

Los metales no sufren procesos de metabolización o desintegración. Una vez absorbidos, el metal queda en el organismo hasta ser excretado: del mismo modo, resulta muy difícil eliminarlo del ambiente. De ahí que muchos de ellos posean una semivida biológica muy larga y tiendan a acumularse en el organismo a lo largo de la vida [9].

Las principales vías de exposición a los metales son la respiratoria, la digestiva y en menor grado, la dérmica, pero la más importante, como vía de exposición ocupacional es la inhalatoria. El aire contaminado afecta el suelo, y el agua, con lo que contamina también los cultivos y alimentos de origen animal que después será ingerido. La inhalación del tabaco es también una fuente importante de contaminación, ya que el humo contiene cadmio, níquel, arsénico y plomo [9].

El primer efecto biológico de un metal surge en un órgano determinado, que es específico para ese metal y en circunstancias específicas, para que aparezca dicho efecto es necesario que el metal alcance cierta concentración en las células de ese órgano. La concentración crítica celular se ha definido como la concentración de metal a la que aparecen cambios funcionales lesivos, sean reversibles o irreversibles. La concentración crítica en un órgano es la concentración media alcanzada en un órgano, capaz de afectar un número suficientemente grande de sus células más sensibles. Estas concentraciones críticas pueden variar de un individuo a otro, en función de sus diferencias biológicas de sensibilidad. [9]

1.2.1 ARSÉNICO.

Los compuestos de arsénico se clasifican en tres grupos: a) compuestos con arsénico inorgánico, b) compuestos con arsénico orgánico, y c) el gas arsina. Tanto los compuestos orgánicos como los inorgánicos pueden tener el arsénico en forma trivalente y pentavalente esta presente en cantidades mínimas en todo tipo de rocas, suelos agua y aire, puede existir en 4 estados de valencia: -3, 0, +3 y +5. En condiciones de reducción la forma más predominante es el As III, el arseniato As V suele ser la forma estable en condiciones oxigenadas [9, 7].

En la naturaleza, el arsénico se encuentra en las minas de sulfuro; la arsenopirita es el mineral más común que contiene arsénico. Los usos más frecuentes del arsénico son: Pesticidas, herbicidas, desecante de algodón y como conservador de madera. El arsénico elemental se utiliza en la fabricación de diversas aleaciones con el fin de aumentar su dureza y su resistencia al calor [9].

En el ambiente, el arsénico se encuentra a concentraciones elevadas en ciertos alimentos marinos (peces y mariscos) y en alimentos obtenidos de áreas sometidas a tratamiento con arsénico (insecticidas y herbicidas); en las aguas naturales, la concentración es muy variable, dependiendo del terreno y de la existencia de posibles fuentes de contaminación, el arsénico puede acceder por vía respiratoria y depositarse a lo largo de la mucosa de las vías respiratorias y penetrar después en el organismo. En el organismo humano el arsénico se concentra en los leucocitos y se acumula fundamentalmente en el hígado, riñón, pulmón, pelo, dientes, uñas y piel. [1]

1.2.2 CADMIO.

El cadmio se ha convertido en uno de los metales con mayor capacidad contaminante, dado que su utilización es cada vez más abundante y su reciclaje es muy lento. En la naturaleza se encuentra asociado al zinc, plomo y cobre, extrayéndose de manera conjunta

con estos metales. Su producción aumenta cada año debido a la diversidad de aplicaciones: galvanización y electrochapeado, protección del hierro frente a la oxidación y corrosión, pigmentación de plásticos, endurecimiento del cobre y aumento de su resistencia frente a cambios mecánicos y térmicos.

El cadmio se encuentra en diversos alimentos, tanto animales como vegetales, en el agua y el aire del ambiente; la capa de cadmio que se utiliza para revestir metales es soluble en alimentos ácidos, jugo de frutas y vinagre, su concentración puede aumentar considerablemente por contaminación a partir de las industrias que lo trabajan. Las emisiones de cadmio se depositan en el suelo, sobre la vegetación y en el agua superficial. En esta se adhiere sobre las partículas de materia y aunque se llega a depositar junto con el sedimento, vuelve a ponerse en movimiento al cambiar las condiciones químicas y físicas del agua. En el suelo, es más bien inmóvil, dependiendo de su acidez o alcalinidad. La vía de entrada más peligrosa del cadmio es la respiratoria, ya que la absorción por vía digestiva es sólo del 5%, si bien esta absorción puede aumentar cuando existen deficiencias de calcio o hierro. Dependiendo del tamaño de las partículas inhaladas, el cadmio se deposita en los alvéolos pulmonares, desde donde se absorbe al organismo. Una vez distribuido, se acumula en el hígado y el riñón y atraviesa la barrera hematoencefálica y placentaria. [1, 9]

1.2.3 COBRE.

El cobre es un metal esencial, cuya principal aplicación industrial es la de equipos eléctricos: forma parte también de diversas aleaciones y algunas de sus sales se emplean como pesticidas. Se absorbe por vía digestiva, principalmente en el estómago; se distribuye por todo el organismo y se almacena en hígado, corazón, cerebro, riñón y músculo [9].

1.2.4 CROMO.

El cromo en su forma trivalente se encuentra en la naturaleza y en los organismos como metal esencial; la forma hexavalente es de origen industrial y resulta muy tóxica. Es usado en síntesis en la industria de acero, en el curtido de cuero y como anticorrosivo en radiadores. Se absorbe por vía respiratoria y gastrointestinal [3, 9].

Puede producir ulceraciones de la piel, dermatitis y reacciones alérgicas de localización bronquial y dérmica. También llega a provocar ulceraciones de la mucosa y perforación del tabique nasal. La inhalación de cromo hexavalente puede desencadenar carcinoma bronquial [1].

1.2.5 MERCURIO.

El mercurio se encuentra en forma elemental o formando parte de compuestos inorgánicos y orgánicos. El mercurio circula de modo natural en la biosfera, siendo liberadas de 30 000 a 150 000 toneladas a la atmósfera como gas a partir de la corteza terrestre y los océanos. Además son liberadas otras 20 000 toneladas cada año para usos industriales, de las cuales una pequeña parte se emplea para sintetizar compuestos orgánicos [9].

A la temperatura ambiente, el metal mercurio es líquido. Los compuestos de mercurio lo poseen en forma monovalente o bivalente; en la naturaleza puede formar compuestos órgano metálicos en los que el metal se encuentra unido al carbono mediante enlace covalente en forma $R-Hg^+$ o $R-Hg-R$. Entre los compuestos inorgánicos, tienen interés toxicológico el mercurio elemental y las sales bivalentes.

Los compuestos orgánicos se dividen, a su vez, en estables e inestables. Los compuestos alquimercurio son estables, mientras que los fenilmercurio y los metoxialquimercurio, empleados como pesticidas y conservantes, se rompen fácilmente en el organismo. Los

más peligrosos son los compuestos alquilmércurio, entre los que predomina el metilmércurio.

La elevada toxicidad del mércurio se debe a su gran reacción con los grupos -SH presentes en las proteínas del organismo; de este modo se fija a membranas e inactiva múltiples enzimas de los seres vivos. La estructura molecular de cada compuesto de mércurio, su estabilidad en el organismo y sus vías de eliminación conforman sus propiedades toxicológicas, específicas para cada compuesto.

El mércurio elemental penetra como vapor en el organismo, fundamentalmente por vía respiratoria y en mucho menor grado por vía digestiva. Las sales de mércurio se absorben principalmente por vía gastrointestinal, donde producen intensa lesión de la mucosa se distribuye por el organismo y se acumula en el riñón donde provoca la lesión crónica más característica. Los compuestos alquilo de cadena corta resisten la degradación química de los organismos, por lo que su presencia persiste durante mucho tiempo. Los compuestos orgánicos penetran, en general, en los organismos con mayor facilidad que los inorgánicos, debido a su mayor liposolubilidad, tanto por vía inhalatoria en el caso de los gases, como por vía digestiva, además, al ser menos irritantes, no lesionan la mucosa, por lo que penetran mejor y en mayor cantidad.

1.2.6 PLOMO.

El plomo es un metal pesado que se encuentra extensamente distribuido en la tierra las propiedades físico-químicas de este elemento y de los compuestos que de él se derivan han favorecido la elaboración de una gran cantidad de productos siendo uno de los metales que mas se han utilizado [21].

El plomo se emplea en la fabricación de pilas, en la producción de tetraetilplomo que sirve como antidetonante de la gasolina, en la fabricación de pigmentos, pinturas en depósitos y contenedores de bebidas y alimentos [9].

El plomo penetra por inhalación del aire contaminado, en proporción relacionada con el tamaño de las partículas: por absorción intestinal se incorpora el 10 % de la cantidad ingerida. En la sangre se concentra sobre todo en los hematíes: se distribuye por el organismo, localizándose inicialmente en el riñón e hígado y luego en el hueso, dientes y el cabello, de forma que la acumulación mayor se produce en el hueso.

En las zonas urbanas con intenso tráfico vehicular, la principal fuente de exposición al plomo resulta de la inhalación de partículas extremadamente pequeñas que persisten en el aire durante algunas semanas antes de sedimentarse y que son emitidas por los auto transportes que consumen gasolinas que contienen tetraetilo de plomo. Se ha visto que el plomo es el principal contaminante metálico en la atmósfera. La evidencia epidemiológica muestra que puede ocurrir la inhibición de enzimas involucradas en la síntesis del grupo hemo de la hemoglobina, la intoxicación aguda se presenta acompañada de alteraciones digestivas, dolores epigástricos y abdominales vómitos, alteraciones renales y hepáticas. En tanto que la intoxicación crónica puede involucrar neuropatías, debilidad y dolor muscular, fatiga, cefalea, alteraciones del comportamiento, alteraciones renales [3, 21].

1.2.7 PLATINO.

En los compuestos de platino, el estado de oxidación máxima es +6; los estados +2 y +4 son los más estables. El platino se encuentra en forma metálica o en varias formas minerales. El uso principal del platino deriva de sus excepcionales propiedades catalíticas. Las demás aplicaciones industriales aprovechan otras notables propiedades, en particular la resistencia a la corrosión química en un amplio intervalo de temperaturas, su elevado punto de fusión, su gran resistencia mecánica y su buena ductibilidad. El platino se usa así mismo en joyería y odontología [5]. La exposición a sales de platino se limita principalmente al medio ocupacional, en particular a las refinerías de platino metálico y las plantas de fabricación de catalizadores.

Entre los signos y síntomas de hipersensibilidad figuran urticaria, dermatitis de contacto de piel, y trastornos respiratorios que pueden ir desde estornudos, disnea y cianosis a crisis graves de asma, el periodo de latencia desde el primer contacto con el platino hasta la aparición de los primeros síntomas tienden a empeorar durante el tiempo que los individuos sigan expuestos en el lugar de trabajo, pero suelen desaparecer al cesar la exposición [5].

En suelo la movilidad del platino depende del pH, potencial redox, las concentraciones de cloruro en las aguas subterráneas y el modo de aparición del platino en las rocas primarias. Esto es considerando que el platino puede ser móvil solamente en condiciones extremadamente ácidas o en aguas subterráneas con alto contenido de cloro [5].

El agua y el suelo constituyen el factor más importante en la productividad de los ecosistemas, lo que a su vez, provee a la humanidad directa o indirectamente de la mayor parte de sus satisfactores.

1.2.8 ZINC.

La mayoría de las rocas y muchos minerales contienen zinc en cantidades variables, se utiliza ampliamente como revestimiento protector de otros metales, en la industria de la construcción, así como en aleaciones. Los compuestos de zinc orgánico tienen varias aplicaciones, por ejemplo equipamiento para el automóvil, baterías de acumuladores, pilas secas, aplicaciones dentales, médicas y domésticas. Los compuestos orgánicos de zinc se utilizan como fungicidas, antibióticos tópicos y lubricantes [6].

La emisión natural más importante de zinc al agua procede de la erosión. Las aportaciones naturales al aire se deben fundamentalmente a emisiones ígneas y a incendios forestales. La distribución y el transporte del en el agua, los sedimentos y el suelo dependen de las especies de zinc presentes y de las características del medio ambiente. La solubilidad del

zinc está en función del pH, con valores de pH ácido, el zinc puede estar presente en la fase acuosa en su forma iónica, a un pH superior a ocho puede precipitar [6].

Se han notificado incidentes de intoxicación con síntomas de malestar gastrointestinal y diarrea tras una exposición única o breve a concentraciones de zinc en el agua o en bebidas de 1 000-2 500 mg/L [6].

1.3 SUELO

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre, formado por la interacción de los factores de formación: clima, organismos vivos y muertos que actúan durante un cierto tiempo sobre una roca ubicada en una determinada geoforma y que presenta una evolución a través de la acción de los procesos de formación. Es considerado como un elemento fundamental para la calidad de vida, requiere de atención particular no solo por los problemas de pérdida sino también por la disminución de su fertilidad natural [32].

El suelo dentro del medio ambiente tiene diversas funciones tales como: Productor de alimentos, hábitat biológico, fuente de materias primas. Como productor de alimentos, el suelo es la base para la vida del hombre y los animales, permite la implantación de las raíces de las plantas y les proporciona agua y elementos nutritivos. La producción de alimentos depende de la disponibilidad y el buen estado de los suelos.

Es un recurso básico y un elemento de enlace entre los factores abióticos y bióticos, debido a que puede considerarse, para fines prácticos, un recurso no renovable, su pérdida y degradación constituyen una de las mayores preocupaciones de cualquier país. Esto reviste mayor trascendencia si se considera que el suelo está asociado con factores como la producción de la biomasa (alimentos, energéticos), ciclos hidrológicos, fijación de energía, biodiversidad y amortiguamiento de cambios climáticos [4].

En suelos los metales están presentes en una variedad de formas. En algunos casos los componentes estructurales de suelos minerales o constituyentes menores se incorporan en los suelos dentro de la materia orgánica. Los metales pueden ser depositados por procesos de adsorción sobre la superficie de minerales preexistentes de varios tipos [19].

1.3.1 CONTAMINACION DEL SUELO

La contaminación del suelo es el resultado de malos hábitos, ella proviene de los desperdicios sólidos o líquidos que el hombre no sabe como desechar o tampoco aprovechar. Además tiene su origen en diversas prácticas agrícolas: uso de fertilizantes, de químicos y plaguicidas o pesticidas otra de sus causas puede ser la contaminación atmosférica y del agua [11].

El suelo recibe grandes cantidades de sustancias químicas, desecho de origen doméstico e industrial, de origen agrícola y metales pesados; todas estas sustancias pueden llegar a la cadena alimenticia del hombre por el intermediario del agua o de los alimentos ingeridos y causar alteraciones indeseables [11].

La contaminación en suelos es de vital importancia, pues de éstos se obtienen la mayoría de los alimentos que consumimos, así cualquier contaminante absorbido por un vegetal, directamente afecta al individuo que lo consuma.

1.4 AGUA

El agua es uno de los elementos más importantes de la naturaleza es indispensable en los procesos de la vida y conforma el hábitat tanto de microorganismos como de grandes comunidades acuáticas [11].

El agua contaminada se define como aquella que contiene uno o más materiales que la hacen inadecuada para determinado uso.

En las principales categorías de contaminantes se incluyen:

- ✓ Insecticidas y herbicidas empleados en huertos y céspedes.
- ✓ Suciedad y productos químicos tóxicos de los asentamientos de las emanaciones vehiculares y otros contaminantes del aire.
- ✓ Aceites y grasas escurridas de las carreteras o arrastradas por el desagüe.
- ✓ Desperdicios y basura arrojados al suelo.

Tabla 1 Elementos traza importantes en aguas naturales.

ELEMENTO	FUENTE	EFEITOS Y RELEVANCIA
Arsénico	Derivados de minas, desgaste químico	Tóxico, carcinogénico
Cromo	Minería	Tóxico como Cr (VI)
Cobre	Minería, desgaste químico	Elemento tóxico para plantas y algas en niveles altos.
Plomo	Minería, combustibles	Toxico, daños para la vida.
Mercurio	Minería, carbón	Toxico, movilizado como metilmercurio por bacterias anaeróbicas.
Zinc	Plomería	Elemento esencial, toxico en niveles elevados.

1.5 PLANTAS

Las concentraciones elevadas de algunos iones de metales pesados como el aluminio, el mercurio el plomo y el cadmio, intoxican a la mayor parte de las plantas. algunos sitios geográficos son naturalmente ricos en metales pesados como resultado de procesos geológicos normales [24]. La contaminación de elementos traza en plantas tiene un mayor impacto sobre el ciclo medioambiental de nutrientes y la calidad de alimentos [3]. El boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, y zinc son considerados micronutrientes esenciales para las plantas. Estos elementos son necesarios para las plantas solamente a niveles muy bajos y frecuentemente son tóxicos a niveles altos [29].

El zinc se absorbe en forma de Zn^{+2} su función principal es la activación enzimática y la síntesis de auxinas, el cobre se absorbe en forma Cu^{+2} su función se localiza en sitios activos de muchas enzimas redox y transportadores de electrones [23].

El plomo es un elemento no esencial y potencialmente nocivo; cuando este metal alcanza niveles tóxicos provoca la disminución de la fotosíntesis vegetal en las plantas además del efecto ya mencionado, se le atribuye la reducción en el crecimiento, en la biomasa y la transpiración; además de lesiones cromosómicas inhibición de la división celular e interferencia con enzimas ligadas al metabolismo del nitrógeno [24].

2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MUNICIPIOS EN ESTUDIO.

El objetivo de estudiar los municipios de Nezahualcoyotl y Zumpango radica en que se encuentran cercanos al Distrito Federal además de contar con zonas industriales, urbanas, agrícolas y poseer un gran número de vías de comunicación.

2.1 MUNICIPIO DE ZUMPANGO.

Con respecto al Estado de México, Zumpango se ubica al noreste y al norte del Distrito Federal a una distancia en línea recta de 40 kilómetros los municipios vecinos de Zumpango son: al norte Tequixquiac y Hueyoxtlá; al sur, Teoloyucan, Cuautitlán, Nextlalpan, Jaltenco, nuevamente Nextlalpan y Tecámac; al oriente Tizayuca y Tecámac y al poniente Cuautitlán, Teoloyucan Coyotepec y Huehuetoca. Cuenta con una superficie de 24 408 hectáreas representando 1.08 % de la superficie estatal y una población de 109 383 habitantes [26].

El uso del suelo en el centro de Población es en su gran mayoría agrícola representando el 71.34 % de la superficie total en donde se siembra principalmente, maíz, avena y alfalfa entre los más importantes; en cuanto a la actividad pecuaria se tiene que es encausada la cría de aves, ganado bovino, porcino, ovino y conejo entre los más importantes; el uso forestal representa el 5.06 % el suelo urbano ocupa el 18.58 %.

Según el Programa Estatal de Protección al Ambiente (PEPA) 1996-1999, en Zumpango se presenta un alto grado de contaminación del agua, principalmente por descargas industriales, comerciales y de servicios. De la misma manera se presenta un grado significativo de contaminación de agroquímicos [26].

Los principales factores que enfrentan la degradación del suelo natural del Centro de Población son: el uso de agroquímicos en terrenos de cultivo, cuyas infiltraciones provocan la salinización y sodificación que dañan el tipo del subsuelo, además de que es causante de la pérdida de la capa edáfica [26].

Otro factor importante, es la grave contaminación que se ha dado a lo largo del cauce del Río de las Avenidas de Pachuca, el "Gran Canal" y la Laguna de Zumpango, ya que en estos son descargadas aguas residuales municipales, industriales y comerciales, en donde se llega a detectar la presencia de agroquímicos, residuos sólidos, desechos domiciliarios, etc. los que provocan en algunos casos erosión, pérdida de la capa vegetal, alteración del relieve, pérdida de la productividad del suelo, alteración de los regímenes térmicos e hidrométricos, contaminación de acuíferos, desarrollo de focos infecciosos y plagas.

