

65



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**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"**

INFORME DE SERVICIO SOCIAL TITULACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

P R E S E N T A :

JUDIT SALAMANCA COVA

ASESORA: DRA. ALMA LUISA REVILLA VÁZQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

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



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



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

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

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

El Informe de Servicio Social: 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".

que presenta la pasante: Judit Salamanca Cova
con número de cuenta: 9656519-5 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 27 de febrero de 2002

PRESIDENTE	<u>Q.M. Cecilia González Ibarra</u>	
VOCAL	<u>Q.F.B. Elia Granados Enriquez</u>	
SECRETARIO	<u>Dra. Alma Luisa Revilla Vázquez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Q.F.B. Marina L. Morales Galicia</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Q.F.B. Salvador Zambrano Martínez</u>	

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

A Dios

Gracias, Señor, por haberme concedido cada día la oportunidad de vivir, por mi familia, mis amigos; por las dificultades, las tristezas y por los tropiezos que me hicieron descubrirte a mi lado tendiéndome la mano para levantarme, para sostenerme y hacerme encontrar nuevamente el camino. Gracias por permitirme llegar a la culminación de esta etapa de mi vida, y sobre todo gracias por tu inmenso amor.

Mamá

Gracias por tu amor, confianza, paciencia, por el apoyo que siempre me has dado, por todos los sacrificios que han hecho posible la culminación de esta meta. Gracias, porque de ti he aprendido que todo tiene su momento, aprendí que esforzarse siempre da frutos, por impulsarme en todo momento, por ello quiero dedicarte este trabajo... Te amo

Papá

Por todo tu amor, por que dejaste en mi vida una gran enseñanza de que el esfuerzo y trabajo son sinónimos de superación. Aunque ya no estás aquí, con nosotros, en espíritu sigues entre nosotros. Te amo y siempre te recuerdo

A mis Hermanos

Monse:

A ti peque, porque tu sonrisa y tu ternura me han dado la fuerza necesaria para seguir adelante aun en los momentos mas difíciles, y sobre todo porque te quiero mucho

Ara:

De forma muy especial quiero darte las gracias por todo lo que me has apoyado en todo momento y más aun en esta etapa de mi vida, esperando que este logro lo tomes como tuyo, porque en gran medida te lo debo a ti, gracias por alentarme a seguir, por darme tu cariño, te quiero mucho

Jorge y Peela:

A ti hermanito, quiero darte las gracias porque en varias ocasiones me animaste cuando las cosas no marchaban del todo bien, por tus consejos que fueron muy importantes y por todo el cariño que siempre me has dado, te quiero mucho. A Peela por que siempre ha estado apoyando a la familia en buenos y malos momentos, por darme ánimo, por todo. Gracias

A mi tía Maru: Por todo lo que me has apoyado y por todo el cariño que nos tienes, gracias por alentarme, y por que todos somos una familia.

A Sergio: Esperando que este logro te impulse a seguir adelante, para que seas una persona de provecho, recuerda que eres el mayor apoyo de tu mamá

A Edgar J: Mi pequeño gran Valiente, aunque ya no estás con nosotros siempre vivrás en nuestro corazón, por esa huella que dejaste en mi vida de lucha constante, porque me enseñaste a afrontar las adversidades con fortaleza.

A la Dra. Alma:

Gracias por permitirme formar parte de éste trabajo, por toda la confianza, apoyo y por todos tus consejos, que sin duda son contribuciones importantes en mi formación profesional. Por tu amistad muchas gracias

A la Dra. Raquel López

Por todo el tiempo que nos dedicó durante el desarrollo de este trabajo, por sus comentarios, confianza y sobre todo por su gran apoyo. gracias.

A los profesores que formaron parte del jurado por todo el tiempo que dedicaron a la revisión de éste trabajo, sus aportaciones fueron muy valiosas, gracias.

A todos los que trabajan en el Laboratorio de Desarrollo de Métodos Analíticos (L-401) porque durante mi estancia pase momentos muy agradables.

A mis amigos

	<i>Adriana</i>	<i>Nancy</i>	<i>Claudia</i>	<i>Karina</i>	
<i>Gerardo</i>	<i>Elías</i>	<i>Jorge</i>	<i>Ricardo</i>	<i>Agustín</i>	<i>Edgar</i>

muy especialmente a Gaby y Pity

por todos los momentos que compartimos durante este camino, porque fortalecimos día a día nuestros lazos de unión, porque logramos sobreponernos después de tropezar, por todo el cariño gracias.

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

Al CONACYT, por el apoyo otorgado al proyecto J 32518 T.

*Los planes mejor trazados
Suelen salir mal.*

*La vida no es ningún pasillo
recto y fácil que recorremos
libres y sin obstáculos,
sino un laberinto de
pasadizos, en el que
tenemos que buscar
nuestro camino, perdidos
y confusos, detenidos, de
vez en cuando, por un
callejón sin salida.
Pero, si tenemos Fe,
siempre se abre una
puerta ante nosotros;
quizá no sea la que
imaginamos, pero si será,
finalmente, la que demuestre
ser buena para nosotros.*



A. J. Cronin.

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE GRÁFICAS	VI
LISTA DE ABREVIATURAS	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
OBJETIVOS	XI

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1. ZONAS DE ESTUDIO

1.1 Cuautitlán Izcalli	2
1.2 Tlalnepantla	3
1.3 Lerma	3
1.4 Nezahualcóyotl	4
1.5 Zumpango	4

CAPÍTULO 2. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

2.1 Tipos de Contaminantes del agua	6
2.2 Fuentes de Contaminación del Agua	8
2.2.1 Fuentes de Contaminación Puntuales y Difusas	8
2.2.2 Fuentes de Contaminación: urbana, industrial y agrícola	9
2.3 Contaminación del agua por metales	10
2.3.1. Procesos de Transporte	10
2.3.2. Procesos de Transformación	11
2.3.3. Procesos de Especiación	11
2.4 Toxicidad por Metales	12

CAPÍTULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 Material, equipo y reactivos	14
3.2 Recolección de las muestras (Agua)	15
3.3 Tratamiento de la muestra (Digestión ácida por Horno de Microondas)	17

3.4.1 Análisis de la muestra por Flama	19
3.4.2 Análisis de la muestra por Horno de Grafito	20
3.4.3 Análisis de la muestra por Generación de hidruros y vapor frío	21

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Curvas de Calibración usadas en el sistema de atomización por Flama.	23
4.1.1 Cobre	23
4.1.2 Cromo	24
4.1.3 Plomo	24
4.1.4 Zinc	25
4.2 Curvas de Calibración usadas en el sistema de atomización de Horno de Grafito.	26
4.2.1 Cadmio	26
4.2.2 Cobre	27
4.2.3 Cromo	28
4.2.4 Paladio	28
4.2.5 Platino	29
4.2.6 Rodio	30
4.3 Curvas de Calibración usadas en el sistema de atomización por Generación de Hidruros y Vapor Frío.	30
4.3.1 Arsénico	30
4.3.2 Mercurio	31
4.4 Resultados del municipio de Zumpango	32
4.5 Resultados del municipio de Cuautitlán Izcalli	35
4.6 Resultados del municipio de Tlalnepantla	37
4.7 Resultados del municipio de Nezahualcóyotl	39
4.8 Resultados del municipio de Lerma	41
4.9 Análisis estadístico para el municipio de Zumpango	44
4.10 Análisis estadístico para el municipio de Cuautitlán Izcalli.	45
4.11 Análisis estadístico para el municipio de Tlalnepantla	46
4.12 Análisis estadístico para el municipio de Nezahualcóyotl	47
4.13 Análisis estadístico para el municipio de Lerma	48

CONCLUSIONES	50
APÉNDICE I GENERALIDADES DEL AGUA	
1.1 Propiedades del agua	51
1.1.1 Propiedades Físicas	52
1.1.2 Propiedades Químicas	53
1.1.3 Propiedades Biológicas	53
1.2 Ciclo Hidrológico	54
1.3 Tipos de Agua	56
1.3.1 Agua atmosférica	56
1.3.2 Agua de mar	57
1.3.3 Agua subterránea	57
1.3.4 Agua Residual	57
1.3.5 Cuerpos de agua	57
APÉNDICE II. FUNDAMENTOS DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	
2.1 Atomización	58
2.1.1 Sistema de Atomización por Flama	59
2.1.2 Sistema de Atomización por Horno de Grafito	60
2.1.3 Sistemas de atomización por generador de hidruros y vapor frío	61
2.1.3.1 Sistema de atomización por Generador de Hidruros	62
2.1.3.2 Sistema de atomización por Generador de Vapor Frio	62
ANEXOS	64
BIBLIOGRAFÍA	76

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
2.1	Fuentes de contaminación del Agua	9
2.2	Ruta de metales en el Organismo	13
1.1a	Distribución Hidrológica Global	51
1.2a	Ciclo Hidrológico	55
2.1a	Lámpara de Cátodo Hueco	59
2.2ª	Tubo de Grafito	61
2.3a	Esquema del Sistema de Atomización para Generador de hidruros y Vapor Frio	63

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1.1	Comparación del uso del suelo de cada municipio	5
2.1	Fuentes de Puntuales y Difusas de Contaminación del agua	9
2.2	Reacciones significativas que involucran a metales	11
3.1	Condiciones de preservación de muestras de agua	17
3.3	Programa de digestión para Trazas metálicas volátiles	18
3.4	Programa de digestión para Trazas metálicas no volátiles	18
3.5	Curvas de Calibración usadas para la cuantificación de metales (Cu, Cr, Pb y Zn) mediante Flama	20
3.6	Curvas de Calibración para la cuantificación de trazas metálicas (Cu, Cr, Cd, Pd, pt y Rh) por Horno de Grafito	21
3.7	Soluciones empleadas para la generación de hidruros o elementos en estado basal mediante el uso del módulo VGA-77	22
3.8	Curvas de Calibración para la cuantificación de hidruros (As) y elementos en estado basal (Hg) por Generador de Hidruros y Vapor Frio	22
4.1	Curva de Calibración para Cobre (Cu)	23
4.2	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Cobre	23
4.3	Curva de Calibración para Cromo	24
4.4	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Cromo	24
4.5	Curva de Calibración para Plomo	24

CONTINUACIÓN.....

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
4.6	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Plomo	25
4.7	Curvas de Calibración para Zinc	25
4.8	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración 1 de Zinc	26
4.9	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración 2 de Zinc	26
4.10	Curva de Calibración para Cadmio	26
4.11	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Cadmio	27
4.12	Curva de Calibración para Cobre	27
4.13	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Cobre	27
4.14	Curva de Calibración para Cromo	28
4.15	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Cromo	28
4.6	Curva de Calibración para Paladio	28
4.17	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Paladio	29
4.1.8	Curva de Calibración para Platino	29
4.1.9	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Platino	29
4.2.0	Curva de Calibración para Rodio	30
4.2.1	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Rodio	30
4.2.2	Curva de Calibración para Arsénico	31
4.2.3	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Arsénico	31
4.2.4	Curva de Calibración para Mercurio	31
4.2.5	Parámetros de la regresión de la Curva de Calibración de Mercurio	32
4.4.1	Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Zumpango	32
4.4.2	Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Cuautitlán Izcalli	35
4.4.3	Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Tlalnepantla	37
4.4.4	Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Nezahualcóyotl	39
4.4.5	Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Lerma	41

CONTINUACIÓN.....

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
4.4.6	Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Zumpango)	44
4.4.7	Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Cuautitlán Izcalli)	45
4.4.8	Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Tlalnepantla)	46
4.4.9	Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Nezahualcóyotl)	47
4.4.10	Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Lerma)	48
1.1ª	Distribución Hidrológica de agua dulce	51
1.2ª	Procesos del Ciclo Hidrológico	54
2.1a	Etapas de la Atomización por Flama	60
2.2ª	Etapas de la Atomización por Horno de Grafito	61

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

GRÁFICA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1	Municipio de Zumpango	34
2	Municipio de Zumpango	34
3	Municipio de Cuautitlán Izcalli	36
4	Municipio de Cuautitlán Izcalli	36
5	Municipio de Tlalnepantla	38
6	Municipio de Tlalnepantla	38
7	Municipio de Nezahualcóyotl	40
8	Municipio de Nezahualcóyotl	40
9	Municipio de Lerma	42
10	Municipio de Lerma	42

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

As	Arsénico
Cd	Cadmio
Cu	Cobre
Cr	Cromo
Hg	Mercurio
Pb	Plomo
Pd	Paladio
Pt	Platino
Rh	Rodio
Zn	Zinc
NO _x	Óxidos nitrosos
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
NOM	Norma Oficial Mexicana
NMX	Norma Mexicana
EAA	Espectrofotometría de absorción atómica
ppm	Partes por millón (mg/L)
ppb	Partes por billón (µg/L)
HNO ₃	Ácido nítrico
HCl	Ácido clorhídrico
KI	Yoduro de potasio
NaBH ₄	Borohidruro de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
SnCl ₂	Cloruro estannoso

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento tanto en el número de habitantes como de las actividades antropogénicas en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) han contribuido a la generación de contaminantes, que se ve reflejado con los altos índices de contaminación. Esto es preocupante debido a que los contaminantes (entre ellos NO_x, SO_x, y metales como Pb, Cr, Hg, As, Cu, Cd, Zn) se incorporan de una u otra forma en el ciclo vital, contaminando así aire, suelo, plantas, agua, etc. La contaminación del agua es un serio problema ya que éste líquido está involucrado en todas las actividades humanas y por tanto su contaminación tiende a perjudicar nuestro entorno.

Como se sabe, los contaminantes presentes en cuerpos de agua* y a los que estamos expuestos (como los metales objeto de éste estudio), son de naturaleza tóxica y causan serios problemas, ya que minan la calidad de éste líquido vital, por un lado, y por otro, al estar expuestas las especies acuáticas a éstos tipos de contaminantes se incorporan los mismos a la trama alimenticia.

Es por ello que diversos programas se han implementado con el fin de disminuir los niveles de contaminación, así como la Secretaría de Salud se ha preocupado por emitir Normas que regulen las descargas de contaminantes en agua, y del análisis de la misma (NOM-001-Ecol-1996, NOM-AA-051-SCFI -2001, NOM-002-Ecol-1996, NOM-AA-089/01-1986, NOM-AA-003-1980). Uno de los programas que se implementó como medida para combatir la contaminación es el Programa Integral de Reducción de Emisiones Contaminantes (PIREC) que introdujo de forma obligatoria el uso de convertidores catalíticos en vehículos automotores (debido a que en la ZMVM el eje principal de las actividades realizadas está representado por los vehículos, quienes a su vez representan una fuente importante de contaminación, y éstas emisiones se ven atenuadas con el uso de los convertidores). En la actualidad los convertidores catalíticos están impregnados con tres metales "preciosos": Pt, Pd y Rh.

Sin embargo, el empleo de los convertidores ha ocasionado la aparición de problemas que se contrastan con los beneficios. Según estudios realizados en algunos países europeos (Alemania principalmente), donde se determinó la concentración de éstos metales en muestras ambientales, los cuales han dado como resultado la detección de un aumento considerable en la concentración al monitorear muestras de suelo, plantas, agua que fueron analizadas en lugares con alto tráfico vehicular.^[28] En el caso de los cuerpos de agua, éstos metales (Pd, Pt y Rh) se incorporan a ellos, debido a que el ambiente contiene partículas que son

* ver apéndice I

transportadas por el viento y lluvia, posteriormente son depositadas en los suelos, y después se incorporan a las aguas.⁽²⁹⁾

Este trabajo es parte de la primera etapa de un proyecto denominado Trazas Metálicas Contaminantes en el Medio Ambiente, y los datos originados hasta éste momento pretenden dar un panorama general sobre la contaminación de cuerpos de agua por metales. El proyecto global consta de tres etapas, donde además de los cuerpos de agua se evalúan muestras de pasto y suelo, con los resultados generados se pretende establecer cual de los municipios estudiados presenta mayor contaminación por metales y que sirva como precedente para futuros análisis que permitan a la instancia correspondiente establecer estrategias para disminuir los niveles de contaminación en agua por éste tipo de contaminantes, así como iniciar una línea de investigación en México sobre el uso de convertidores catalíticos.

Es así que se tiene especial interés en la determinación de éstos metales (Pt, Pd y Rh) por un lado, por que la exposición a estos metales implica un riesgo potencial para los organismos vivos, y por otro lado, porque en México no hay antecedentes del monitoreo de éstos llamados metales "preciosos", cuyo origen en muestras ambientales (agua en este caso) se debe al proceso de abrasión y deterioro de los convertidores.

El presente trabajo tiene como finalidad comenzar el monitoreo de éstos metales preciosos (Pt, Pd y Rh en muestras de cuerpos de agua) para establecer su presencia y concentración; incluyendo también la cuantificación de otros metales como: Cu, Zn, Pb, As, Cd, Cr y Hg, que representan un problema para el ambiente y por lo tanto para los seres vivos. Es por ello, que se eligieron cinco municipios de la ZMVM (Zumpango, Cuautitlán Izcalli, Tlalnepantla, Nezahualcóyotl y Lerma), ya que la porción norte, presenta un gran número de zonas industriales y vías de comunicación que se encuentran inmersas en estas zonas; el trabajo en conjunto pretende establecer una correlación entre el grado de contaminación con el tipo de zona (industriales, urbanas, vías de comunicación y zonas agrícolas).

Para ello, se usó una técnica analítica accesible y que representa una opción ideal para la cuantificación de éstos metales llamada Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) y sus tres sistemas de atomización: Flama, Horno de Grafito y Generador de Hidruros y Vapor Frío. El uso de la ésta técnica implicó a su vez el uso del horno de microondas, con el cual se obtiene a los analitos solubilizados permitiendo su análisis, en la técnica se buscará eliminar posibles fuentes de interacciones y/o interferencias al eliminar la materia orgánica de las muestras, misma que puede llevar a errores en las lecturas e imposibilita la reproducibilidad del estudio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la presencia de trazas metálicas contaminantes como As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn, en determinados cuerpos de agua de la ZMVM, utilizando la espectrofotometría de absorción atómica, para iniciar un estudio de la calidad del agua al comparar su contenido con los límites máximos permisibles de contaminantes (trazas metálicas) regulados por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996 empleada como referencia.

