

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DEL
VALLE DE MÉXICO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO
P R E S E N T A
AGUSTÍN LÓPEZ GARCÍA

ASESOR: M. en C. JULIO CESAR BOTELLO POZOS

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2001

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACIÓN

DISCONTINUA



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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

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

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

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

Cuantificación de Metales Pesados en una Planta de Tratamiento de Aguas del Valle de México.

que presenta el pasante: Agustín López García
 con número de cuenta: 9656517-1 para obtener el título de:
Químico Farmacéutico Biólogo

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

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de Septiembre de 2001

PRESIDENTE M. en C. José de Jesús Pérez Saavedra

VOCAL Q.F.I. Leticia Zúñiga Ramírez

SECRETARIO M. en C. Julio Cesar Botello Pozos

PRIMER SUPLENTE Q.F.B. Delia Reyes Jaramillo

SEGUNDO SUPLENTE Q.F.B. Elia Granados Enriquez

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a mi familia por apoyarme siempre, su confianza y su apoyo incondicional hicieron que en los momentos difíciles, se hicieran menos duros, gracias a mi mamirina Juanita y papirino Agustín por apoyarme siempre.

A mis hermanos Julio y Ana Laura que estuvieron ahí para calentar mis piecitos cuando tenía frío.

Un especial reconocimiento a una mujer que desde que la conozco me a querido siempre, su cariño siempre ha sido un apoyo en todo lo que he emprendido, saber que esta ahí me ayudado a saber que aunque tropiece siempre me querrá, me refiero a mi abuelita, a la más hermosa de la abuelitas, gracias abuelita.

Otro reconocimiento es a mi otra abuelita que en paz descanse por unir a la familia siempre, sin ella los lazos familiares se habrían perdido pero siempre luché por no separarnos y a hora que no esta seguimos unidos ya que fue la más grande enseñanza que nos dio, gracias abuelita y espero nos cuides desde el cielo.

A mis tías Susy y Micaela y tíos con los que he compartido muy buenos momentos, no todo en esta vida es trabajo también hay diversión, gracias.

A mi madrina Lupita y mi padrino Jorge, por apoyarme siempre.

Gracias a mis primos Pablo, Carlos, Alejandro, Jovany, y primas Sara, María, Maribel, Anabel, Karen, Karina por compartir tan bellos recuerdos.

Agradezco a la sección de Química Analítica todas las facilidades que me dieron para realizar este trabajo en especial a las maestras Cecy y Lupita, que siempre me ayudaron gracias.

A mi asesor Julio Botello, el cual me permitió poder elaborar este trabajo, gracias por apoyarme en la elaboración de este trabajo.

A mis mejores amigos Edgar, Julio y Juan Pablo por apoyarme siempre.

A alguien muy especial para mí, gracias Nancy.

A toda la generación 23

A mis amigos Alicia, Elivet, Priscila, Lorena, Miguel, Maribel, Juan Carlos, Rene, Edgar, Ricardo, Judit, Jorge, José Luis, Yesenia, Gabby, Pily, Judith, Olga, Alita y muchos otros que me faltaron gracias.

A mis maestros, por entregarme sus conocimientos y experiencias, Alvaro Leo, Leticia Zúñiga, Tere, Sonia, Elia Granados, Jorge Torres, Gabby, y muchos otros, gracias.

Un reconocimiento especial a la Química Matilde Amescua que me sirvió de ejemplo, gracias.

Gracias a todos por que de alguna manera todos me ayudaron y apoyaron en algún momento.

*****LA VIDA*****

**LOS SUAVES RAYOS DEL SOL ILUMINAN EL CIELO
EN TONALIDADES ROSADAS Y ROJAS...
NOS MARAVILLAMOS EN SU MAGNIFICENCIA...**

**LA NATURALEZA ES EL MEJOR DE LOS CANVAS...
EL AMANECER, EL ATARDECER...
SON VIBRANTES EN SUS COLORES...
DEMASIADO HERMOSOS PARA QUE PASEN DESAPERCIBIDOS...**

**LAS AGUAS CALMADAS CERCA DE LA ORILLA...
TONOS DE AZUL Y VERDE...
MÍSTICOS Y REFRESCANTES...
NOS DAN UNA SENSACIÓN DE PAZ...**

**NOS TRANQUILIZAN MIENTRAS CALMAN NUESTRAS ALMAS...
DE NOSOTROS PARA OBSERVARLAS A CUALQUIER MOMENTO...
SI SOLO DESEÁRAMOS HACERLO...**

**LAS DULCES CANCIONES DE LOS PÁJAROS...
COMO SERENATAS DE SONIDO SUBLIME...
NO HAY MÚSICA QUE SE LE COMPARE...
O QUE ELEVEN NUESTRO ESPÍRITU...
UNA VARIEDAD DE SONIDOS COMO SI CANTARAN PARA
NOSOTROS...
SI TAN SOLO NOS MANTUVIÉRAMOS CALLADOS PARA
ESCUCHARLOS...
QUE DULCE SUS CANTOS PUEDEN SER...**

**ENTRE NUBES OSCURAS Y TORMENTOSAS...
RAYOS SUAVES DEL SOL SE ASOMAN**

**QUE ESPECTÁCULO CREA...
TONOS ROZADOS, VERDES, AMARILLOS Y AZULES...
COMBINADOS EN UN ARCO DE COLORES TENUE...**

**PROMESA DE UN MAÑANA BRILLANTE Y SOLEADO.
A TRAVÉS DE LA OSCURIDAD NOS LLEGA LA LUZ....**

**LA BELLEZA NOS RODEA A TODOS...
A CADA MOMENTO TOCA NUESTRAS VIDAS...**

REGALO MARAVILLOSO SIN PRECIO...
ABRAZA EL MOMENTO; SIENTE LA PAZ..
ALÉGRATE ANTE SU PRESENCIA...
QUE ES SOLO POR UN MOMENTO...
Y SI LO PIERDES... NO LO ENCONTRARAS...
ASÍ QUE RECUÉRDALO EN TU VIAJE A TRAVÉS DE LA VIDA...
PASAMOS POR ESTE CAMINO PERO SOLO UNA VEZ...
ES NUESTRA DECISIÓN SI NOS APURAMOS EN EL CAMINO...
NUNCA OBSERVANDO LA BELLEZA QUE NOS RODEA...
O SI CAMINAMOS DESPACIO ...
Y ASÍ ENCONTRAR NUESTRA PAZ INTERIOR...

MARILENA, ANGELATIGRAGR

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.

OBJETIVOS.

CAPITULO I GENERALIDADES.

1.1.	Características del Agua Residual.	(1)
1.2.	Tratamiento y Distribución del Agua de la Zona Metropolitana del Valle de México.	(2)
1.3.	Recolección y Desecho de Aguas Residuales.	(3)
1.4.	Tratamiento de Aguas Residuales.	(4)
1.5.	Clasificación de los Contaminantes del Agua.	(11)
1.5.1.	Contaminantes Químicos.	(11)
1.5.1.1.	Compuestos orgánicos.	(12)
1.5.1.2.	Detergentes.	(12)
1.5.1.3.	Pesticidas.	(13)
1.5.1.4.	Petróleo y derivados.	(14)
1.5.1.5.	Grasas y aceites.	(15)
1.5.1.6.	Compuestos Inorgánicos.	(15)
1.5.2.	Contaminantes Físicos.	(16)
1.5.2.1.	Cambios térmicos.	(17)
1.5.2.2.	El color.	(17)
1.5.2.3.	La turbidez, y	(17)
1.5.2.4.	Radiactividad.	(17)
1.5.3.	Contaminantes Biológicos.	(18)
1.6.	Depuración de Aguas Residuales.	(19)
1.6.1.	Índices de Contaminación.	(19)
1.6.1.1.	La Demanda Química de Oxígeno (DQO).	(19)
1.6.1.2.	La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).	(20)

1.6.1.3. <i>Carbono Orgánico Total (COT); y</i>	(20)
1.6.1.4. <i>Interrelación entre estos Parámetros.</i>	(21)
1.6.2. Tratamiento Primario	(21)
1.6.2.1. <i>Cámara de arena</i>	(22)
1.6.2.2. <i>Sedimentación.</i>	(22)
1.6.2.3. <i>Flotación.</i>	(23)
1.6.2.4. <i>Digestión.</i>	(23)
1.6.2.5. <i>Desecación.</i>	(23)
1.6.3. Tratamiento Secundario	(24)
1.6.3.1. <i>Filtro de goteo.</i>	(24)
1.6.3.2. <i>Fango activado.</i>	(25)
1.6.3.3. <i>Estanque de estabilización o laguna.</i>	(25)
1.6.4. Tratamiento Avanzado	(25)
1.6.4.1. <i>Destilación.</i>	(27)
1.6.4.2. <i>Fraccionamiento de espumas.</i>	(28)
1.6.4.3. <i>Congelación.</i>	(28)
1.6.4.4. <i>Intercambio iónico.</i>	(28)
1.6.4.5. <i>Tratamiento electroquímico.</i>	(29)
1.6.5. Tratamiento Biológico.	(29)
1.6.6. Tratamiento Aeróbico.	(30)
1.6.6.1. <i>Lodos activados</i>	(30)
1.6.7. Importancia de Microorganismos.	(30)
1.6.8. Tratamiento Anaeróbico.	(32)
1.6.8.1. <i>Bacterias formadoras de ácido.</i>	(32)
1.6.8.2. <i>Bacterias formadoras de metano.</i>	(32)
1.6.8.3. <i>Condiciones óptimas para el tratamiento aeróbico.</i>	(33)

CAPITULO II. LINEAMIENTOS DE CALIDAD DEL AGUA.