La emisión de contaminantes a la atmósfera es evidente por las principales industrias en operación, otro componente es la contaminación atmosférica generada por varios cientos de vehículos [26].

2.2 MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL.

Nezahualcóyotl se distingue por ser el área perteneciente a la zona metropolitana de la ciudad de México que registra mayor crecimiento [10]

El municipio de Ciudad Nezahualcóyotl cuenta con una superficie de 6344Km²; la altitud en la cabecera del municipio alcanza 2240 metros sobre el nivel del mar, colinda al norte con Ecatepec, al noroeste con la delegación Gustavo A. Madero del Distrito Federal 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 Iztacalco e Iztapalapa del D.F. [10]

El municipio de Nezahualcóyotl es urbano, su suelo se compone por lo general de arcillas con un alto porcentaje de salinidad y humedad condición que le da un alto grado de dificultad para el manejo de construcciones [10]

Son pocas las especies vegetales que crecen en esta región debido a que el territorio de Nezahualcóyotl se encontraba bajo las aguas del lago de Texcoco, lo que ocasionó un suelo salitroso en el que sólo crecen plantas como pinos, eucaliptos y algunas especies que han demostrado resistencia a la salinidad de la tierra [10]

El uso de suelo predominante es el habitacional con 43.2% en segundo lugar está la vialidad con 25.9% del área total el uso industrial agrupa únicamente el Parque Industrial Izcalli Nezahualcoyotl y talleres que se localizan mezclados con la vivienda o como parte de las mismas [10]

3. HORNO DE MICROONDAS

La mayoría de las técnicas analíticas que permiten la cuantificación de elementos traza requieren que la muestra este en forma de solución. Los aspectos más deseables para cada procedimiento son:

- 1) La habilidad para disolver la muestra completamente
- 2) Que sea razonablemente rápido y seguro^[8]

Las digestiones con sistemas en vasos cerrados tienen un número de ventajas:

- 1.- Una digestión con vasos cerrados puede alcanzar altas temperaturas ya que el punto de ebullición es aumentado por la presión producida en el vaso.
- 2.- Con las altas temperaturas producidas en un vaso cerrado el tiempo requerido para la digestión puede ser reducido.
- 3.- La posibilidad de perder elementos volátiles es eliminada.
- 4.- Se requiere menor cantidad de ácido(s) u otros reactivos ^[16].

En el presente trabajo se utilizo el Horno de microondas MARS 5 CEM Corps. el cual se encuentra ubicado en el Laboratorio Espectrometría por plasma del LEM-3000 el cual se muestra en la Figura 1.

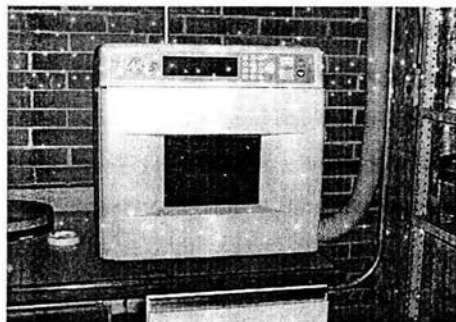


Figura 1. Horno de Microondas MARS 5 CEM Corps.

A continuación se presenta una guía que da a conocer la forma de operación del Horno de Microondas MARS 5 CEM Corps. en una forma que pretende ser la más fácil y rápida para su aprendizaje y consta de tres partes: Instrumentación, Procedimientos y Mantenimiento.

Es muy importante seguir cada una de las partes correspondientes de esta guía ya que cada una constituye una parte fundamental para el adecuado funcionamiento del equipo.

- ❖ **Instrumentación.** Accesorios y preparación de los mismos para llevar a cabo la digestión.
- ❖ **Procedimientos.** Pasos a seguir para la preparación de las muestras para su digestión.
- ❖ **Mantenimiento del equipo al finalizar un análisis.** Tareas de limpieza en el equipo y accesorios para mantener en condiciones óptimas a los mismos.

3.1 INSTRUMENTACIÓN

Componentes principales del Horno de Microondas MARS 5 CEM Corps.

- ❖ Vasos de teflón HP 500 plus
- ❖ Sensor de presión ESP (Sensor Electrónico de Presión) presión máxima permitida es de 350 psi
- ❖ Sensor de temperatura EST (Sensor Electrónico de Temperatura) temperatura máxima permitida 210 °C
- ❖ Thermowell (capilar de zafiro)
- ❖ Chaquetas
- ❖ Marcos de soporte
- ❖ Tornamesas
- ❖ Tapones de seguridad (color azul)
- ❖ Tapón para sensor de temperatura (color blanco con orificio en la parte superior)
- ❖ Tapa de teflón para vaso control

En la Figura 2. se muestran las partes que se ven involucradas en el sellado de los vasos de teflón que se emplean para la digestión por horno de microondas. más adelante se detalla el uso de cada uno de estos componentes.

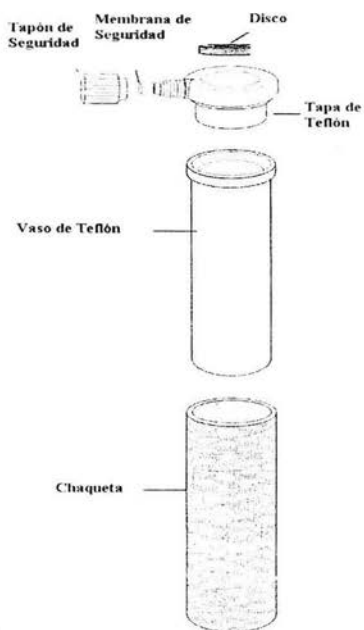


Figura 2. Partes que permiten el sellado adecuado de los vasos

En la Figura 3. se muestran los componentes principales para el vaso control, este vaso es de vital importancia ya que aquí se lleva a cabo el monitoreo de la presión y/o temperatura de la mezcla [(problema + ácido(s))] manteniendo las condiciones deseadas.

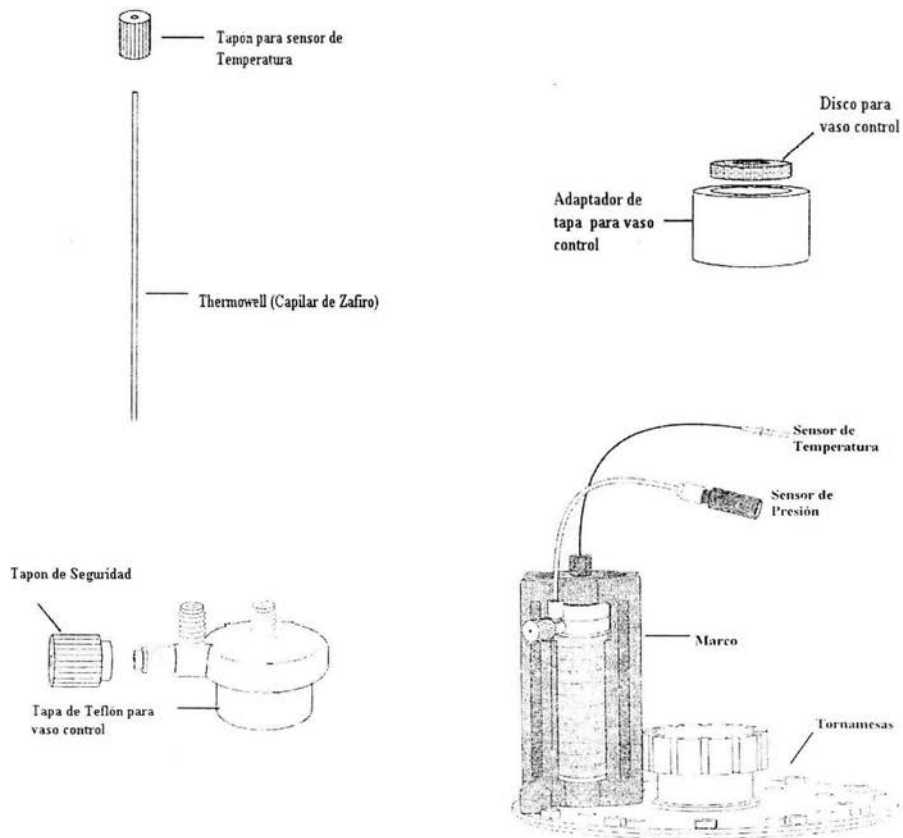


Figura 3. Componentes relacionados con el vaso control.

3.2 PROCEDIMIENTOS

Antes de encender el Horno de Microondas se deben de tomar en cuenta cada una de las indicaciones que se mencionan ya que todas ellas son vitales para la seguridad del equipo y del analista.

Preparación de los vasos donde se llevara a cabo la digestión

1. Antes de comenzar a trabajar, hay que asegurarse de que todos los componentes del Horno de Microondas deben de estar completamente secos y si no lo están, dejarlos secar



2. Colocar la membrana de seguridad dentro de las tapas (color azul) asegurándose que quede en el centro y empleando el aditamento que se muestra en la Figura 4. Nunca se debe de instalar más de una membrana de seguridad.

Figura 4. Instalación de la membrana de seguridad

3. En la Figura 5. se muestra el vaso de teflón HP-500 plus en el cual se puede pesar directamente la muestra. La muestra debe de quedar en el fondo del vaso para que pueda ser cubierta completamente por el ácido que se utiliza para la digestión. Se debe tener cuidado de que las paredes no tengan depósitos de muestra.

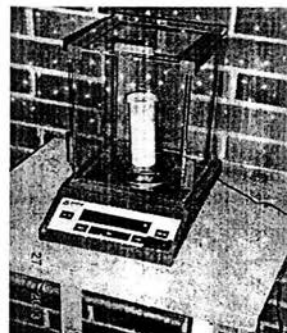
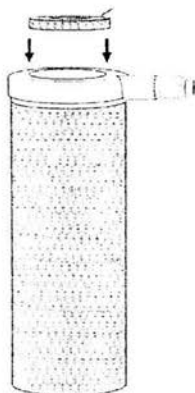


Figura 5. Vaso de teflón HP 500 Plus

Al adicionar la solución ácida a los vasos, visualmente observe una reacción. Dejar reposar un tiempo mínimo de 15 minutos. El tiempo de reposo necesario dependerá de la mezcla de reactivos con la que se lleve a cabo la digestión, generalmente al emplear peróxido de hidrógeno el tiempo de reposo mínimo es de 30 minutos.



4. Una vez que se ha colocado la tapa de teflón al vaso, colocar la tapa café en forma de disco con el lado de la cara circular hacia arriba como se muestra en la Figura 6.

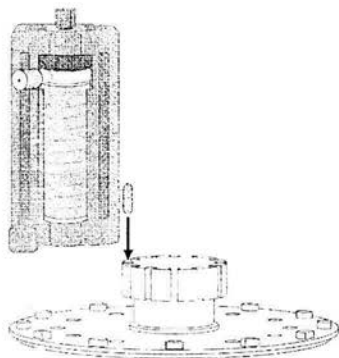
5. Insertar el vaso seco dentro de la chaqueta. En la Figura 6. se muestra como debe de quedar instalado el vaso

Figura 6. Vaso de teflón colocado en su chaqueta

6. Instalar el vaso completo y ensamblado dentro del módulo de soporte (Figura 7.) y colocar el tapón que contiene la membrana de seguridad (tapón color azul).



Figura 7. Soporte para vaso HP-500 plus



7. Una vez que todos los vasos se encuentran listos, colocar cada vaso dentro del tornamesas por inserción en cada lugar del tornamesas, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Colocación de los vasos encaquetados y en su marco de soporte.

8. El vaso control se coloca siempre en la posición número uno del tornamesas ya que en el se coloca el sensor de presión, sensor de temperatura o ambos, según lo requiera el método de digestión con que se va a trabajar.

9. En la Figura 9. se observa cómo se debe de instalar el Thermowell (capilar de zafiro) para el sensor de temperatura, para lo cual es necesario contar con los siguientes componentes del horno de microondas:

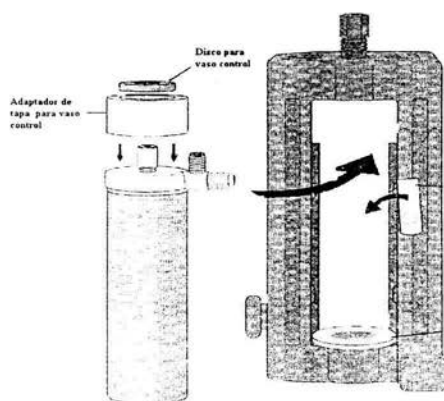


- ❖ Thermowell, (capilar de zafiro)
- ❖ Tapón para el Thermowell (color blanco), el cual posee un orificio en la parte superior
- ❖ Tapa para vaso control.

Figura 9. Instalación del capilar de zafiro para el sensor de temperatura.

La instalación se realiza de la siguiente manera:

- Colocar el Thermowell en el tapón de color blanco que contiene un orificio en la parte superior, posteriormente se desliza el capilar por la parte superior de la tapa para vaso control, teniendo mucho cuidado de no dañar el sensor, colocar la tapa de teflón en el vaso control. Una vez terminado colocar el vaso dentro de la chaqueta.
- En el tornillo que se encuentra al lado del tapón de seguridad es necesario colocar el tapón blanco completamente cerrado para evitar el escape de la muestra, cuando se emplea un método de digestión controlando la temperatura.

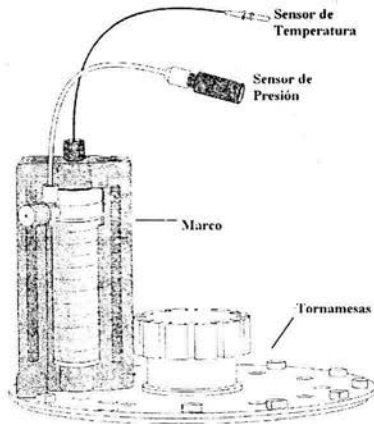


- En la tapa de teflón para el vaso control es necesario colocar el adaptador para tapa de vaso control y el disco que contiene un orificio en la parte superior.
- Una vez que el vaso control está listo, se procede a colocar el vaso dentro del marco siguiendo la posición de las flechas, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Colocación del vaso control en su marco de soporte

- Una vez que el vaso control está listo, se procede a colocar el vaso dentro del marco en la posición número uno del tornamesa ya que este será el vaso control. Es necesario colocar el tapón de seguridad con su respectiva membrana de seguridad.

- El sensor se coloca en el vaso control dentro del capilar de zafiro como se muestra en la Figura 10, y en la parte superior del horno de microondas teniendo cuidado de que al girar no se enrede con ningún marco ya que esto puede provocar el desprendimiento del sensor causando un daño irreversible de éste.



Nota: Para la manipulación del sensor de temperatura es necesario tomarlo del soporte negro que se encuentra ubicado arriba del número de entrada GF del sensor. En la Figura 11, se muestran las posiciones en las cuales se deben de colocar tanto el sensor de presión como el sensor de temperatura en el vaso control.

Figura 11. Posición del vaso control con los sensores



10. Figura 12. Posición del sensor de presión en el vaso control y en el horno de microondas.

9. El sensor de presión se coloca en la tapa para vaso control en el tornillo que se encuentra ubicado al lado del tapón de seguridad y se conecta en la parte derecha superior interna del horno de microondas. Se debe de evitar que el sensor de presión se enrede con alguno de los marcos ya que se puede causar un desprendimiento de este y dañar el sensor.

Cuando se requiera hacer uso de ambos sensores se debe tener cuidado de que no se enreden entre sí. En la Figura 12. se muestra la posición donde se coloca el sensor de presión.

Observación: El vaso control deberá de contener aquella muestra que se considere más complicada, o peligrosa a fin de que al mantener esta bajo control, las demás muestras contenidas en los vasos no generarán una presión o temperatura mayor y se evitará así que se rompa la membrana de seguridad de algún otro vaso.

Si llegará a romperse una membrana de seguridad durante la digestión es necesario detener el proceso, retirar el vaso, limpiar la cavidad interna del horno (con una solución de bicarbonato, si es una digestión ácida), volver a colocar la tornamesas con los vasos restantes y proseguir con la digestión.

Si más de dos membranas de seguridad se rompen, es necesario detener el proceso de digestión, retirar los vasos, limpiar la cavidad del horno de microondas, revisar el método de digestión para la muestra en proceso, ya que se podría estar generando un exceso de presión o temperatura en los vasos.

3.3 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO AL FINALIZAR LA SESIÓN.

El mantenimiento por parte del usuario es esencial para mantener el equipo en óptimas condiciones de funcionamiento este mantenimiento comprende la revisión continua de los componentes del horno de microondas así como de este mismo.

Cuidados necesarios para el manejo del horno de microondas

- Todos los componentes de los vasos incluyendo los vasos deben de estar completamente secos, ya que las gotas de líquido o materia pueden absorber energía del microondas causando daños.
- Los vasos HP 500 plus tienen un tiempo máximo de calentamiento recomendado de 30 minutos a 210 °C.
- La potencia disponible en el horno de microondas es para tres niveles que pueden ser (300w cuando se tiene de 1-2 vasos en el tornamesas, 600w 3-5 vasos 1200 para 6 o más vasos).
- En caso de que las chaquetas absorban liquido secarlas en la estufa a 100 °C por un periodo de 2 horas.
- Los marcos de soporte no deben de mojarse por ningún motivo, en caso de encontrarse mojados, secarlos perfectamente antes de emplearlos.
- Los vasos de teflón se pueden lavar con una solución de dextran y se enjuagan con agua desionizada, dejarlos secar perfectamente antes de usarlos.
- Al lavar los vasos de teflón se debe de tener cuidado de no introducir ningún tipo de escobillon o cepillo, tela, papel, etc., en la parte interior porque se pueden rayar.
- El Thermowell (Capilar de Zafiro) solo se enjuaga con agua desionizada de la parte externa.

- Cuando se utilicen los sensores de presión y de temperatura se debe de tener mucho cuidado de no dañarlos debido a que la fibra óptica del sensor de temperatura es muy sensible y no tiene reparación

- Los sensores de temperatura y presión solo se desconectan y se guardan en sus respectivos estuches teniendo el cuidado de no dañar la fibra óptica.

- Nunca se debe de colocar más de una membrana de seguridad.

- Después de haber finalizado con la digestión apagar el horno del botón que se encuentra ubicado en la parte inferior derecha (botón de color negro) del Horno de Microondas.

- Desconectar el horno de microondas cuando se termine de usar.

- Limpiar el horno de microondas con una solución de bicarbonato de sodio para evitar que los vapores de los ácidos dañen la tarjeta y el interior del horno de microondas.

- Apagar el extractor cuando se termine de usar.

4. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN Y EMISIÓN ATÓMICA.

La medición de la absorción y emisión de la luz de los materiales se llama espectrofotometría y los instrumentos que se emplean de manera específica se llaman espectrofotómetros.

4.1 ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

La espectrofotometría de absorción consiste en medir la fracción de luz de una determinada longitud de onda que atraviesa por la muestra, se emplea para la determinación de aproximadamente 70 elementos y la sensibilidad que presenta está dentro de los límites de partes por millón a partes por billón [28].

La espectrofotometría de absorción atómica se basa en la absorción de átomos o iones atómicos, cuando la muestra es irradiada por una fuente de energía. Esta técnica representa una alternativa ideal para la cuantificación de trazas metálicas (previo tratamiento de las muestras). Las determinaciones se realizan mediante una relación que existe entre las mediciones a partir de estándares de concentración conocida (curva de calibración) de donde se obtienen absorbancias, propiedad que guarda una relación lineal con la concentración es decir, sigue la ley de Lambert- Beer, que establece que la absorbancia de una muestra es directamente proporcional a la concentración de la especie absorbente [11, 28].