OBJETIVOS PARTICULARES

Realizar un estudio preliminar de contaminación en cuerpos de agua por trazas metálicas (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn) como parte de la primera etapa de un proyecto que pretende en primera instancia dar un panorama general sobre el grado de contaminación usando la normatividad actual relativa a metales (NOM-001-Ecol-1996), y en un futuro establecer una correlación entre el grado de contaminación de los municipios estudiados con las características industriales, urbanas, agrícolas y vías de comunicación de cada municipio

Establecer un plan de muestreo para cuerpos de agua en cinco municipios de la ZMVM (Zumpango, Cuautitlán Izcalli, Tlalnepantla, Nezahualcóyotl y Lerma) cuantificando los metales mencionados.

Establecer un programa de digestión ácida por Horno de Microondas para el tratamiento de las muestras recolectadas con la finalidad de solubilizar a las trazas metálicas en estudio y eliminar la materia orgánica de la muestra que pueda interferir en la reproducibilidad del análisis de las mismas.

Iniciar el monitoreo de metales preciosos (Pd, Pt y Rh presentes en los convertidores catalíticos de los automóviles) en cuerpos de agua y crear referencias que sean la base para determinaciones futuras utilizando un método sensible, disponible en la FES Cuautitlán.

Establecer cual de los metales encontrados representa un mayor peligro, de acuerdo a su toxicidad, para documentar su existencia en los cuerpos de agua estudiados, y alertar a las autoridades pertinentes de las posibles repercusiones tóxicas que implica su presencia.

OBJETIVO ACADÉMICO

Utilizar el espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN SpectrAA-800 con sus tres sistemas de atomización; y el Horno de Microondas, MARS CEM Corporation, (como técnica de tratamiento para solubilización de las muestras) para determinar a los metales motivo de este estudio.

OBJETIVO SOCIAL

Establecer un diagnóstico general sobre la contaminación de determinados cuerpos de agua en los cinco municipios caso de estudio, para crear referencias que sean la base para determinaciones futuras que permitan establecer el grado de contaminación de los mismos, así como difundir esta información a las autoridades pertinentes y mediante publicaciones.

SECCION I

MARCO TEORICO

ZONAS DE ESTUDIO

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se caracteriza por una población densa, misma que ocasiona de forma directa e indirecta actividades que provocan el aumento en la concentración de metales en el ambiente, razón principal que dio origen a este estudio, que evalúa de forma general la contaminación en cuerpos de agua por trazas metálicas. Es por lo anterior, que de los municipios que forman parte de la ZMVM, se eligieron cinco de ellos como zonas de estudio (Cuautitlán Izcalli, Tlalnepantla, Lerma, Nezahualcóyotl y Zumpango) que puedan servir de referencia para diagnosticar la ZMVM. Estos municipios poseen ciertas características que se deseaban comparar, tales como zonas industriales, urbanas y/o agrícolas, además de diferente proporción e importancia en sus vías de comunicación con las que cuenta cada municipio (ver tabla 3.1 al final del capítulo).

Nezahualcóyotl, uno de los municipios motivo de estudio es urbano casi en su totalidad (ocupa un 73% del suelo de este municipio) y no presenta una actividad industrial importante (cerca del 0.73%) aunque pueden existir actividades no registradas que contribuyan al incremento de trazas metálicas contaminantes; Tlalnepantla y Cuautitlán Izcalli se caracterizan por ser municipios urbanos y que además cuentan con una importante actividad industrial, en cuanto a la actividad agrícola es de aproximadamente 36%. Lerma es un municipio donde las actividades agrícolas se han visto ligeramente desplazadas por las actividades industriales y la urbanización del municipio. En cuanto a Zumpango se puede decir que es un municipio agrícola básicamente, aunque cuenta con un sector industrial y urbano, además de las actividades clandestinas orientadas a la elaboración de juegos pirotécnicos (que no está regulado por el gobierno) actividad que representan una fuente importante de contaminación.

En las zonas urbanas de los municipios en estudio existen varios asentamientos irregulares debido a que la estructura urbana de los mismos es desordenada entre las zonas habitacionales, industriales, comerciales y de servicios; esto debido a que no han contado con un plan de desarrollo municipal acorde a las necesidades socioeconómicas de sus habitantes, las zonas industriales han quedado integradas a las áreas urbanas básicamente dentro de los asentamientos con mayor densidad poblacional a su vez que las actividades agrícolas se han desplazado. Las vialidades de los municipios en estudio presentan problemas de congestión, que se agudiza en las horas pico, lo cual repercute en el aumento de emisiones contaminantes hacia la atmósfera. Es por ello que una de las medidas implementadas por el Gobierno fue la introducción del uso obligatorio de convertidores

catalíticos en los vehículos automotores; estos convertidores trabajan a base de elementos denominados "preciosos" como lo son Pd, Pt y Rh.

El 90% de los contaminantes gaseosos (NO_x, SO_x, Hc) son transformados en vapor de agua^[27], N₂, CO₂ y O₂^[28,29] por medio de una reacción¹ (donde éstos tres metales actúan como catalizadores) que reduce las emisiones contaminantes de los automóviles, sin embargo, con el tiempo los aspectos benéficos de ésta tecnología pueden transformarse en desventajas, ya que se ha encontrado la presencia de éstos elementos en muestras ambientales; el uso cotidiano de los convertidores catalíticos, desprenden de forma regular residuos contaminantes que contienen metales preciosos (Pd, Pt y Rh) debido al proceso de abrasión y deterioro que sufren los convertidores, dado las condiciones extremas de temperatura a las que trabajan, así como su tiempo de vida media. Estos metales preciosos son emitidos al ambiente en forma de partículas (diámetros > 10µm) y por medio del viento se depositan a lo largo de las carreteras, en plantas y en la superficie de los suelos adyacentes a las vialidades, es así que los ríos, y en general los cuerpos de agua se han convertido en casos de estudio, ya que todos ellos conforman vías para que éstos metales se incorporen a las cadenas tróficas y lleguen a organismos superiores.

Este trabajo forma parte de la primera etapa de un proyecto, que en éste caso está referido al estudio inicial de contaminación en cuerpos de agua por trazas metálicas en cada municipio zona de estudio (los puntos de muestreo para cada municipio se citan en el anexo número 2, en tanto que la técnica de muestreo se cita en el capítulo 3); a continuación se describen características importantes de cada municipio.

1.1 CUAUTITLÁN IZCALLI.

Se encuentra localizado en la porción noroeste del Valle de México; después del sismo de 1985, este municipio se convirtió en una alternativa ideal para vivir; sin embargo, la constante inmigración ha provocado que la densidad de población aumente a un ritmo acelerado, por lo que no es de extrañarse que este municipio cuente con importantes zonas industriales como son: Industrial Cuamatla, La Luz, Xhala y Cuautitlán; además, cuenta con una importante red

¹ Los gases del escape se mueven a través de los agentes oxidantes (Pd, Pt y Rh) convirtiendo a los contaminantes en agentes menos tóxicos mediante una reacción de reducción de éstos.

carretera caracterizada por el denso tráfico vehicular, que se refleja en problemas vehiculares que provocan un aumento de las emisiones contaminantes hacia la atmósfera.

El recurso hidráulico en éste municipio esta representado por algunos ríos como son: el río Cuautitlán, el Río Hondo de Tepetzotlán, así como cuerpos de agua entre los que se encuentran La Presa de Guadalupe, Presa Ángulo, Espejo de los Lirios, Presa de la Piedad. Sin embargo, el conjunto de actividades (industriales, las zonas urbanas no planeadas, el gran número de vialidades con las que cuenta éste municipio, etc) que se realizan en este municipio han contribuido a minar la disponibilidad de este recurso, afectándolo seriamente, ya que algunos cuerpos de agua se han convertido en colectores de aguas residuales, ocasionando la pérdida de especies endémicas, de flora y fauna, tanto acuáticas como terrestres, además, algunos ríos y arroyos contaminados se siguen utilizando para la agricultura lo cual representa un serio problema, ya que los contaminantes tienden a incorporarse a los ciclos vitales.^[1]

1.2 TLALNEPANTLA.

Ubicado al noroeste de la Ciudad de México, Tlalnepantla es un municipio que cuenta con una zona industrial muy importante (alrededor de 3,500 establecimientos industriales), entre los principales giros se tiene la industria metálica, alimentaria, de bebida y tabaco, textil, maquinaria y equipo, derivados del petróleo, de asbestos, etc; un aspecto importante de notar, es que en Tlalnepantla se han desplazado las actividades agrícolas y ganaderas, por las industriales.

Un número elevado de habitantes es un factor determinante que ha influido en la disminución de la disponibilidad del agua, aunado a ello, el sector industrial ha contribuido también a la generación de residuos que se descargan en las localidades circundantes (zanjas, ríos, etc.), la red vial de este municipio se caracteriza por su gran afluencia, que se refleja en el aumento significativo de emisiones contaminantes.^[1]

1.3 LERMA.

Es evidente el deterioro de los recursos naturales en este municipio debido al acelerado crecimiento de los asentamientos humanos y al desarrollo de la zona industrial.

Lerma se localiza al poniente de la Ciudad de México, sobre la cuenca hidrológica del mismo nombre. Cuenta con un río permanente (el río Lerma), que no tiene la función de suministrar este líquido vital, sino más bien sirve como sistema de drenaje a cielo abierto, donde se descargan tanto residuos industriales como domésticos, lo que ha ocasionado el completo deterioro de este río; lo más preocupante, es que este río se extiende hacia zonas puramente agrícolas y ganaderas lo que propicia que esta agua se use para riego de tierras, así como para dar de beber a los animales (vacas, caballos, etc.); generando así que una cantidad de contaminantes, se incorporen a los ciclos vitales, propiciando el proceso de difusión de la contaminación (abordado en el capítulo 2).^[1]

1.4 NEZAHUALCÓYOTL.

Se encuentra localizado al oriente del la ZMVM, en la planicie de lo que alguna vez ocupó el lago de Texcoco. Es importante señalar que según los censos de 1995 la población de Nezahualcóyotl sumó 1,233,868 habitantes, cifra que representa el 10.54% de la población total del Estado de México^[9], este municipio es básicamente urbano, y es por ello, que cuenta con un gran número de redes viales en las que circulan una gran cantidad vehiculos automotores.

El municipio se encuentra inmerso en problemas ambientales, uno de ellos es el agua ya que no hay abastecimiento del líquido de forma regular (existe un déficit de 108 L/hab^[1]). En cuanto al drenaje, se tienen serios problemas, puesto que en él, se descargan grandes cantidades de contaminantes orgánicos e inorgánicos (como metales), que son sumamente tóxicos y que ocasionan daños a la salud.

1.5 ZUMPANGO.

En el oriente del Estado de México se encuentra ubicado el municipio de Zumpango, uno de los problemas más graves que enfrenta es la contaminación, las descargas de aguas residuales (que suelen llevar contaminantes inorgánicos, entre ellos trazas metálicas) se efectúan a cielo abierto, contaminando así los principales cuerpos receptores como: río Las Avenidas de Pachuca y varios canales, los cuales son afluentes del gran canal.

Dado el acelerado incremento poblacional, la disponibilidad del agua ha disminuido progresivamente. Al mismo tiempo se ha deteriorado en mayor proporción la calidad de algunas fuentes de abastecimiento. Por otro lado, las descargas provenientes de la industria han incorporado a la laguna de Zumpango gran cantidad de metales (Cd, Pb, As, Hg, etc.), además, la infiltración de lixiviados pueden alcanzar los mantos freáticos, contaminando así el agua y el suelo.

TABLA 1.1 Comparación del uso del suelo de cada municipio ⁽¹⁾

MUNICIPIO	AGRÍCOLA / PECUARIO (%)	INDUSTRIAL (%)	URBANO (%)	OTROS (%)
C. Izcalli	36	10	47	7
Lerma	45	2.22	4.65	48
Nezahualcóyotl	-	0.73	83.63	15
Tlalnepantla	6	6	73	16
Zumpango	76.6	0.4	6.7	8.2

**CONTAMINACIÓN
DEL
AGUA**

Se entiende por contaminación del agua la incorporación de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otro tipo que causan alteraciones en las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas de este recurso, inhabilitándolo para su uso³¹.

La degradación de las aguas es un problema que tiene sus orígenes desde tiempos muy remotos ya que desde la antigüedad estos causes han sido el vertedero natural de toda clase de desechos; y aunque el ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de *purificación*, es innegable que éste proceso no es suficiente para renovar la minada calidad de este líquido.

2.1 TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AGUA.

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de muy diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes ocho grupos^[7], aunque cabe señalar que el presente trabajo pretende estudiar a un tipo de contaminante en especial de naturaleza inorgánica como son los *metales* ya que éstos presentan fenómenos como el de bioacumulación:

1. Microorganismos patógenos. Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tífus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc.

Normalmente estos microorganismos llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua.

2. Desechos orgánicos. Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir, en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en agua, o la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

3. Sustancias químicas inorgánicas. En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos (Hg, Pb, Cu, Zn etc.). Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y perjudicar así el entorno. Debido a ello éste tipo de contaminantes (trazas metálicas) son tema central de este estudio.

4. Nutrientes vegetales inorgánicos. Son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

5. Compuestos orgánicos. Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos periodos de tiempo, porque tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

6. Sedimentos y materiales suspendidos. Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos.

7. Sustancias radiactivas. Los isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

8. Contaminantes térmicos. El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

La contaminación del agua puede originarse de forma natural, debido a la mezcla de ésta con las partículas que forman parte del suelo; y de forma antropogénica, es decir, aquellas actividades realizadas por el hombre (como actividades industriales, agrícolas, etc.). Debido a que la contaminación por actividades naturales ocurren usualmente en pequeña proporción, no es un punto preponderante; por el contrario, las actividades humanas son el mayor promotor de la contaminación, y principalmente se dividen en fuentes difusas y puntuales, por un lado, y por otro, en fuentes urbanas, industriales y agrícolas.

2.2.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN PUNTUALES Y DIFUSAS.

Se suelen distinguir dos tipos de fuentes contaminantes de las aguas: las "puntuales" que afectan a zonas muy localizadas, y las "difusas" que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal, lo anterior se puede observar en la figura 2.1.

La contaminación puntual suele ser más intensa junto al lugar de origen y se va diluyendo al alejarnos. La dirección que sigue el flujo del agua influye de forma muy importante en determinar en que lugares el agua estará contaminada y en cuales no. Puede suceder que un lugar relativamente cercano al foco contaminante tenga agua limpia, porque la corriente aleja el contaminante de ese lugar, y viceversa. En tanto, la contaminación difusa puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir acumulándose la contaminación, lenta pero continuamente a zonas muy extensas. En la tabla 2.1 se mencionan algunos ejemplos de las actividades que suelen originar estos dos procesos de contaminación.

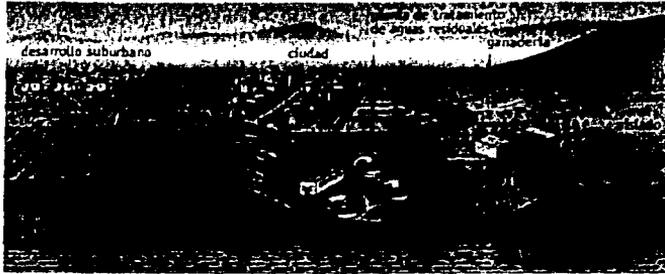


FIGURA 2.1 Fuentes de Contaminación del agua.

TABLA 2.1 Fuentes puntuales y difusas de contaminación del agua.

CONTAMINACIÓN PUNTUAL	CONTAMINACIÓN DIFUSA
Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.	Uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
Lixiviados de vertederos industriales, derrumbios de minas, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, etc.	Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas (intrusión salina).

2.2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN: URBANA, INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA.

La aparición urbana es, sin duda alguna, la fuente más grande de problemas que alteran la calidad del agua y a la que se le atribuye la aparición de los grandes complejos industriales que traen como consecuencia la generación de gran cantidad de residuos que en conjunto con los generados a partir de las zonas urbanas representan una importante fuente de contaminación. Así mismo, el acelerado crecimiento de la ciudad, promueve el aumento de vehículos automotores, ocasionando el deterioro de la infraestructura, al mismo tiempo que las

emisiones contaminantes coadyuvan a la ruptura del equilibrio ecológico.

Así mismo, las fuentes agrícolas son una importante fuente de contaminación, ya que el uso de sustancias agroquímicas promueve la incorporación de materiales altamente tóxicos, que al mezclarse con el suelo (sedimentos) pueden ser acarreados hasta cuerpos de agua promoviendo la contaminación (mismo que se verá en el inciso 2.3).

2.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES.

Los metales se encuentran libremente en la naturaleza. En cuerpos receptores de agua, la contaminación por metales puede originarse de dos formas: natural y antropogénica. El hecho de que ambas fuentes, natural y antropogénica, contribuyen al contenido en la calidad del agua, tenemos dos importantes consecuencias: primero, si el metal contenido en el cuerpo de agua, es debido a causas naturales es considerado como un parámetro de calidad (natural) del agua; segundo, los metales contenidos en agua por fuentes antropogénicas son llamados contaminantes.

En medio acuoso, los metales se disuelven, disocian o fraccionan en partículas, mismas que pueden interactuar con los sedimentos (arcillas, etc.) y materia orgánica, además, pueden tener capacidad adsorptiva y de hecho son el medio de transporte de estos contaminantes (metales) dentro del agua. Proceso que origina el fenómeno de difusión.