2.1.	Criterios de Calidad Fisicoquímica.	(35)
2.2.	NOM - 001 - ECOL - 1996.	(35)
2.3.	NOM - 002 - ECOL - 1996.	(36)
2.3.1.	Límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales	(36)
2.4.	NOM - 003 - ECOL - 1997.	(37)
2.5.	NOM - 031 - ECOL - 1993.	(38)
2.6.	NOM - 032 - ECOL - 1993.	(39)

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1.	Zona de Estudio.	(41)
3.2.	Recolección de Muestras.	(42)
3.3.	Fechas de Muestreo.	(43)
3.4.	Trabajo de Laboratorio.	(43)
3.5.	Tratamiento Preliminar de las Muestras.	(45)
3.6.	Tratamiento de las Muestras para Análisis de Metales Pesados por Absorción Atómica.	(45)
3.6.1.	Digestión Manual.	(45)
3.6.2.	Digestión por Horno de Microondas.	(46)
3.6.3.	Preparación de las Muestras.	(47)
3.6.4.	Material y Equipo.	(48)
3.6.4.1.	Flama	(48)
3.6.4.2.	Horno Grafito.	(53)
3.6.4.3.	Generador de Hidruros.	(55)
3.7.	Análisis de Muestras.	(50)
3.7.1.	Flama (aire - acetileno)	(50)

3.7.2. Horno Grafito.	(53)
3.7.3. Generador de Hidruros.	(55)
3.8. Cálculos.	(57)

CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

4.1. Flama (aire-acetileno)	(58)
4.1.1. Curvas de Calibración.	(59)
4.1.2. Muestras.	(62)
4.2. Horno Grafito.	(67)
4.2.1. Curvas de Calibración.	(69)
4.2.2. Muestras.	(72)
4.3. Generador de Hidruros.	(78)
4.3.1. Curvas de Calibración.	(79)
4.3.2. Muestras.	(81)
4.4. Resumen.	(84)

CAPITULO V. CONCLUSIONES.

5.1 Conclusiones	(88)
------------------	------

ANEXOS.

Anexo I.	(89)
Anexo II	(93)

BIBLIOGRAFÍA.

Bibliografía.	(98)
---------------	------

ÍNDICE DE TABLAS.

CAPITULO 1.

- 1.1 Características del flujo de Aguas residuales en el Gran Canal al salir de la Cuenca de México.------(6)
- 1.2 Plantas de Tratamiento de Aguas residuales en el Área de servicio del Distrito Federal.------(8)
- 1.3 Plantas de Tratamiento de Aguas residuales en el Área de servicio del Estado de México.------(10)
- 1.4 Componentes Típicos del Agua Residual y sus Efectos.------(27)
- 1.5 Esquema del Tratamiento de Lodos Activados con oxígeno.------(31)
- 1.6 Condiciones Optimas para el Tratamiento Anaeróbico.------(33)

CAPITULO 2.

- 2.1 Límites Máximos permisibles de las descargas de Aguas residuales.------(36)
- 2.2 Límites Máximos Permisibles de Contaminantes.------(37)
- 2.3 Límites Máximos Permisibles provenientes de las Industrias, actividades agroindustriales, de servicios y Tratamiento de Aguas Residuales.---(39)
- 2.4 Límites Máximos Permisibles de los Parámetros Contaminantes en las Aguas residuales de origen urbano y municipal.------(40)

CAPITULO 3.

- 3.1. Fechas de Muestreo.-----(43)**
- 3.2. Técnicas utilizadas para los Metales Analizados.-----(50)**
- 3.3. Condiciones de Trabajo para las Diferentes Determinaciones por Flama
aire-acetileno.-----(53)**
- 3.4. Condiciones de Trabajo para las Determinaciones con Horno Grafito.(55)**
- 3.5. Flujo Óptimo de los Reactivos y Muestra en el Sistema Generador.--(56)**
- 3.6. Condiciones de Trabajo para el Análisis de Mercurio.-----(56)**
- 3.7. Condiciones de Trabajo para el Análisis de Arsénico.-----(57)**

CAPITULO 4.

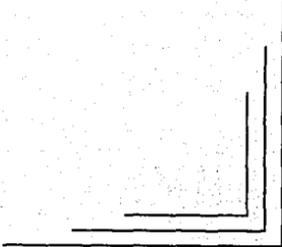
- 4.1 Curva de Calibración de Cobre.-----(59)**
- 4.2 Curva de Calibración de Zinc.-----(60)**
- 4.3 Curva de Calibración de Hierro.-----(61)**
- 4.4 Curva de Calibración de Plomo.-----(68)**
- 4.5 Curva de Calibración de Cadmio.-----(69)**
- 4.6 Curva de Calibración de Níquel.----- (70)**
- 4.7 Curva de Calibración de Cromo.----- (71)**
- 4.8 Curva de Calibración de Mercurio.----- (79)**

- 4.9 Curva de Calibración de Arsénico.-----(80)**
- 4.10 Concentración de Metales Pesados en las Muestras de Agua Analizadas en el Influyente.-----(85)**
- 4.11 Concentración de Metales Pesados en las Muestras de Agua Analizadas en el Efluente.-----(86)**
- 4.12 Porcentaje de Retención de Metales Pesados Dentro de la Planta.---(87)**

ÍNDICE DE GRAFICAS.

4.1.	Curva de Calibración de Cobre.	(59)
4.2.	Curva de Calibración de Zinc.	(60)
4.3.	Curva de Calibración de Hierro.	(61)
4.4.	Concentración de Cobre en las Muestras de Agua.	(64)
4.5.	Concentración de Zinc en las Muestras de Agua.	(65)
4.6.	Concentración de Hierro en las Muestras de Agua.	(66)
4.7.	Curva de Calibración del Plomo.	(68)
4.8.	Curva de Calibración de Cadmio.	(69)
4.9.	Curva de Calibración de Níquel.	(70)
4.10.	Curva de Calibración de Cromo.	(71)
4.11.	Concentración de Plomo en las Muestras de Agua.	(74)
4.12.	Concentración de Cadmio en las Muestras de Agua.	(75)
4.13.	Concentración de Níquel en las Muestras de Agua.	(76)
4.14.	Concentración de Cromo en las Muestras de Agua.	(77)
4.15.	Curva de Calibración de Mercurio.	(79)
4.16.	Curva de Calibración de Arsénico.	(80)
4.17.	Concentración de Mercurio en las Muestras de Agua.	(82)
4.18.	Concentración de Arsénico en las Muestras de Agua.	(83)

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN.

El agua es un elemento fundamental y determinante en la vida humana. La escasez y el uso abusivo del agua dulce, plantean una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. La salud y el bienestar humano, la seguridad alimenticia, el crecimiento industrial y el ecosistema del que dependen se hallan en peligro, a no ser que la gestión de los recursos hídricos y del suelo se efectúe en el presente decenio de forma más eficaz que en el pasado

Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en nuestros días. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua de las escorrentías viajaban grandes cantidades de materia orgánica. Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa, primero, excavaciones subterráneas privadas y, más tarde, letrinas. Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas.

Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición. Un sistema de este tipo fue desarrollado por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a éstos por el desperdicio de

recursos que suponían, por los riesgos para la salud que planteaban y por su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso del lodo activado, desarrollado en Reino Unido, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más significativo del tratamiento químico.