Los sistemas de atomización en absorción atómica son: Flama, Horno de Grafito, Generador de Hidruros y vapor frío. Para la cuantificación de arsénico y mercurio se emplea este último, este sistema de atomización se basa principalmente en la formación de

compuestos hidruros y elementos en estado basal extremadamente volátiles a temperatura ambiente.

4.2 ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN ATÓMICA.

Los métodos atómicos de emisión se basan en la medida de la radiación emitida por los átomos de una muestra, previamente excitados. [12]

La espectroscopia de emisión por plasma de acoplamiento inductivo es una técnica que permite la determinación de elementos metálicos, semi-metálicos y algunos no metálicos mediante la técnica de emisión atómica [13].

La cantidad de energía requerida para excitar la mayoría de las muestras es muy grande, por lo que se produce la disociación de cualquier compuesto químico en sus elementos. Esto hace que el espectro de emisión sea característico de los átomos presentes en la muestra, estará constituido por un conjunto de líneas finas y bien definidas [12].

La espectroscopia de emisión puede utilizarse con fines cualitativos y cuantitativos. La variable cualitativa es la longitud de onda de las líneas emitidas, que permite la identificación de elementos, mientras que la variable cuantitativa es la intensidad de las líneas espectrales [11, 12].

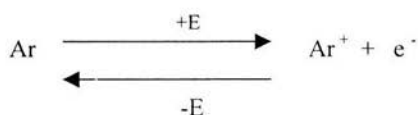
El origen de los espectros atómicos reside en la propia estructura atómica. Las líneas del espectro de emisión de un determinado elemento corresponden a transiciones electrónicas entre los distintos niveles energéticos de sus átomos [12].

La sensibilidad de la espectroscopia de emisión es inversamente proporcional a la complejidad del espectro, si una fuente de excitación proporciona una cantidad fija de

energía, y esta energía se divide en muchas líneas diferentes, la intensidad (sensibilidad) de cada una de ellas debe disminuir [12].

El hecho de que el argón (gas generador del plasma) tenga un potencial de ionización 15.8 eV es suficiente para ionizar muchos otros iones (salvo F, He, Ne).

Un plasma se define como un gas ionizado, esto es una mezcla gaseosa que contiene una concentración significativa de cationes y electrones. Si dicho gas es argón deberá establecerse el equilibrio siguiente:



Para originar el plasma es preciso un aporte externo de energía que provoque la ionización del gas y la mantenga estacionaria.

El gas argón fluye a través de un tubo de cuarzo de unos 2.5 cm de diámetro, rodeado en su extremo superior por 3 o 4 anillos de una bobina de inducción alimentada por un generador de radiofrecuencias. La frecuencia de operación estándar es de unos 27 MHz y la potencia de 1 a 3 Kw [9]. La corriente de alta frecuencia fluyendo a través de la bobina de inducción genera campos magnéticos oscilantes cuyas líneas de fuerza están orientadas axialmente en el interior del tubo [11, 12, 28].

La ionización del argón que fluye por el interior del tubo se inicia por medio de una descarga y sus electrones asociados interaccionan entonces con el campo magnético oscilante, como consecuencia de lo cual hace que se muevan en trayectorias anulares cerradas, encontrando resistencia e ese movimiento lo que origina un calentamiento ohmico. El plasma, una vez formado, se automantiene y el resultado es un gas altamente ionizado con temperaturas entre 6 000 y 10 000 °K.

En el plasma pueden distinguirse dos zonas: un núcleo blanco brillante que termina en una cola en forma de llama. En el núcleo tiene lugar una intensa emisión continua procedente de la recombinación de los electrones con los iones argón. Esta emisión se desvanece unos 15 y 20 mm es óptimamente transparente, y es donde se llevan a cabo las medidas analíticas [12].

La antorcha de plasma está constituida por 3 tubos concéntricos. La muestra, normalmente en disolución es aspirada por un sistema nebulizador, y transportada por el tubo central, arrastrada por el gas portador (argón) a una velocidad relativamente pequeña (~1mL/min.). Como la temperatura obtenida es muy elevada, es necesario aislar térmicamente el plasma para evitar el sobrecalentamiento del tubo de cuarzo. Para ello, se introduce argón tangencialmente por el tubo mas externo a la velocidad de 10-15 L/min. Este flujo de argón enfría las paredes internas del tubo de cuarzo externo, y a la vez, estabiliza y centra el plasma [12].

4.2.1 APLICACIONES

La gran sensibilidad y su capacidad para distinguir un elemento de otro en muestras complejas, así como para realizar análisis multielemental simultáneo y la facilidad con que se puede analizar automáticamente muchas muestras, la espectroscopia atómica es una técnica de gran importancia [11].

Por medio de esta técnica es posible la determinación simultánea de casi la totalidad de los elementos de la tabla periódica, con una alta sensibilidad. Además, el intervalo de respuesta lineal en función de la concentración es muy amplio y se tiene un bajo nivel de interferencias espectrales, químicas y de ionización. Dentro de las áreas de aplicación de esta técnica podemos encontrar la determinación de metales pesados y contaminantes metálicos en muestras de agua, pasto, suelo, sedimento, alimentos etc. [13].

4.2.2 VENTAJAS

Las principales ventajas de esta técnica de análisis son:

- Aquellas aplicaciones en las que se necesita analizar (cualitativamente y cuantitativamente) un elevado número de elementos; sobre todo si el número de muestras para análisis es igualmente elevado.
- Amplio margen de linealidad de la curva de calibración, ya que una vez calibrado el equipo se pueden analizar en una misma tanda muestras con contenidos muy diferentes [17].
- Límites de detección excelente
- Permite hacer el análisis cualitativo
- Pueden utilizarse muchas líneas en cada elemento lo que permite corregir posibles interferencias [13].
- Elimina muchas interferencias habituales
- La atomización del analito es más completa y la señal es mayor [11].

En la Figura 13. se puede observar el espectrofotómetro de emisión atómica por plasma de acoplamiento inductivo empleado en la determinación de los metales Cd, Cr, Cu, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn

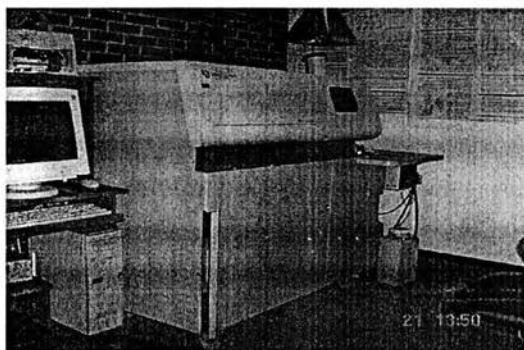


Figura 13. Espectrofotómetro de Emisión por Plasma de Acoplamiento Inductivo.

PARTE
EXPERIMENTAL

5. MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS

5.1 EQUIPO

1.- Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian Spectra 800

- Generador de Vapor Frío e Hidruros Modelo VGA 77
- Celda de cuarzo
- Lámpara de cátodo hueco de arsénico Varian No. serie 5C958 No. Parte 56-101222-00
- Lámpara de cátodo hueco de mercurio Varian No. serie 0B431 No. Parte 56-101222-00

2.- Espectrofotómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo Thermo-Jarrell Ash

3.- Horno de Microondas CEM (Mars 5 CEM corp.)

- Vasos de teflón modelo HP-500 plus
- Sensor de temperatura de fibra óptica CEM modelo FOT-L-CEM, rango -50 °C a 250 °C
- Sensor de presión
- Membranas para los vasos HP-500 safety membranas CEM 140 piezas Use part #431300 Falcón USA.

4.- Sistema Millipore para obtener agua desionizada de 18MΩ cm

5.2 MATERIAL

Matraces volumétricos (10, 25, 50, 100 mL)

Micropipetas (5-50, 20-200, 100-1000 mL y 1-5 mL)

Vasos de precipitado de 50, 100, 250 mL

Piseta

Mortero de porcelana con pistilo

Pipetas volumétricas (1, 2, 5, 10 mL)

Probeta graduada 10 mL

Espátula

Perilla

Envases de polietileno

Papel Whatman No. 40

Embudo de vidrio

5.3 REACTIVOS

H₂O₂ en solución al 30 % Marca J.T. Baker de México

HCl conc. 36.5 – 38.0 % Marca J.T. Baker de USA (alta pureza)

HNO₃ conc. 69.0-70 % Marca J.T. Baker de USA (alta pureza)

KI 99.9 % Reactivo Baker de EUA

NaBH₄ aprox. 98.0 % SIGMA USA

NaOH 98.4 % Reactivo Baker de México

SnCl₂·2H₂O 98.7 % Reactivo Baker de México

Agua desionizada

5.4 ESTANDARES

As concentración 1000.1 ppm Solutions Plus, Inc.

Cd concentración 998.4 ppm Solutions Plus, Inc.

Cr concentración 997.9 ppm Solutions Plus, Inc.

Cu concentración 1000 ppm High-Purity Standards

Hg concentración 999.7 ppm Solutions Plus Inc.

Pb concentración 998.1 ppm Solutions Plus, Inc.

Pd concentración 998.3 ppm Solutions Plus, Inc.

Pt concentración 998.4 ppm Solutions Plus, Inc.

Rh concentración 1000 ppm High-Purity Standards

Zn concentración 1000 ppm High-Purity Standards

Sand soil B High-Purity Standards

Sand soil C 50 g High-Purity Standards

Loam C High-Purity Standards

Marine Sediment 50 g High-Purity Standards

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

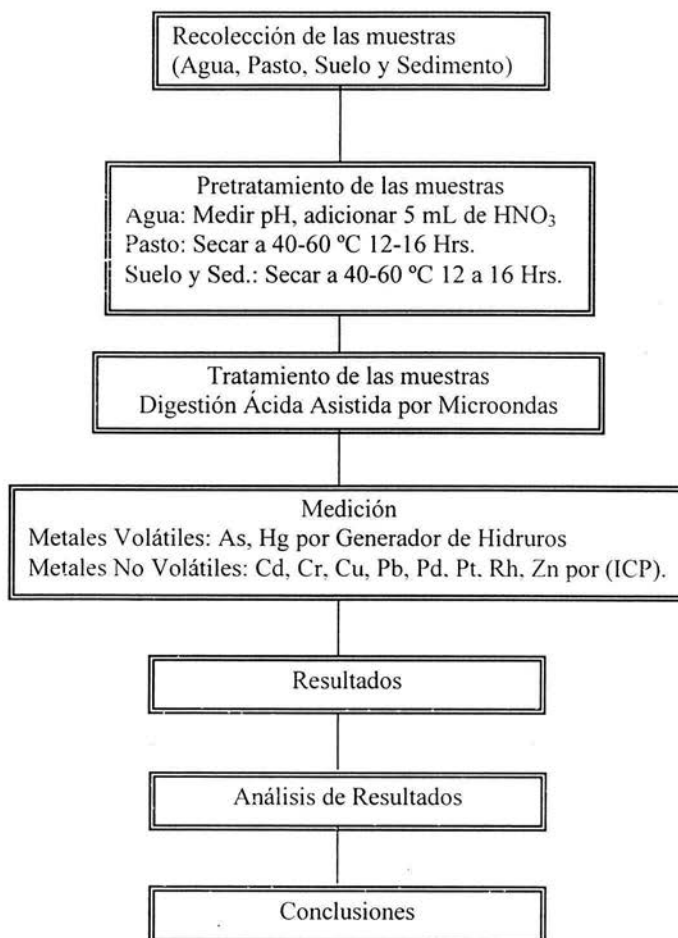


Diagrama de flujo de las actividades realizadas

La recolección de las muestras es de suma importancia ya que es una actividad mediante la cual se tomaran partes representativas de un todo llamado población con el objetivo de que, a partir del estudio de las características de cada una de estas partes se conozcan las de la población total [32].

6.1 RECOLECCION DE LAS MUESTRAS (AGUA, PASTO, SUELO).

Las muestras ambientales de agua, pasto, suelo fueron tomadas de zonas que poseen algunas de estas características: zonas con alto tránsito vehicular, zonas industriales y zonas agrícolas. El muestreo que se llevo a cabo fue siguiendo un diseño aleatorio simple que consistió en tomar una muestra representativa del lugar.

a) MUESTRAS DE AGUA

Se recolecto un volumen de 500 mL de agua aproximadamente a una profundidad de 15-20 cm. Las muestras se colectaron en envases de polietileno.

b) MUESTRAS DE PASTO

Se recolectaron aproximadamente 250 g de pasto cortado desde la raíz. se colocaron en bolsas de polietileno.

c) MUESTRAS DE SUELO

Las muestras de suelo fueron tomadas a una profundidad de entre 0-30 cm aproximadamente con la ayuda de una pala metálica plana. La muestra se deposito en bolsas de polietileno.

Las muestras de sedimento se obtuvieron de los cuerpos de agua que permitían el acceso, se recolecto con la ayuda de una pala un Kilogramo de muestra aproximadamente y se deposito en bolsas de polietileno.

En la tabla 2 se presenta el número de muestras correspondientes a cada municipio.

Tabla 2. Número de muestras recolectadas por municipio

MUNICIPIO	TIPO DE MUESTRA			
	AGUA	PASTO	SEDIMENTO	SUELO
NETZAHUALCOYOTL	4	21	3	24
ZUMPANGO	10	13	6	15

A las cuales se les dio el siguiente pretratamiento:

6.1.1 MUESTRAS DE AGUA

- ✓ Medir el pH con un potenciómetro manual después de la recolección.
- ✓ Adicionar 5 mL de HNO₃ concentrado a la muestra con la finalidad de mantener los metales en solución e inhibir el crecimiento de microorganismos que en algunos casos utilizan como fuente nutricional algunos de estos metales.
- ✓ Guardar las muestras en envases de polietileno, es recomendable el uso de estos envases ya que son materiales inertes.

6.1.2 MUESTRAS DE PASTO.

- ✓ Secar la muestra de pasto al aire libre en un lugar libre de polvo para evitar la contaminación.
- ✓ Secar en estufa a una temperatura entre 40-60 °C por un periodo de 12-16 Hrs.
- ✓ Una vez seco el pasto se procede a molerlo en un mortero de porcelana
- ✓ Guardar las muestras en bolsas de polietileno

6.1.3 MUESTRAS DE SUELO Y SEDIMENTO

- ✓ Secar en estufa a una temperatura entre 40-60 °C por un periodo de 12-16 hrs.
- ✓ Moler en un mortero de porcelana
- ✓ Tamizar con malla No. 10
- ✓ Guardar la muestra en bolsas de polietileno

6.2 DIGESTION ACIDA EMPLEANDO HORNO DE MICROONDAS.

Como las muestras contienen materiales suspendidos y materia orgánica se requiere de un tratamiento específico que consiste en una digestión. Algunas de las razones por las cuales se emplea el horno de microondas como método de digestión es porque libera la energía directamente en forma de calor, opera con la mayoría de los reactivos tradicionales, reduce la cantidad de reactivos a utilizar, los elementos volátiles se pueden retener y las elevadas temperaturas que se alcanzan en recipientes cerrados. permite que se efectúen reacciones que no son posibles en condiciones atmosféricas [30].

6.2.1 PROCEDIMIENTO PARA LA DIGESTIÓN ACIDA DE AGUA

Para las muestras de agua se realizaron dos tipos de digestión uno para metales volátiles (As, Hg) y otro para no volátiles (Cd, Cr, Cu, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn). El procedimiento general consiste en:

1. Colocar un pequeño volumen de la muestra de agua en un matraz volumétrico de 25 mL
2. Adicionar 2.5 mL de HNO₃. Llevar al volumen de aforo con la misma muestra. El programa de digestión para metales volátiles se muestra en la tabla 3. El programa de digestión para muestras de agua metales no volátiles se muestra en la tabla 4.

Tabla 3. Programa de digestión para muestras de agua metales volátiles ^[27]

ETAPA	POTENCIA (%)	PRESION PSIG	POTENCIA (w)	RAMPA (MIN.)	TAP (MIN.)	TEMP. (°C)
1	100	350	1200	10	15	90

TAP: Tiempo en que se mantiene la T°.

Tabla 4. Programa de digestión para muestras de agua metales no volátiles ^[27]

ETAPA	POTENCIA (%)	PRESION PSIG	POTENCIA (w)	RAMPA (MIN.)	TAP (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 finalizado el programa, se espero a que se enfriaran las soluciones, se filtraron con papel Whatman No. 40 y se colocaron en envases de polietileno.

6.2.2 PROCEDIMIENTO PARA LA DIGESTIÓN ACIDA DE PASTO

1. Pesar 0.25 g de muestra
2. Colocar la muestra en un vaso de teflón
3. Agregar 10 mL de HNO₃ conc.
4. Cerrar el sistema y colocar los vasos en el carrusel.

Se usa un procedimiento de digestión para las muestras de pasto controlando la temperatura. Esta digestión fue la misma para todos los metales.

Tabla 5. Programa de digestión para muestras de pasto ^[25]

ETAPA	POTENCIA (%)	POTENCIA (w)	RAMPA (MIN.)	PRESION (PSIG.)	TAP (MIN.)	TEMP. (°C)
1	100	1200	10	200	10	140

Una vez finalizado el programa de digestión, esperar a que se enfríen las soluciones, filtrar con papel Whatman No. 40 y colocar las muestras en un matraz volumétrico de 25 mL.

llevar al volumen de aforo con agua desionizada. Colocar las muestras en envases apropiados.

Las soluciones obtenidas están listas para el análisis de mercurio en el espectrofotómetro de absorción atómica con el sistema de vapor frío y para el análisis de metales no volátiles empleando el ICP*, sin embargo para el análisis de arsénico es necesario hacer una reducción para que de esta manera se encuentre como As^{3+} y se pueda realizar el análisis en el espectrofotómetro de absorción atómica con el sistema de generador de hidruros.

6.3 OPTIMIZACION DE LA DIGESTION ACIDA ASISTIDA POR HORNO DE MICROONDAS PARA SUELO.

La optimización del método de digestión ácida para suelos se llevo a cabo con suelos certificados. Material de referencia certificado loam soil HPS obtenido del condado Shelby, Kentucky, material referencia certificado marine sediment HPS obtenido del puerto Charlestown, Sur de Carolina, material de referencia certificado Sandy soil B HPS obtenido de la isla Johns, condado Charlestown, Sur de Carolina, material de referencia certificado Sandy soil C HPS obtenido de la isla Jonás, condado Charlestown, Sur de Carolina. Se realizaron digestiones ácidas con todos los materiales de referencia antes mencionados. Para determinar el porcentaje de recobro de cada uno de los siguientes metales Cu, Zn.

La digestión se realizó con el suelo Sandy soil C debido a que es el suelo mas parecido a las muestras recolectadas.

* ICP Espectrofotómetro de Emisión por Plasma de Acoplamiento Inductivo

En la tabla 6 se muestra el diseño experimental empleado en la determinación de las condiciones óptimas para la digestión de muestras de suelo.

Tabla 6. Diseño experimental para la digestión de suelo

Digestión	Suelo	HNO ₃ (mL)	HCl (mL)	H ₂ O ₂ (mL)
1	Sandy soil C	4.5	2.5	0.5
2	Sandy soil C	5.5	0.5	0.5
3	Sandy soil C	6.5	1.5	0.5
4	Sandy soil C	4.5	2.5	0
5	Sandy soil C	5.5	1.5	0
6	Sandy soil C	6.5	1.5	0
7	Sandy soil C	4.5	1.5	1
8	Sandy soil C	5.5	0.5	1
9	Sandy soil C	6.5	2.5	1

6.3.1 PROCEDIMIENTO DE LA DIGESTIÓN ÁCIDA PARA SUELO.

- ✓ Realizar la técnica de cuarteo [22] con la muestra de suelo certificado hasta obtener una muestra representativa.
- ✓ Pesar 0.5g de material de referencia certificado
- ✓ Agregar el volumen de ácido necesario para realizar cada digestión por triplicado

Realizar un programa en el horno de microondas que consiste:

Tabla 7. Programa de digestión para las muestras de suelo controlando la presión.