De acuerdo a lo anterior, los procesos más importantes que afectan la concentración y la movilidad de los metales son los siguientes:

2.3.1 PROCESOS DE TRANSPORTE. Pueden ocurrir de acuerdo a los siguientes mecanismos:

ADVECCIÓN. Los metales, en disolución, suspendidos o adsorbidos, son transportados por el flujo hidráulico.

PRECIPITACIÓN. Ocurre cuando el metal (ion) reacciona con el agua para formar un producto que precipita en forma de óxido, hidróxidos, sulfuros, etc.

2.3.2 PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN. Puede afectar la disponibilidad del metal, como:

BIOMODIFICACIÓN. El metal, es transportado por el metabolismo microbiano. En algunos casos, la toxicidad original del metal se puede ver modificada por el metabolismo del microorganismo.

2.3.3 PROCESOS DE ESPECIACIÓN. (ver tabla 2.2):

EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE. Determina el estado iónico de ácidos y bases; mismos que pueden influir en los procesos de volatilización, precipitación y disolución.

ADSORCIÓN. Es otro proceso que afecta la concentración y movilidad de los metales. La adsorción positiva involucra la atracción de metales (catión) en agua por partículas de suelo cargadas negativamente. Es así, que la adsorción puede disminuir la concentración del metal disuelto en el agua y retardar su movimiento.

COMPLEJACIÓN. Involucra la formación de un complejo soluble, cargado o neutro entre el ion metálico y un anión de origen orgánico o inorgánico llamado ligando. El complejo formado influye la movilidad y la concentración del metal en el agua.

BIOACUMULACIÓN. La bioacumulación se refiere a la intrusión de compuestos no degradables, no asimilables, en este caso metales (usualmente tóxicos) en la cadena alimenticia. La bioacumulación es el paso final en la ruta de los metales en el agua.

TABLA 2.2 Reacciones significativas que involucran a metales.

METAL	INTERCAMBIO IÓNICO	HIDRÓLISIS AC/BASE	COMPLEJACIÓN CON LIGANDOS INORG	COMPLEJACIÓN CON LIGANDOS ORGÁNICA.	METILACIÓN O REDUCCIÓN
Cd		•	•	•	
As	•				•
Hg		•	•	•	•
Pb		•	•	•	•
Zn		•	•	•	
Cu		•	•	•	

2.4 TOXICIDAD POR METALES.

Los metales pesados son un grupo de elementos caracterizados por poseer propiedades metálicas y una densidad superior a 5. Aunque en este grupo se incluyen varios elementos esenciales para el crecimiento, reproducción y/o supervivencia de los organismos vivos (Zn, Cu, Fe, etc.) otros muchos con gran importancia económica e industrial pueden ocasionar efectos perjudiciales (Pb, Cd, As, Hg). En tanto, existen otros metales que no pueden clasificarse como metales pesados y que se denominan metales "**preciosos**", tales como Rh, Pt y Pd. Definir los principales metales tóxicos no es fácil, sin embargo, un metal traza es considerado como peligroso, lo cual significa que una exposición en concentraciones pequeñas a los mismos pueden causar daños a la salud humana, debido al fenómeno de bioacumulación.

La mayoría de éstos metales, no son particularmente tóxicos cuando se encuentran como elementos libres. No obstante, todos ellos son peligrosos en forma de cationes y también cuando sus cuerpos contienen cadenas cortas con átomos de carbón. Para que el metal en cuestión produzca un efecto, éste debe estar en contacto con el organismo. Pueden ingresar al organismo por tres vías principales: *digestiva, respiratoria y dérmica*. Después del ingreso, por cualquiera de estas vías, los metales pueden ser absorbidos y pasar a la sangre, distribuirse por todo el organismo, llegar a determinados órganos donde son biotransformadas, y producir efectos tóxicos.

Los metales poseen una gran capacidad para unirse con muy diversos tipos de moléculas orgánicas. Los procesos de bioacumulación son debidos básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo. El proceso se agrava a lo largo de las cadenas tróficas, debido a que los niveles de incorporación sufren un fuerte incremento a lo largo de sus sucesivos eslabones, siendo en los superiores donde se hallan los mayores niveles de contaminantes.

Una vez incorporados a los tejidos, los metales son capaces de reaccionar con una gran variedad de sustancias. Sus efectos tóxicos específicos sobre un sistema biológico, sin embargo, dependen de reacciones con ligandos que son esenciales para la función normal de ese sistema. Así, los iones metálicos muestran gran afinidad por grupos sulfhidrilo y, en menor

SECCION II
PARTE
EXPERIMENTAL

3.1 MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS.

EQUIPO

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica VARIAN SpectraAA 800.
 - Generador de Hidruros Modelo VGA 77
 - Horno de Grafito Modelo GTA 100
 - Celda de cuarzo
 - Lámparas de cátodo hueco.

- Horno de Microondas Mars 5
 - vasos de teflón modelo HP-500

- Sistema Millipore. Milli-Q™ Water System

MATERIAL

Matraces volumétricos (10, 25, 50 y 100 ml)
Micropipetas (5-50, 20-200, 100-1000 μ l y 1-5 ml)
Pipetas volumétricas (1, 2, 3, 5 y 10 ml)
Probeta graduada (10 ml)
Vasos de precipitado (50, 100 y 250 ml)
Frascos de polietileno
Espátula de porcelana
Piseta
Perilla

REACTIVOS

HCl. concentrado (J. T. Baker).
HNO₃ concentrado (J. T. Baker).
KI Grado Reactivo Analítico (J. T. Baker).
NaBH₄ Grado Reactivo Analítico (Sigma).
NaOH Grado Reactivo Analítico (J. T. Baker).
SnCl₂ Anhidro Grado Reactivo Analítico (Sigma).
Agua desionizada.

La preparación de los estándares de los metales analizados se obtuvieron de soluciones de 1000 ppm, en la siguiente tabla se muestran los laboratorios que lo surtieron, así como su concentración:

METAL	CONC (ppm)	LABORATORIO
As	1000.1	Solutions Plus inc
Cd	998.4	Solutions Plus inc
Cr	997.9	Solutions Plus inc
Cu	997.2	Solutions Plus inc
Hg	997.7	Solutions Plus inc
Pb	998.1	Solutions Plus inc
Pd	998.3	Solutions Plus inc
Pt	998.4	Solutions Plus inc
Rh	998.4	Solutions Plus inc
Zn	997.0	Solutions Plus inc

3.2 RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS (AGUA).

La técnica para el muestreo de agua, requiere un plan de control y un aseguramiento de la calidad que se diseña con la finalidad de disminuir las fuentes de error en cada paso del muestreo, que va desde la recolección de la muestra hasta su análisis y el reporte final (ver anexo 4). Debido a ello, la recolección de las muestras se realizó siguiendo un procedimiento general de toma de muestras de cuerpos de agua, aunque es importante señalar que no existe norma alguna en este país que regule la *técnica de muestreo para cuerpos de agua*, por lo que se realizó siguiendo algunos puntos que se describen la NMX-AA-003-1980 (norma para el muestreo de aguas residuales).

Se trabajó con un total de 31 muestras simples², de las cuales 8 correspondieron al municipio de Zumpango, 8 al municipio de C. Izcalli, 6 a Tlalnepantla, 6 al municipio de Nezahualcóyotl y 3 a Lerma (para más detalles de los puntos de muestreo, ver anexo 2).

Para el muestreo se requieren vasos de Teflón o Polietileno, la recolección de la muestra de la superficie se realiza normalmente con recipientes de polietileno (como en este caso). Este tipo de

² Muestra simple según la Norma Oficial Mexicana (NOM-ECOL-001), volumen suficiente que es tomado de un punto de cuerpo, de un día que refleje cuantitativamente y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que se generan

contenedor reduce la contaminación a partir de los sedimentos durante el proceso de inmersión del recipiente en el agua.

PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS EN CUERPOS DE AGUA.

1. Las muestras deben ser representativas del lugar, además el volumen debe ser suficiente para efectuar el análisis correspondiente (aproximadamente 1000 ml).
2. Se establece una red de muestreo que represente las condiciones particulares del cuerpo de agua, debiéndose tomar las muestras de la parte superior, media o inferior del cuerpo; para fines prácticos, las muestras se tomaron de la parte superior (sumergiendo en forma invertida el envase de polietileno o polipropileno a una altura aproximada de 15-20 cm de profundidad). De haber flujo en la corriente de agua, el envase debe colocarse en contra flujo para tomar la muestra. Así como también la elección del punto de muestreo en el cuerpo, debe ser tal que asegure que la muestra sea representativa de él, para ello en este caso, se utilizó una técnica de muestreo aleatorizada simple.
3. Para la toma de muestra es recomendable (si el lugar lo permite) usar los contenedores en los cuales se va a almacenar la muestra, con la finalidad de no perder en un momento dado cierto volumen de ella al transferir de un recipiente a otro (provocaría pérdida de la representatividad de la misma); si ello no es factible, usar un muestreador³, para lo cual es necesario enjuagar repetidamente (10 veces) con el agua del lugar varias veces antes de efectuar el muestreo.

En la mayoría de los casos, una vez que se obtiene la muestra, se recomienda adicionar agentes estabilizadores (o preservadores) como los ácidos nítrico, clorhídrico y sulfúrico, con la finalidad de disminuir el pH a valores entre 1 y 3.5.

En éste caso las muestras requirieron un pretratamiento de preservación, que consistió en la acidificación de las muestras (la cual se realizó con HNO₃ concentrado, 3 ml por cada 250 ml de muestra)⁽¹⁵⁾ con la finalidad, primero, de inhibir el crecimiento de microorganismos que en algunos casos utilizan como fuente nutricional alguno (s) de estos metales; y segundo, evitar la pérdida de trazas por volatilización, además, con la adición del ácido, reduce o elimina la adsorción de las trazas metálicas (a su contenedor) y su posible hidrólisis.

³ Muestreador: recipiente de un material inerte (es decir, que no absorba las trazas metálicas) de Teflón o Polietileno que permita tomar el volumen necesario de muestra para realizar su análisis.

Posterior a la recolección y a la adición de ácido nítrico a cada una de las muestras, deben ser almacenadas en condiciones tal, que se asegure su integridad hasta la fecha de su análisis, sin embargo, todas las muestras tienen un periodo durante el cual se puede analizar a la muestra con la seguridad de que ésta preserva sus características integrales, lo cual se representa en la tabla 3.1.

TABLA 3.1 Condiciones de preservación de muestras de agua.

PARAMETRO	VOL. REQ. (ML)	CONTENEDOR	MET. DE PRESERV.	MAX. PERIOD.
Fenoles	500	T, G	4°C/ Acidificación	24 hr.
Remanentes org.	500	T, G, P	4°C/ Acidificación	24 hr.
Metales	1000	T, P	4°C/ Acidificación	6 meses
Gases disueltos	10	G, S	4°C/ oscuridad	< 24 hr.

FUENTE: Agencia de Protección Ambiental, 1993, Subsurface characterization and monitoring techniques, a desk reference guide, Vol.1, Mayo.

T: Teflón; S; P: PVC, Polipropileno o Polietileno; G: Vidrio de Borosilicato.

3.3. TRATAMIENTO DE LA MUESTRA (DIGESTIÓN ÁCIDA POR HORNO DE MICROONDAS).

La mayoría de las técnicas para el análisis de las trazas metálicas requieren que la muestra se encuentre en forma de solución, y en este caso, aunque la muestra se encuentra en esta forma, se requiere solubilizar a los analitos de interés, para ello es indispensable usar técnicas de digestión.

Convencionalmente, los procedimientos tradicionales de digestión, involucran el aumento de temperatura de la muestra en un medio ácido durante periodos prolongados de tiempo. Sin embargo, la digestión por medio de microondas ofrece varias ventajas, ya que el sistema al ser un sistema cerrado (en las técnicas tradicionales los sistemas son abiertos) proporciona una disminución en los tiempos de digestión, evita la contaminación de la muestra (debida a la interacción con el ambiente) y además son métodos muy eficientes (en general los porcentajes de recobro para trazas metálicas oscilan entre un 90-100%). Sin embargo, las condiciones óptimas del proceso dependen del tipo de muestra (composición, volumen de los reactivos para la digestión), y del programa de digestión (temperatura de reacción, presión y tiempo).

Se utilizaron dos diferentes programas de digestión debido a la naturaleza de las trazas metálicas de interés; por un lado, se requirió de un programa de condiciones suaves para evitar la posible pérdida de los analitos que fácilmente se volatilizan (As y Hg) y por otro lado, se usó otro programa debido a que el primero no satisfacía las condiciones para la disolución total de otras trazas como el Cd, Cu, Cr, Pb, Zn, Pd, Pt y Rh; los programas de digestión se presentan en la tabla 3.3 y 3.4 respectivamente. La preparación de las muestras para digestión (para volátiles y no volátiles) se muestra en el siguiente diagrama de flujo:



TABLA 3.3 Programa de digestión para trazas metálicas volátiles.

ETAPA	POTENCIA (%)	PRESIÓN (PSI)	POTENCIA (W)	RAMPA (MIN.)	TAP *(MIN.)	TEMP. (°C)
1	100	350	1200	10	15	90

* TAP, es el tiempo en que se mantiene la temperatura.

TABLA 3.4 Programa de digestión para trazas metálicas no volátiles.

ETAPA	POTENCIA (%)	PRESIÓN (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

* TAP, es el tiempo en que se mantiene la temperatura.

3.4 ANÁLISIS DE LA MUESTRA.

Para la cuantificación de trazas metálicas en las muestras obtenidas a partir de cuerpos de agua se usó como técnica analítica la Espectrofotometría de Absorción Atómica con sus tres diferentes sistemas de Atomización (Flama, Horno de Grafito, Generación de Hidruros y Vapor Frio). La elección de cada uno de los tres sistemas de atomización dependió de la sensibilidad del método, así como de la concentración en la que se encontraba cada traza metálica.

Así mismo, para la cuantificación de cada metal se requirieron una serie de curvas de calibración, mismas que fueron preparadas a partir de una solución estándar concentrada de cada uno de los metales analizados, y diluidas con agua desionizada. Además la lectura de cada curva se realizó por triplicado en el caso de los dos siguientes sistemas de atomización: Flama y Generador de Hidruros y Vapor Frio; en tanto que para el caso de Horno de Grafito las lecturas fueron por duplicado (debido a que en este sistema se alcanzan temperaturas muy elevadas y se requiere de cierto tiempo para su enfriamiento, por ello se recomienda leer las muestras y estándares solo por duplicado).

3.4.1 ANÁLISIS DE LA MUESTRA POR FLAMA.

Los metales analizados mediante este sistema de atomización fueron Cu, Cr, Pb y Zn, esto se debió principalmente a la concentración esperada en la muestra, ya que como se verá mas adelante algunas muestras de esta misma serie de trazas elementales tuvieron que analizarse por otro sistema de atomización con mayor sensibilidad (Horno de Grafito) debido a que la concentración determinada por flama se encontraba muy cercana al ruido del instrumento; cabe señalar que para el caso del Zn se prepararon dos curvas con dos niveles de concentración y ambas fueron determinadas mediante flama.

Para llevar a cabo la cuantificación de cada una de las trazas metálicas se preparó una curva de calibración a partir de una solución Estándar de 1000 ppm . En la tabla 3.5 se presentan las concentraciones de las curvas de calibración usadas.

TABLA 3.5 Curvas de Calibración usadas para la cuantificación de metales (Cu, Cr, Pb y Zn) mediante Flama.

Metal	Conc. Estándares (ppm ^a)	Conc. Solución stock (ppm ^a)
Cu	0.12, 0.36, 0.6, 1.2, 3.0	50
Cr	0.065, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5	50
Pb	0.15, 1.2, 3.0, 6.0, 9.0	50
Zn	0.1, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2	50
Zn	0.01, 0.02, 0.06, 0.08, 0.1	0.6

^a ppm (mg/L)

Para el caso del Zinc fue necesario preparar dos curvas de calibración, debido a que algunas de las muestras, no se pudieron determinar con la primera curva de calibración, por ello, se preparó una segunda curva de calibración con concentraciones más pequeñas.

En todos los casos, los estándares que formaron parte de la curva de calibración se prepararon con agua desionizada y además se preparó un blanco (con agua desionizada).

3.4.2 ANÁLISIS DE LA MUESTRA POR HORNO DE GRAFITO.

Este sistema de atomización se utilizó para muestras cuya concentración se encontraba en el orden de 10^9 µg/L (ppb), es decir, requirieron mayor sensibilidad para determinar la concentración con confiabilidad; a continuación se reportan las concentraciones de la curva de calibración empleadas (tabla 3.6), para prepararlas se requirió la preparación de una solución a partir de la solución estándar con una concentración de 1000 ppm (mg/l), ya que este sistema cuenta con un sistema de autodilutor (denominado módulo GTA-100) que se encarga de realizar las diluciones para preparar la curva.

TABLA 3.6 Concentraciones usadas en las Curvas de Calibración para la cuantificación de trazas metálicas por Horno de Grafito.

METAL	CONC. DE LOS ESTÁNDARES (ppm)	CONC. SOLUCIÓN STOCK (ppm)
Cadmio (Cd)	1.0, 3.0, 5.0, 8.0, 10	100
Cobre (Cu)	5.0, 10, 15, 20, 25	100
Cromo (Cr)	5.0, 15, 25, 35, 45	100
Paladio (Pd)	10, 20, 30, 40, 50	100
Platino (Pt)	100, 120, 140, 180, 200	500
Rodio (Rh)	4, 12, 20, 32, 40	100

Todos los estándares que formaron parte de la curva de calibración se prepararon con agua desionizada y en todos los casos se preparó un blanco (con agua desionizada).