La contaminación ambiental en la Ciudad de México ha tomado matices significativos y niveles preocupantes, en respuesta a esta situación el Gobierno del Distrito Federal ha emprendido una serie de acciones encaminadas a abatir el problema de la contaminación del aire, agua y suelo originado por fuentes fijas, para proteger el medio ambiente y la salud de los habitantes de esta ciudad, es importante recordar que en los años cuarenta la Ciudad de México se consideraba aún "La región más transparente", actualmente nuestra Ciudad se conoce como la "Ciudad más grande del mundo y una de las más contaminadas", se puede asegurar que la contaminación se ha incrementado en forma directa con el incremento industrial y poblacional que requiere mayores satisfactores, asimismo el Distrito Federal, al encontrarse a una altura promedio de 2240 metros sobre el nivel del mar, su forma de cuenca y falta de un planteamiento integrado del uso de suelo y sus recursos, ha traído como consecuencia un deterioro del medio ambiente y el crecimiento de zonas críticas desde el punto de vista ambiental.

Por ello este estudio se ha propuesto, con la finalidad de conocer la contaminación que sufre el agua por metales pesados en las descargas de industrias ubicadas en Tlalnepantla y que son tratadas en la planta de tratamiento ubicada en Acueducto de

Guadalupe, con ello se pretendió hacer un análisis para conocer si las descargas de las industrias cumplen con las especificaciones de las normas ambientales que establecen los límites máximos permisibles para estos contaminantes, y también determinar si los procesos de depuración que se realizan dentro de la planta, ayudan a mejorar la calidad del agua, todo esto con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población. ^(1,2,3,4,5)

OBJETIVOS.

- **El presente trabajo tiene como objetivo el determinar la presencia de metales contaminantes (plomo, cadmio, hierro, cobre, mercurio, cromo, níquel, zinc y arsénico), mediante absorción atómica, en aguas residuales antes y después de sufrir un proceso de depuración en la planta de tratamiento *Aguas Industriales Vallejo*, para conocer las descargas que se vierten a los cuerpos receptores y conocer el grado de contaminación de los mismos.**

- **Conocer el grado de remoción de estos contaminantes dentro de la planta, basándose en las concentraciones determinadas de los metales analizados, para evaluar si dentro de los procesos de depuración de la planta se elimina parte de estos.**

GENERALIDADES

GENERALIDADES.

1.1. Características del agua residual

Al inicio del actual siglo, las aguas residuales procedentes del uso doméstico contenían básicamente desechos de origen orgánico, por lo que la contaminación consistía en sólidos suspendidos, materia orgánica, acidez, grasas y aceites, restos de comida y jabón. Con el avance de la civilización, las aguas residuales domésticas han variado en su composición por la gran variedad de productos químicos arrojados en las casas hacia los drenajes (cloro, amoníaco, detergentes), lo que provoca que se tengan que desarrollar nuevos métodos de tratamiento.

En el caso de las aguas residuales de origen industrial, su contenido fisicoquímico varía en buena medida de acuerdo con el tipo de industria que se trate, pero en general presentan el problema de acidez o alcalinidad, alta temperatura, grandes niveles de grasa y aceite, metales pesados, una gran demanda de oxígeno para la oxidación de materia química, sólidos disueltos y suspendidos, de ahí que los métodos para tratar este tipo de agua sean muy diversos y se tenga constante investigación para desarrollar formas más avanzadas, especialmente dirigidas al menor consumo de energía y productos químicos, así como al ahorro de espacios en las instalaciones.

En la contaminación de agua para uso agrícola el problema se traslada a las fuentes de agua subterránea por lixiviado; los contaminantes son los productos que se aplican como abonos y herbicidas, la mayoría de los cuales se considera material peligroso. En este caso se trabaja en la biorremediación del subsuelo utilizando bacterias apropiadas para degradar los contaminantes que, por lo general, son fenoles y sus derivados. Situación similar ocurre en los rellenos sanitarios que no se preparan adecuadamente para evitar que los escurrimientos de líquidos se filtren al subsuelo y contaminen mantos freáticos^(2,6)

Los problemas en este sentido son muchos y reciben especial atención de los gobiernos en países industrializados, en tanto que en México apenas estamos iniciando la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales. En Jalisco, en la planta de Agua Prieta, se tiene la pretensión tratar nueve metros cúbicos por segundo, pero la propuesta de financiamiento mediante un crédito japonés ha sido cuestionada, ya que se estima que se propone a un precio muy superior al promedio, que es de seis millones de dólares por cada metro cúbico por segundo tratado, es decir, que una planta para nueve metros cúbicos debería costar alrededor de cuarenta y cinco millones de dólares y no 90 como se plantea, además de que se considera tratar también las aguas industriales, lo que por lógica incrementa su costo.

De hecho, sólo 17% de las aguas nacionales recibe tratamiento; de los 200 metros cúbicos por segundo de agua que se generan en el país, únicamente reciben tratamiento 34 metros cúbicos por segundo, por lo que aún hay mucho que hacer en esta rama de la ciencia.

La contaminación de agua genera problemas técnicos, sociales y de salud; por un lado, agotamos nuestras cada vez más escasas fuentes de agua potable (sólo 1.7% de la que hay en el mundo es potable en su estado natural, y de este porcentaje 0.7% está congelada en los polos); por el otro, contaminamos cuerpos de agua que pueden ser utilizados por otras comunidades (ríos, lagos, mantos freáticos, océanos) y se generan padecimientos principalmente intestinales.

Resolver esto no es sencillo, pero podemos desarrollar la tecnología adecuada para tratar y reutilizar en caso necesario agua con cualquier tipo de contaminación^(7,8)

1.2. Tratamiento y Distribución del Agua de la Zona Metropolitana del Valle de México.

La administración de los recursos hidráulicos subterráneos de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es un problema vasto y complejo; integrar los conocimientos adquiridos con el tiempo acerca de estos recursos a la información institucional no es tarea fácil

para ninguna ciudad de gran magnitud. En este capítulo se presenta una serie de datos sobre variados asuntos relativos al tema: los volúmenes de agua derivados de fuentes diversas, el tratamiento y distribución del agua, el tratamiento de aguas residuales, los sistemas de drenaje y el reciclaje de agua. De algún modo, este esfuerzo representa un logro singular: el de ofrecer, reunida por primera vez, una información tan variada sobre los recursos hídricos de la ZMVM.

Las distintas dependencias para la administración de agua del Distrito Federal y el Estado de México se han encargado, por lo general, de conservar los datos obtenidos para la operación, mantenimiento y planeación de sus respectivas áreas de servicio. Esta información no siempre se encuentra en los documentos que estas instancias generan y que se ponen a disposición del público. Con el propósito de mostrar un panorama global del sistema de abastecimiento de agua para toda el área metropolitana, el Comité responsable de este reporte ha solicitado y recibido de las autoridades cooperación e información de primer nivel sobre el tema.

Los datos cuantitativos que aquí se exponen relativos al abastecimiento, distribución y aguas residuales pueden parecer, en algunos aspectos, incompletos o imprecisos; sin embargo, muestran el cuadro actual de la administración de agua en la ZMVM; sin duda, la presentación de este cuadro puede mejorar en el futuro con otras aportaciones y con el abierto intercambio de información. Los recientes ajustes institucionales que se han llevado a cabo en México exigen hoy una aproximación cada vez más integral al problema de la administración de los recursos hídricos de la cuenca.

1.3. Recolección y Desecho de Aguas Residuales.

Un solo sistema de recolección o de drenaje funciona tanto para las áreas de servicio del Distrito Federal como para las del Estado de México en la ZMVM. Cada área de servicio tiene su propia red de drenaje; sin embargo, todos los drenajes descargan eventualmente en los interceptores generales del sistema general de drenaje, el cual conduce las aguas residuales por cuatro salidas artificiales localizadas en el extremo norte de la cuenca. En el Distrito Federal, la

red del sistema abarca cerca de 10,000 kilómetros de largo, con 68 estaciones de bombeo, numerosos diques y lagunas para controlar el flujo, 111 kilómetros de canales abiertos, 42 kilómetros de ríos utilizados principalmente para drenaje y 118 kilómetros de túneles.

Según el censo de 1990 (INEGI, 1991a), el 82 por ciento de los 15 millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México recibe los servicios del sistema de drenaje; el 6 por ciento, aproximadamente, utiliza fosas sépticas, y alrededor del 9 por ciento no posee ningún sistema de drenaje. Sin embargo, las diferencias en el interior de las áreas de servicio son notables, y en algunas delegaciones un sistema de drenaje sirve a menos de la mitad de los residentes.