ETAPA	POTENCIA (%)	POTENCIA (W)	RAMPA (MIN.)	PRESIÓN (PSIG.)	TAP (MIN.)	TEMP. (°C)
1	100	1200	20	60	20	180

Esta digestión fue la misma para todos los metales. Cada digestión se realizó por triplicado.

Terminado el programa en el horno de microondas, se deja enfriar las muestras a temperatura ambiente filtrar empleando papel Whatman No. 40 llevar al volumen de aforo (50 mL) con agua desionizada.

Nota: En los sistemas que se requiere adicionar H_2O_2 es necesario realizar una segunda digestión la cual consistió en una rampa de presión de 60 psig, de 10 minutos al 95 % de potencia, 1 200 W, manteniendo el valor máximo de la presión durante 10 minutos más. Esto debido a que las reacciones con H_2O_2 son muy fuertes y se utiliza en la digestión como reactivo terminal.

Una vez terminada la segunda digestión se dejó enfriar las soluciones, el contenido de los vasos fue filtrado utilizando papel filtro (Whatman 40). La solución se colocó en matraces volumétricos de 50 mL, se llevó al volumen de aforo con agua desionizada. Posteriormente se determinó la concentración de los siguientes metales: Cu, Zn.

Los resultados obtenidos se analizaron con el programa estadístico StatGraphics plus 4.0 mediante el análisis estadístico se seleccionaron dos tipos de digestiones con los siguientes reactivos.

Tabla 8. Selección de mezclas de ácidos y volúmenes para la digestión.

Método	Suelo	HNO_3 (mL)	HCl (mL)	H_2O_2 (mL)
1	Sand Soil C	5	2.5	1
2	Sand Soil C	6.5	0.5	0

Las digestiones se realizaron por triplicado y se determinó la concentración de Cu y Zn en el espectrofotómetro de absorción atómica para determinar el porcentaje de recobro y elegir la digestión óptima.

Tabla 9. Porcentaje de recobro y coeficiente de variación para los métodos de digestión.

Método	Cu recuperado (%)	C.V. (%)	Zn recuperado (%)	C.V. (%)
1	84.97	3.064	91.64	3.54
2	96.09	1.72	99.61	1.20

C.V.= Coeficiente de Variación

En la tabla 9 se puede observar que la mejor digestión es la número dos porque el coeficiente de variación es menor que en la número 1, además no se emplea H_2O_2 se reduce el tiempo en la digestión y se economizan los gastos.

Procedimiento para la digestión de las muestras de suelo.

- ✓ Realizar la técnica de cuarteo [22] con la muestra de suelo hasta obtener una muestra representativa.
- ✓ Pesar 0.5 g de muestra de suelo
- ✓ Agregar 6.5 mL de HNO_3 conc. y 0.5 mL de HCl conc.
- ✓ Cerrar el sistema y colocar los vasos en el carrusel.

El programa de digestión para suelos se muestra en la tabla 7.

6.4 DETERMINACIÓN DEL pH EN LAS MUESTRAS DE SUELO.

La determinación del pH en las muestras de suelo se realizó basándose en el procedimiento establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-25-1984. Protección al Ambiente Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos- Determinación del pH Método Potenciométrico. [23]

Se pesaron 2 g de cada muestra de suelo y se agregaron 18 mL de agua destilada, se mezclaron por medio de un agitador magnético durante 10 minutos y se dejaron reposar 30 minutos. El pHmetro se calibró con soluciones amortiguadoras de pH=4, pH=7, pH=10.

6.5 DETERMINACIÓN DE METALES POR GENERADOR DE HIDRUROS Y VAPOR FRÍO.

En el sistema de atomización por generador de Hidruros y Vapor frío el objetivo principal es formar compuestos (hidruro) y elementos (en estado basal) extremadamente volátiles a temperatura ambiente [33]. Para la formación de hidruros es de vital importancia el estado de oxidación del analito, ya que cada uno tiene un estado de oxidación óptimo para la formación de su hidruro correspondiente [33].

El agente utilizado para la formación del hidruro es Borohidruro de sodio (NaBH_4) con el cual es analizado el arsénico en niveles de detección de partes por billón (ppb). El medio de reacción debe de ser ácido para que la reacción sea completa [33].

El único elemento analizado por la técnica de vapor frío es el mercurio, la oxidación del mercurio se realiza mediante la digestión de la muestra utilizando ácidos fuertemente oxidantes [33]. El estado de valencia 2^+ del mercurio es su estado óptimo de oxidación, por lo que no es necesario hacer una reducción previa a la formación del vapor como en el caso de la generación de hidruros [33].

La generación del vapor atómico se lleva a cabo mediante una reacción de reducción del Hg^{+2} en medio ácido dentro del sistema generador. Los agentes reductores comúnmente utilizados en esta reacción es cloruro estanoso (SnCl_2) [33].

El mercurio tiene una presión de vapor a temperatura ambiente, tal que puede existir en forma libre en estado basal, motivo por el cual la técnica de vapor frío es aplicada exclusivamente al análisis de mercurio. Una vez formado el vapor atómico y ser arrastrado, absorberá el haz de luz sin necesidad de ser calentada la celda (a esto se debe el nombre de vapor frío) para mayor detalle revisar la bibliografía [20].

RESULTADOS

7. RESULTADOS

Para la cuantificación de trazas metálicas en las muestras se realizaron curvas de calibración con cinco niveles de concentración diferente a partir de una solución estándar. Para cuantificar las trazas metálicas de As y Hg en las muestras de agua, pasto, suelo y sedimento se ocupó el sistema de generación de hidruros y vapor frío del espectrofotómetro de absorción atómica debido a la alta volatilidad que presentan. Con respecto al Cd, Cr, Cu, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn, se ocupó el espectrofotómetro de emisión por plasma de acoplamiento inductivo (ICP), las curvas de calibración empleadas para la cuantificación se muestran en el anexo III.

7.1. RESULTADOS DEL MUNICIPIO DE NEZAHUALCOYOTL

A continuación se reporta el promedio (tres lecturas) de las concentraciones obtenidas experimentalmente de las muestras de agua, pasto, suelo y sedimento del municipio de Nezahualcoyotl y Zumpango.

En el municipio de Nezahualcoyotl se recolectaron 4 muestras de agua obteniéndose los siguientes resultados

Tabla 10. Concentración de las trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del Municipio de Nezahualcoyotl reportados en (mg/L).

ETIQUETA	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Pt	Rh	Zn
10na	1.702	0.003	0.027	0.022	0.042	0.0090	n.d.	0.052	n.d.	0.016
11na	1.271	0.003	0.014	0.021	0.306	0.0048	n.d.	0.073	n.d.	0.023
12na	0.816	0.003	0.017	0.029	0.112	0.0073	n.d.	0.039	n.d.	0.105
13na	1.436	0.003	0.024	0.052	0.109	0.0080	n.d.	0.086	n.d.	0.135

n.d: no determinado

En el municipio de Nezahualcoyotl se recolectaron un total de 21 muestras de pasto los resultados obtenidos se encuentran reportados en mg/Kg de muestra seca.

Tabla 11. Concentración de las trazas metálicas analizadas en muestras de pasto del municipio de Nezahualcoyotl (mg/Kg).

ETIQUETA	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Pt	Rh	Zn
1np	2.46	0.178	8.04	23.57	0.538	13.89	n.d	48.48	n.d	90.66
2np	2.64	0.138	4.48	17.42	0.494	9.04	n.d	25.03	n.d	108.1
3np	3.54	0.078	5.54	16.17	0.336	10.44	n.d	43.41	n.d	86.75
4np	3.87	0.120	13.14	16.59	0.458	13.06	n.d	61.53	n.d	122.4
5np	4.58	n.d.	2.75	8.69	0.397	5.41	n.d	33.71	n.d	37.84
6np	3.14	0.160	3.59	10.73	0.352	10.55	n.d	26.67	n.d	81.73
7np	2.95	0.213	10.22	14.57	0.286	7.98	n.d	117.25	n.d	79.17
8np	3.51	n.d.	13.79	21.04	1.244	6.42	n.d	53.21	n.d	106.9
9np	2.97	n.d	1.26	2.89	0.265	2.34	n.d	9.70	n.d	5.18
10np	3.33	n.d	0.44	3.58	0.147	1.19	n.d	14.93	n.d	n.d
11np	2.51	n.d	0.49	3.69	0.159	0.71	n.d	12.53	n.d	n.d
12np	2.60	n.d	0.51	4.12	0.116	1.21	n.d	26.24	n.d	n.d
13np	3.69	n.d	0.50	4.29	0.204	1.10	n.d	12.67	n.d	n.d
14np	1.32	n.d	0.49	4.10	0.269	1.79	n.d	120.68	n.d	n.d
15np	1.91	n.d	0.51	3.95	1.467	0.98	n.d	68.96	n.d	n.d
16np	1.82	n.d	0.66	4.26	0.418	1.40	n.d	79.40	n.d	n.d
17np	2.42	n.d	0.57	4.33	0.218	3.58	n.d	26.13	n.d	n.d
18np	2.40	n.d	0.63	4.15	0.150	1.37	n.d	50.52	n.d	n.d
19np	2.51	n.d	0.57	4.47	0.224	1.61	n.d	5.37	n.d	n.d
20np	2.60	0.595	5.53	30.04	0.282	14.76	n.d	44.21	n.d	133.2
22np	2.39	0.090	4.7405	10.80	0.224	15.36	n.d	43.22	n.d	74.2

n.d: no determinado

Con respecto al municipio de Nezahualcoyotl se recolectaron un total de 27 muestras 24 de suelo y 3 de sedimento los resultados obtenidos se encuentran reportados en mg/Kg de muestra seca en la siguiente tabla.

Tabla 12. Concentración de las trazas metálicas analizadas a partir de muestras de suelo del municipio de Nezahualcoyotl (mg/Kg).

ETIQUETA	pH	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Pt	Rh	Zn
1ns	9.46	3.36	1.68	52.84	144.5	0.36	175.3	n.d	80.31	n.d	593.0
2ns	7.02	3.24	1.01	26.17	65.27	0.37	26.4	n.d	90.73	n.d	173.7
3ns	5.10	3.67	1.09	45.60	115.9	0.43	91.9	n.d	110.7	n.d	233.2
4ns	8.34	3.41	1.11	34.80	80.3	0.24	57.8	n.d	91.36	n.d	240.9
5ns	7.46	2.51	1.80	62.69	108.3	1.14	212.6	n.d	57.27	n.d	432.0
6ns	7.97	4.75	0.98	30.87	74.7	0.41	32.0	n.d	92.87	n.d	125.6
7ns	6.31	3.68	0.84	35.27	69.5	0.23	5.8	n.d	123.9	n.d	98.91
8ns	7.06	2.51	0.89	39.75	68.7	0.34	120.3	n.d	107.3	n.d	164.0
9ns	8.34	3.90	0.91	28.52	79.9	1.24	83.3	n.d	93.07	n.d	199.0
10ns	8.08	2.85	1.11	26.71	130.0	0.072	103.2	n.d	86.91	n.d	248.3
10nsed	8.81	2.73	0.54	31.36	53.7	0.005	n.d.	n.d	166.1	n.d	66.85
11ns	9.86	3.17	0.43	12.80	24.3	0.014	n.d	n.d	112.8	n.d	29.95
12ns	8.55	4.40	1.07	46.26	100.5	0.046	24.2	n.d	84.39	n.d	333.0
12nsed	8.61	3.15	0.31	12.09	18.6	0.65	n.d.	n.d	112.8	n.d	27.61
13ns	8.48	2.86	0.64	36.02	141.9	0.07	167.6	n.d	97.05	n.d	405.0
13nsed	9.29	2.79	1.40	41.19	163.4	0.28	45.4	n.d	61.27	n.d	448.5
14ns	9.63	3.35	0.83	42.35	72.4	0.26	59.1	n.d	109.3	n.d	178.1
15ns	8.08	2.77	1.14	82.74	82.4	6.20	248.7	n.d	93.63	n.d	379.8
16ns	8.08	3.53	0.81	29.98	65.2	0.75	128.6	n.d	81.78	n.d	299.2
17ns	7.38	3.50	1.91	96.93	97.4	0.23	455.2	n.d	56.64	n.d	496.7
18ns	7.69	3.19	0.70	51.14	317.9	0.13	199.7	n.d	125.3	n.d	363.8
19ns	7.32	3.76	1.10	58.14	188.4	0.17	279.7	n.d	84.65	n.d	490.1
20ns	8.13	4.71	1.06	68.11	103.4	0.34	246.9	n.d	97.08	n.d	339.7
21ns	6.42	2.54	1.42	198.24	162.5	1.81	783.9	n.d	78.78	n.d	637.8
22ns	8.73	2.51	3.38	52.27	181.2	0.29	183.9	n.d	44.99	n.d	614.0
22ns	7.01	2.95	3.38	53.46	180.2	0.24	177.5	n.d	45.60	n.d	636.8
22ns	8.60	4.87	1.58	49.86	135.0	0.26	142.3	n.d	66.37	n.d	340.8

n.d: no determinado

7.2. RESULTADOS DEL MUNICIPIO DE ZUMPANGO

En el municipio de Zumpango se recolectaron 12 muestras de agua obteniéndose los siguientes resultados

Tabla 13. Concentración de las trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del Municipio de Zumpango reportado en (mg/L).

MUESTRA	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Pt	Rh	Zn
1za	0.040	0.0031	0.016	0.018	0.026	0.0044	0.0042	0.040	n.d.	0.113
1za	0.018	0.0023	0.008	0.012	0.094	0.0049	n.d.	0.027	n.d.	0.028
3za	0.034	0.0022	0.084	0.012	0.035	0.0056	n.d.	0.025	n.d.	0.006
4za	0.131	0.0031	0.028	0.046	0.047	0.0113	n.d.	0.442	n.d.	0.152
5za	0.076	0.0022	0.007	0.023	0.025	0.0045	n.d.	0.094	n.d.	0.043
6za	0.080	0.0023	0.020	0.024	0.067	0.0034	n.d.	0.076	n.d.	0.039
9za	0.178	0.0041	0.017	n.d.	0.037	0.0049	n.d.	1.488	n.d.	0.192
10za	0.024	0.0081	0.015	0.027	0.058	0.0065	n.d.	4.492	n.d.	0.538
11za	0.082	0.0064	0.019	0.137	0.062	0.0012	n.d.	0.041	n.d.	0.060
12za	0.059	0.0080	0.018	0.050	0.041	0.0009	n.d.	0.026	n.d.	0.024

n.d: no determinado

En el municipio de Zumpango se recolectaron un total de 13 muestras de pasto los resultados obtenidos se encuentran reportados en mg/Kg de muestra seca

Tabla 14. Concentración de las trazas metálicas analizadas en muestras de pasto del municipio de Zumpango (mg/Kg).

ETIQUETA	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Pt	Rh	Zn
1zp	1.73	n.d.	5.53	4.73	0.57	9.70	n.d.	20.91	n.d.	68.69
1zp	0.27	0.08	3.72	5.17	0.38	7.07	n.d.	11.21	n.d.	34.59
1zp	1.93	n.d.	5.30	4.16	1.41	5.30	n.d.	7.81	n.d.	16.91
1zp	1.88	n.d.	3.86	4.03	0.52	4.92	n.d.	30.39	n.d.	20.05
2zp	1.80	n.d.	3.65	4.54	0.74	5.44	n.d.	8.50	n.d.	38.04
3zp	1.53	8.99	5.74	26.11	1.58	3.11	n.d.	47.51	n.d.	134.55
4zp	1.65	0.11	3.25	7.27	0.99	2.52	0.4149	10.54	n.d.	37.48

Tabla 14. Continuación...

ETIQUETA	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Pt	Rh	Zn
5zp	1.45	0.093	4.11	11.10	0.87	6.14	n.d.	13.33	n.d.	51.94
6zp	2.54	0.17	2.63	14.38	0.84	1.80	n.d.	5.06	n.d.	39.78
7zp	1.42	5.24	4.36	32.77	0.77	2.03	n.d.	67.99	n.d.	210.89
8zp	1.58	0.17	6.23	13.67	1.01	7.75	n.d.	37.36	n.d.	51.10
9zp	2.82	0.71	6.05	14.93	0.69	1.72	n.d.	n.d.	n.d.	66.66
10zp	1.45	0.54	2.83	9.39	0.55	0.61	n.d.	7.11	n.d.	26.33

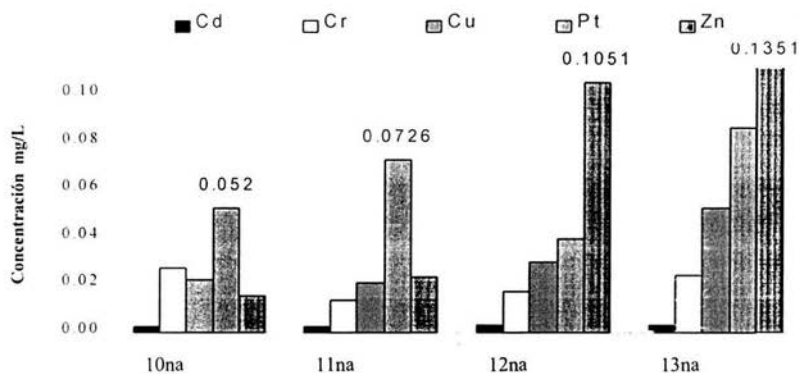
n.d.: no determinado

Para el municipio de Zumpango se recolectaron un total de 21 muestras de las cuales 15 son de suelo y 6 de sedimento los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla reportados en mg/Kg de muestra seca.