3.4.3 ANÁLISIS DE LA MUESTRA POR GENERACIÓN DE HIDRURYS Y VAPOR FRÍO.

El único elemento analizado mediante la generación de hidruros fue el As, sin embargo, y a diferencia de los otros dos sistemas de atomización, aquí hay que promover una reacción de reducción (adicionando KI al 1% y HCl 10 M), ya que al término de la digestión de la muestra, el As se encuentra en su máximo estado de oxidación, es decir como As^{+5} , y para la generación del hidruro, el As debe encontrarse en su estado óptimo de oxidación (como As^{+3}).^(12, 17)

En tanto que el Hg al ser un metal muy volátil a temperatura ambiente, se cuantificó mediante la técnica de vapor frío, y no requirió la adición de ninguna solución después a su digestión ya que éste se cuantifica mediante la técnica de vapor frío.^(12, 17)

El uso de un módulo denominado VGA-77 es esencial para la generación de hidruros ya que como se aprecia en la Fig.2.4 (apéndice 2), éste presenta tres capilares de entrada al módulo, mismos que promueven la generación del hidruro mediante la reacción de las soluciones (tabla 3.7) cuando éstas se mezclan. Y es así como una vez generado el hidruro, éste es detectado mediante el uso de una celda de cuarzo que es atravesada por el haz de luz de la fuente luminosa (lámpara de cátodo hueco).

TABLA 3.7 Soluciones empleadas para la generación de hidruros o elementos en estado basal

ELEMENTO	SOL. "ACIDA" EMPLEADA	SOL. "REDUCTORA" EMPLEADA
As	HCl 10 M	NaBH ₄ al 0.6%/NaOH al 0.5%
Hg	H ₂ O (desionizada)	SnCl ₂ al 25%/HCl al 20%

TABLA 3.8 Curvas de Calibración para la cuantificación de hidruros (As) y elementos en estado basal (Hg) por Generador de Hidruros y Vapor Frío.

ELEMENTO	TÉCNICA	CONC. ESTÁNDARES (ppm)	CONC. SOLUCIÓN STOCK (ppm)
As	Hidruros	1.5, 3.6, 7.5, 15, 45	100
Hg	Vapor Frío	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0	50

**RESULTADOS
Y
DISCUSION**

Para la determinación de trazas metálicas en cada una de las muestras de agua, se preparó una serie de curvas de calibración a partir de soluciones estándar. Para cada uno de los metales a cuantificar, se realizó un análisis estadístico de la curva de calibración respectiva, para determinar si presentaba una tendencia lineal y, obtener la ecuación que explica los puntos experimentales ($A=F([M])$); a continuación se presenta la ecuación lineal del modelo.

$$Y = a + b \cdot X$$

4.1 CURVAS DE CALIBRACIÓN USADAS EN EL SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR FLAMA.

4.1.1 COBRE

TABLA 4.1 Curva de Calibración.

Conc. (ppm*)	Absorbancia	C.V (%)
0.12	0.0116	2.5
0.36	0.0347	0.8
0.6	0.0548	0.6
1.2	0.1035	0.4
3	0.229	1.3

El modelo ajustado para Cu. esta dado por la ecuación:

$$\text{Absorbancia} = 0.00801996 + 0.0745266 \cdot \text{Conc_Cu(ppm)}$$

TABLA 4.2. Parámetros de la regresión lineal de la curva de calibración.

Parámetro	Valor estimado	Critero de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.998722	$r > 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.997445	$r^2 > 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que el 99.7445 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del Cu. Las gráficas de las curvas de calibración se encuentran en el *anexo 3*.

4.1.2 CROMO.

TABLA 4.3. Curva de Calibración.

Conc. (ppm)	Absorbancia	C.V (%)
0.065	0.0026	2.1
0.1	0.0036	1.5
0.5	0.007	1.3
1	0.0118	0.9
1.5	0.0159	1.2

Así tenemos que la ecuación del modelo ajustado para Cr es:

$$\text{Absorbancia} = 0.00240244 + 0.00912727 * \text{Conc_Cr(ppm)}$$

TABLA 4.4. Parámetros de la regresión lineal de la curva de calibración.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.998615	$r \geq 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.997232	$r^2 \geq 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que el 99.7232 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del Cr.

4.1.3 PLOMO.

TABLA 4.5. Curva de Calibración.

Conc. (ppm)	Absorbancia	C.V (%)
0.15	0.0023	2.2
1.2	0.0255	0.2
3	0.0598	0.2
6	0.1136	0.2
9	0.161	0.2

El modelo ajustado para Pb esta dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Absorbancia} = 0.00330797 + 0.0178636 \cdot \text{Conc_Pb}(\text{ppm})$$

TABLA 4.6. Parámetros de la regresión lineal de la curva de calibración.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.998758	$r \geq 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.997518	$r^2 \geq 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que el 99.7518 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del Pb.

4.1.4 ZINC

Para el Zinc fue necesario preparar dos curvas de calibración con diferentes concentraciones, debido a que algunas muestras presentaron concentraciones por debajo del punto de menor concentración de la primera curva (0.1 ppm), por ello se preparó otra curva con niveles de concentraciones más pequeñas (de 0.01 a 0.1 ppm), con la cual fue posible cuantificar a las muestras por medio de la flama como sistema de atomización.

TABLA 4.7. Curvas de Calibración.

Conc. (ppm) curva 1	Absorbancia curva 1	C.V (%) ^a curva 1	Conc. (ppm) curva 2	Absorbancia curva 2	C.V (%) ^a curva 2
0.1	0.0456	0.2	0.01	0.0047	2.7
0.3	0.1438	0.2	0.02	0.0101	1.3
0.6	0.2782	0.3	0.06	0.0279	0.3
0.9	0.4105	0.2	0.08	0.0375	0.3
1.2	0.5361	0.4	0.1	0.0471	0.3

En tanto que el modelo ajustado para Zn está dado por la ecuación:

$$\text{Absorbancia} = 0.00699822 + 0.444906 \cdot \text{Conc_Zn}(\text{ppm})$$

TABLA 4.8. Parámetros de la regresión lineal de la curva de calibración 1.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.9996	$r \geq 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.9993	$r^2 \geq 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que el 99.9383 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del Zn.

TABLA 4.9 Parámetros de la curva de calibración 2 de Zinc.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.9997	$r \geq 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.9996	$r^2 \geq 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que el 99.96 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del Zn.

4.2 CURVAS DE CALIBRACIÓN USADAS EN EL SISTEMA DE HORNO DE GRAFITO.

Para éste sistema de atomización las concentraciones están en el orden de las ppb ($\mu\text{g/L}$).

4.1.2 CADMIO.

TABLA 4.10. Curva de Calibración.

Conc. (ppb)	Absorbancia
1	0.0489
3	0.1129
5	0.204
8	0.3544
10	0.4412

En tanto que la ecuación del modelo ajustado para Cd está dado por:

$$\text{Absorbancia} = -0.00433872 + 0.00625902 \cdot \text{Conc_Cd}(\text{ppb})$$

TABLA 4.11. Parámetros de la regresión lineal de la curva de calibración.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.994772	$r \geq 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.989572	$r^2 > 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que el 99.4564 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del Cd.

4.2.2 COBRE.

TABLA 4.12. Curva de Calibración.

Conc. (ppb)	Absorbancia
5	0.0456
10	0.1042
15	0.1731
20	0.2539
25	0.318

La ecuación del modelo ajustado que describe la relación entre el Cu y la absorbancia es:

$$\text{Absorbancia} = -0.02939 + 0.01389 \cdot \text{Conc_Cu}(\text{ppb})$$

TABLA 4.13. Parámetros de la regresión lineal de la curva.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.998723	$r \geq 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.997448	$r^2 \geq 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que el 99.7448 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del Cu.

4.2.3 CROMO.

TABLA 4.14. Curva de Calibración para Cromo (Cr).

Conc. (ppb)	Absorbancia
5	0.0296
10	0.0993
10	0.1698
20	0.2327
25	0.2831

La ecuación del modelo ajustado que describe la relación entre el Cr y la absorbancia está dado de la siguiente forma:

$$\text{Absorbancia} = -0.00063 + 0.006502 * \text{Conc_Cr(ppb)}$$

TABLA 4.15. Parámetros de la regresión lineal de la curva de calibración.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.997278	$r \geq 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.994564	$r^2 \geq 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que el 99.4564 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del Cr.

4.2.4 PALADIO.

TABLA 4.16. Curva de Calibración .

Concentración (ppb)	Absorbancia
4	0.0124
8	0.0294
12	0.0453
20	0.0841
40	0.1899

La ecuación del modelo ajustado para Pd está dada por:

$$\text{Absorbancia} = -0.0112823 + 0.00497037 * \text{Conc_Pd(ppb)}$$

TABLA 4.17. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de la curva.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.998845	$r > 0.9900$
Coef. de determinación (r ²)	0.997691	$r^2 > 0.9900$

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

4.2.5. PLATINO.

TABLA 4.18. Curva de Calibración.

Conc. (ppb)	Absorbancia
100	0.0581
300	0.2136
500	0.3561
700	0.4869
900	0.6088

La ecuación del modelo ajustado para Pt está dada por la siguiente expresión:

$$\text{Absorbancia} = 0.001025 + 0.00068735 * \text{Conc_Pt(ppb)}$$

TABLA 4.19. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de la curva de calibración.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.998821	$r > 0.9900$
Coef. de determinación (r ²)	0.997644	$r^2 > 0.9900$

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

4.2.6 RODIO.

TABLA 4.20. Curva de Calibración.

Conc. (ppb)	Absorbancia
4	0.0126
12	0.0446
20	0.0808
32	0.1411
40	0.1722

En tanto que el modelo ajustado para Rh está dado por la ecuación:

$$\text{Absorbancia} = -0.00760789 + 0.00453092 * \text{Conc_Rh(ppb)}$$

TABLA 4.21. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de la curva.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.999149	$r > 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.998299	$r^2 > 0.9900$

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

4.3. CURVAS DE CALIBRACIÓN USADAS EN EL SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR GENERACIÓN DE HIDRUROS Y VAPOR FRÍO.

4.3.1 ARSÉNICO.

A continuación se muestra la curva de calibración para As, que fue determinado mediante generación de hidruros, las concentraciones se encuentran en el orden de ppb, es decir $\mu\text{g/L}$.

TABLA 4.22. Curva de Calibración para Arsénico.

Conc. (ppb)	Absorbancia	C.V (%)
1.5	0.0278	2.9
3.6	0.076	0.7
7.5	0.1084	0.3
15	0.1895	0.4
45	0.4367	0.4

El modelo ajustado para As está dado por la ecuación:

$$\text{Absorbancia} = 0.0365078 + 0.0090339 \cdot \text{Conc_As(ppb)}$$

TABLA 4.23. Parámetros de la regresión lineal de la curva de calibración.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.995644	$r \geq 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.991307	$r^2 \geq 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que 99.1307 % de la variabilidad observada en la absorbancia esta explicada por los cambios en la concentración del As.

4.3.2 MERCURIO.

TABLA 4.24. Curva de Calibración.

Conc. (ppb)	Absorbancia	C.V (%)
1.2	0.007	2.6
3	0.0198	2.6
6	0.0391	1.8
9	0.0584	2.1
12	0.0844	1.8

La ecuación del modelo ajustado para Hg esta dado por:

$$\text{Absorbancia} = -0.00161463 + 0.00697029 \cdot \text{Conc_Hg(ppb)}$$

TABLA 4.25. Parámetros estadísticos de la regresión lineal de la curva de calibración.

Parámetro	Valor estimado	Criterio de aceptación
Coef. de correlación (r)	0.997943	$r \geq 0.9900$
Coef. de determinación (r^2)	0.995889	$r^2 \geq 0.9900$

El coeficiente de determinación indica que el 99.5889 % de la variabilidad observada en la absorbancia está explicada por los cambios en la concentración del Hg.

4.4 RESULTADOS MUNICIPIO DE ZUMPANGO.

A continuación se reporta el promedio (tres lecturas) de las concentraciones obtenidas experimentalmente a partir de las muestras de cuerpos de agua de cada municipio.

TABLA 4.4.1. Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Zumpango.

Etiqueta	As ppb	Cd ppb	Cu ppm	Cr ppm	Hg ppb	Pb ppm	Pd ppb	Zn ppm
A1	0.4990	< 1	0.0304	0.1421	0.224	0.168	<4	0.0494
A2	0.2150	< 1	0.0820	0.0873	0.2912	0.1792	<4	0.0417
U1	2.1353	3.097	0.0443	0.3612	3.3712	0.2016	<4	0.294
U2	1.7916	2.613	0.0360	0.0172	2.3296	0.2464	<4	0.1618
U3	0.00683	10.882	0.0650	0.2407	2.0384	0.224	<4	0.6454
U4	0.0337	1.3608	0.0900	0.0333	1.6688	0.2352	<4	0.0958
U5	0.3158	< 1	0.0150	0.1421	1.9936	0.2688	4.8652	0.0755
U6	1.4153	3.439	0.0420	1.172	8.232	0.3248	<4	0.1696

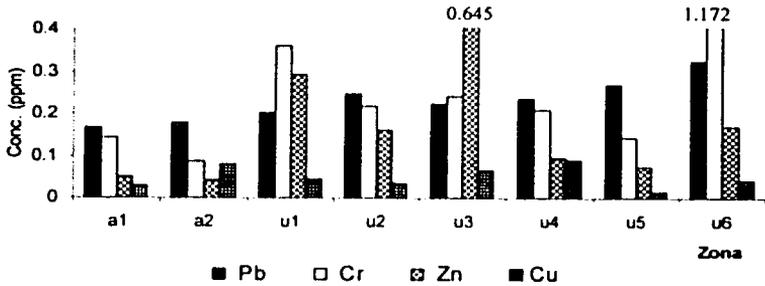
Algunas de las muestras fueron analizadas por Horno de Grafito (marcadas con asterisco*), ya que mediante flama no fue posible su cuantificación (debido a la sensibilidad del sistema de atomización, ya que es mayor la sensibilidad en Horno de Grafito), a pesar de ello las concentraciones se reportan en los casos de Cu y Cr para todas las muestras en ppm, en cuanto a las etiquetas señaladas en la tabla anterior en todos los casos A, se refiere a las Zonas Agrícolas; U, a Zonas Urbanas, v.c a vías de comunicación y cada uno va acompañado de un número que es representativo de la muestra.

En las gráficas No.1 y 2, se muestran las concentraciones de metales cuantificados en el municipio de Zumpango, donde se tomaron muestras de agua de dos tipos de zonas: Urbanas y agrícolas. En el gráfico, se observa que el metal que se encuentra en menor concentración es el Cu, en tanto que la concentración de Pb no varía de la zona urbana a la agrícola.

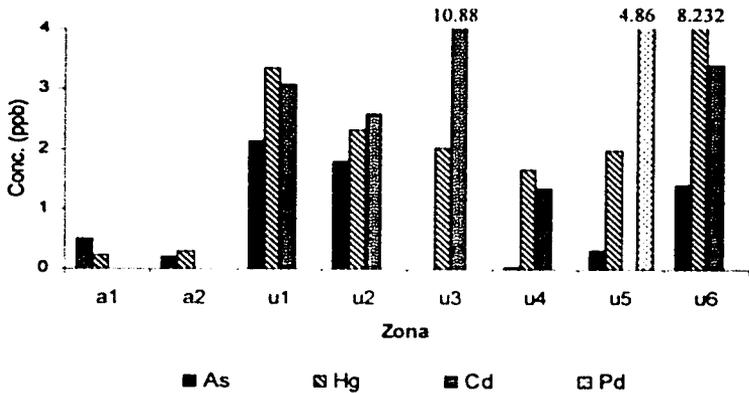
Con base a los límites de exposición permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se observa que tanto el Zn, el Pb y el Cr se encuentran en concentraciones por debajo de los límites máximos permisibles (establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996), sin embargo, en el caso del Cr la muestra etiquetada como u6 (1.172 ppm), supera el límite máximo permisible; como se puede ver en el anexo 2, esta zona pertenece al Barrio de Santa María Zumpango, que es la parte céntrica de éste municipio.

En tanto en la gráfica 2 se observa que As, Hg y Cd, no registran concentraciones mayores al límite establecido, sin embargo, el mayor problema se presenta por que éstos metales una vez biotransformados en el organismo son difícilmente excretados, por lo cual, presentan el fenómeno de bioacumulación, ocasionando, con el transcurso del tiempo serios problemas de intoxicaciones. No obstante, aunque no se superan dichas concentraciones tóxicas el peligro para todo organismo vivo es inminente.

MUNICIPIO DE ZUMPANGO



Gráfica No.1 Concentraciones de Pb, Cr, Zn y Cu.



Gráfica No.2 Trazas metálicas As, Hg, Cd y Pd.