Las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, así como el agua de lluvia, se recolectan en una red secundaria consistente en un pequeño sistema de tuberías por vecindario; después, son conducidas a través de la red principal al Sistema General de Drenaje, para ser expulsadas de la cuenca hacia el norte. El Estado de México reporta que el flujo total en tiempo de seca para la ZMVM (flujo que consiste principalmente en aguas residuales municipales sin tratar) se estima en 44.4 m³/s (Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993). En época de lluvias, la región recibe muchas tormentas de gran intensidad y corta duración. Una sola tormenta puede producir hasta 70 milímetros de lluvia (alrededor de 3 pulgadas), lo que representa un 10 por ciento del total de la precipitación anual. Debido al patrón de lluvias y a lo irregular del terreno, el sistema de drenaje general fue diseñado para acarrear 200 m³/s en un período de 45 horas (Departamento del Distrito Federal, 1969).

1.4. Tratamiento de Aguas de Residuales.

Por lo general, el 90 % de las aguas residuales municipales de la ZMVM permanece sin tratamiento y se desvía al exterior de la Cuenca de México a través del sistema general de drenaje. Las aguas residuales sin tratar se utilizan para irrigar 80,000 hectáreas de sembradíos en

el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, hacia el norte. La corriente que regresa de la irrigación se drena hacia tributarios del río Panuco, el cual desemboca en el Golfo de México.

Aproximadamente el 10 % de las aguas residuales tratadas en la ZMVM se reutiliza a nivel local en distintos proyectos, tales como la recarga de agua subterránea y la irrigación del paisaje urbano en la ciudad. Existen 13 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal y 14 en el área de servicio del Estado de México, las cuales tratan un flujo total de 2.62 y 1.69 m³/s, respectivamente (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993).

La Tabla 1.1 explica el flujo combinado durante las temporadas de lluvia y de seca, así como las características de las aguas residuales al salir de la cuenca a través del Gran Canal (flujo en tiempo de seca), o el drenaje profundo (flujo en tiempo de lluvia). Los valores que se otorgan a los múltiples contaminantes representan la concentración promedio para 1992. El promedio de concentración de estos mismos contaminantes en una agua residual típica en los Estados Unidos, se proporciona para fines de comparación, referidos a las calidades del agua-ligera, media o fuerte (U.S. Environmental Protection Agency y U.S. Agency for International Development, 1992).

El nivel de muchos contaminantes en las aguas residuales y el flujo combinado durante las épocas de estiaje y de lluvia, es similar y a veces mayor que el de las aguas residuales típicas en Estados Unidos. La alta concentración de sólidos totales, sólidos totales disueltos y fósforo, así como de una menor cantidad de nitritos y nitratos, podría ser resultado de la descarga de aguas residuales provenientes de zonas industriales.

Las tablas 1.2 y 1.3, enlistan las plantas de tratamiento en operación para las áreas de servicio del Distrito Federal y del Estado de México, indicándose el valor de su capacidad de diseño y la capacidad a la que realmente están operando, el tipo de tratamiento que proporcionan y sus métodos de reuso (Departamento del Distrito Federal, 1992b; Comisión Estatal de Aguas y

Saneamiento, 1993). El flujo total de las 13 plantas de tratamiento en el área de servicio del Distrito Federal (Tabla 1.4.2) equivale sólo al 55 por ciento de la capacidad para la que han sido diseñadas- por ejemplo, 2.6 contra 4.6 m³/s (Departamento del Distrito Federal, 1992b). El tratamiento secundario en todas estas plantas se proporciona mediante la aplicación del proceso de sedimentación de lodos activados.

TABLA 1.1 Características del flujo de aguas residuales en el Gran Canal al salir de la Cuenca de México.

Contaminantes ^{a,b}	Flujo en Tiempo de estiaje	Flujo en Tiempo de lluvia	Rango de Concentración ^b			Promedio en Estados Unidos
			Ligero	Medio	Fuerte	
Sólidos Totales	1,800	1,800	350	720	1,200	—
Sólidos totales disueltos	1,611	1,445	250	500	850	—
Sólidos totales suspendidos	179	357	100	220	350	192
Sólidos asentados mg/l	2.0	2.33	5.0	10.0	20.0	—
Nitratos	0.30	0.030	5	10	20	0.60
Nitritos	0.06	0.06	0	0	0	—
Fósforo total	30	30	4	8	15	6.8
DBO ^c	240	187	110	220	400	181

a Todos los valores en mg/l, excepto los señalados. b U.S. EPA y U.S. AID, 1992. c Demanda Bioquímica de oxígeno.

Los tratamientos terciarios, cuando se aplican, consisten en los métodos de coagulación / floculación, sedimentación, filtración de arena y desinfección. En caso de aplicar la desinfección,

se añade cloro para lograr un residuo total de 1 mcs, sea en la planta de tratamiento o en el punto de reutilización.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal están especialmente ubicadas para abastecer a determinadas zonas dentro del área de servicio. Por lo tanto, las características de las aguas residuales sin tratar pueden ser distintas en cada planta, dependiendo del origen del agua-por ejemplo, residual, doméstico o industrial.

El funcionamiento de las plantas de El Rosario, **Acueducto de Guadalupe** y Colegio Militar no ha sido eficiente. Se reporta que los principales problemas asociados con el agua residual en estas tres plantas son el alto contenido de grasa, aceites, fósforo, nitritos y nitratos, la escasa eliminación de la alcalinidad y la dureza, así como alta conductividad eléctrica. Se sabe que una elevada concentración de aceite y grasa causa problemas operativos en diversos procesos de tratamiento secundario y terciario. De las tres plantas mencionadas, únicamente el Rosario proporciona tratamiento terciario, pero un tratamiento terciario que sólo reduce la concentración de fósforo. La unidad de operación y los procesos empleados en esta planta no están lo suficientemente bien diseñados como para eliminar los nitritos y los nitratos. Se reporta que la calidad del afluente tratado en las 10 plantas restantes cumple con los requerimientos que demanda su propósito específico de reuso.

Las actividades de reuso del agua en la ZMVM comenzaron de manera oficial en 1984, con el Programa Nacional de Uso Eficiente del Agua (Departamento del Distrito Federal, 1990b). Los proyectos para el reuso del agua formaron parte de un programa más amplio destinado a reducir la pérdida de agua y mejorar los ingresos económicos por este concepto. Durante el periodo 1990-1992, el programa se concentró en varias actividades para el reuso del agua en la ZMVM, que incluyeron la protección de las zonas naturales de recarga del acuífero, la recarga del acuífero con agua de lluvia y aguas residuales municipales recuperadas, así como el uso de aguas residuales recuperadas de los sectores industrial y de servicios.

TABLA 1.2. Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Distrito Federal.

Planta	Capacidad original (m ³ /s)	Flujo real (m ³ /s)	Tipo de tratamiento	Práctica de reuso
Chapultepec	0.160	0.106	Secundario	RCI, IPU
Coyoacán	0.400	0.336	Secundario	RCI, IPU
Ciudad Deportiva	0.230	0.080	Secundario	IPU
San Juan de Aragón	0.500	0.364	Secundario	RCI, IPU
Tlatelolco	0.022	0.014	Secundario	IPU
Cerro de la Estrella	3.0	1.509	Secundario	RAI, IA
Bosque de las Lomas	0.055	0.027	Secundario	IPU
Acueducto de Guadalupe	0.08	0.057	Secundario	IPU
El Rosario	0.025	0.022	Terciario	RCI, IPU
S.L. Tlaxialtemalco	0.075	0.055	Terciario	RCI, RAI
Reclusorio Sur	0.030	0.013	Secundario	RCI, IPU
Iztacalco	0.013	0.010	Terciario	RCI, IPU
Colegio Militar	0.020	0.018	Secundario	RCI, IPU
Capacidad total	4.623	2.621		

RCI: Represas de recreo con contacto esporádico; RAI: Recarga de agua subterránea por inyección; IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación Agrícola. Fuente: Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, 1993.

Este programa nacional abarcó el establecimiento de nuevos reglamentos para la descarga de aguas residuales en el Distrito Federal; en 1990, se establecieron las disposiciones para un

programa industrial de "pretratamiento"-un importante requisito previo para las actividades de recuperación y reuso. Sin embargo, existe poca información disponible relativa a la duración y el éxito de los programas de pretratamiento industrial en la ZMVM. En el área de servicio del Distrito Federal, los 2.62 m³/s de aguas residuales tratadas y reusadas (Tabla 1.2) se distribuyen de la manera siguiente: 83 %para la irrigación del paisaje urbano y depósitos en áreas recreativas; 10 por ciento para uso industrial; 5 %para irrigación agrícola; 2 %para usos comerciales, como, por ejemplo, el lavado de automóviles (Departamento del Distrito Federal, 1992).