Tabla 15. Datos obtenidos experimentalmente en las muestras de suelo (mg/Kg) del municipio de Zumpango

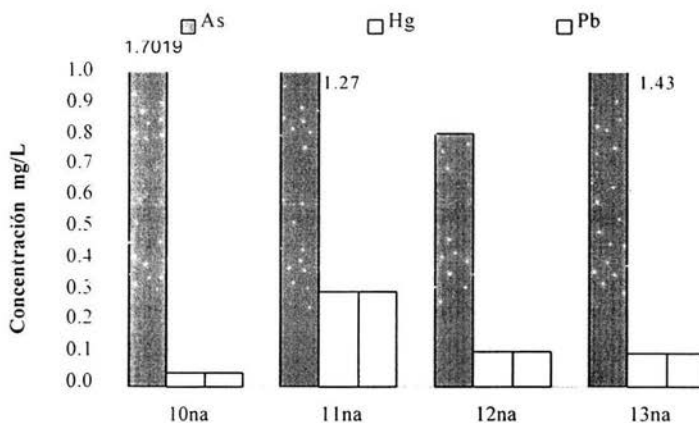
ETIQUETA	pH	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Pd	Pt	Rh	Zn
1zs	7.86	1.76	1.25	42.25	82.83	0.70	22.33	n.d.	97.51	n.d.	188.48
1zsed	8.02	1.57	0.78	28.44	61.76	0.39	n.d.	n.d.	124.78	n.d.	114.07
2zs	7.29	1.27	0.61	23.16	37.99	0.31	12.51	n.d.	98.38	n.d.	87.383
3zs	8.23	1.72	0.70	22.85	40.41	0.29	13.97	n.d.	92.95	n.d.	134.44
4zs	7.45	1.01	0.49	17.35	32.57	0.82	6.76	n.d.	116.84	n.d.	61.395
4zsed	7.73	2.75	13.91	52.92	694.70	0.15	n.d.	n.d.	63.80	n.d.	824.96
5zs	7.02	1.21	0.60	16.14	46.23	0.44	37.66	n.d.	92.21	n.d.	113.18
5zsed	6.35	2.83	9.18	46.77	507.06	0.56	24.09	n.d.	76.96	n.d.	656.36
6zs	6.40	1.44	0.58	20.16	42.96	0.19	24.23	n.d.	121.68	n.d.	65.636
7zs	7.75	1.35	0.50	20.16	31.58	0.15	16.59	n.d.	125.23	n.d.	37.597
8zs	8.56	1.63	0.91	32.89	66.27	0.37	23.52	n.d.	99.725	n.d.	99.730
9zs	7.90	1.80	0.65	15.84	46.30	0.20	81.34	n.d.	102.60	n.d.	164.76
9zsed	7.41	2.61	12.11	48.63	396.79	0.40	6.58	n.d.	46.89	n.d.	479.38
10zs	7.41	1.67	1.13	25.63	49.56	0.16	n.d.	n.d.	68.27	n.d.	56.296
10zsed	7.93	3.28	97.92	128.12	580.50	0.72	17.83	n.d.	0.93	n.d.	487.24
11zs	8.05	2.05	0.56	18.33	33.61	0.21	27.07	n.d.	117.03	n.d.	194.95
12zs	8.60	2.77	0.53	12.60	33.44	0.13	1.74	n.d.	117.42	n.d.	60.828
12zsed	9.98	1.86	0.89	67.11	82.67	1.63	330.66	n.d.	82.78	n.d.	231.61
13zs	7.85	2.10	0.88	27.12	75.54	0.11	50.08	n.d.	101.66	n.d.	186.33
14zs	8.04	1.95	0.56	19.02	44.81	0.07	n.d.	n.d.	134.17	n.d.	68.352
15zs	5.59	2.14	0.81	36.40	88.25	0.10	22.12	n.d.	145.17	n.d.	103.23

n.d.: no determinado



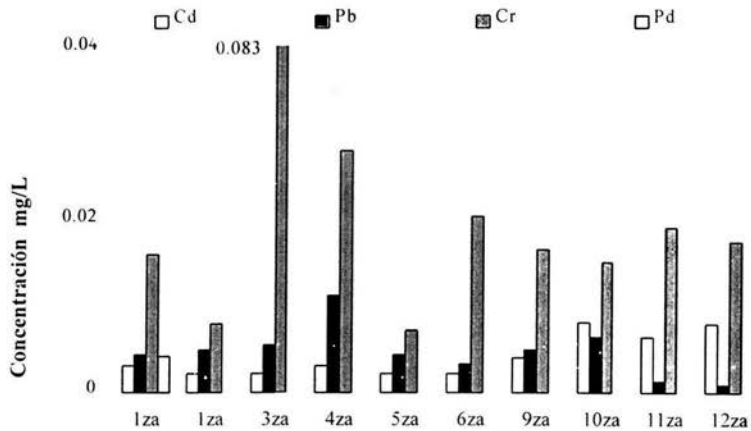
Gráfica 1. Resultados para las muestras de agua Nezahualcoyotl (Cd, Cr, Cu, Pt, Zn).

Como se observa en la gráfica No. 1. las muestras 12na y 13na de agua en el municipio de Nezahualcoyotl se caracterizaron por presentar las concentraciones más altas de zinc. En cuanto al cadmio se puede observar que las muestras presentan el mismo comportamiento.



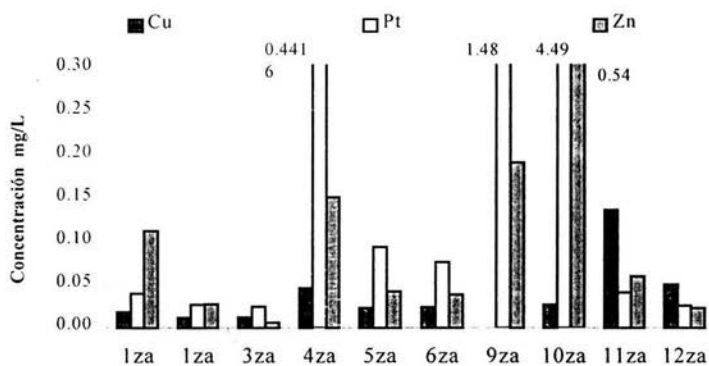
Gráfica 2. Resultados para las muestras de agua Nezahualcoyotl (As, Hg, Pb).

En el municipio de Nezahualcoyotl las muestras de agua el arsénico y mercurio presentan concentraciones máximas que exceden los límites especificados en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996 como se puede observar en la gráfica 2.



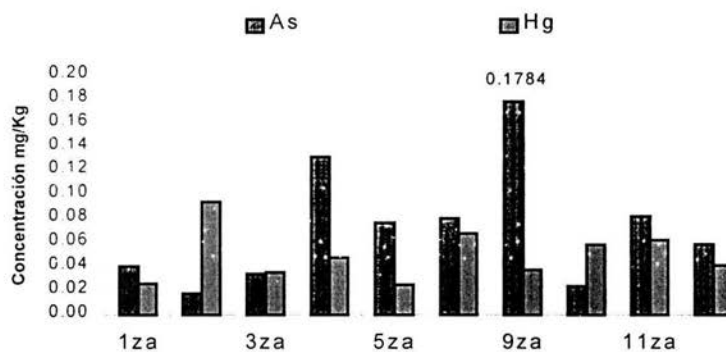
Gráfica 3 Resultados para las muestras de agua Zumpango (Cd, Pb, Cr, Pd).

En la gráfica 3, se puede observar que en el municipio de Zumpango el metal que se encuentra en mayor concentración es el cromo, la muestra de agua 3za presenta la concentración más alta (0.082 mg/L) cabe señalar que sus niveles máximos estuvieron dentro del límite permisible. En cuanto a paladio se refiere la muestra 1za es la única en la que se observa la presencia de este metal.



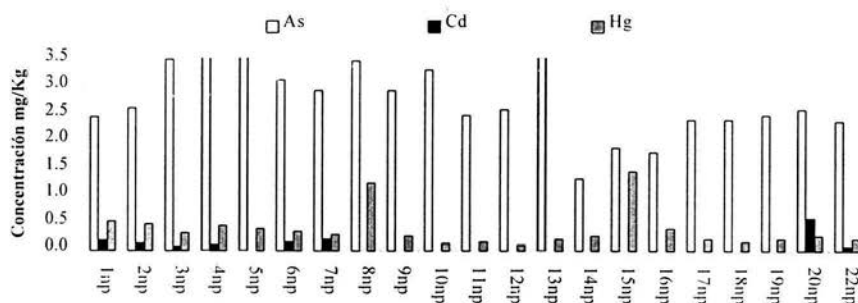
Gráfica 4. Resultados para las muestras de agua Zumpango (Cu, Pt, Zn).

Se puede observar en la gráfica 4. que en el municipio de Zumpango los niveles máximos de platino y zinc en las muestras de agua se encuentran dentro del límite permisible. En lo que respecta a la concentración de cobre no se obtuvieron diferencias de consideración entre las muestras.



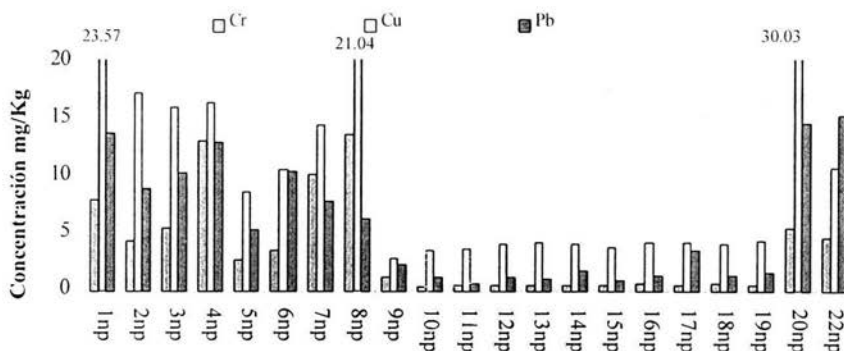
Gráfica 5. Resultados de las muestras de agua Zumpango (As, Hg).

Como se observa en la gráfica 5, en el municipio de Zumpango las muestras de agua rebasan los límites establecidos en la NOM-001-Ecol-1996 para mercurio. Se puede observar que la muestra 9za presenta la concentración máxima de arsénico sin embargo no rebasa los límites especificados por la norma.



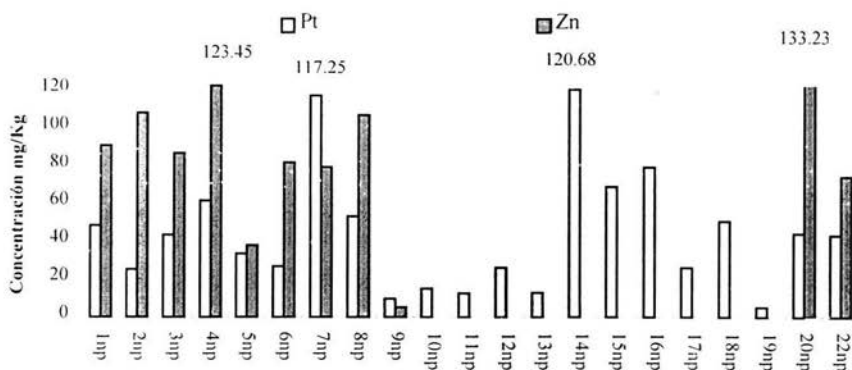
Gráfica 6. Resultados para las muestras de pasto Nezahualcoyotl (As, Cd, Hg).

En la gráfica 6, el municipio de Nezahualcoyotl se caracterizó por presentar en la mayoría de las muestras de pasto una concentración superior a 2 mg/Kg de arsénico cabe destacar que no exceden los valores tomados como referencia (21-72 mg/Kg). Las muestras 8np y 15np son las que presentaron concentraciones más altas de mercurio.



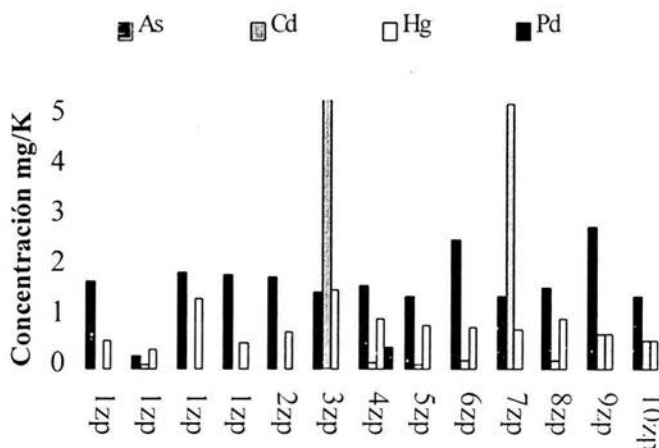
Gráfica 7. Resultados para las muestras de pasto Nezahualcoyotl (Cr, Cu, Pb).

Se puede observar en la gráfica 7. que en el municipio de Nezahualcoyotl las muestras 1np, 8np y 30np son las que presentan una mayor concentración de cobre y rebasan los valores tomados como referencia. Las muestras 4np y 8np presentan la mayor concentración de cromo sin embargo no rebasa el valor tomado como referencia (5-18 mg Kg).



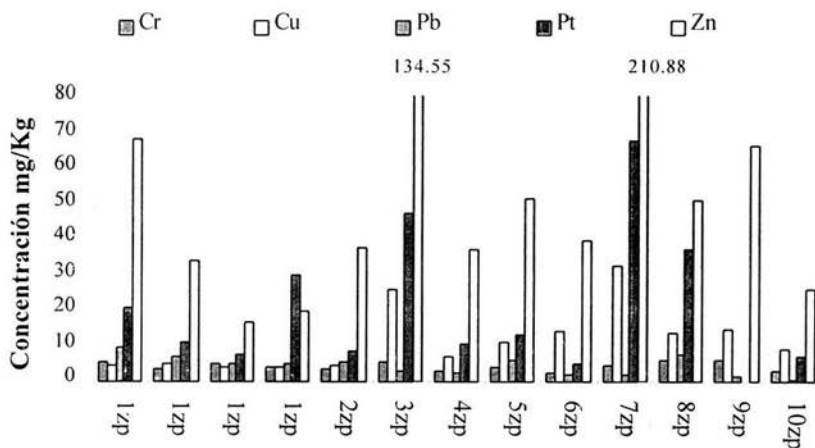
Gráfica 8. Resultados para las muestras de pasto Nezahualcoyotl (Pt, Zn).

Como se puede observar en la gráfica 8. la concentración de las muestras 7np y 14np exceden los 100 mg/Kg de platino y se encuentran por arriba de los valores especificados. Las concentraciones de zinc son muy variadas entre sí y se encuentran por debajo de los valores tomados como referencia.



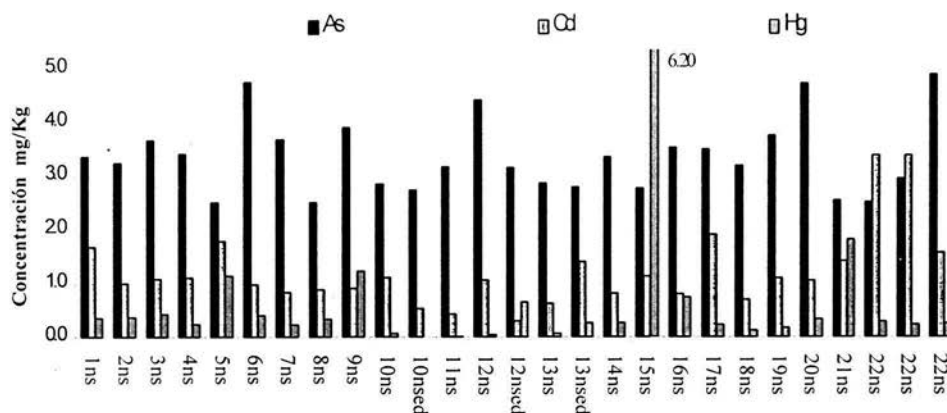
Gráfica 9. Resultados para las muestras de pasto Zumpango (As, Cd, Hg, Pd).

En la gráfica 9. se puede observar que en las muestras de pasto del municipio de Zumpango la concentración de arsénico presenta un comportamiento similar. Las muestras 3zpz con (8.99 mg/Kg) y 7zpz con (5.23 mg/Kg) son las que muestran mayor cantidad de cadmio. Todas las muestras de pasto exceden los valores tomados como referencia de mercurio sin embargo las muestras 3zpz y 8zpz son las que presentan una mayor cantidad. En la muestra 4zpz se puede observar la presencia de paladio (0.4149 mg/Kg).



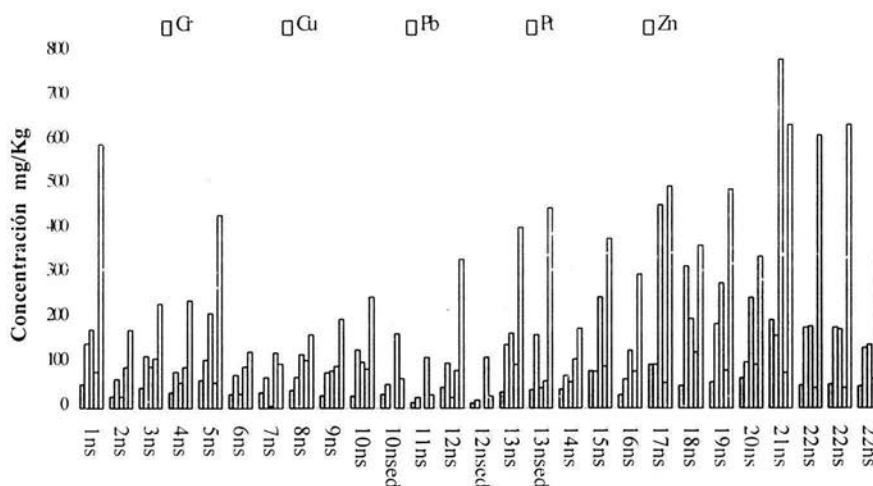
Gráfica 10. Resultados para las muestras de pasto Zumpango (Cr, Cu, Pb, Pt, Zn).

Como se puede observar en la gráfica 10, las muestras de pasto en el municipio de Zumpango el cromo, cobre y plomo se encuentran dentro de los valores especificados, en todas las muestras se puede observar la presencia de platino en concentraciones mayores a 5 mg/Kg. Con respecto al zinc las muestras 3zp (134.55 mg/Kg) y 7zp (210.88 mg/Kg) son las que presentan la mayor concentración sin embargo no exceden los valores tomados como referencia.



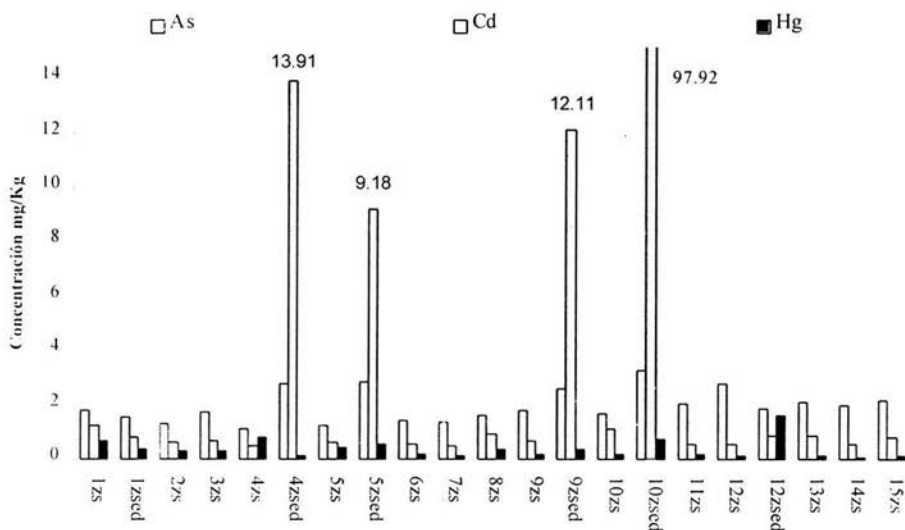
Gráfica 11. Resultados para las muestras de suelo Nezahualcoyotl (As, Cd, Hg).

En la gráfica 11 se puede observar que las muestras de suelo presentaron concentraciones máximas de arsénico que rebasaron los valores tomados como referencia, este comportamiento se observó también para cadmio y mercurio.



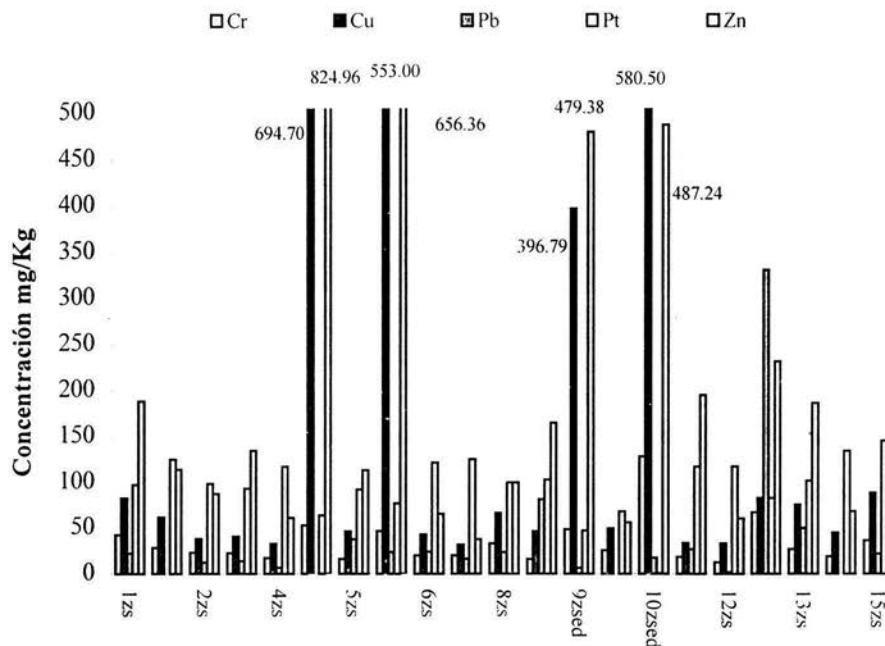
Gráfica 12. Resultados para las muestras de suelo Nezahualcoyotl (Cr, Cu, Pb, Pt, Zn).