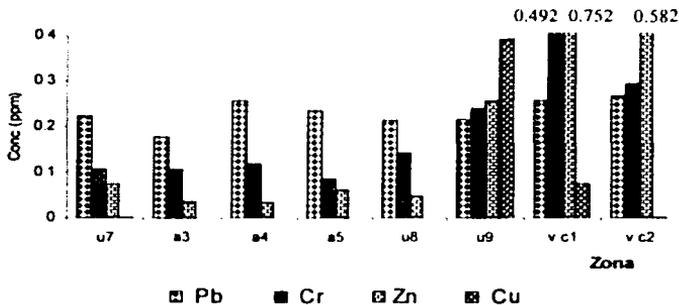
4.5 RESULTADOS DEL MUNICIPIO DE CUAUTITLÁN IZCALLI.**TABLA 4.4.2 Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Cuautitlán Izcalli.**

Etiqueta	As ppb	Cd ppb	Cu ppm	Cr ppm	Hg ppb	Pb ppm	Pd ppb	Zn ppm
U7	1.176	< 1	< 0.005	0.1092	2.576	0.224	<4	0.0754
A3	0.4816	< 1	< 0.005	0.109	0.9296	0.1792	<4	0.037
A4	0.3584	<1	< 0.005	0.1202	1.232	0.2576	<4	0.0348
A5	1.6688	1.1995	0.0005*	0.0873	2.3184	0.2352	4 9859	0.0622
U8	0.3584	< 1	< 0.005	0.1421	1.1872	0.2128	5 0463	0.0487
U9	0.9856	< 1	0.392	0.2407	4.6032	0.2161	<4	0.2578
V.C1	1.8816	14.1305	0.0750	0.4927	4.928	0.2576	5 0262	0.7528
V.C2	1.1872	7.53	<0.005	0.2955	6.0368	0.2688	<4	0.5829

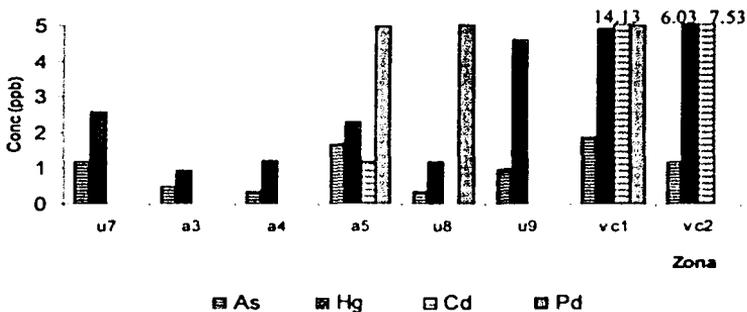
En la gráfica No.3 y No.4, se aprecia que los metales reportados, se encuentran por debajo de los Límites máximos permisibles. Sin embargo, es importante citar que las concentraciones encontradas de Pd exceden en tres zonas las 4 ppb, como se mencionó anteriormente no existe una norma que incluya al Pd como contaminante del agua y que especifique su límite máximo de exposición, sin embargo, éste hallazgo debe ser motivo de estudios posteriores para su monitoreo y para que en un futuro de pauta a la creación o modificación de ciertas normas (NOM-001-Ecol-1996 que fue tomada como referencia), con la finalidad de que establezcan los límites máximos permisibles de exposición para éste metal y otros (como Rh y Pt), y de esta forma prevenir problemas de contaminación por metales preciosos.

En cuanto a los otros metales, se observa que las mayores concentraciones se encuentran en las muestras tomadas cercanas a vías de comunicación, v.c 1 v.c 2, que corresponden a Lechería y al río que se encuentra ubicada a un costado de la empresa con razón social "Ford" en la autopista México-Querétaro respectivamente; es importante señalar, que durante el muestreo se observó que ambas muestras (v.c 1 v.c 2) presentaban un color café oscuro con una consistencia ligeramente aceitosa. Las zonas urbanas y agrícolas, en general, mostraron cierta tendencia en cuanto a las concentraciones determinadas ya que los valores obtenidos de zonas agrícolas eran muy similares a los de las zonas urbanas.

MUNICIPIO DE CUAUTITLÁN IZZCALLI



Gráfica No.3 Concentraciones de Pb, Cr, Zn y Cu



Gráfica No.2 Trazas metálicas As, Hg, Cd y Pd.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4.6 RESULTADOS DEL MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA.

TABLA 4.4.3 Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Tlalnepantla.

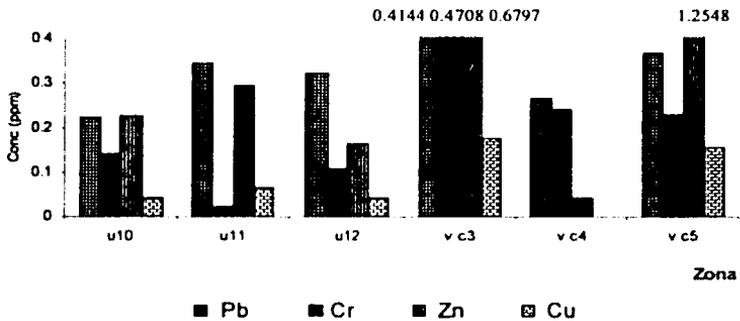
Etiqueta	As ppb	Cd ppb	Cu ppm	Cr ppm	Hg ppb	Pb ppm	Pd ppb	Zn ppm
UI0	1.7584	< 1	0.04256	0.14216	1.904	0.224	5.7907	0.2283
UI1	2.7216	< 1	0.0638	0.0216*	2.0272	0.3472	6.0925	0.2957
UI2	2.6768	< 1	0.0414	0.1092	2.1392	0.3248	5.7105	0.1647
v.c3	1.9264	< 1	0.1769	0.4708	1.8928	0.4144	6.1126	0.6797
v.c4	9.4304	< 1	< 0.005	0.2407	1.9936	0.2665	6.0312	0.0419
v.c5	7.1792	< 1	0.1557	0.2298	2.6656	0.3696	5.7909	1.2548

En la gráfica No. 5, se observan las concentraciones que las concentraciones de Cu se encuentran en menor cantidad que los otros tres metales (Cr, Pb y Zn).

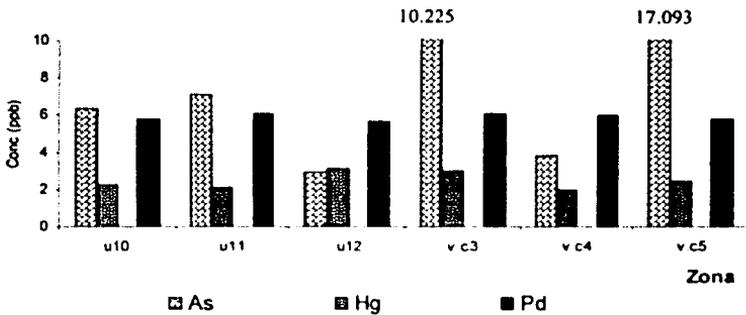
En éste municipio todas las muestras analizadas se encuentran por debajo del Límite Máximo Permissible; excepto la muestra etiquetada como v.c 4 para el Pb (con una concentración de 0.4144 ppm) que lo excede ligeramente (0.4 ppm), ésta muestra corresponde al Río ubicado en San Bartolo Tenayuca (en sus costados existen redes viales por donde circula un gran número de vehículos automotores).

El metal que se encuentra en mayor concentración es el Zn (aunque éste se encuentre en concentraciones por debajo del límite establecido), y la concentración de éste metal es mayor en las zonas etiquetadas como v.c3 y v.c4, que según los puntos de muestreo (anexo 2), corresponden a San Bartolo Tenayuca y al Río de los Remedios (a la altura de la autopista México-Pachuca) respectivamente.

MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA



Gráfica No.5 Concentraciones de Pb, Cr, Zn y Cu



Gráfica No.6 Trazas metálicas As, Hg, Cd y Pd.

Como se aprecia en la gráfica No. 6, todos los metales reportados en ella, se encuentran por debajo del límite máximo permisible (anexo 1); en cuanto a la concentración de Cd (< 1 ppb), no fue posible su detección en ninguna de las seis muestras analizadas.

En este casos se observa una tendencia donde las mayores concentraciones de los metales estudiados se encuentran en las muestras tomadas de vías de comunicación en comparación con las muestras de zonas urbanas.

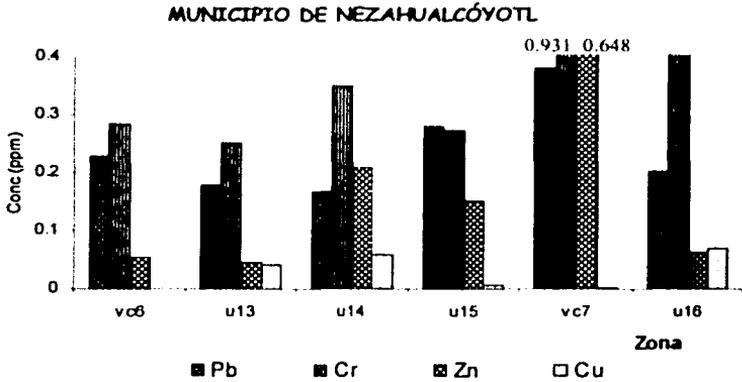
4.7 RESULTADOS DEL MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL.

TABLA 4.4.4 Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Nezahualcóyotl.

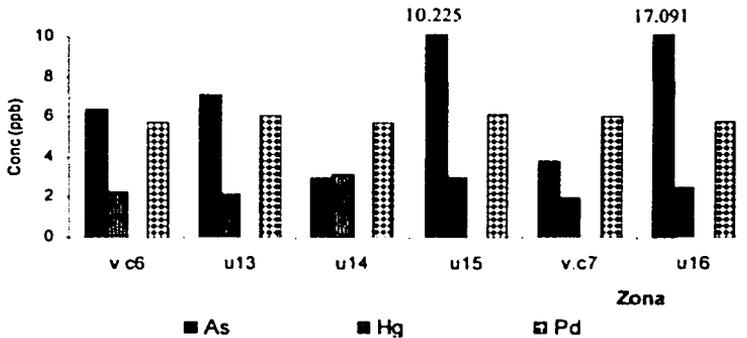
Etiqueta	As ppb	Cd ppb	Cu ppm	Cr ppm	Hg ppb	Pb ppm	Pd ppb	Zn ppm
V. C6	6.3728	< 1	< 0.005	0.2845	2.2736	0.2273	5 7907	0.0535
U13	7.112	< 1	0.04144	0.2517	2.1504	0.1792	6 0925	0.0457
U14	2.9568	< 1	0.05824	0.3503	3.1696	0.168	5 7105	0.208
U15	10.2256	< 1	0.0071*	0.2736	3.0016	0.28	6 1126	0.1526
V. C7	3.8192	< 1	<0.005	0.931	1.96	0.3808	6 0321	0.6484
U16	17.0912	< 1	0.06944	0.416	2.4976	0.2016	5 7909	0.0633

En Nezahualcóyotl, el Cr (0.931 $\mu\text{g/L}$) superó el límite máximo permisible en la zona denominada v.c7 (gráfica No.8), correspondiente al Río de los Remedios (altura de la caseta Peñón-Texcoco), esto se puede deber a que el Cr es un elemento utilizado como componente en los automóviles y cuando éste se corroe contamina el ambiente (una forma es depositándose el Cr en el agua), y esa es la posible causa de éste hallazgo. Por otro lado, el cobre sigue presentando concentraciones muy pequeñas (la concentración mayor es de 0.069 ppm, en la zona etiquetada como U16).

En lo que se refiere al Cd no se detectó a un nivel de concentración mayor a 1 ppb ($\mu\text{g/L}$); sin embargo, el paladio se encuentra en concentraciones que oscilan entre 5 y 6 ppb.



Gráfica No.7 Concentraciones de Pb, Cr, Zn y Cu



Gráfica No.8 Trazas metálicas As, Hg, Cd y Pd.

Cabe señalar que en este municipio no se identificó una tendencia clara en cuanto a las concentraciones encontradas en zonas urbanas y agrícolas, es decir, no se observa influencia con respecto a la concentración determinada con el tipo de zona. Las concentraciones tanto de zonas urbanas como de vías de comunicación presentaron concentraciones altas y pequeñas.

4.8 RESULTADOS DEL MUNICIPIO DE LERMA.

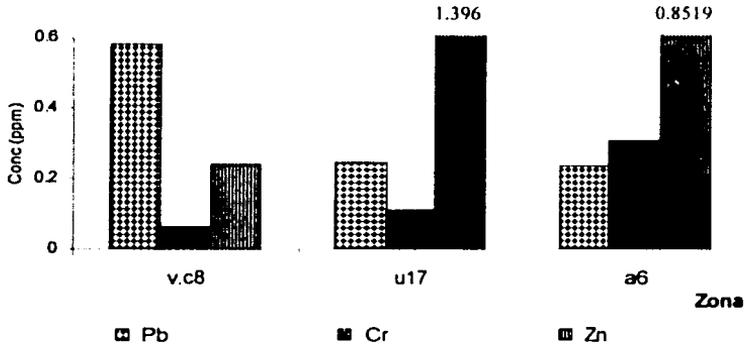
TABLA 4.4.5 Trazas metálicas analizadas a partir de cuerpos de agua del municipio de Lerma.

Etiqueta	As ppb	Cd ppb	Cu ppm	Cr ppm	Hg ppb	Pb ppm	Pd ppb	Zn ppm
V. CB	0.9408	<1	< 0.005	0.0654	3.5168	0.5824	6 3742	0.2419
U17	0.9968	<1	0.02441	0.1092	1.2992	0.2464	5 8511	1.3961
A6	0.840	<1	0.0079'	0.3065	1.7696	0.2374	6 1327	0.8520

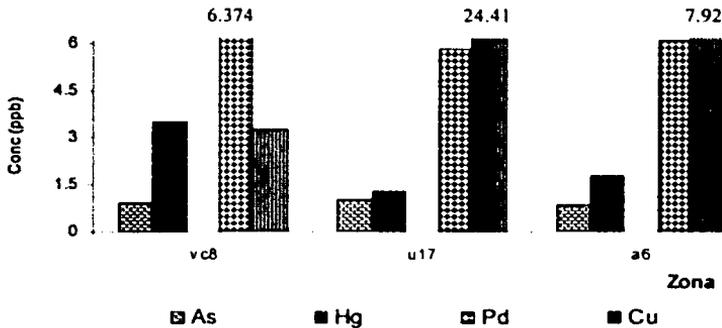
Como se observa en las gráficas No. 9 y 10 todas las trazas metálicas, se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles, sin embargo cabe señalar que se encontró Pd en todas las zonas de muestreo, en tanto que Cu se encuentra en cantidades muy pequeñas (en ppb), como en los otros municipios estudiados.

No se detectó Cd; en cuanto a los otros elementos analizados se puede observar que no existe tendencia que nos indique cual de las tres zonas estudiadas presenta mayores niveles de concentración; sin embargo, es importante mencionar que durante el muestreo en este municipio se verificó que el agua del río Lerma (zona agrícola) se usa como suministro para dar de beber a los animales (vacas principalmente), motivo de preocupación ya que si bien es cierto que ninguno de los metales en estudio se encuentran por arriba del límite máximo permisible, es cierto, que la naturaleza de éstos elementos son tóxicos y aunque se encuentran en pequeñas concentraciones no debemos olvidar que son bioacumulables.

MUNICIPIO DE LERMA



Gráfica No.9 Concentraciones de Pb, Cr, Zn y Cu.



Gráfica No.10 Trazas metálicas As, Hg, Cd y Pd.

Los resultados obtenidos experimentalmente, se analizaron mediante un programa estadístico (StatGraphics Plus, versión 4), ya que éste permitió establecer la correlación entre el grado de contaminación de los cuerpos de agua (sujeto de estudio) y su localización (urbana, industrial, agrícola o de vías de comunicación). Para ello, se recurrió al análisis estadístico de cada metal analizado (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh y Zn) por municipio, aunque es importante señalar que no se reportan resultados de metales como el Pt y Rh, debido a que no fue posible su cuantificación aun con el sistema de atomización más sensible (Horno de Grafito).

Para ello en todos los casos se plantearon dos Hipótesis, la nula (H_0) y la alterna (H_a) con un nivel de confianza al 95%.

En la Hipótesis nula (H_0), se plantea que no existe diferencia en cuanto a los niveles de concentración de los metales de una zona a otra (urbana, agrícola, vías de comunicación); en tanto que en la hipótesis alterna (H_a), se dice que si existe diferencia en cuanto a las concentraciones de las trazas analizadas entre las zonas, con un intervalo de confianza al 95%.

Para lo cual era necesario calcular el valor de P (nivel de significancia), si dicho valor resultaba mayor a 0.05 no se rechazaría la hipótesis H_0 , es decir el grado de contaminación es el mismo independientemente del tipo de zona. Sin embargo, si el valor de P resultaba menor a 0.05 no se rechazaría H_a y se rechazaría H_0 , lo cual indicaría que existe diferencia, en cuanto al grado de contaminación de una zona a otra.

4.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO.

H_0 : $\mu_{Agrícola} = \mu_{Urbana}$ (no hay diferencia entre una zona y otra).

H_a : $\mu_{Agrícola} \neq \mu_{Urbana}$ (al menos un par de medias es diferente)

No se rechaza H_0 si $P > 0.05$; si $P < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto H_a no se rechaza.

TABLA 4.4.6. Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Zumpango).

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADA	P
As	Entre Grupos	0.5571	1	0.5271	0.7	0.43
	Dentro de Grup.	4.501	6	0.7502		
Cd	Entre Grupos	18.978	1	18.978	1.58	0.2558
	Dentro de Grup.	72.1762	6	12.0294		
Cu	Entre Grupos	0.0000837387	1	0.0000837387	0.11	0.7539
	Dentro de Grup.	0.00466392	6	0.00077732		
Cr	Entre Grupos	0.0680886	1	0.0680886	0.43	0.5343
	Dentro de Grup.	0.940546	6	0.156758		
Hg	Entre Grupos	13.6323	1	13.6323	2.62	0.1567
	Dentro de Grup.	31.2281	6	5.20469		
Pb	Entre Grupos	0.00397837	1	0.00397837	0.79	0.4240
	Dentro de Grup.	0.0201172	4	0.00502931		
Zn	Entre Grupos	0.0569322	1	0.0569322	1.51	0.2651
	Dentro de Grup.	0.226202	6	0.0377003		

Como el valor de $P > 0.05$ se acepta H_0 , por tanto no hay diferencia estadísticamente significativa entre la media de cada metal de un nivel a otro (es decir de zona a zona), con un 95 % de confianza.

Para el caso del Paladio se registró una lectura (concentración) por debajo de la curva de calibración y por tanto no se toma en cuenta para realizar el análisis estadístico para el metal señalado.

4.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL MUNICIPIO DE CUAUTITLÁN IZCALLI.

Ho : $\mu_{Agrícola} = \mu_{Urbana} = \mu_{Vías de comunicación}$ (no hay diferencia entre una zona y otra).

Ha : $\mu_{Agrícola} \neq \mu_{Urbana} \neq \mu_{Vías de comunicación}$ (al menos un par de medias es diferente)

Se acepta Ho si $P > 0.05$; si $P < 0.05$ se rechaza Ho, por lo tanto Ha no se rechaza.