El Estado de México ha implementado un programa específicamente diseñado para aumentar el uso de aguas residuales municipales. Las finalidades del programa incluyen: el desarrollo de estudios de viabilidad para la construcción de sistemas de tratamiento adicional, así como de una red de distribución que reparta las aguas residuales recuperadas para su reuso; la promoción de proyectos de reuso del agua entre los sectores privado y público; la rehabilitación de las plantas existentes para tratamiento de aguas residuales; la preparación de manuales de operación y mantenimiento, así como de otros registros destinados a mejorar la administración de los sistemas de tratamiento y reuso; la preparación de un cálculo cuantitativo del agua potable utilizada en la actualidad para diferentes actividades, que es susceptible de sustituirse con aguas residuales recuperadas. Bajo este programa, las actividades de reuso potencial del agua-que incluyen la irrigación agrícola, el uso industrial, el paisaje urbano y la recarga de los acuíferos-han sido localizadas dentro de distritos específicos de servicio en el área del Estado de México.

Las industrias del Distrito Federal reciclan o reusan 2.4 m³/s de aguas residuales, principalmente para procesos de enfriamiento. Esta cantidad representa un aumento de 25 %con respecto al nivel de reuso en 1990 y del doble con relación a 1988. Muchas industrias tienen el potencial para reciclar o reusar el agua. La industria privada ha mostrado ya interés en los beneficios del reuso. Por ejemplo, 26 empresas privadas del área de Vallejo, en la ZMVM, iniciaron en 1989 un programa de reuso, para lo cual establecieron una compañía promotora con fines comerciales *Aguas Industriales de Vallejo* (World Bank, 1992). Esta compañía rehabilitó una vieja planta municipal para tratamiento de aguas residuales; hoy, distribuye agua recuperada a sus compañías accionistas a un costo igual a tres cuartas partes del precio fijado por el gobierno para la tarifa de agua potable.

TABLA 1.3. Plantas de tratamiento de aguas residuales en el área de servicio del Estado de México.

Planta	Capacidad original (mcs)	Flujo real (mcs)	Tipo de tratamiento	Práctica de reuso
Pintores	0.005	0.005	Secundario	IPU
Naucalli	0.040	0.030	Secundario	IPU
S.J. Ixhuatepec	0.150	0.030	Secundario	RI
Nezahualcóyotl	0.200	NA	Secundario	IPU
U. de Chapingo	0.040	0.040	ND	IPU
Lago de Texcoco (dos plantas de tratamiento)	1.50	1.000	Secundario Terciario	IA, L
Termoeléctrica V. de México	0.450	0.250	Secundario	RI
P. San Cristóbal	0.400	0.250	Secundario	RI
Lechería	0.030	0.010	Secundario	RI
Ford	0.030	0.030	Secundario	RI
Club de Golf Chiluca	20	20	ND	IPU
Revillagigedo Chiluca	20	20	ND	RI
La Estadía Chiluca	20	20	ND	RI
Capacidad total	2.905	1.685		

IPU: Irrigación del paisaje urbano; IA: Irrigación agrícola; RI: Reutilización industrial; ND: No disponible; L: Expansión del lago. Fuente: Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento, 1993

Asimismo, se ha estimado que la industria reusa la mayor parte de las aguas residuales tratadas en el área de servicio del Estado de México. El mercado potencial para las aguas residuales recuperadas varía según el tipo de tratamientos empleados, pero puede verse influenciado por las

políticas gubernamentales relativas a las tarifas para el agua y al otorgamiento de las licencias para el uso de aguas residuales ^(5,7,8,9)

1.5. Clasificación de los contaminantes del agua

Los contaminantes del agua se clasifican en tres categorías:

- a. Contaminantes Químicos,
- b. Contaminantes Físicos.
- c. Contaminantes Biológicos.

1.5.1. Contaminantes Químicos.

Estos componen tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental de la contaminación de productos orgánicos es la disminución del oxígeno como resultante de la utilización del existente en el proceso de degradación biológica, llevando con ello a un desajuste y a serias perturbaciones en el medio ambiente. En el caso de compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico, mas que una disminución de oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo.

1.5.1.1. *Compuestos orgánicos.*

Las principales fuentes son las industriales, agrícolas y urbanas, los principales contaminantes son:

- a. Detergentes,
- b. Pesticidas,
- c. Petróleo y derivados,
- d. Grasas y aceites.

1.5.1.2. *Detergentes.*

Los detergentes aniónicos son los más empleados: los primeros fueron los alquilbencenosulfonatos (ABS), muy resistentes a la degradación microbiana y tóxicos para la vida acuática. Este dato fue conocido hacia el año 1960, y a partir de entonces se vienen sustituyendo por los llamados alquilsulfonatos lineales (LAS), aunque esta situación se ha dado lentamente.

Éstos son fácilmente degradables por las bacterias, lo que quiere decir que no poseen bastante toxicidad. Influyen en este proceso el oxígeno disuelto y la dureza, el primero potenciándolo y el segundo atenuándolo, por razones hasta ahora desconocidas.

En general, la longitud de la cadena de estas moléculas aumenta la toxicidad, como podría preverse.

Al entrar en una masa de agua varía la tensión superficial del agua y conlleva una serie de efectos asociados:

1. Solubilidad de determinadas sustancias contaminantes.
2. Se impide procesos naturales de depuración debido a que las bacterias se ven recubiertas de tensoactivo y no pueden atacar la materia orgánica.

3. Dificultad en las plantas depuradoras por razones similares a las del punto anterior.
4. Forman espumas que dificultan la depuración y la reoxigenación natural de las masas de agua.

No es sólo la bioconcentración el problema medioambiental, también lo es el acceso del oxígeno a la masa de agua, a causa de la espuma en su superficie y el hecho de aumentar la toxicidad del 3,4-benzopireno, otro microcontaminante de enorme acción cancerígena.

El verdadero problema medioambiental causado por los detergentes reside en los polifosfatos, incluidos en su formulación para ablandar el agua.

1.5.1.3. *Pesticidas.*

Cualitativa y cuantitativamente, los plaguicidas representan, y con diferencia, la más seria amenaza al medio ambiente de los compuestos orgánicos insecticidas, fungicidas, acaricidas, herbicidas, nematoridas, rodenticidas.

El grado de nocividad de los plaguicidas presentes en el agua es difícil de determinar. Ya que no se tienen datos epidemiológicos, reportados.

Los principales grupos son: organoclorados, organofosforados, carbamatos, triazinas y fenoxiácidos. Los más resistentes a la biodegradación son los organoclorados. Aunque también los más tolerables para los animales superiores, y los más hábiles son los organofosforados. En la mayor parte de los casos se degradan, pero los productos resultantes poseen casi la misma toxicidad.

Resulta muy difícil predecir la inercia química o biológica de un plaguicida, porque pequeñas diferencias en una misma estructura conducen a comportamientos absolutamente diferentes. Se conocen la mayor parte de los metabolitos de los plaguicidas, aunque no tanto los efectos medioambientales de su bioacumulación.

Un pesticida puede entrar en una masa de agua por:

1. Aplicación directa, por ejemplo se fumiga el agua donde ponen los huevos los mosquitos.
2. Arrastre por el viento.
3. Escorrentía de las tierras agrícolas
4. Arrastre por precipitaciones
5. Accidental.

1.5.1.4. *Petróleo y derivados.*

Los hidrocarburos son sustancias contaminantes, las principales fuentes son:

1. Proceso de lavado y lastrado de petroleros (actualmente prohibido), el 20% de la contaminación del mar es debida a este proceso.
2. Motores
3. Refinerías costeras
4. Extracción de petróleo en el mar
5. Accidentes.

Cuando hay un vertido de petróleo en agua (el petróleo no se solubiliza ya que es liposoluble), los principales procesos que sufre una mancha de petróleo en el agua:

1. Se va a oxidar la materia orgánica tanto por efecto de la luz como por agentes bacterianos
2. Una parte se elimina por absorción de ciertos animales
3. Otra parte se evapora y otra se solubiliza
4. Queda siempre una última parte que pasa al sedimento y unas bolas negras de brea, que es el producto final de transformación del petróleo, en aproximadamente 3 meses.

Los efectos que va a producir el petróleo:

1. Menor penetración de la luz, lo que incide directamente sobre la vida vegetal, hay menor cantidad de plancton, afectándose así los animales que se alimentan de él.
2. Al ser materia orgánica en disolución disminuye la concentración de oxígeno en agua
3. Mortandad por contacto directo

Se tiene una toxicidad a largo plazo en la que se ven afectados los individuos que viven en esas zonas.

1.5.1.5. *Grasas y Aceites.*

Las grasas y aceites por el hecho de que sean menos densos que el agua e inmiscibles con ella, hace que se difundan por la superficie, de modo que pequeñas cantidades de grasas y aceites pueden cubrir grandes superficies de agua. Además de producir un impacto estético, reducen la reoxigenación a través de la interfase aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando a la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto. Encarecen los tratamientos de depuración, y algunos aceites, especialmente los minerales, suelen ser tóxicos.