En la gráfica 12 se puede observar que las muestras de suelo en el municipio de Nezahualcoyotl se caracterizaron por presentar concentraciones máximas para cromo, cobre, plomo, platino y zinc que rebasaron los valores tomados como referencia.



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

En la gráfica 13, se puede observar que el arsénico en las muestras de suelo se encuentra dentro de los valores especificados, sin embargo las muestras de sedimento rebasan los límites en el municipio de Zumpango, el cadmio en las muestras de sedimento rebasa los valores tomados como referencia, el mercurio se encuentra por arriba de los valores especificados en todas las muestras.



Gráfica 14. Resultados para las muestras de suelo Zumpango (Cr, Cu, Pb, Pt, Zn).

Como se puede observar en la gráfica 14, las muestras de suelo exceden los valores especificados para cromo, cobre y platino, los valores obtenidos para plomo se encuentran por debajo de los valores tomados como referencia, sin embargo la muestra 9zs es la que presenta la mayor cantidad de plomo (81.34 mg/Kg). Las muestras de sedimento son las que presentan la mayor cantidad de zinc.

7.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos tanto en este trabajo como en trabajos anteriores [14, 18, 25, 27, 31] se sometieron a un análisis estadístico con el programa Statgraphics plus 5. Se realizó el análisis de varianza de una vía para cada uno de los metales en estudio a fin de establecer si existe una relación entre las cantidades determinadas y los siguientes factores:

- 1) Tipo de muestra (agua, pasto, suelo)
- 2) Tipo de zona (agrícola, urbana, industrial, vías de comunicación)
- 3) Flujo vehicular (alto, bajo)
- 4) Municipio (Nezahualcoyotl, Zumpango)
- 5) Año (2000, 2001, 2002)

Tabla 16. Valores de P estadístico (análisis) en función de los factores a estudiar.

FACTOR	P(As)	P(Cd)	P(Cr)	P(Cu)	P(Hg)	P(Pd)	P(Pt)	P(Pb)	P(Rh)	P(Zn)
Tipo de muestra	0	0.0833	0	0	0	0.0065	0.2534	0	0.0051	0
Tipo de zona	0.9422	0.6126	0.3704	0.2584	0.0739	0.0642	0.5309	0.2134	0.4132	0.1887
Flujo vehicular	0.0759	0.3733	0.1927	0.7155	0.2712	0.0567	0.6301	0.1057	0.0835	0.3882
Municipio	0.5297	0.1148	0.0878	0.5584	0	0.0001	0.4644	0.0113	0.0178	0.0736
Año	0.0021	0.6013	0.0006	0.0281	0.1748	0.0167	0.0003	0.1310	0.0019	0.0380

Ho: $\mu_{\text{agua}} = \mu_{\text{pasto}} = \mu_{\text{suelo}}$ para aceptar Ho $P > 0.05$

Ha: Al menos un par de medias es diferente para aceptar Ho

Tabla 17. Análisis de varianza de una vía

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre grupos	253.603	2	126.802	47.26	0
	Dentro de Gpos.	512.493	191	2.68321		
Cadmio	Entre grupos	388.554	2	194.277	2.52	0.0833
	Dentro de Gpos.	14031.8	182	77.098		
Cromo	Entre grupos	50231.3	2	25115.6	67.26	0
	Dentro de Gpos.	70571.3	189	373.393		
Cobre	Entre grupos	430320.0	2	215160.0	31.34	0
	Dentro de Gpos.	1.31112E6	191	6864.49		
Mercurio	Entre grupos	47.146	2	23.573	19.58	0
	Dentro de Gpos.	227.525	189	1.20383		
Paladio	Entre grupos	79375.0	2	39687.5	5.18	0.0065
	Dentro de Gpos.	1.41013E6	184	7663.73		
Platino	Entre grupos	38.7138	2	19.3569	1.38	0.2534
	Dentro de Gpos.	2687.6	192	13.9979		
Plomo	Entre grupos	226934.0	2	113467.0	48.84	0
	Dentro de Gpos.	443726.0	191	2323.17		
Rodio	Entre grupos	7.86959	2	3.93479	5.42	0.0051
	Dentro de Gpos.	138.663	191	0.725985		
Zinc	Entre grupos	1.83487E6	2	917453.0	37.18	0
	Dentro de Gpos.	4.71305E6	191	24675.6		

Se acepta Ho para cadmio y platino debido a que el valor de $P > 0.05$ lo que nos indica que no existe diferencia significativa entre la media de cada uno de estos metales de una muestra a otra con un nivel de confianza del 95%. Se rechaza Ho para As. Cr. Cu, Hg, Pd, Pb, Rh y Zn debido a que el valor de $P < 0.05$ existe una diferencia significativa entre la media de cada metal de un tipo de muestra a otro con un 95% de nivel de confianza.

Ho: $\mu_{2000} = \mu_{2001} = \mu_{2002}$ para aceptar Ho $P > 0.05$

Ha: Al menos un par de medias es diferente para aceptar Ho

Tabla 18. Análisis de varianza de una vía

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre grupos	47.9276	2	23.9638	6.37	0.0021
	Dentro de Gpos.	718.168	191	3.7600		
Cadmio	Entre grupos	80.3705	2	40.1852	0.51	0.6013
	Dentro de Gpos.	14340.0	182	78.7913		
Cromo	Entre grupos	9164.37	2	4582.19	7.76	0.0006
	Dentro de Gpos.	111638.0	189	590.679		
Cobre	Entre grupos	63959.9	2	12250.6	1.36	0.2584
	Dentro de Gpos.	1.67748E6	191	8989.2		
Mercurio	Entre grupos	5.02287	2	2.51143	1.76	0.1748
	Dentro de Gpos.	269.648	189	1.42671		
Paladio	Entre grupos	64849.2	2	32424.6	4.19	0.0167
	Dentro de Gpos.	1.42465E6	184	7742.68		
Platino	Entre grupos	219.946	2	109.973	8.42	0.0003
	Dentro de Gpos.	2506.37	192	13.054		
Plomo	Entre grupos	14121.5	2	7060.74	2.05	0.1310
	Dentro de Gpos.	656538.0	191	3437.37		
Rodio	Entre grupos	9.27207	2	4.63603	6.45	0.0019
	Dentro de Gpos.	137.261	191	0.7186642		
Zinc	Entre grupos	220508.0	2	110254.0	3.33	0.0380
	Dentro de Gpos.	6.32741E6	192	33127.8		

Se acepta Ho para cadmio, cobre, mercurio y plomo debido a que el valor de $P > 0.05$ lo que nos indica que no hay diferencia significativa de un año a otro.

Se rechaza Ho para arsénico, cromo, paladio, platino, rodio y zinc debido a que el valor de $P < 0.05$ lo que nos indica que hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un año a otro con un nivel de confianza del 95%.

Ho: μ Nezahualcoyotl = μ Zumpango para aceptar Ho $P > 0.05$

Ha: Al menos un par de medias es diferente para aceptar Ho

Tabla 19. Análisis de varianza de una vía

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre grupos	1.57812	1	1.57812	0.040	0.5297
	Dentro de Gpos.	764.518	192	3.98186		
Cadmio	Entre grupos	195.125	1	195.125	2.51	0.1148
	Dentro de Gpos.	14225.3	183	77.7337		
Cromo	Entre grupos	1843.62	1	1843.62	2.94	0.0878
	Dentro de Gpos.	118959.0	190	626.1		
Cobre	Entre grupos	3111.73	1	3111.73	0.34	0.5584
	Dentro de Gpos.	1.73833E6	192	9053.78		
Mercurio	Entre grupos	25.9869	1	25.9869	19.85	0
	Dentro de Gpos.	248.684	190	1.30886		
Paladio	Entre grupos	117461.0	1	117461	15.84	0.0001
	Dentro de Gpos.	1.37204E6	185	7416.43		
Platino	Entre grupos	7.5696	1	7.5696	0.54	0.4644
	Dentro de Gpos.	2718.75	193	14.0868		
Plomo	Entre grupos	22093.5	1	22093.5	6.54	0.0113
	Dentro de Gpos.	648566.0	192	3377.95		
Rodio	Entre grupos	4.23817	1	4.23817	5.72	0.0178
	Dentro de Gpos.	142.295	192	0.741118		
Zinc	Entre grupos	108554.0	1	108554.0	3.24	0.0736
	Dentro de Gpos.	6.43936E6	192	33538.3		

Se acepta Ho para arsénico, cadmio, cromo, cobre, platino, y zinc debido a que el valor de $P > 0.05$ lo que nos indica no hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un municipio a otro con un nivel de confianza del 95%.

Se rechaza Ho para mercurio, paladio, plomo y rodio debido a que el valor de $P < 0.05$ lo que nos indica que existe una diferencia significativa entre la media de cada metal de un municipio a otro con un nivel de confianza del 95%.

Ho: $\mu_{\text{transito alto}} = \mu_{\text{transito bajo}}$ para aceptar Ho $P > 0.05$

Ha: Al menos un par de medias es diferente para aceptar Ho

Tabla 20. Análisis de varianza de una vía

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre grupos	12.4991	1	12.4991	3.18	0.0759
	Dentro de Gpos.	753.597	192	3.9294		
Cadmio	Entre grupos	62.4949	1	62.4949	0.80	0.3733
	Dentro de Gpos.	14357.9	183	78.4585		
Cromo	Entre grupos	1076.81	1	1076.81	1.71	0.1927
	Dentro de Gpos.	119726.0	190	630.136		
Cobre	Entre grupos	1207.81	1	1207.81	0.13	0.7155
	Dentro de Gpos.	1.74023E6	192	9063.7		
Mercurio	Entre grupos	1.74901	1	1.74901	1.22	0.2712
	Dentro de Gpos.	272.922	190	1.43643		
Paladio	Entre grupos	29030.6	1	29030.6	3.68	0.0567
	Dentro de Gpos.	1.46047E6	185	7894.44		
Platino	Entre grupos	3.28 28	1	3.2828	0.23	0.6301
	Dentro de Gpos.	2723.03	193	14.109		
Plomo	Entre grupos	9103.66	1	9103.66	2.64	0.1057
	Dentro de Gpos.	661556.0	192	3445.6		
Rodio	Entre grupos	2.27407	1	2.27407	3.03	0.0835
	Dentro de Gpos.	144.259	192	0.751347		
Zinc	Entre grupos	25405.7	1	25405.7	0.75	0.3882
	Dentro de Gpos.	6.55251E6	192	33971.4		

Se acepta Ho para todos los metales debido a que el valor de $P > 0.05$ lo que nos indica no hay diferencia significativa entre la media de cada metal de un tipo de transito a otro con un nivel de confianza del 95%.

Ho: $\mu_{\text{agrícola}} = \mu_{\text{urbana}} = \mu_{\text{vias de comunicación}}$ para aceptar Ho $P > 0.05$

Ha: Al menos un par de medias es diferente para aceptar Ho

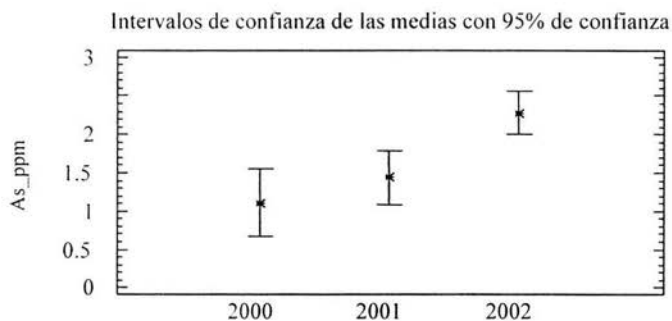
Tabla 21. Análisis de varianza de una vía

METAL	FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	P
Arsénico	Entre grupos	0.477643	2	0.238821	0.06	0.9422
	Dentro de Gpos.	765.618	191	4.00847		
Cadmio	Entre grupos	77.4449	2	38.7224	0.49	0.6126
	Dentro de Gpos.	14342.9	182	78.8074		
Cromo	Entre grupos	1262.95	2	631.475	1.0	0.3704
	Dentro de Gpos.	119540.0	189	632.136		
Cobre	Entre grupos	24501.1	2	12250.6	1.36	0.2584
	Dentro de Gpos.	1.71694E6	191	8989.2		
Mercurio	Entre grupos	7.4666	2	3.7333	2.64	0.0739
	Dentro de Gpos.	267.204	189	1.41378		
Paladio	Entre grupos	43793.5	2	21896.8	2.79	0.0642
	Dentro de Gpos.	1.44571E6	184	7857.11		
Platino	Entre grupos	18.0128	2	9.0064	0.64	0.5309
	Dentro de Gpos.	2707.79	191	14.1769		
Plomo	Entre grupos	10759.5	2	5379.76	1.56	0.2134
	Dentro de Gpos.	659900.0	191	3454.97		
Rodio	Entre grupos	1.35002	2	0.675008	6.45	0.0019
	Dentro de Gpos.	145.183	191	0.718642		
Zinc	Entre grupos	113350.0	2	56674.9	1.68	0.1887
	Dentro de Gpos.	6.43456E6	191	33688.8		

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

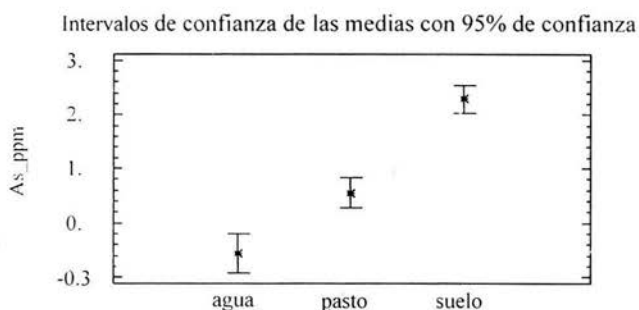
Se rechaza Ho para rodio debido a que el valor de $P < 0.05$ existe una diferencia significativa entre la media de cada metal de un tipo de zona a otro con un nivel de confianza del 95%.

Basándose en el análisis estadístico se puede comentar lo siguiente:



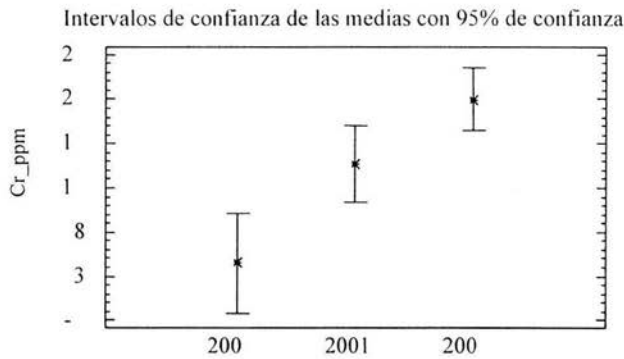
Gráfica 15. Resultados para Arsénico, factor: Año

En la gráfica 15. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el periodo 2000-2002 y 2001-2002 lo que nos indica que el año si presenta un efecto sobre la concentración de arsénico, esto es dependiendo del año es la concentración de arsénico presente.



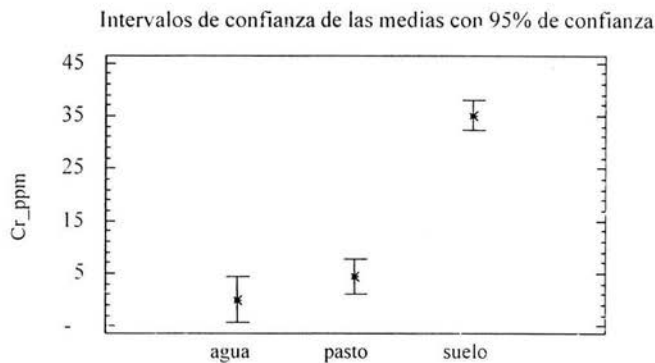
Gráfica 16. Resultados para Arsénico, factor: Tipo de Muestra

En la gráfica 16. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tipos de muestra: agua-pasto, agua-suelo, pasto-suelo lo que nos indica que el tipo de muestra influye en la concentración de arsénico.



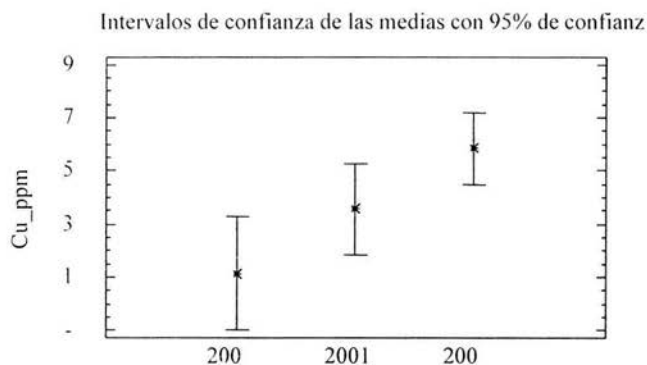
Gráfica 17. Resultados para Cromo, factor: Año

En la gráfica 17. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los años 2000- 2001 y 2000-2002 lo que nos indica que en el año 2002 existe una concentración mayor de cromo.



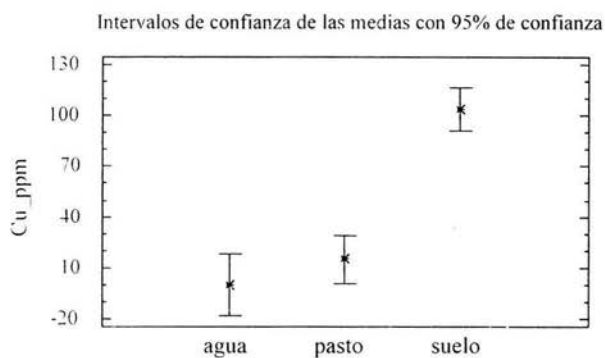
Gráfica 18. Resultados para Cromo, factor: Tipo de Muestra

En la gráfica 18. se puede observar que existe una diferencia entre las muestras agua, pasto y suelo que es significativa estadísticamente y nos indica que la naturaleza de la muestra difiere en la concentración de cromo



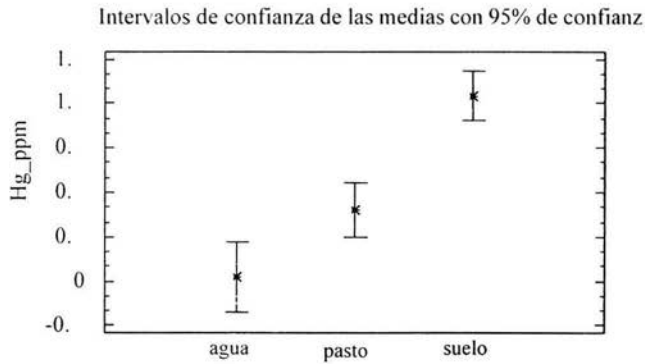
Gráfica 19. Resultados para Cobre, factor: Año

En la gráfica 19. se puede observar que en el factor año existe una diferencia estadísticamente significativa entre los años 2000-2002 lo que nos indica que el año presenta un efecto sobre la concentración de cobre.



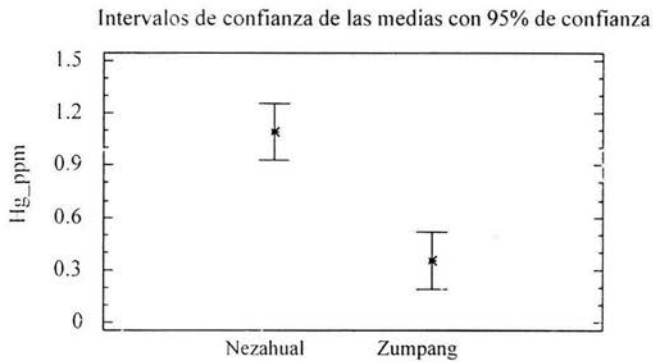
Gráfica 20. Resultados para Cobre, factor: Tipo de Muestra

En la gráfica 20. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras agua-suelo y pasto suelo lo que nos indica que la naturaleza de la muestra presenta un efecto sobre la concentración de cobre.