Tabla 4.4.7. Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Cuautitlán Izcalli).

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADA	P
As	Entre Grupos	0 727202	2	0 363601	1 10	0 4022
	Dentro de Grup.	1 65439	5	0 330877		
Cu	Entre Grupos	0 0268346	2	0 0134173	0 64	0 5653
	Dentro de Grup.	0 104723	5	0 0209446		
Cr	Entre Grupos	0 106027	2	0 0530135	9 03	0 0219
	Dentro de Grup.	0 029369	5	0 00587381		
Hg	Entre Grupos	19 2641	2	9 63206	6 35	0 0424
	Dentro de Grup.	7 584	5	1 5168		
Pd	Entre Grupos	0.0000680067	1	0 0000680067	0.04	0.8786
	Dentro de Grup.	0.00182408	1	0 00182408		
Pb	Entre Grupos	0.00275532	2	0.00137766	2.03	0.2260
	Dentro de Grup.	0 00339041	5	0 000678081		
Zn	Entre Grupos	0 518091	2	0 259046	31 74	0 0014
	Dentro de Grup.	0 0408036	5	0 00816072		

Se acepta Ho para los siguientes metales As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pd y Pb debido a que el valor de $P > 0.05$, lo que indica que no hay diferencia significativa entre la media de cada metal de una zona a otra con el 95 % del nivel de confianza.

Sin embargo, para el Zinc, la diferencia entre una zona y otra es estadísticamente significativa al ser $P < 0.005$, por ello se rechaza Ho. Las zonas de mayor contaminación por Zinc fueron las cercanas a vías de comunicación.

4.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA.

H_0 : $\mu_{\text{vias de comunicación}} = \mu_{\text{urbana}}$ (no hay diferencia entre una zona y otra).

H_a : $\mu_{\text{vias de comunicación}} \neq \mu_{\text{urbana}}$ (al menos un par de medias es diferente)

Se acepta H_0 si $P > 0.05$; si $P < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto H_a no se rechaza.

TABLA 4.4.8. Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Tlalnepantla).

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADA	P
As	Entre Grupos	21 581	1	21 581	2.85	0.1664
	Dentro de Grup.	30 2477	4	7 56192		
Cu	Entre Grupos	0 00570047	1	0 00570047	1.20	0.3343
	Dentro de Grup.	0 0189556	4	0 00473889		
Cr	Entre Grupos	0 0744375	1	0 0744375	6.65	0.0615
	Dentro de Grup.	0 044808	4	0 011202		
Hg	Entre Grupos	0 0386564	1	0 0386564	0.41	0.5586
	Dentro de Grup.	0 380669	4	0 0951671		
Pd	Entre Grupos	0.0356973	1	0.0356973	0.31	0.6057
	Dentro de Grup.	0.456268	4	0.114067		
Pb	Entre Grupos	0 00397837	1	0.00397837	0.79	0.4240
	Dentro de Grup.	0 0201172	4	0.00502931		
Zn	Entre Grupos	0.276362	1	0.276362	1.48	0.2901
	Dentro de Grup.	0.744801	4	0.1862		

Como el valor de $P > 0.05$ se acepta H_0 , por tanto no hay diferencia estadísticamente significativa entre la media de cada metal de un nivel a otro (es decir de zona a zona), con un 95 % de confianza.

Para el caso del Cd se registró una lectura (concentración) por debajo de la curva de calibración y por tanto no se tomó en cuenta para realizar el análisis estadístico para el metal señalado.

4.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL.

H_0 : $\mu_{\text{vias de comunicación}} = \mu_{\text{urbana}}$ (no hay diferencia entre una zona y otra).

H_a : $\mu_{\text{vias de comunicación}} \neq \mu_{\text{urbana}}$ (al menos un par de medias es diferente)

Se acepta H_0 si $P > 0.05$; si $P < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto H_a no se rechaza.

TABLA 4.4.9. Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Nezahualcóyotl).

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADA	P
As	Entre Grupos	24.0879	1	24.0879	0.88	0.4020
	Dentro de Grup.	109.835	4	27.4587		
Cu	Entre Grupos	0.00246419	1	0.00246419	4.44	0.1028
	Dentro de Grup.	0.00222039	4	0.000555098		
Cr	Entre Grupos	0.108186	1	0.108186	1.92	0.2386
	Dentro de Grup.	0.225899	4	0.0564749		
Hg	Entre Grupos	0.460992	1	0.460992	2.62	0.1808
	Dentro de Grup.	0.703593	4	0.175898		
Pd	Entre Grupos	0.000304013	1	0.000304013	0.01	0.9340
	Dentro de Grup.	0.156554	4	0.0391384		
Pb	Entre Grupos	0.0125066	1	0.0125066	2.57	0.1839
	Dentro de Grup.	0.019433	4	0.00485824		
Zn	Entre Grupos	0.0727275	1	0.0727275	1.50	0.2884
	Dentro de Grup.	0.194468	4	0.048617		

Como el valor de $P > 0.05$ se acepta H_0 , por tanto no hay diferencia estadísticamente significativa entre la media de cada metal de un nivel a otro (es decir de zona a zona), con un 95 % de confianza.

Para el caso del Cd se registró una lectura (concentración) por debajo de la curva de calibración y por tanto no se toma en cuenta para realizar el análisis estadístico para el metal señalado.

4.13 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL MUNICIPIO DE LERMA.

H_0 : $\mu_{Agrícola} = \mu_{Urbana} = \mu_{Vías de comunicación}$ (no hay diferencia entre una zona y otra).

H_a : $\mu_{Agrícola} \neq \mu_{Urbana} \neq \mu_{Vías de comunicación}$ (al menos un par de medias es diferente)

Se acepta H_0 si $P > 0.05$; si $P < 0.05$ se rechaza H_0 , por lo tanto H_a no se rechaza.

TABLA 4.4.10. Análisis de varianza completamente al azar (municipio de Lerma).

METAL	FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADA	P
As	Entre Grupos	24.0879	1	24.0879	0.88	0.4020
	Dentro de Grup.	00109.835	4	27.4587		
Cu	Entre Grupos	0.00895907	1	0.00895907	0.31	0.6774
	Dentro de Grup.	0.0290718	1	0.0290718		
Cr	Entre Grupos	0.0320909	1	0.0320909	32.85	0.1100
	Dentro de Grup.	0.00097682	1	0.00097682		
Hg	Entre Grupos	0.271703	1	0.271703	0.11	0.7957
	Dentro de Grup.	2.45887	1	2.45887		
Pd	Entre Grupos	0.000268002	1	0.000268002	0.00	0.9718
	Dentro de Grup.	0.136817	1	0.136817		
Pb	Entre Grupos	0.020886	1	0.020886	0.37	0.6521
	Dentro de Grup.	0.056448	1	0.056448		
Zn	Entre Grupos	0.00072556	1	0.00072556	0.00	0.9790
	Dentro de Grup.	0.666066	1	0.666066		

Como el valor de $P > 0.05$ se acepta H_0 , por tanto no hay diferencia estadísticamente significativa entre la media de cada metal de un nivel a otro (es decir de zona a zona), con un 95 % de confianza.

Para el caso del Cd se registró una lectura (concentración) por debajo de la curva de calibración y por tanto no se toma en cuenta para realizar el análisis estadístico para el metal señalado, por otro cabe señalar que el análisis estadístico realizado.

Con base en los resultados y análisis estadístico de los mismos se puede observar que hasta el momento de la toma de muestra, los metales motivo de este estudio, se encuentran en general por debajo de los límites máximos permisibles (para trazas metálicas) según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996, por lo que no se puede establecer que existe una contaminación de trazas metálicas en el agua de los cuerpos muestreados.

Además al parecer no se logró establecer una diferencia de la concentración de los metales con el área de muestreo (zona urbana, agrícola, vías de comunicación), sin embargo, sería recomendable lo siguiente:

- Analizar además del agua, los sedimentos en los cuerpos de agua.
- Aumentar el número de muestras por cuerpo de agua.
- Muestrear varias veces por año o incluso por mes.

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 del estado de los cuerpos de agua.

Además, el análisis estadístico indica que no existe diferencia en cuanto a la concentración de los metales analizados de un municipio a otro, sin embargo, cabe señalar que los datos obtenidos de éste estudio presentan cierta tendencia, ya que se aprecia que las mayores concentraciones de los metales (por municipio) se tienen en los municipios que se encuentran más cercanos al Distrito Federal, a medida que éstos se encuentran a mayores distancias se aprecia que las concentraciones van disminuyendo como lo es en el caso del municipio de Zumpango, que dentro de los municipios estudiados se encuentra más alejado al DF., por el contrario, Tlalnepantla, Nezahualcóyotl presentan las mayores concentraciones (ambos se encuentran cercanos a la Ciudad de México).

CONCLUSIONES

Se establecieron las condiciones para solubilizar trazas metálicas mediante dos programas digestión ácida, por medio del horno de microondas (uno para trazas volátiles y otro para trazas no volátiles) y se eliminaron fuentes de interferencias químicas mediante el uso de la digestión por microondas, ya que ésta técnica promueve la volatilización de la materia orgánica presente en la muestra.

Las muestras analizadas, se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996 en cuanto a las regulaciones establecidas para trazas metálicas; excepto para Pb de la muestra perteneciente a San Bartolo Tenayuca.

En cuanto a los metales "preciosos", solo se logró cuantificar Pd, que es un precedente para futuros análisis; en cuanto al Pt y Rh, no se logró su cuantificación bajo las condiciones de análisis establecidas, por lo cual se sugiere implementar nuevas condiciones para análisis posteriores modificando para ello el programa de digestión, o bien empleando métodos de preconcentración.

No existe diferencia significativa estadísticamente hablando de una zona a otra (agrícola, Urbana, vías de comunicación) como se esperaba, sin embargo, se observó una tendencia relacionada a la cercanía al Distrito Federal, es decir, se obtuvieron las mayores en los municipios cercanos al D. F. y las menores concentraciones se obtuvieron en los municipios distantes al D.F.

Esta primera etapa del Proyecto Trazas Metálicas Contaminantes en el Medio Ambiente, en lo referente al agua, da un panorama sobre el grado de contaminación en los cinco municipios estudiados.

A pesar del grado de industrialización que presenta el municipio de Tlalnepantla, presenta una tendencia similar (en cuanto a contaminación por metales) con el municipio de Nezahualcóyotl que es básicamente urbano.

GENERALIDADES
DEL
AGUA

El agua es uno de los recursos esenciales para todo organismo vivo. Se encuentra libre en la naturaleza y sus características dependen fundamentalmente de las condiciones geográficas, geológicas y climáticas; de la presencia de material orgánico, inorgánico y mineral ya sea en estado sólido, líquido o gaseoso que se disuelva en ella.^[1]

El agua ocupa aproximadamente el 73% de la superficie de la corteza terrestre, sin embargo, aunque la mayor parte de la superficie del planeta se encuentra cubierta por agua, solo un pequeño porcentaje (3%) corresponde a agua dulce (ver figura 1.1). Así mismo, la fracción de agua dulce se divide en agua de fácil acceso (1%), agua de glaciares y de icebergs (79%) y agua subterránea; esta distribución se encuentra descrita en la tabla 1.1.^[2] La fracción de agua disponible (fácil acceso) se encuentra en una proporción muy pequeña y ante la creciente demanda de este líquido vital y su uso indiscriminado, así como la falta de conciencia de cuidar este recurso hace que cada día se agote o disminuya de forma importante la calidad para su uso y consumo a la vez que disminuye la cantidad de éste líquido vital, debido al fenómeno de contaminación.

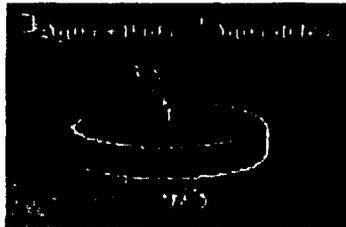


FIGURA 1.1 Distribución hidrológica global

TABLA 1.1 Distribución hidrológica de agua dulce.

AGUA DULCE	%	AGUA SUPERFICIAL	LAGOS	52%
Agua de icebergs	79		Humedad suelo y biomasa	39%
Agua subterránea	20		Vapor atmosférico	8%
Agua superficial	1		Ríos	1%

1.1 PROPIEDADES DEL AGUA.

Para entender la relación que existe entre el ambiente y la hidrosfera, es necesario considerar las características físicas, químicas y biológicas del agua, estas propiedades determinan las formas de vida así como su desarrollo. Varias de esas propiedades son únicas, en comparación con otros compuestos y estas características le confieren la peculiaridad a éste recurso.

1.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS.

El agua a temperatura ambiente es un líquido insípido; inodoro e incoloro en pequeñas cantidades, en grandes cantidades retiene las radiaciones del rojo por lo que a nuestros ojos adquiere un color azul^(3,4).

El agua se conoce como un líquido asociado, que se presenta como un fluido de estructura heterogénea al contar con dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno; y un par de iones hidroxilo (OH⁻) e hidronio (H⁺).

ACCIÓN DISOLVENTE. Es el **disolvente universal**. Esta propiedad se debe a su capacidad para formar **puentes de hidrógeno** con otras sustancias que pueden presentar grupos polares o con carga iónica (alcoholes, azúcares con grupos **R-OH**, aminoácidos y proteínas con grupos que presentan cargas positivas y negativas, lo que da lugar a **disoluciones moleculares**. También las moléculas de agua pueden disolver a sustancias salinas que se disocian formando **disoluciones iónicas**.

DENSIDAD: La densidad del agua pura a presión atmosférica es de 1.0 g/cm³ a una temperatura de 4°C; sin embargo cuando se modifica la temperatura o la presión se tienen densidades llamadas relativas. Bajo las condiciones estándares se ha encontrado que el agua se comporta como un fluido elástico.⁽⁵⁾

CONDUCTIVIDAD: El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.

1.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS.

El agua químicamente pura, es insípida e incolora. El agua potable debe su sabor a las sales y gases disueltos. El agua es termodinámicamente estable cuando se descompone en hidrógeno y en oxígeno; sin embargo es un compuesto relativamente reactivo y reacciona como ácido o como base, o como un agente oxidante o un agente reductor. La manera en la que el agua reaccione depende de la sustancia o sustancias con las que se mezcle.

pH: Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO_2 disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO_2 formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.

OXÍGENO DISUELTO (OD): Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.

1.1.3 PROPIEDADES BIOLÓGICAS.

El agua tiene una importancia esencial en biología, porque es el medio en el cual se realizan procesos vitales. Todos los organismos vivientes contienen agua. En efecto, tanto en los animales como en las plantas el contenido del agua varía, dentro de los límites comprendidos entre la mitad y los 9/10 del peso total del organismo. También el cuerpo humano está constituido por agua, según un porcentaje en peso que es máximo en los primeros meses de vida embrionaria (cerca del 97%), y disminuye con la edad.

1.2 CICLO HIDROLÓGICO.

El agua de la Tierra (*hidrosfera*) se distribuye principalmente en tres reservorios: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación continua y que se denomina **ciclo del agua** o **ciclo hidrológico**.

Es un movimiento continuo a través del cual el agua se evapora del océano y los demás cuerpos de agua, se condensa y cae en forma de precipitación sobre la tierra; después, esta última puede subir a la atmósfera por evaporación o transpiración, o bien regresar al océano a través de las aguas superficiales o subterráneas, el ciclo hidrológico se resume en 4 etapas (tabla 1.2).

TABLA 1.2 Procesos del ciclo hidrológico.

PROCESO	CARACTERÍSTICAS
Condensación	Es la transformación del agua del estado gaseoso al líquido debido a cambios de presión y temperatura
Precipitación	Caída del agua como efecto de la gravedad, principalmente en forma de lluvia, aunque también cae como nieve y granizo.
Infiltración	Es la penetración del agua en el suelo.
Evaporación	Constituye el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido al gaseoso

Basándose en lo anterior se puede definir al ciclo hidrológico como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la **evaporación** directa, a la **transpiración** por las plantas y animales y por **sublimación**, lo anterior lo observamos esquemáticamente en la figura 1.2.

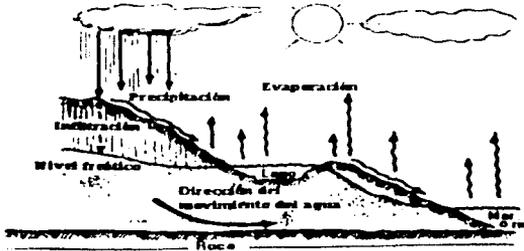


FIGURA 1.2 Ciclo Hidrológico

La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación con las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina *evapotranspiración*.

La precipitación puede ocurrir en la fase líquida o en la fase sólida. El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo.

Cuando se habla de precipitación también incluye al agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua o por congelación del vapor y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas.

El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, que se concentra en depósitos y va a originar las líneas de agua. El agua restante se infiltra, y así puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desembocan en lagos y en océanos.

El escurrimiento superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen.

Como se mencionó, los procesos del ciclo hidrológico ocurren en la atmósfera y en la superficie terrestre por lo que se puede admitir dividir el ciclo del agua en dos ramas: aérea y terrestre.

El agua que precipita sobre los suelos va a repartirse, a su vez, en tres grupos: una que regresa a la atmósfera por evapotranspiración y dos que producen escurrimiento superficial y subterráneo.

Esta división está condicionada por varios factores, unos de orden climático y otros dependientes de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación.

La energía solar es la fuente de energía térmica necesaria para el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, y también es el origen de las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes; y otro factor que coadyuva a que se presente el ciclo hidrológico es la fuerza de gravedad que da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra, por todo lo anterior es fácil entender porque el agua tiende a ser presa fácil de la contaminación a la par que propicia la misma.