1.5.1.6. *Compuestos Inorgánicos.*

Los efectos debidos a la presencia de materia inorgánica pueden ser de características muy diversas. Pueden ser tóxicos, como los efectos producidos por las sales de los metales pesados. inductivos, como los producidos por la acidez y la alcalinidad, que varían la toxicidad de algunas sustancias, disuelven precipitados, etc.

La salinidad, en general, disminuye la concentración de oxígeno disuelto, favorece la formación de espumas y aumenta la presión osmótica. Por otra parte, la presencia de sales

inorgánicas en grandes cantidades puede inutilizar procesos industriales y producir incrustaciones.

Un problema peligroso es el que presentan los nitratos que entran a formar parte del medio hídrico por vía agrícola. Todavía no está totalmente aclarado el efecto que puede tener sobre la salud humana el consumo de agua con alto contenido de nitratos. El principal efecto patógeno que podría atribuirse a los nitratos es la metahemoglobinemia, originada por la reacción de los nitritos con la hemoglobina de la sangre, con formación de hierro ferroso y generación de metahemoglobina.

Los metales pesados son tóxicos por ser biorrefractarios y bioacumulativos. Cuando se arranca desde los niveles tróficos más bajos y alcanza a los superiores o el hombre, el metal ha podido concentrarse incluso varios miles de veces. El ejemplo más espectacular, en relación con la actividad biológica, es el trágico episodio ocurrido en la ciudad de Minimata (Japón) en 1960.

1.5.2. Contaminantes Físicos.

Estos incluyen:

- a. Cambios Térmicos,
- b. El color,
- c. La turbidez,
- d. La radioactividad.

1.5.2.1. Cambios térmicos.

La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles, como el caso de las aguas provenientes de las plantas industriales, relativamente calientes después de ser usadas en intercambiadores.

1.5.2.2. El color.

El color, el cual determina cualitativamente el tiempo de las aguas residuales, es por ello que si el agua es reciente esta suele ser gris; sin embargo como quiera los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro.

1.5.2.3. La turbidez.

La turbidez originada por los sólidos en suspensión, los cuales absorben la radiación solar, de modo que disminuyen la actividad fotosintética de la vegetación acuática. Al mismo tiempo obstruyen los cauces, embalses y lagos. También intervienen en los procesos de producción industrial y pueden corroer los materiales y encarecer el costo de depuración del agua.

1.5.2.4. Radiactividad.

Está asociado a fuentes mineras, centrales nucleares y sus correspondientes pruebas. Estos contaminantes son los más tóxicos y los que tienen una vida media más grande. Los efectos son:

Genéticos, alteran el ADN produciendo mutaciones;

Somáticos, producen cánceres de muchos tipos.

1.5.3. Contaminantes Biológicos.

Los microorganismos constituyen la parte biológica de la contaminación del agua, y han sido la causa de las grandes epidemias que se han producido a lo largo de la historia de la humanidad. Como ejemplos se puede citar el tifus, el cólera, la disentería, etc. A pesar de ello no todos los microorganismos son igualmente nocivos (patógenos): algunos son inocuos y otros son de gran utilidad para la auto depuración de los ríos.

El número de bacterias patógenas para el hombre y los animales presentes en el agua es muy reducido y difícil de determinar. Por ello, y dado que la mayoría de dichos gérmenes patógenos viven en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente, en general la detección de una contaminación fecal constituye una excelente señal de alarma.

Sus fuentes principales son las explotaciones ganaderas, agrícolas y de las zonas urbanas. En el agua que entran estos agentes patógenos entran los microorganismos fecales que se pueden clasificar en dos grupos:

- a. No patógenos o coliformes;
- b. Patógenos, son los que provocan enfermedades.

El vertido de estos agentes patógenos tienen un efecto inmediato, al estudiar un agua podemos encontrar que si no hay coliformes es que no hubo vertido o no lo hubo próximo en el tiempo y si existen microorganismos fecales el vertido fue hace poco tiempo o el punto de vertido es cercano. También hay que considerar la existencia de los esporulados, que son más resistentes que los coliformes, por lo tanto si no se detectan coliformes pero si esporulados indica que ha existido vertido pero no próximo en el tiempo o el espacio ^(6,10, 11, 12, 13)

1.6. Depuración de Aguas Residuales.

Los procesos empleados en las plantas depuradoras municipales suelen clasificarse como parte del tratamiento primario, secundario o terciario.

Las aguas residuales contienen residuos procedentes de las ciudades y fábricas. Es necesario tratarlos antes de enterrarlos o devolverlos a los sistemas hídricos locales. En una depuradora, los residuos atraviesan una serie de cedazos, cámaras y procesos químicos para reducir su volumen y toxicidad. Las tres fases del tratamiento son la primaria, la secundaria y la terciaria. En la primaria, se elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión y materia inorgánica. En la secundaria se trata de reducir el contenido en materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales. La terciaria es necesaria cuando el agua va a ser reutilizada; elimina un 99% de los sólidos y además se emplean varios procesos químicos para garantizar que el agua esté tan libre de impurezas como sea posible ^(7,14,15)

1.6.1. Índices de Contaminación.

- La Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)
- Carbono Orgánico Total (COT)

1.6.1.1. Demanda química de oxígeno (DQO).

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, oxidables en unas condiciones determinadas.

Esta medida es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral.

Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm, o algo superiores. Las aguas residuales domésticas suelen contener entre 250 y 600 ppm, y en las residuales industriales la concentración depende del proceso de fabricación.

1.6.1.2. *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)* .

La demanda bioquímica de oxígeno es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios.

Existen diversas variantes de la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, entre ellas las que se refieren al periodo de incubación. La más frecuente es la determinación de DBO a los cinco días (DBO5).

Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm; contenidos superiores son indicativos de contaminación. En las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm, y en las industriales depende del proceso de fabricación, pudiendo alcanzar varios miles de ppm.

La relación entre los valores de DBO y DQO es indicativo de la biodegradabilidad de la materia contaminante. En aguas residuales un valor de la relación DBO/DQO menor de 0,2 se interpreta como un vertido de tipo inorgánico y orgánico si es mayor de 0,6.

1.6.1.3. *Carbono orgánico total (COT)*.

Este parámetro, como su propio nombre indica, es la medida del contenido total en carbono de los compuestos orgánicos presentes en las aguas.

Se refiere tanto a compuestos orgánicos fijos como volátiles, naturales o sintéticos. Es la expresión más correcta del contenido orgánico total.

1.6.1.4. Interrelación entre estos Parámetros.

La presencia de carbono orgánico que no responda a las pruebas de DQO o DBO hace que éstas no sean una determinación adecuada para estimar el contenido total en materia orgánica. El carbono orgánico total es una expresión mucho más conveniente para este fin.

Entre el COT, la DQO y la DBO pueden establecerse relaciones empíricas repetibles de forma independiente tanto para una determinada matriz como para un mismo vertido, o un mismo punto de tratamiento de un proceso, etc. Estas relaciones empíricas establecidas entre dichos parámetros no deben hacerse extensibles fuera del marco de estudio.

En cualquier caso, una de estas determinaciones no suple a las otras. ⁽¹³⁾

1.6.2. Tratamiento Primario.

Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación.

1.6.2.1. Cámara de arena

En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras estaban diseñadas de modo que permitieran que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0,08 a los 0,23 m³ por cada 3,8 millones de litros de aguas residuales.

1.6.2.2. Sedimentación

Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO5 y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial incorporando procesos llamados coagulación y floculación químicas al tanque de sedimentación. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión.

1.6.2.3. Flotación .

Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones de entre 1,75 y 3,5 Kg por cm². El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.

1.6.2.4. Digestión.

La digestión es un proceso microbiológico que convierte el lodo, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o digestor, y son anaerobias, esto es, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. La sustancia resultante fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético. Entonces los ácidos orgánicos son convertidos en metano y dióxido de carbono por bacterias. Se añade lodo espesado y calentado al digestor tan frecuentemente como sea posible, donde permanece entre 10 y 30 días hasta que se descompone. La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60 por ciento.

1.6.2.5. Deseccación.

El lodo digerido se extiende sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la deseccación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. El

lodo desecado se usa sobre todo como acondicionador del suelo; en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo.

1.6.3. Tratamiento Secundario.

Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO5 por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor.

Hay diversos procesos alternativos para el tratamiento secundario, incluyendo el filtro de goteo, el lodo activado y las lagunas.

1.6.3.1. Filtro de goteo.

En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir cerca de un 85% la DBO5.