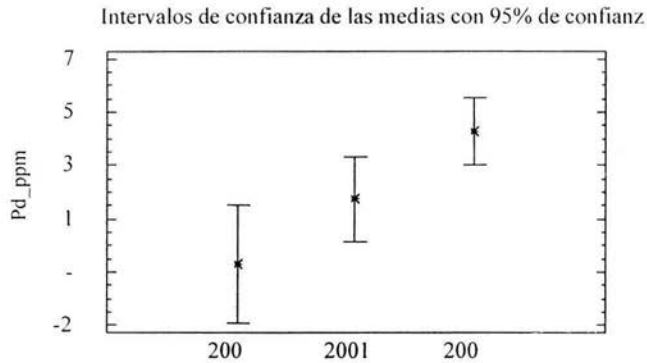
Gráfica 21. Resultados para Mercurio, factor: Tipo de Muestra

La grafica 21. nos muestra que en el factor naturaleza de la muestra existe una diferencia estadísticamente significativa lo que nos indica que la naturaleza de la muestra presenta un efecto sobre la concentración de mercurio.



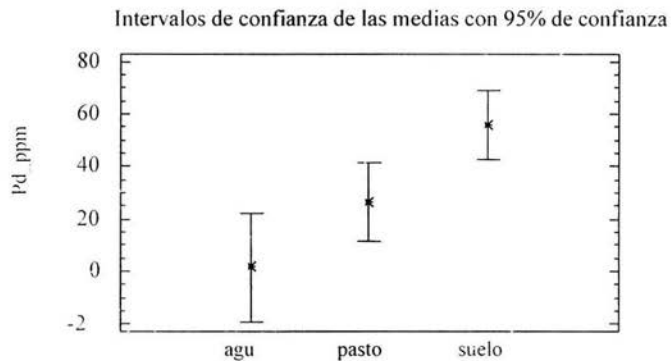
Gráfica 22. Resultados para Mercurio, factor: Municipio

En la gráfica 22. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el municipio de Nezahualcoyotl y Zumpango lo que nos indica que el factor municipio presenta un efecto sobre la concentración de mercurio.



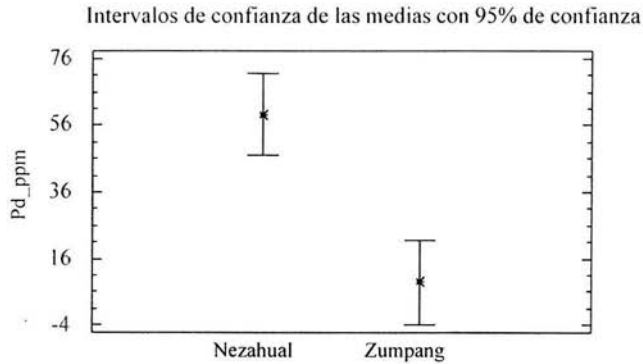
Gráfica 23. Resultados para Paladio, factor: Año

La gráfica 23. nos muestra que para el factor año existe una diferencia estadísticamente significativa entre el año 2000-2002 lo que nos indica que el año presenta un efecto sobre la concentración de paladio.



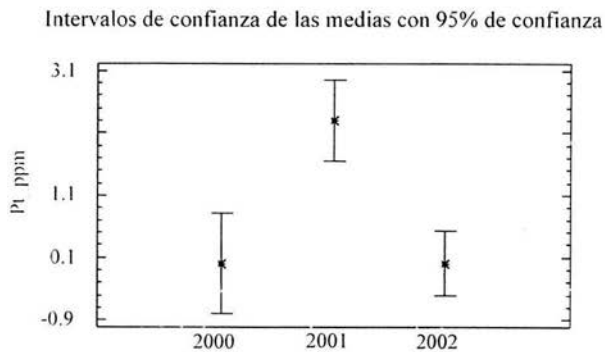
Gráfica 24. Resultados para Paladio, factor: Tipo de muestra

En la gráfica 24. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras agua-suelo y pasto-suelo lo que nos indica que el factor naturaleza de la muestra presenta un efecto sobre la concentración de paladio.



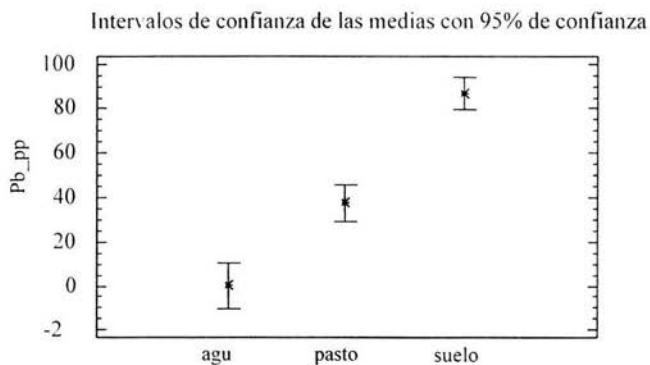
Gráfica 25. Resultados para Paladio, factor: Municipio

La gráfica 25. nos muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el municipio de Nezahualcoyotl y Zumpango lo que nos indica que el factor municipio presenta un efecto sobre la concentración de paladio.



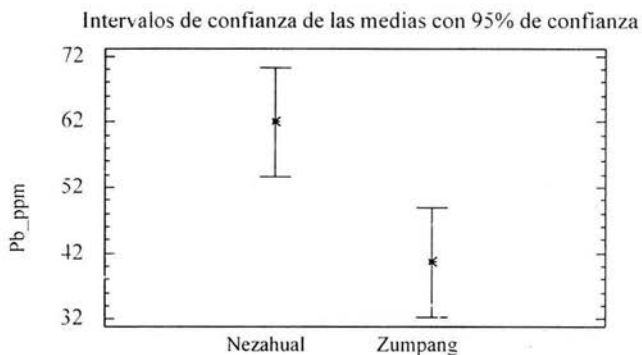
Gráfica 26. Resultados para Platino, factor: Año

La gráfica 26. nos muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los años 2000-2001 y 2001-2002 lo que nos indica que el factor año presenta un efecto sobre la concentración de platino.



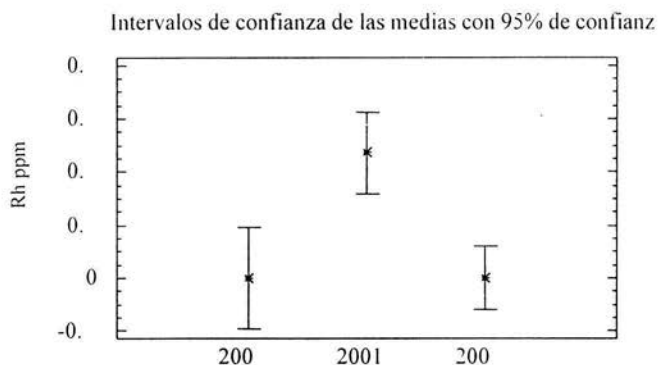
Gráfica 27. Resultados para Plomo, factor: Tipo de Muestra

La gráfica 27. nos indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los diferentes tipos de muestra agua-pasto, agua-suelo y pasto-suelo lo que nos indica que la naturaleza de la muestra presenta un efecto sobre la concentración de plomo.



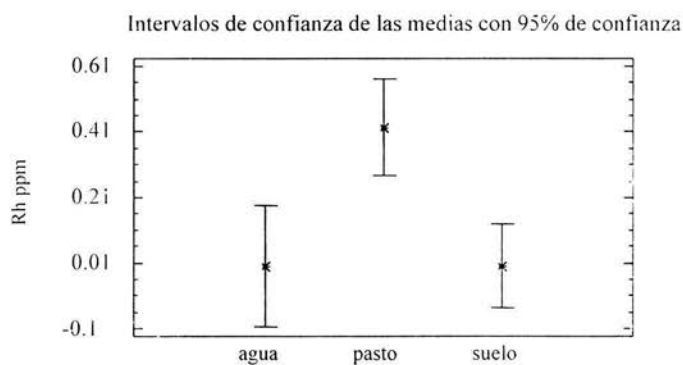
Gráfica 28. Resultados para Plomo, factor: Municipio

En la gráfica 28. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el municipio de Nezahualcoyotl y Zumpango lo que nos indica que el municipio presenta un efecto sobre la concentración de plomo.



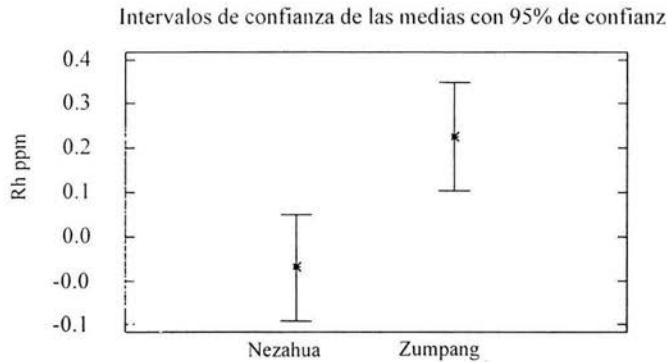
Gráfica 29. Resultados para Rodio, factor: Año

En la gráfica 29. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los años 200-2001 y 2001-2002 lo que nos indica que el factor año presenta un efecto sobre la concentración de rodio.



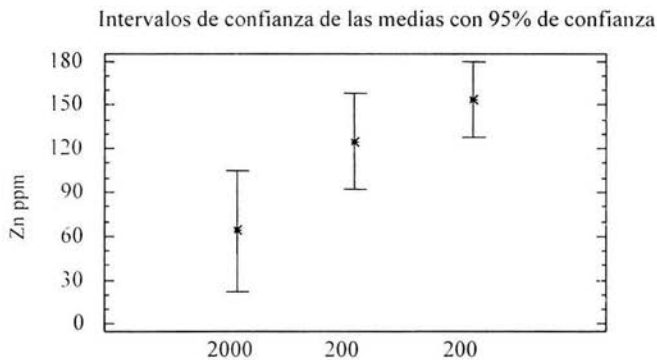
Gráfica 30. Resultados para Rodio, factor: Tipo de Muestra

La gráfica 30. nos muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los diferentes tipos de muestra agua-pasto y pasto suelo lo que nos indica que en la naturaleza de la muestra existe una diferencia en la concentración de rodio.



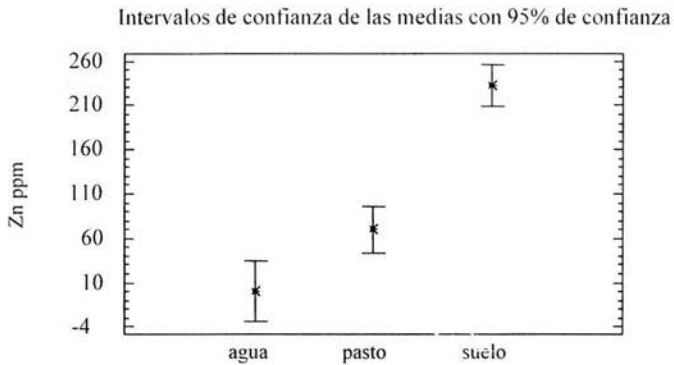
Gráfica 31. Resultados para Rodio, factor: Municipio

En la gráfica 31. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los municipios de Nezahualcoyotl y Zumpango lo que nos indica que el municipio presenta una diferencia sobre la concentración de rodio entre estos.



Gráfica 32. Resultados para Zinc, factor: Año

En la gráfica 32. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los años 2000-2002 lo que nos indica que conforme transcurre el tiempo existe una mayor concentración de zinc.



Gráfica 33. Resultados para Zinc, factor: Tipo de Muestra

En la gráfica 33. se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras agua-pasto, agua-suelo y pasto-suelo lo que nos indica que la naturaleza de la muestra presenta un efecto sobre la concentración de zinc.

7.4 DISCUSIÓN.

En el municipio de Nezahualcoyotl las muestras de suelo se encuentran por encima del valor especificado de plomo en la norma NOM-Ecol-1996 (10-40 mg/Kg). la presencia de este metal es preocupante ya que en concentraciones elevadas causa serios daños a la salud debido a que en el organismo se concentra en los leucocitos y se acumula fundamentalmente en el hígado, riñón, pulmón uñas y piel, la presencia del plomo es uno de los problemas más importantes de origen ambiental en especial sobre la población infantil hoy en día, ya que los niños menores de 7 años están en riesgo especial debido a su susceptibilidad hacia este compuesto neurológico [1].

Se encontró que las muestras de agua suelo y pasto en el municipio de Nezahualcoyotl presentaron un incremento en la concentración de mercurio rebasando los límites establecidos, aumentando así el riesgo de exposición de los habitantes a este metal clasificado como tóxico porque sus efectos nocivos ocurren a niveles bajos [4, 19].

En la muestra 1za recolectada en la laguna de Zumpango se determinó la presencia de paladio en una concentración de 0.0042 mg/L, se encuentra presente en los convertidores catalíticos pero en una mínima proporción. Es importante citar que no existe una norma que incluya al paladio como contaminante del agua y especifique su límite máximo de exposición sin embargo, la presencia de este metal debe ser motivo de estudios posteriores que permita a futuro establecer los límites máximos permisibles de este metal y otros como rodio y platino, para de esta forma prevenir problemas de contaminación por estos metales.

Se encontró la presencia de platino en las muestras de agua en el municipio de Zumpango y Nezahualcoyotl sin embargo las muestras 9za y 10za que corresponden al municipio de Zumpango son las que muestran una concentración mayor (1.48 mg/L y 4.49 mg/L) podemos ver que la presencia de dicho metal podría ser un indicio importante en cuanto a los posibles problemas que se pueden relacionar al uso de los convertidores catalíticos.

Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc en el municipio de Nezahualcoyotl y Zumpango se encontraron dentro de los niveles tomados como referencia para las muestras de pasto.

El mercurio en las muestras de pasto en el municipio de Nezahualcoyotl y Zumpango presentó concentraciones máximas que rebasaron el límite máximo permisible (0.12 mg Kg) la característica que hace que este metal sea tan peligroso es su tendencia a acumularse en el organismo.

El cromo en las muestras de suelo en los municipios de Nezahualcoyotl y Zumpango presentó concentraciones máximas que rebasaron el límite permisible (5 mg/Kg), la contaminación por este metal es de gran consideración debido a que es un irritante y destructor de las células del organismo [1].

Los vehículos que circulan por las vialidades de la zona emiten una gran cantidad de gases contaminando los suelos, por lo que se rebasó el límite máximo permisible de plomo en las muestras de suelo en el municipio de Nezahualcoyotl

Las concentraciones de platino son elevadas en las muestras de suelo debido a la abrasión y el deterioro de los catalizadores que causan el desprendimiento de partículas que contienen este elemento de tal manera que las muestras de suelo expuestas a tránsito vehicular han aumentado considerablemente la concentración de este metal.

Es de importancia señalar que dada las condiciones en los cuerpos de agua, donde una cantidad enorme de contaminantes diversos son desechados, se propicia la formación de algunos precipitados metálicos con sales inorgánicas, por lo que el análisis de sedimentos se presenta como una necesidad para tener mejor información.

De los municipios estudiados, el que se encuentra más contaminado es el de Nezahualcoyotl porque se observa que los suelos de las zonas urbanas y vías de comunicación rebasaron los límites permisibles de varios metales: arsénico, cadmio, cromo, mercurio, platino, plomo y zinc. El municipio de Zumpango es el menos contaminado porque el cromo, cobre, mercurio y platino en las zonas urbanas y agrícolas rebasan los límites permisibles, la diferencia entre estos dos municipios se debe a que en el primero existe un acelerado tránsito vehicular, en el segundo la contaminación es ocasionada básicamente por las descargas de los desechos industriales que se incorporan a este municipio.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Se llevó a cabo la cuantificación de las trazas metálicas en los municipios de Nezahualcoyotl y Zumpango en muestras ambientales de agua, pasto, suelo y sedimento encontrando que existe una tendencia a la acumulación en el caso de mercurio y platino en muestras de pasto en ambos municipios.

Las muestras analizadas de agua se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001- Ecol 1996 para trazas metálicas, excepto para arsénico, mercurio y platino.

Basándose en los resultados se determinó que no existe una diferencia significativa estadísticamente hablando de una zona a otra (urbana y agrícola).

Mediante el análisis estadístico de una vía se determinó que el tipo de muestra tiene una influencia importante en la determinación de la concentración de arsénico, cromo, cobre, mercurio, paladio, plomo, rodio y zinc; el factor año muestra una influencia sobre la concentración de arsénico, cromo, cobre, paladio, platino, rodio y zinc.

En el municipio de Nezahualcoyotl se determinó que existe una tendencia a la acumulación en el caso de arsénico, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras de suelo.

Se logró la optimización del método de digestión ácida asistida por microondas para suelo siendo el porcentaje de recuperación del 96.09 % para cobre y 99.61% para zinc.

ANEXOS

ANEXO I

En las tablas 22-27 se muestra el tipo de muestra recolectada en cada municipio así como la zona donde fueron recolectadas.

Tabla 22. Muestras de agua del Municipio de Zumpango

MUESTRA	pH	ZONA	LUGAR DE MUESTREO
1za	8.70	Agrícola	Laguna Zumpango
1za	8.80	Agrícola	Laguna Zumpango
3za	7.95	Urbana	Gran Canal
4za	7.69	Urbana	Guadalupe Victoria Blv. San Marcos
5za	7.80	Urbana	Río de las Avenidas
6za	7.89	Urbana	Río de las Avenidas Col. Santa María
9za	5.30	Urbana	Río de las Avenidas al lado de la gasera
10za	7.30	Urbana	Salida a Tizayuca
11za	7.80	Urbana	Calle Unión
12za	8.40	Urbana	Av. Hidalgo Norte

Tabla 23. Muestras de agua del Municipio de Nezahualcoyotl

MUESTRA	pH	ZONA	LUGAR DE MUESTREO
10na	7.3	Urbana	Calle Higinio Guerra
11na	7.3	Urbana	El Tesorito
12na	7.7	Urbana	Río Churubusco
13na	7.9	Urbana	Río la Compañía

Tabla 24. Muestras de pasto municipio de Zumpango

MUESTRA	ZONA	LUGAR DE MUESTREO
1zp	Agrícola	Laguna de Zumpango
1zp	Agrícola	Laguna de Zumpango
1zp	Vías comunicación	Laguna de Zumpango orilla carretera
1zp	Agrícola	Laguna de Zumpango
2zp	Vías comunicación	Carretera cercana Laguna de Zumpango
3zp	Urbana	Gran canal
4zp	Urbana	Calle Guadalupe Victoria Blv. San Marcos
5zp	Urbana	Río de las avenidas
6zp	Urbana	Río de las Avenidas Col. Santa María
7zp	Urbana	Av. Río Pachuca
8zp	Urbana	Av. Hidalgo Centro Zumpango
9zp	Urbana	Río las Av. al lado gasera SUGAS
10zp	Urbana	Salida a Tizayuca

Tabla 25. Muestras de Pasto del Municipio de Nezahualcoyotl

MUESTRA	ZONA	LUGAR DE MUESTREO
1np	Urbana	Esquina Valle Cauca
2np	Urbana	Valle Danubio No. 55
3np	Urbana	Valle de matamoros No. 160
4np	Urbana	Hacienda San Carlos
5np	Urbana	Esq. Av. Rancho Seco
6np	Urbana	Bosques de África
7np	Urbana	Banqueta Estatua de Nezahualcoyotl
8np	Urbana	Periférico V.C.
9np	Urbana	Av. Xochiaca
10np	Urbana	Calle Higinio Guerra
11np	Urbana	El Tesorito
12np	Urbana	Av. Río Churubusco
13np	Urbana	Río la Compañía
14np	Urbana	Crucera Av. Tepozanes
15np	Urbana	Esq. Av. Loma Bonita
16np	Urbana	Av. Pantitlán Esq. Av. Adolfo López
17np	Urbana	Av. Adolfo López Esq. Chimalhuacán
18np	Urbana	Esq. Avenida Riva palacio
19np	Urbana	Esq. Crucero Av. Pantitlán
20np	Urbana	Av. Pantitlán
22np	Urbana	Autopista: Peñón- Texcoco Vía corta

Tabla 26. Muestras de suelo obtenidas del municipio Nezahualcoyotl

MUESTRA	ZONA	LUGAR DE MUESTREO
1ns	Urbana	Esq. Valle Cauca
2ns	Urbana	Valle Darubio No. 55
3ns	Urbana	Valle de Matamoros No. 160
4ns	Urbana	Esq. Hacienda San Carlos
5ns	Urbana	Esq. Av. Hacienda Rancho Seco
6ns	Urbana	Bosques de África
7ns	Urbana	Banqueta estatua Nezahualcoyotl
8ns	Urbana	Periférico V.C.
9ns	Urbana	Av. Xochiaca
10ns	Urbana	Calle Higinio Guerra
10nsed	Urbana	Calle Higinio Guerra
11ns	Urbana	El Tesorito
12ns	Urbana	Av. Río Churubusco
12nsed	Urbana	Av. Río Churubusco
13ns	urbana	Río la Compañía
13nsed	Urbana	Río la Compañía
14ns	Urbana	Crucero Av. Tepozanes
15ns	Urbana	Esq. Av. Loma Bonita
16ns	Urbana	Av. Pantitlán Esq. Av. Adolfo L. M.
17ns	Urbana	Av. Adolfo López Mateos Esq. Chimalhuacán
18ns	Urbana	Esq. Av. Riva Palacio
19ns	Urbana	Crucero Av. Pantitlán Esq. Av. Riva Palacios
20ns	Urbana	Av. Pantitlán
21ns	Urbana	Orilla acera Calle 7
22ns	Vías comunicación	Autopista: Peñón-Texcoco vía corta
22ns	Vías comunicación	Autopista: Peñón-Texcoco vía corta a.a.
22ns	Vías comunicación	Autopista: Peñón-Texcoco vía corta o.a.