1.3 TIPOS DE AGUA.

En la naturaleza tenemos al agua disponible en las siguientes fuentes, y sus características dependerán principalmente de su entorno:

1.3.1 AGUA ATMOSFÉRICA.

Se encuentra en estado de vapor, o en estado líquido suspendido en nubes; ocasionalmente se precipita en forma de lluvia, en estado líquido o en estado sólido en forma de granizo. En cualquiera

de éstas formas retorna a la atmósfera por evaporación de la vegetación, superficie del suelo o de la superficie de agua (ríos, lagos, océanos).

El agua que se precipita generalmente es pura, sin embargo, como tiene un gran poder de disolución en su camino disuelve partículas finas y gases (como polvos, humos, bacterias, etc.) que alteran sus cualidades.

1.3.2 AGUA DE MAR.

En pequeña cantidad es incolora; en grandes cantidades adquiere tonalidades que van desde azuladas a verdes debido a la flora y fauna microscópicas la habitan. Su poder de disolución varía con la profundidad, la temperatura y la luz. Este tipo de agua es el de mayor abundancia, aunque no es posible su uso para consumo humano debido a su alto contenido en sales y aunque se realizan estudios para ver si es factible desalar el agua, aún no es una realidad mediata.

1.3.3 AGUA SUBTERRÁNEA.

Este tipo de agua se origina a partir de las precipitaciones, embalses y masas de agua que se infiltran diferentes en zonas como se observa en la tabla 1.3.

1.3.4 AGUA RESIDUAL.

Líquido de composición variada provenientes del uso municipal, industrial, agrícola, comercial, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo halla sufrido degradación o alteración en su calidad original.

1.3.5 CUERPO DE AGUA.

Todo río, cuenca, cause, presa, canal, vaso o depósito de aguas que son susceptibles de recibir directa o indirectamente la descarga de contaminantes y que son *motivo de éste estudio*.

TABLA 1.3 Distribución del agua subterránea.

ZONA NO SATURADA, DE AGUA SUSPENDIDA	AGUA DEL SUELO DE CULTIVO LIMITADO AL TERRENO VEGETAL Y ALCANCE DE LAS RAÍCES.	
	VARIEDADES DE AGUA EN ZONA DE AGUA SUSPENDIDA	Agua peculiar o higroscópica, adherida a las partículas del suelo por fuerzas superiores a la gravedad.
		Agua vadosa e intermedia. Por acción de la gravedad desciende a estratos inferiores.
		Agua colgada. Un acuífero no confinado se puede producir por acumulación de agua sobre un estrato impermeable.
	Agua capilar. Existe en el fondo de la zona. Su elevación sobre la superficie freática depende de la tensión superficial.	
ZONA SATURADA, O FREÁTICA	Agua libre o no confinada. Se encuentra bajo la superficie freática.	
	Agua confinada o artesiana. Se encuentra bajo un estrato impermeable.	
	Agua subterránea fija. Es la que llena los poros subcapilares de arcillas, limos, etc.	
	Agua connata o congénita. Es la que queda incorporada a las rocas durante su formación.	

Opazo, Unda (2000). "Ingeniería sanitaria". Limusa, México, p.p 60.

2. FUNDAMENTOS DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Los átomos pueden existir en estado basal o en estado excitado, pueden perder uno o más electrones para dar iones positivos y originar el fenómeno de excitación que se produce cuando un átomo absorbe energía y se mueve a estados de mayor energía. El estado excitado es un período que tiene una vida media muy corta y el exceso de energía se emite, en forma de radiación electromagnética.

La longitud de onda de la radiación electromagnética absorbida es característica del elemento involucrado y ello se puede usar para su análisis cualitativo. Al mismo tiempo, la intensidad de la absorción refleja el número de átomos que siguen el proceso y que puede usarse para un análisis cuantitativo. Las técnicas basadas en la absorción de la radiación electromagnética por átomos se conoce como absorción atómica.

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.

Para medir la absorbancia es necesario contar con una fuente de energía, que se denomina lámpara de cátodo hueco (fig. 4.1). Consta de dos electrodos (ánodo y cátodo) se encuentran dentro de un cilindro de vidrio que contiene un gas inerte. Al aplicarse una corriente eléctrica entre los electrodos, el gas se ioniza y junto con los electrodos que se encuentran en movimiento, desprende del cátodo los átomos del metal que lo conforma, llevándolos a un estado excitado. Al regresar los átomos excitados del metal a su estado basal, emiten energía en forma de luz a longitudes de onda específicas para cada metal.

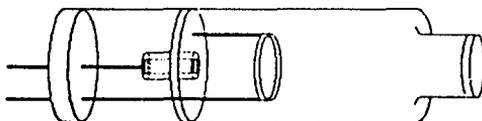


FIGURA 2.1 Lámpara de cátodo hueco

2.1 ATOMIZACIÓN.

La atomización es un paso decisivo para la obtención de átomos libres (estado basal) a partir de elementos presentes en la muestra, normalmente esto se realiza con una flama o con un horno al que se le aplica energía eléctrica. Posteriormente, los átomos se hacen incidir en el haz de luz, para así obtener la absorbancia y después la concentración del analito.

2.1.1 SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR FLAMA.

Este sistema de atomización (tabla 4.1) requiere la combinación de un gas oxidante (generalmente aire) y de un combustible (acetileno u óxido nítrico) para elevar la temperatura del analito en solución y promover así la formación de átomos.

TABLA 2.1 Etapas de la atomización por flama.

ETAPA	PROCESO
Nebulización	La muestra en solución es aspirada hacia el nebulizador. El líquido se divide en un fino aerosol al salir del nebulizador, este líquido se dirige hacia una esfera de vidrio, sobre la cual las gotas se dividen en partículas de menor tamaño
Mezclado	El aerosol ("spray") formado en la etapa anterior, se reúne con el gas oxidante y el gas combustible (antes del contacto con la flama) donde se mezclan.
Evaporación	El líquido se colecta en la parte inferior de la trampa de agua, donde se elimina por drenado y solo un aerosol muy fino entrará en contacto con la flama (1-5%).
Fusión	Fusión de las partículas sólidas que se obtuvieron de las etapas anteriores.
Vaporización y Disociación	Se vaporizan las partículas líquidas y sólidas y posteriormente se descomponen en átomos.
Atomización	Se obtienen finalmente a los átomos en forma de vapor.

2.1.2 SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR HORNO DE GRAFITO.

Este sistema de atomización se caracteriza por ser más sensible con respecto a flama, ya que se pueden detectar concentraciones de hasta ppb ($\mu\text{g/L}$). El sistema trabaja con unos tubos hechos a base de grafito (fig. 4.2) que presentan un orificio en el centro donde se deposita cierto volumen (μL) de muestra. El propósito de este sistema de atomización, también es el de generar átomos libres a partir de las muestras en solución, con el objeto de obtener una respuesta analítica que permite determinar la concentración del analito.

La razón por la que la sensibilidad se ve incrementada en este sistema de atomización, se debe a que el volumen de muestra se deposita completo en el paso óptico de la luz (tubo de grafito), en tanto que en flama la muestra se encuentra muy diluida después del proceso de nebulización.

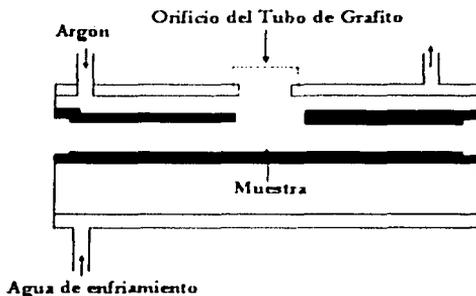


FIGURA 2.2 Tubo de Grafito

Al igual que en flama, en este Existen sistema se tienen algunas etapas para originar la atomización de la muestra, mismas que se pueden observar en la tabla 4.2.

TABLA 2.2 Etapas de atomización por Horno de Grafito.

ETAPA	PROCESO
Secado	Consiste en eliminar los disolventes de la muestra.
Calcinado	Dstrucción de la materia orgánica (elimina posibles interferencias).
Atomización	Obtención de los átomos libres en estado basal en forma de vapor.

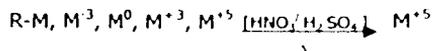
2.1.3. SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR GENERADOR DE HIDRUROS Y VAPOR FRÍO.

Existen elementos que son extremadamente volátiles a temperatura ambiente (Hg) y otros que además forman hidruros que pueden ser alimentados directamente para su medición en el espectrofotómetro de absorción atómica (As, Se, Bi, etc).

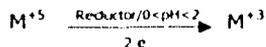
2.1.3.1 SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR GENERADOR DE HIDRUROS.

La generación de hidruros se debe promover, primero mediante la acidificación de la muestra, con la finalidad de llevar a su estado máximo de oxidación y posteriormente reducir al elemento hasta su estado óptimo de oxidación.

Para promover la máxima oxidación, se somete la muestra a una digestión ácida (usando ácidos fuertes, como en este caso, HNO_3); misma que cumple con otra finalidad, la de solubilizar a los analitos. A continuación se presenta la reacción generalizada:



Posteriormente la reducción (fundamental para la formación de los hidruros), se realiza con soluciones reductoras (factor que depende del tipo de elemento a analizar, y que se cita en el anexo correspondiente a Generador de Hidruros), o bien mediante la modificación del pH. A continuación se presenta la reacción generalizada:

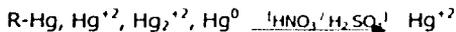


Cuando el analito se encuentra en su estado de oxidación óptimo, se tiene lista la muestra para llevarla al sistema generador de hidruros (Fig. 4.3), donde se producirá una reacción de formación de hidruros. Una vez formados, éstos mediante el gas de arrastre (nitrógeno), se conducen hacia el haz de luz que pasa por una celda de cuarzo; donde se disocian los hidruros (obtención de átomos) debido al calentamiento de la celda de cuarzo:



2.1.3.2 SISTEMA DE ATOMIZACIÓN POR GENERADOR DE VAPOR FRÍO.

Este proceso se aplica para la determinación de Hg, debido a que es un elemento altamente volátil a temperatura ambiente y es fácilmente acarreado hacia el haz de luz por el gas de arrastre (Nitrógeno); como se mencionó para generación de hidruros, necesita haber una oxidación y posteriormente una reducción de la muestra, para tener al elemento en su estado óptimo de oxidación. Mismo que se representa de la siguiente forma:



Posteriormente este se lleva al módulo generador de hidruros (Fig. 4.3), con la finalidad de promover una reacción de reducción del Hg con borohidruro de sodio (NaBH_4):



Como el Hg es un elemento volátil a temperatura ambiente, se usa la técnica de vapor frío, ya que una vez formado el vapor atómico este será arrastrado por el gas e incidirá en el haz de luz sin necesidad de calentamiento de la celda de cuarzo. A medida que los átomos de mercurio pasan por la celda, la absorbancia medida se incrementará indicando el aumento de la concentración del analito, al realizarse la curva de calibración.

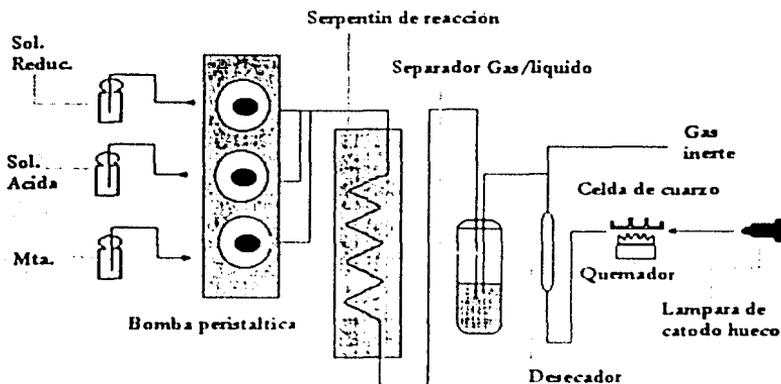


FIGURA 2.3 Esquema del Sistema de Atomización para Generador de Hidruros y Vapor Frío.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1: Norma Oficial Mexicana NOM-001-Ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de descargas contaminantes en aguas residuales, aguas y bienes nacionales.

RÍOS				
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

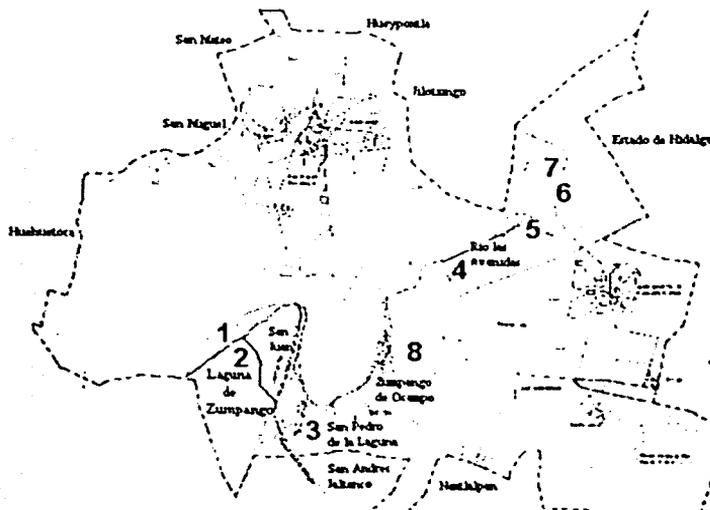
Los valores tomados como referencia para éste trabajo son los reportados como *Promedio diario* (P.D), debido a que se trabajó con muestras simples en todos los casos. Además se tomaron los valores tanto de uso en riego agrícola como el de uso público urbano.

ANEXO 2: ZONAS DE MUESTREO EN LOS MUNICIPIOS ESTUDIADOS.

ZONAS DE MUESTREO EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO.

MUESTRA	ETIQUETA*	ZONA	LUGAR
1	a1	Agrícola	Orilla de la Laguna de Zumpango
2	a2		Laguna de Zumpango
3	u1		San Pedro de la Laguna
4	u2	Urbana	Río de las Avenidas
5	u3		Río de las Avenidas (Rastro Tizayuca)
6	u4		Tizayuca
7	u5		Tizayuca (Gasera)
8	u6		Barrio de Santa María Zumpango

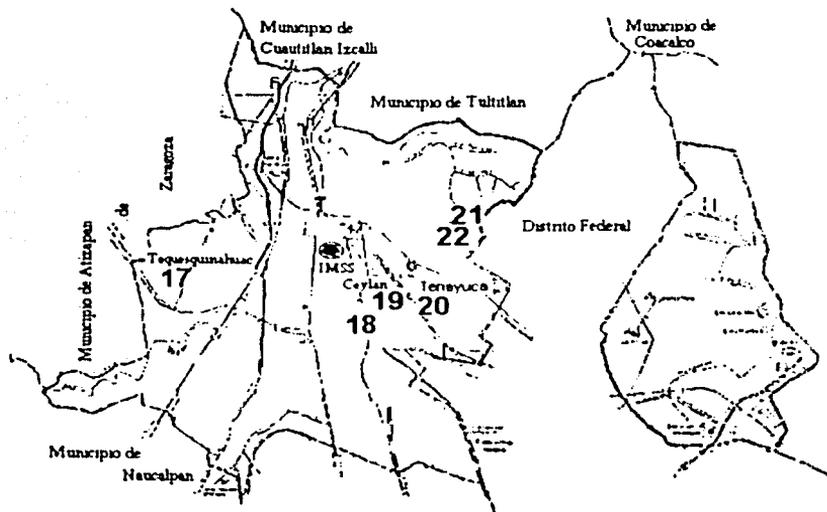
* ETIQUETAS DE LAS GRÁFICAS.



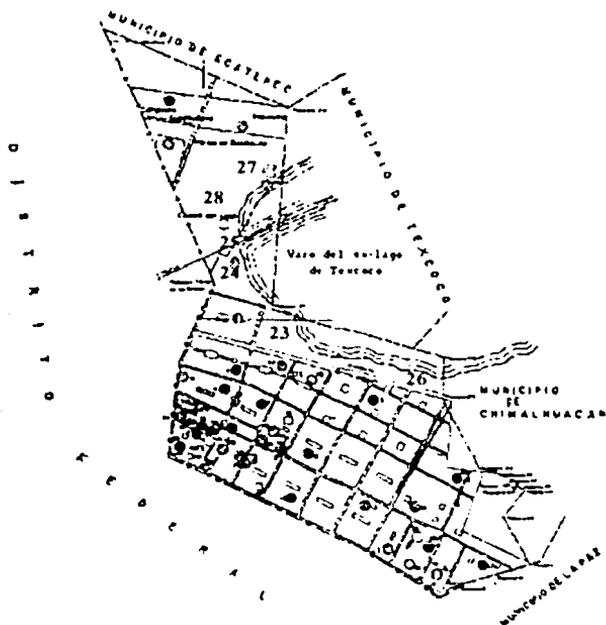
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ZONAS DE MUESTREO EN EL MUNICIPIO DE TLALNEPANTLA.

MUESTRA	ETIQUETA'	ZONA	LUGAR
17	U9	Urbana	Lateral Autopista Ceylan
18	UI0		Fraccionamiento San Rafael
19	UI1		Valle Ceylan
20	v c3	Vías de Comunicación	San Bartolo Tenayuca
21	v c4		Autopista México-Pachuca (efluente)
22	v c5		Autopista México-Pachuca (orilla)



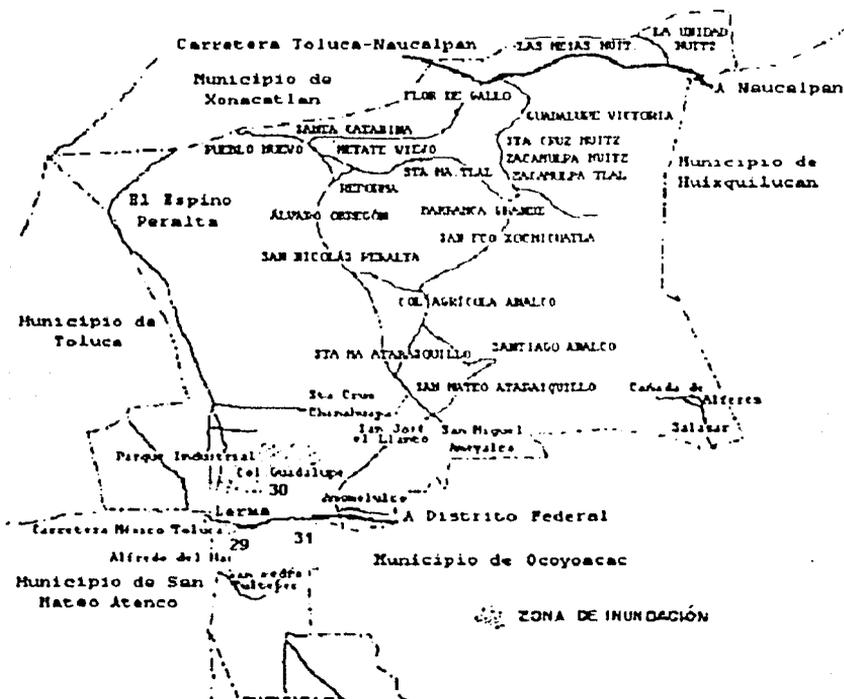
ZONAS DE MUESTREO EN EL MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL.