1.6.3.2. *Fango activado.*

Se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamadas *floc*, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El *floc* absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos. La reducción de la DBO5 fluctúa entre el 60 y el 85 por ciento.

Un importante acompañante en toda planta que use lodo activado o un filtro de goteo es el clarificador secundario, que elimina las bacterias del agua antes de su descarga.

1.6.3.3. *Estanque de estabilización o laguna.*

Otra forma de tratamiento biológico es el estanque de estabilización o laguna, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0,6 a 1,5 m y una extensión superior a una hectárea. En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la DBO5 de un 75 a un 85 por ciento.

1.6.4. **Tratamiento Avanzado de las Aguas Residuales.**

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. A menudo se usa el término tratamiento *terciario* como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado

podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO5 en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización.

Muchas de las sustancias halladas en el agua residual se ven poco o nada afectadas por los procesos u operaciones y tratamientos convencionales. Estas sustancias van desde iones inorgánicos relativamente simples como el calcio, potasio, nitrato, sulfato y fosfato hasta un número creciente de compuestos complejos orgánicos sintéticos.

Aun el efecto de estas sustancias sobre el medio ambiente no se conoce bien, las exigencias de los tratamientos serán más rigurosas en lo que refiere a la concentración tolerable de muchas de estas sustancias en el efluente de las plantas.

El tratamiento terciario o Avanzado es de gran interés hoy en día por la necesidad de obtener mejor calidad en las aguas, por estos motivos se presentaran algunos procesos utilizados con éxito en la actualidad o que parecen más prometedores o innovadores.

En la siguiente Tabla 1.4. se analizan algunos de los componentes químicos típicos que pueden hallarse en las aguas residuales y sus efectos.

Tabla 1.4. Componentes Típicos del Agua Residual y sus Efectos.

Componente	Efecto	Concentración Crítica (mg/l)
Amoníaco	- Aumenta la demanda de cloro. - Tóxico para los peces. - Puede convertirse en Nitratos.	Cualquier cant. 2.5 Cualquier cant.
Cloruro	- Imparte un sabor salado. - Interfiere en los procesos Industriales.	250 75-200
Mercurio	- Tóxico para los seres humanos. - Tóxico para la vida acuática.	0.005 0.005
Sulfato	- Acción catártica.	1-3
Fosfato	- Estimula el crecimiento acuático de las algas. - Interfiere en la coagulación.	0.015 0.2-0.4
Nitrato	- Estimula el crecimiento acuático de las plantas. - Puede causar Metahemoglobina (niños azul).	0.3 10
Calcio y Magnesio	- Aumenta la dureza.	Mayor a 100

1.6.4.1. *Destilación.*

La destilación es una operación unitaria en la que los componentes de la solución líquida son separados mediante vaporización y condensación del líquido.

1.6.4.2. *Fraccionamiento de Espumas.*

El fraccionamiento de espumas significa la separación de la materia coloidal y suspendida por flotación y de la materia orgánica disuelta por adsorción. Cuando se burbujea aire en le agua residual se produce espuma o bien esta es inducida por productos químicos. Casi todos los compuestos orgánicos tienen actividad de superficie estos tienden a concentrarse en las interfaces gas-líquido y se eliminan junto con la espuma.

1.6.4.3. *Congelación.*

La congelación es una operación de separación similar a la destilación. El agua es rociada en una cámara que funciona al vacío. Parte del agua residual se evapora y el efecto refrigerante produce cristales de hielo sin contaminantes en él líquido que queda. Seguidamente se extrae el hielo y se funde por calor de la condensación de los vapores de la fase de evaporización. En este procedimiento se ha utilizado Butano y otros refrigerantes.

1.6.4.4. *Intercambio Iónico.*

El intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantiene unidos a grupos funcionales en la superficie del sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por especies diferentes en disolución. Ya que la desmineralización se puede llevar a cabo mediante intercambio iónico, es posible utilizar procesos de tratamientos de corriente continua, en los que el parte del agua residual del efluente se desmineraliza y se combina después con parte del efluente que ha sido desviado del tratamiento para producir un efluente de calidad específica.

1.6.4.5. Tratamiento Electroquímico.

En este proceso se mezcla el agua residual con agua de mar y se hace pasar por una celda simple que contiene electrodos de carbón. En razón de las densidades relativas del agua de mar y de la mezcla del agua de mar y residual, la primera se acumula en la superficie del ánodo en la parte inferior de la celda la última lo hace en la superficie del cátodo cerca de la parte superior de la célula. La corriente eleva el pH en el cátodo, precipitando con ello Fósforo y Amoníaco. Las burbujas de hidrógeno generadas en el cátodo elevan el fango a la superficie, donde es arrastrado y eliminado por métodos convencionales. El cloro desarrollado en el ánodo de la celda desinfecta el efluente y la mezcla sobrante de agua residual-de mar es seguidamente vertida al mar.

1.6.5. Tratamiento Biológico.

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica.

En el caso de:

- Agua residual doméstica, el principal objetivo es disminuir el contenido orgánico.
- Agua que ha de ser usada para fines agrícolas se pretende eliminar los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo, que son capaces de estimular el crecimiento de plantas acuáticas.
- Aguas residuales industriales, la finalidad es reducir la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos.

Los procesos biológicos se clasifican según la dependencia del oxígeno, por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables del tratamiento de los residuos.

1.6.6. Tratamiento Aeróbico de las Aguas Residuales.

1.6.6.1. Lodos Activados.

Este proceso es usado casi exclusivamente por las grandes ciudades, fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett y fue llamado así por la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aeróbica. En la actualidad se usan muchas versiones del proceso original, pero todas ellas son fundamentalmente iguales.

En el proceso de fangos activados un residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Al contenido del reactor se le llama líquido mezcla. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrante es eliminada o purgada puesto que si no fuera así, la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más.

1.6.7. Importancia de los Microorganismos y Bacterias.

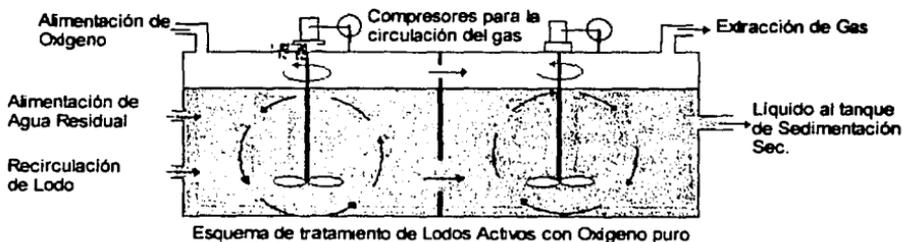
Para proyectar correctamente el sistema de lodos activados es ver la importancia de los microorganismos dentro del sistema. En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es el de descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que estos son la causa de descomposición de la materia orgánica del efluente. En el reactor parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias aeróbicas con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células.

Otro tipo de microorganismos igualmente importantes son los protozoos y rotíferos que actúan como depurificadores de los efluentes. Los protozoos consumen las bacterias dispersas que no han flocculado y los rotíferos consumen partículas biológicas que no hallan sedimentado.

En realidad solo parte del residuo original es verdaderamente oxidado a compuestos de bajo contenido energético tales como el NO_3^{2-} , SO_4^{2-} y CO_2 ; el resto es sintetizado en materia celular.

Además de la materia orgánica, existen también compuestos inorgánicos que producen DBO. El compuesto más importante es el amoníaco, ya que su presencia en el efluente de la planta puede estimular el descenso del oxígeno disuelto en la corriente receptora través del proceso biológico de nitrificación. El amoníaco se oxida biológicamente a nitrito y éste es seguidamente oxidado por otro grupo de microorganismos a nitrato, que es el estado de oxidación final de los compuestos de nitrógeno y como tal representa su producto estabilizado.

Tabla 1.5. Esquema del Tratamiento de Lodos Activos con Oxígeno



La dependencia de la temperatura en la constante de la velocidad de la reacción biológica es muy importante a la hora de evaluar la eficacia total del tratamiento biológico. La temperatura no solo influye en las actividades metabólicas sino que tiene un profundo efecto en factores tales

como las tasas de transferencias de gases y características de sedimentación de sólidos biológicos.

1.6.8. Tratamiento Anaeróbico de las Aguas Residuales.

El tratamiento anaeróbico de las aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. La mayor aplicación se halla en la digestión de los fangos de aguas residuales una vez concentrados, así como parte de residuos industriales.

El modo más usual de operar de una instalación de tratamiento anaeróbico de fango concentrado es la utilización de un reactor de mezcla completa y mínima recirculación celular cuyo objeto es el calentamiento contenido en el tanque. El tiempo de detención del líquido del reactor oscila entre los 10 y 30 días, incluso más, según opere el sistema.