Tabla 27. Muestras de suelo obtenidas del municipio Zumpango

MUESTRA	ZONA	LUGAR DE MUESTREO
1zs	Agrícola	Laguna de Zumpango
1zsed	Agrícola	Laguna de Zumpango
2zs	Vías comunicación	Carretera cercana a Laguna de Zumpango
3zs	Urbana	Gran canal
4zs	Urbana	Guadalupe Victoria Blv. Sn Marcos
4zsed	Urbana	Guadalupe Victoria Blv. Sn Marcos
5zs	Urbana	Río de las Avenidas de Pachuca
5zsed	Urbana	Río de las Avenidas de Pachuca
6zs	Urbana	Río Avenidas Col. Santa María
7zs	Urbana	Calle Gante
8zs	Vías comunicación	Av. Hidalgo Centro Zumpango
9zs	Urbana	Río de las Avenidas al lado gasera SUGAS
9zsed	Urbana	Río de las Avenidas al lado gasera SUGAS
10zs	Urbana	Salida a Tizayuca
10zsed	Urbana	Salida a Tizayuca
11zs	Urbana	Calle Unión
12zs	Urbana	Av. Hidalgo Norte
12zsed	Urbana	Av. Hidalgo Norte
13zs	Urbana	Crucero Los Reyes Acozac
14zs	Urbana	Crucero San Antonio Jaltenco
15zs	Urbana	Frente a la industria de acero

ANEXO II

Tabla 28. Niveles de concentración permisibles de los metales en estudio en pasto [15].

METAL	CONCENTRACION mg/Kg
Arsénico	21-72
Cadmio	45-48
Cobre	13-15
Cromo	5-18
Mercurio	0.12
Plomo	Mayor a 78
Zinc	880

Tabla 29. Límites máximos permisibles de metales en suelo.

METAL	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE mg/Kg	REFERENCIA
Arsénico	0.5-2.5	2
Cadmio	0.06-1.1	33
Cromo	5.0	33
Cobre	20-30	33
Mercurio	0.040	2
Paladio	0.0005-0.030	33
Platino	0.020	15
Plomo	10-40	15
Rodio	0.020	15
Zinc	300	2

Tabla 30. Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de descargas contaminantes en aguas residuales y bienes nacionales.

Parámetros (mg/L)	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 este trabajo son los reportados como promedio diario, debido a que se trabajó con muestras simples en todos los casos.

ANEXO III

CURVAS DE CALIBRACIÓN

Para la cuantificación de trazas metálicas en las muestras se realizaron curvas de calibración con cinco niveles de concentración diferente a partir de una solución estándar. Una vez obtenidos los datos de estas curvas se realizó un análisis estadístico para determinar la relación entre la concentración de las trazas metálicas y la señal medida. Para este análisis estadístico es necesario conocer el modelo de una ecuación lineal que se muestra a continuación:

$$y = mx + b$$

Análisis estadístico para la curva de As

Tabla I curva de calibración de Arsénico

Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Absorbancia
10	0.0444
30	0.1499
50	0.2374
70	0.3123
90	0.4090

Curva de calibración de arsénico

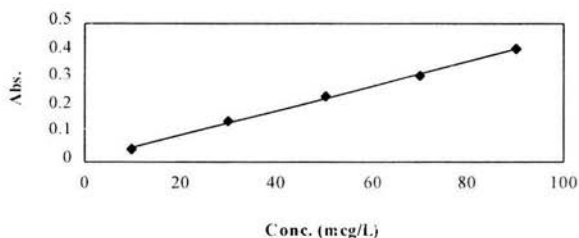


Figura 14. curva de calibración de arsénico

Tabla II Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de arsénico

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	0.0077
Pendiente ($\mu\text{/L}$)	0.004458
Coef. Correlación r	0.9985166
Coef. Determinación r^2	0.9970455

El coeficiente de determinación indica que el 99.70% de la variabilidad observada en la señal (Abs.) está explicada por los cambios en la concentración de arsénico.

Análisis estadístico para la curva de calibración de Hg

Tabla III curva de calibración de Mercurio

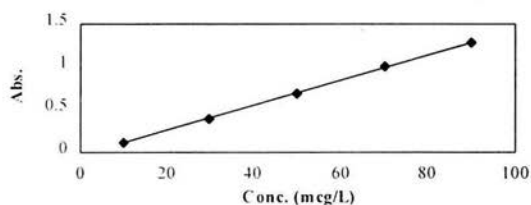
Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Absorbancia
10	0.1147
30	0.3871
50	0.6761
70	1.0034
90	1.2783

Tabla II Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de arsénico

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-0.043955
Pendiente ($\mu\text{/L}$)	0.147175
Coef. Correlación r	0.99954412
Coef. Determinación r^2	0.99908845

Figura 15. curva de calibración de mercurio

Curva de calibración de mercurio



El coeficiente de determinación indica que el 99.90% de la variabilidad observada en la señal (Abs.) está explicada por los cambios en la concentración de mercurio.

Análisis estadístico para la curva de calibración de Cd

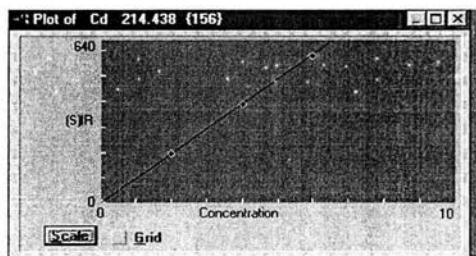
Tabla V Curva de calibración de Cadmio

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
2	234.9
4	490.5
6	758.9
8	1018.2
10	1282.3

Tabla VI Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de cadmio

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-29.79
Pendiente (mg/L)	131.125
Coef. correlación r	0.9999788
Coef. determinación r^2	0.99995759

Figura 16. curva de calibración de cadmio



El coeficiente de determinación indica que el 99.9995 % de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de cadmio.

Análisis estadístico para la curva de calibración de Cu

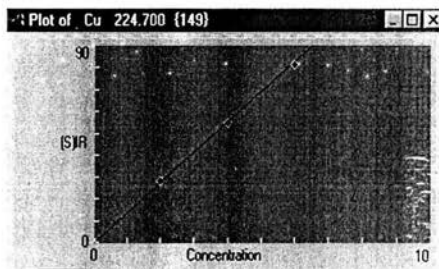
Tabla VII Curva de calibración de Cobre

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
2	67.07
4	139.3
6	215.3
8	300.4
10	376.8

Tabla VIII Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de cobre

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-14.394
Pendiente (mg/L)	39.028
Coef. correlación r	0.99963158
Coef. determinación r^2	0.9992633

Figura 17. Curva de calibración de cobre



El coeficiente de determinación indica que el 99.26% de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de cobre.

Análisis estadístico para la curva de calibración de Cr

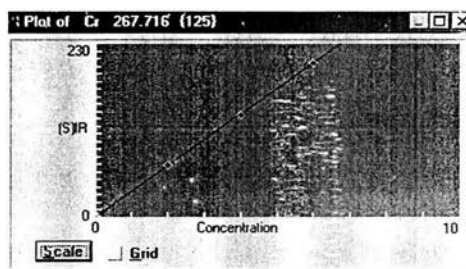
Tabla IX Curva de calibración de Cromo

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
2	63.34
4	135.7
6	214.7
8	296.7
10	381.7

Tabla X parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de cromo

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-20.888
Pendiente (mg/L)	39.886
Coef. correlación r	0.99953957
Coef. determinación r^2	0.99907936

Figura 18. Curva de calibración de cromo



El coeficiente de determinación indica que el 99.90% de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de cromo.

Análisis estadístico para la curva de calibración de Pd

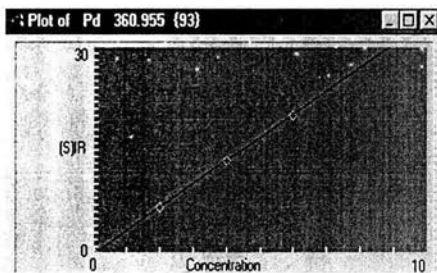
Tabla XI Curva de calibración de Paladio

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
2	5.687
4	12.50
6	19.54
8	27.34
10	34.61

Tabla XII Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de paladio

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-1.8704
Pendiente (mg/L)	3.6343
Coef. correlación r	0.99971153
Coef. determinación r^2	0.99942314

Figura 19. Curva de calibración de paladio



El coeficiente de determinación indica que el 99.94% de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de paladio

Análisis estadístico para la curva de calibración de Pt

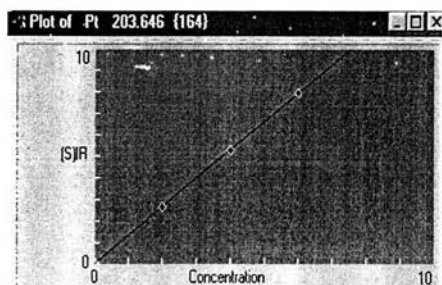
Tabla XIII Curva de calibración de Platino

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
2	2.466
4	5.305
6	8.454
8	11.57
10	14.85

Tabla XIV Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de platino

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-0.7809
Pendiente (mg/L)	1.55165
Coef. correlación r	0.99970013
Coef. determinación r^2	0.99940036

Figura 20. curva de calibración de platino



El coeficiente de determinación nos indica que el 99.94% de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de platino.

Análisis estadístico de la curva calibración de Pb

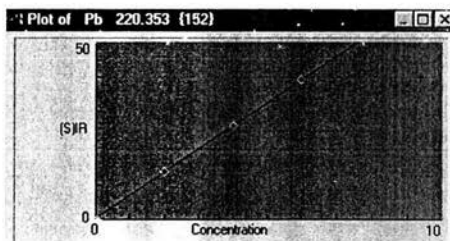
Tabla XV Curva de calibración de Plomo

Conc.(mg/L)	Señal (IR)
2	14.01
4	29.25
6	45.60
8	61.89
10	78.87

Tabla XVI Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de plomo

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-2.784
Pendiente (mg/L)	8.118
Coef. correlación r	0.99982824
Coef. determinación r^2	0.99965652

Figura 21. curva de calibración de plomo



El coeficiente de determinación nos indica que el 99.96% de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de plomo.

Análisis estadístico de la curva de calibración Rh

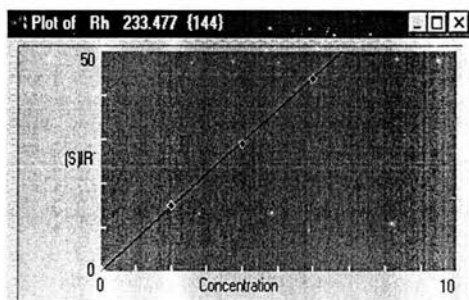
Tabla XVII Curva de calibración de Rodio

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
2	11.64
4	24.77
6	38.83
8	52.96
10	67.84

Tabla XVIII parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de rodio.

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-2.969
Pendiente (mg/L)	7.0295
Coef. correlación r	0.99976041
Coef. determinación r^2	0.99952088

Figura 22. curva de calibración de rodio



El coeficiente de determinación nos indica que el 99.95% de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de rodio.

Análisis estadístico de la curva de calibración de Zn.

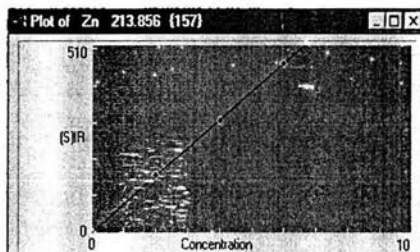
Tabla XIX Curva de calibración de Zinc

Conc. (mg/L)	Señal (IR)
2	155.1
4	322.0
6	500.5
8	679.5
10	862.2

Tabla XX Parámetros estadísticos de la regresión de la curva de calibración de zinc.

Parámetro	Valor estimado
Intercepto	-27.65
Pendiente (mg/L)	88.585
Coef. correlación r	0.99986819
Coef. determinación r^2	0.9997364

Figura 23. curva de calibración de zinc



El coeficiente de determinación nos indica que el 99.97% de la variabilidad observada en la señal (IR) está explicada por los cambios en la concentración de zinc.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Ades T. Jacques, Manual de Toxicología para la carrera de Q.F.B., FES-Cuautitlán, UNAM, 2001. Pág.81-87.
2. Alloway B.J. (1993), "Heavy metals in soils", Halsted Press, Great Britain. Pág. 8-9, 11,13,31-34, 36-38, 42-43, 52,55, 84, 86-87, 100-101, 105, 108-109, 118, 136-137 153, 10-161, 178, 188, 224-225, 227-230, 234, 262-263, 267.
3. Dreisbach, H. R. Manual de Toxicología clínica, 6^a ed. El Manual Moderno, México, 1999, Pág 212.
4. Enkerlin, H. E, Ciencia Ambiental y desarrollo sostenible, Internacional Thomson Editores, México 1997, Pág. 235, 371
5. Environmental Health Criteria 125 Platinum. World Health Organization, Geneva, 1991. Pág. 14-15, 21-22.
6. Environmental Health Criteria 221 Zinc, World Health Organization. Geneva 2001, Pág. 351,355.
7. Environmental Health Criteria Arsenic and arsenic compounds, 2nd ed.. World Health Organization, Geneva, 2001, Pág. 512-514.
8. Fifield, F.W. Environmental Analytical Chemistry 2^a ed., Ed. Blackwell science, 2000, Pág. 100, 101, 368, 371, 373.

9. Flórez, J., *Farmacología Humana*, 2^a ed., Ediciones Científicas y Técnicas. España, 1992, Pág.1007-1013.
10. García, L. M., *Monografía municipal Nezahualcoyotl*, Instituto Mexiquense de Cultura, México, 1999.
11. Harris, C. D., *Análisis Químico Cuantitativo*, 2^a ed, Ed. Reverte, 2001, Pág.606-607, 618.
12. Hernández, H. L., *Introducción al análisis instrumental*, Ed. Ariel, España 2002, Pág. 155-156, 159, 173-174.
13. IRIS ADVANTAGE ICP. Emission Spectrometer Safety Guide. Thermo Jarrell-Ash Corporation. USA 1997, Pág 12-15.
14. Jiménez Díaz, Fermín. *Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico: Cuantificación de metales (As, Cd, Cr, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn) en muestras ambientales (Agua, Suelo, Pasto) por espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo FES- Cuautitlán*, UNAM. 2003.
15. Kabata-Pendias Alina. *Pendias Henryk (1992), Trace elements in soils and plants*, 2nd ed., CRC PRESS. USA. Pág. 295-296.
16. Kingston, H.M. *Introduction to Microwave Sample Preparation*, Pág. 25.
17. Llamas, B. J.F. et al, *Quimiometría y Métodos Instrumentales de Análisis*. Universidad Politécnica de Madrid. Pág. 70-71.

18. Luis Ramos, Isaías Olivier. Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico: Determinación de Trazas Metálicas (Pt, Pd, Hg, Pb, Cr, Cu, As, Cd, Zn y Rh) contaminantes en el medio ambiente en los municipios de Zumpango, Nezahualcoyotl y Cuautitlán Izcalli por ICP-AES. FES- Cuautitlán, UNAM. 2003.
19. Nebel, J. B., Ecología y desarrollo sostenible, 6ª ed., Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, México 1999, Pág. 348,349.
20. Nonato Nonato, Fernando. Sistemas de atomización utilizados en espectrofotometría de absorción atómica: Flama, horno de grafito, Generador de hidruros y Generador de vapor, para el análisis de muestras complejas. FES- Cuautitlán, UNAM. 1997.
21. Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas –Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales.
22. Norma Mexicana NMX-AA-15-1985. “Protección al Ambiente- Contaminación del suelo-Residuos Sólidos- Municipales-Muestreo Método de Cuarteo.”
23. Norma Mexicana. NMX-AA-25-1984. “Protección al ambiente. Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos- Determinación del pH-método Potenciométrico.”
24. Purves, K. W.. Vida la ciencia de la biología, 6ª ed., Ed. Médica Panamericana. Buenos Aires, 2003, Pág 634,636, 689.
25. Ramírez Navor Maria del Pilar. Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico: Determinación de trazas metálicas contaminantes en muestras de pasto por Espectrofotometría de absorción atómica, FES-Cuautitlán, UNAM. 2002.

26. Ramírez, C. A., Monografía municipal Zumpango, Instituto Mexiquense de Cultura, México, 1999.
27. Salamanca Cova Judit, Métodos de Separación para el Análisis Químico y el Desarrollo Tecnológico: Determinación de trazas metálicas contaminantes en cuerpos de agua por Espectrofotometría de absorción atómica, FES-Cuautitlán, UNAM, 2002.
28. Skoog Douglas A., Principios de Análisis Instrumental, 5^a ed., Mc-Graw-Hill, España 2001. Pág. 567.
29. Stanley, E. M., Fundamentals of environmental chemistry 2nd ed., Boca Raton: Lewis, 2000 Pág. 637.
30. Últimos avances en digestión de muestras por microondas y análisis elemental por absorción atómica, ICP- ICP-Masas. México D.F., 11 octubre del 2000. Falcón Instrumentos y Equipo Falcón S.A. de C.V.
31. 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.
32. Valencia, C. E. y Hernández A. Muestreo de Suelos Preparación de Muestras y Guía de Campo, Cuautitlán Izcalli, 2002, Pág. 1, 12, 17-21.
33. Varian, Curso de generador de vapor e hidruros, Varian S.A. México, D.F.
34. <http://www.epa.gov/tio/tsp/download/issue14.pdf>. Noviembre 04, 2001.