MUESTRA	ETIQUETA*	ZONA	LUGAR
23	v c6	Vías de comunicación	Río de los Remedios
24	U12	Urbana	El Tesorito
25	U13		Río de los Remedios (cerca recicladora)
26	U14		Canal de la Compañía (orilla)
27	v c7	Vías de comunicación	Río de los Remedios (autopista Peñón- Texcoco)
28	U15	Urbana	Lago (Relleno Sanitario)

ZONAS DE MUESTREO EN EL MUNICIPIO DE LERMA.

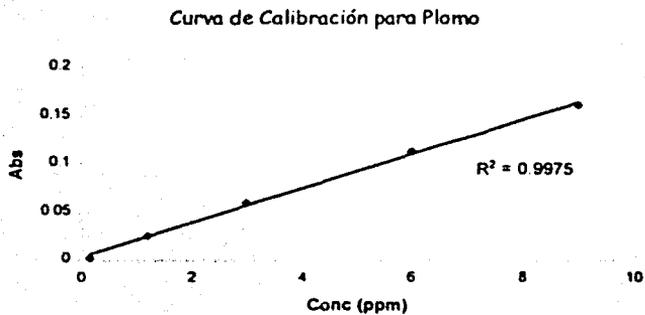
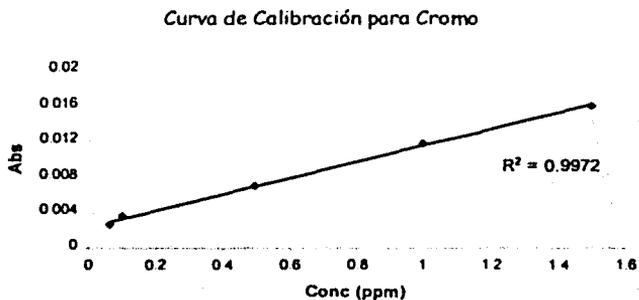
MUESTRA	ETIQUETA*	ZONA	LUGAR
29	v.c8	Vías de Comunicación	Río Lerma (al lado de la Autopista México-Toluca)
30	U16	Urbana	Río Lerma (Calle de los Pensamientos)
31	A7	Agrícola	Río Lerma (Colonia el Cerrito)



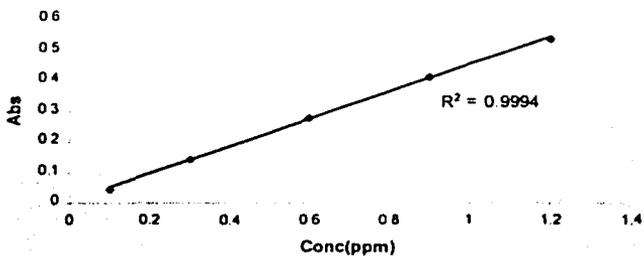
ESTA LERMA NO SALE
DE LA ZONA DE MUESTREO

ANEXO 3. GRÁFICAS DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

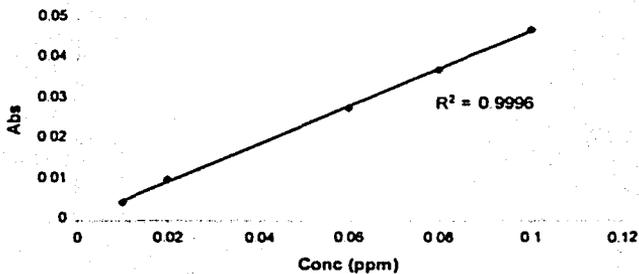
a) Flama:



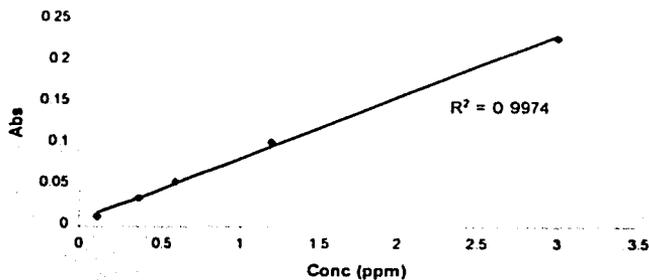
Curva de Calibración para Zinc



Curva de Calibración para Zinc

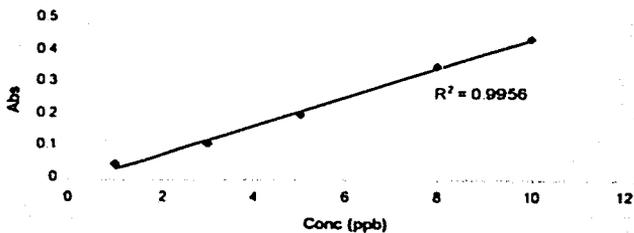


Curva de Calibración para Cobre

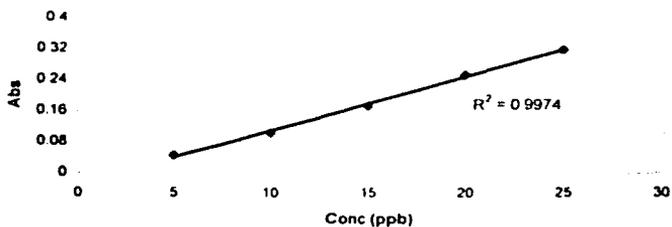


b) Horno de Grafito:

Curva de Calibración para Cadmio

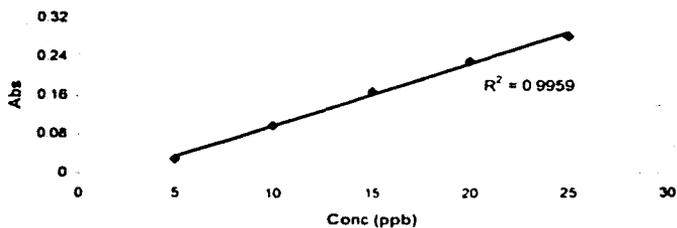


Curva de Calibración para Cobre

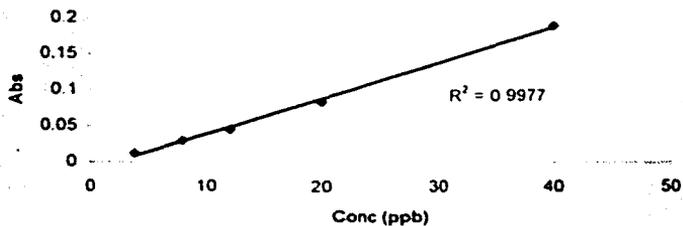


c)

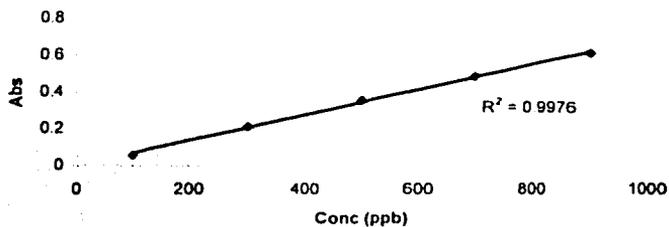
Curva de Calibración para Cromo



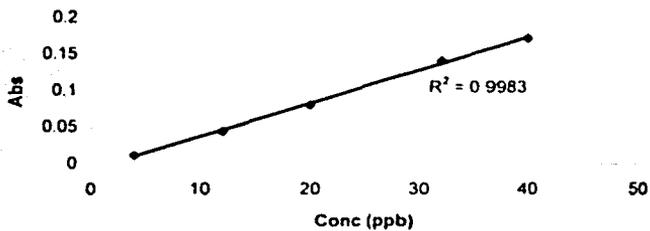
Curva de Calibración de Paladio



Curva de Calibración para Platino

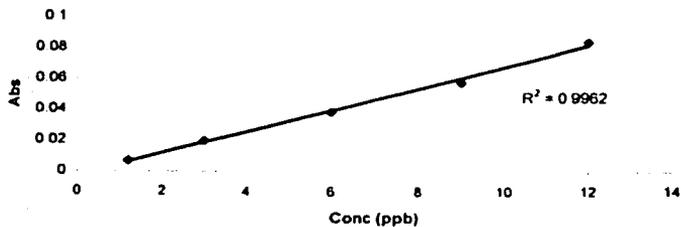


Curva de Calibración para Rodio

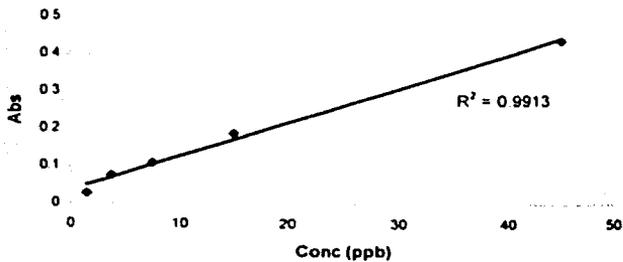


Generador de Hidruros.

Curva de Calibración para Mercurio



Curva de Calibración para Arsénico



ANEXO 4 RESGUARDO DE LA MUESTRA

M	Localización	Fecha Muestreo	Hora Muestreo	Tipo de Conservador	Tiempo de conservación*	Tipo de Contenedor	Prof. del Muestreo (cm)	°T de almacen.	Color	Olor	AAEFEC	Técnica Analítica empleada
1	Orilla de la Laguna de Zumpango	21/08/00	12:10 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Amarilla	Característico		
2	Laguna de Zumpango	21/08/00	12:13 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Amarilla con lirio	Característico	CTM	EAA
3	San Pedro de la Laguna	21/08/00	12:30 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
4	Río de las Avenidas	21/08/00	12:48 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
5	Río de las Avenidas (Rastro Tizayuca)	21/08/00	13:00 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Negra	Característico	CTM	EAA
6	Tizayuca	21/08/00	13:10 pm	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
7	Tizayuca (gasera)	21/08/00	13:22 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
8	Barrio de Santa María Zumpango	21/08/00	13:35 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
9	Espejo de los Lirios	26/02/01	15:30 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	verde	Característico	CTM	EAA
10	Río Cuautitlán (Av. San Antonio)	26/02/01	15:50 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Incoloro	Inodoro	CTM	EAA
11	Riachuelo (al lado Río Cuautitlán)	26/02/01	15:52 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Incoloro	Inodoro	CTM	EAA
12	Presa La Piedad (crilla)	26/02/01	16:00 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Verde	Característico	CTM	EAA
13	Lago de Guadalupe	26/02/01	16:40 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Verdosa	Característico	CTM	EAA
14	Presa el Arguilo	26/02/01	17:40 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Ligeramente negra	Característico	CTM	EAA
15	Lechería	26/02/01	18:20 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
16	Río Cuautitlán (al lado de la Ford)	26/02/01	18:40 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café oscuro	Característico	CTM	EAA
17	Lateral Autopista Ceylan	09/03/01	15:15 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
18	Frasco. S Rafael	09/03/01	15:30 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
19	Valle Ceylan	09/03/01	16:00 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
20	San Bartolo Tenayuca	09/03/01	17:00 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
21	Autopista México-Pachuca (efluente)	09/03/01	17:50 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
22	Autopista México-Pachuca (crilla)	09/03/01	17:52 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
23	Río de los Remedios	11/03/01	12:35 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Amarillo/verde	Característico	CTM	EAA
24	El Tesorito	11/03/01	12:53 p.m.	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Rosa/púrpura	Característico	CTM	EAA
25	Río de los Remedios (cerca recicladora)	11/03/01	13:03 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Amarillo/verde	Característico	CTM	EAA
26	Canal de la Compañía (crilla)	11/03/01	14:30 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Negra aceitosa	Característico	CTM	EAA
27	Río de los Remedios (autopista Peñón- Texcoco)	11/03/01	15:05 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Amarillo/verde	Característico	CTM	EAA
28	Lago (Reileno Sanitario)	11/03/01	16:02 p.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café	Característico	CTM	EAA
29	Río Lerma (al lado de la Autopista México-Toluca)	21/03/01	10:52 a.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Café oscuro	Característico	CTM	EAA
30	Río Lerma (Calle de los Pensamientos)	21/03/01	11:45 a.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Verdosa	Característico	CTM	EAA
31	Río Lerma (Colonia el Cerrito)	21/03/01	12:15 a.m	HNO ₃ Conc.	6 meses	Frasco de Polietileno	20	4 - 10 °C	Negra / aceitosa	Característico	CTM	EAA

*= El tiempo de conservación se encuentra reportado en función del contenedor y el agente conservador.
M= Muestra

CTM= Cuantificación de Trazas metálicas (As., Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Pd, Pt, Rh, Zn)

AAEFEC= Análisis a Efectuar
almac. = almacenaje,

P.D= Promedio Diario

BIBLIOGRAFIA

1. Fifield F.W (2000). "Environmental Analytical Chemistry". 2ª. ed. Blackwell Science. United States of America, p.p 360-384.
2. VanLoo Gary W (2000). "Environmental Chemistry". Oxford University Press. Great Britain, p.p 187-279.
3. Opazo Unda (2000). "Ingeniería Sanitaria. Aplicada a saneamiento y salud Pública". Limusa. México, D. F. p.p 58-84.
4. Baird Colin (2001). "Environmental Chemistry". 2ª. ed. W.H Freeman & Company, England, p.p 522-538.
5. Persistent, Bioaccumulative, and Toxic Chemicals I, rate and exposure.
6. Liu David H. F (2000). "Groundwater and surface water Pollution". Lewis Publishers. United States of America, p.p 48-60, 82-84.
7. "Understanding our Environment. An introduction to Environmental Chemistry and Pollution". 3ª. ed. Royal Society of Chemistry. 1999. p.p 71-100, 139-185, 237-265.
8. Teh Fu Yen (1999). "Environment Chemistry. Chemical Principles for Environmental Processes". Prentice-Hall PTR, p.p 351-447.
9. Rouessac Francis (2000). "Chemical Analysis. Modern Instrumentation Methods and Techniques". Wiley. Great Britain, p.p 253-269.
10. Willard Hobart H (1991). "Métodos Instrumentales de Análisis". 4ª. ed. Grupo Editorial Iberoamérica. México, p.p 219-248.
11. Pérez López C (1998). "Métodos estadísticos con Statgraphics para Windows. Técnicas Básicas". RA-MA. España, p.p 571-584.
12. Curso Teórico Práctico de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Sección de Química Analítica. FES Cuautitlán, UNAM, 1996.
13. Analytical Method for Graphite Tube Atomizers. Varian Australia Pty Ltd Multigrave, Victoria Australia. Publicación No. 85-100848-00, September 1993.
14. Flame Absorption Spectrometry. Analytical Methods. Varian Australia Pty Ltd Multigrave, Victoria Australia. Publicación No. 85-100009-00, Marzo 1989.
15. Skoog Douglas A (1995). "Análisis Instrumental" 4ª. ed. Mc Graw Hill. México, p.p 227-265.
16. Harris Daniel (1995). "Análisis Químico Cuantitativo". 3ª. ed. Grupo Editorial Iberoamérica. México, p.p 579-593.
17. Nonato N. Fernando (1997). "Sistemas de atomización utilizadas 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.
18. Gardiner William P (1997). "Statistical Analysis Methods for Chemist". The Royal Society of Chemistry. North Yorkshire, UK. p.p 80-90.

19. Montgomery Douglas (1991). "Diseño y Análisis de Experimentos". Grupo Editorial Iberoamérica". México, p.p. 45-85, 429-446.
20. NOM-001-Ecol-1996. "Norma Oficial Mexicana, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales".
21. NMX-AA-003-1980. Aguas residuales-Muestreo.
22. NMX-AA-014-1980. Cuerpos receptores-Muestreo
23. NMX-AA-051-1981. "Norma Mexicana; Análisis de agua-Determinación de Metales- Método espectrofotométrico.
24. Lioy Paul J (1988). "Toxic Air Pollution". Lewis Publisher, inc., United States of America.
25. Contaminación del agua. "Estudios de Evaluación de concentración de Metales Pesados en el área metropolitana. SEDUE.
26. Metas in natural and treated waters in Absence of Gross Pollution by Atomic Absorption Spectrometry.-AnalixicsService Water Metals Number 6.
27. Salomons. "Heavy Metals". Springer, Alemania, (1995). P.p.-19-52-
28. Kanický V. "Comparison of some Analytical performance characteristics in inductively coupled plasma spectrometry of platinum group metals and gold". Talanta, 48 (1999).
29. Merget R. "Evaluation of the health risk of platinum group metals emitted form automotive catalytic converters". The Science of the Total Environment, 270 (2001). P.p-165-173.
30. Rao, C. "Platinum group occurrence, use and recent trends in their determination. Trends in analytical chemistry, vol. 19 No.9 (200). P.p-565-586.

Direcciones Electrónicas.

- I. <http://www.edomex.gob.mx/se/diagmuni.htm>. Octubre, 2001.