Los microorganismos causantes de la descomposición de la materia se dividen en dos grupos:

1.6.8.1. *Bacterias formadoras de ácidos.*

Estas hidrolizan y fermentan compuestos orgánicos complejos a ácidos simples, de los cuales los más corrientes son el ácido acético y el ácido propiónico.

1.6.8.2. *Bacterias formadoras de metano.*

Estas convierten los ácidos formados por las bacterias del primer grupo en gas Metano y CO₂.

Las bacterias más importantes de este grupo (las que devoran los ácidos Acético y propiónico) tienen tasas lentas de crecimiento muy lentas y por ello su metabolismo se considera una limitante de proceso ^(5, 9, 15, 16, 17)

Tabla 1.6. Condiciones Óptimas para el tratamiento Anaeróbico.

Condiciones Óptimas para el Tratamiento Anaeróbico de las Aguas Residuales	
T° optimas:	
Intervalo Mesófilo:	29°C a 39°C
Intervalo Termofilo:	49°C a 57°C
Nutrientes Biológicos:	
	Nitrógeno
	Fósforo
pH :	6.6 a 7.6

LINEAMIENTOS DE LA

CALIDAD DEL AGUA

2. LINEAMIENTOS DE LA CALIDAD DEL AGUA.

Los requerimientos del efluente se definen a través de las Normas Oficiales Mexicanas para descargar al alcantarillado municipal, para descargar en cuerpos receptores y para uso agrícola^(18,19,20,21,22)

Generalmente se expresa en términos de, por ejemplo:

- Materia orgánica (expresado como DBO, DQO),
- Sólidos suspendidos,
- Nitrógeno (total amoniacal, óxidos de nitrógeno)
- Fósforo total,
- Número de bacterias coliformes fecales,
- Número de huevos de nemátodos intestinales humanos (*Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichura* y *anquilostomas*)
- Número de huevos de tremátodos intestinales humanos (*Shistosoma spp*).
-

Los parámetros microbiológicos son particularmente apropiados si el efluente es utilizado para irrigación de cultivos o fertilización de estanques agrícolas.

2.1. Criterios de Calidad Físicoquímica.

Los criterios de calidad microbiológica son para la protección de la salud; los de la calidad físicoquímica son para mantener la salud de las plantas y mantener el rendimiento de los cultivos. En general la calidad físicoquímica de las aguas residuales tratadas utilizadas para riego de cultivo deberá cumplir con las recomendaciones de la FAO (Food and Agriculture Organization) para la calidad del agua utilizada en irrigación. Para efluentes de plantas de tratamiento que tratan aguas residuales industriales (o aguas residuales municipales que contienen una apreciable producción de desechos industriales) estas recomendaciones deberán ser cuidadosamente verificadas particularmente con respecto a metales pesados y otros tóxicos.

2.2. NOM – 001 – ECOL – 1996.

La cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; Publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de enero de 1997) tanto el plomo, el cadmio, el arsénico y el mercurio, son considerados componentes tóxicos del agua, y la concentración máxima admisible, está fijada en 500 ppb para el plomo, y en 200 ppb para el cadmio y el arsénico; y 10 ppb para el mercurio. El zinc es considerado "componente no deseable" para las aguas de consumo humano y la concentración máxima admisible es de 10,000 ppb (ver Anexo 1).

2.3. NOM - 002 - ECOL - 1996.

La cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

Tabla 2.1. Límites máximos permisibles de las descargas de Aguas Residuales.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra).	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (milímetros por litros)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

2.3. NOM - 003 - ECOL - 1997.

La cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

Tabla 2.2. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	5	15	30	30

2.4. NOM - 031 - ECOL - 1993.

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Considerando que las descargas de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a las redes colectoras ríos, cuencas, causes, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en los terrenos provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales, provocan efectos adversos en los ecosistemas por lo que es necesario fijar los límites máximos permisibles que deberán satisfacer dichas descargas.

Especificaciones:

Las descargas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal que se refiere esta norma debe cumplir con las especificaciones que se indican en la siguiente tabla (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Límites Máximos Permisibles Provenientes de la Industria, Actividades agroindustriales, de servicios y tratamiento de aguas residuales.

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
Temperatura (°C)	-	40
pH (Unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
Sólidos Sedimentables (mg/L)	5	10
Grasas y Aceites (mg/L)	60	100
Conductividad Eléctrica (μ mhos/cm)	5000	8000
Aluminio (mg/L)	10	20
Arsénico (mg/L)	0.5	1.0
Cadmio (mg/L)	0.5	1.0
Cianuro (mg/L)	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	5.0	1.0
Cromo VI (mg/L)	0.5	1.0
Cromo Total (mg/L)	2.5	5.0
Fluoruros (mg/L)	3.0	6.0
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02
Níquel (mg/L)	4.0	8.0
Plata (mg/L)	1.0	2.0
Plomo (mg/L)	1.0	2.0
Zinc (mg/L)	6.0	12
Fenoles (mg/L)	5.0	10
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	30.0	60

2.5. NOM - 032 - ECOL - 1993.

Establece los límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes en las aguas residuales de origen urbano y municipal para su disposición mediante riego agrícola. Estos parámetros se muestran en la tabla 2.6.

La presente norma es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal, que cuenten con la aprobación de la autoridad competente para disponer de éstas mediante riego agrícola.

TABLA 2.4. Límites máximos Permisibles de los Parámetros Contaminantes en las aguas Residuales de Origen Urbano y Municipal.

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
pH (Unidades de pH)	6.5 a 8.5
Sólidos Suspendedos (mg/L)	120
Aluminio (mg/L)	5.0
Arsénico (mg/L)	0.1
Boro (mg/L)	1.5
Cadmio (mg/L)	0.01
Cianuros (mg/L)	0.02
Cobre (mg/L)	0.2
Cromo Total (mg/L)	0.1
Hierro (mg/L)	5.0
Fluoruros (mg/L)	3.0
Manganeso (mg/L)	0.2
Níquel (mg/L)	0.2
Plomo (mg/L)	5.0
Selenio (mg/L)	0.02
Zinc (mg/L)	2.0

MATERIALES Y

MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Zona de Estudio.

PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS INDUSTRIALES VALLEJO.

La Planta de Tratamiento con razón social, *Aguas Industriales Vallejo*. Se encuentra ubicada en la Zona Residencial Acueducto de Guadalupe; entre el Blvd. del Temoluco y Río Tlalnepantla.

Esta planta fue rehabilitada en 1989 por 26 empresas privadas del área de Vallejo, en la ZMVM, con fines comerciales (*Aguas Industriales de Vallejo*), la cual distribuye el agua recuperada a sus compañías accionistas a un costo igual a tres cuartas partes del precio fijado por el gobierno para la tarifa de agua potable.

El agua residual utilizada es proveniente en su mayor parte por industrias ubicadas en Tlalnepantla, Estado de México y otra a desechos urbanos y municipales, algunos de los problemas que enfrentan tres plantas de tratamiento en la ZMVM (El Rosario, Acueducto de Guadalupe y Colegio Militar) son sus altos contenidos de grasas, aceites, fósforo, nitritos y nitrato, la escasa eliminación de la alcalinidad y la dureza, así como la alta conductividad eléctrica⁽¹⁰⁾

3.2. Recolección de Muestras.

La frecuencia del muestreo, se realizó dos veces por semana, obteniéndose muestras simples del efluente y del influente durante el período de Junio y Agosto de 1998. Llevándose cabo los días lunes y viernes, a partir del 10 de julio y terminándose de monitorear el día 10 de Agosto; se recolectaron dos muestras por día, una de ellas se recolectó en la entrada de la planta, después de pasar la cámara de arena (influyente), y la otra se llevo a cabo en una de las llaves de salida, después de sufrir el proceso de depuración (efluente).

Hay que tomar en cuenta, que para tomar la muestra del influente, fue necesario de un muestreador, el cual permitió obtener una muestra homogénea en el flujo de agua, todo esto de acuerdo a la Norma Oficial NMX-AA-003⁽²³⁾, siendo el procedimiento siguiente:

- a. El recipiente muestreador se enjuago repetidas veces (5 veces), antes de efectuar el muestreo,
- b. Se introdujo el recipiente muestreador en la descarga, y se toma la muestra directamente,
- c. La muestra se transfiere del recipiente muestreador al recipiente para la muestra cuidando que esta siga siendo representativa.

Para la muestra del efluente, se utilizo otro procedimiento, el cual fue:

3. La muestra se tomo en un conducto a presión, en donde se dejo fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se lleno el recipiente de muestreo.

3.3. Fechas de Muestreo.

Tabla 3.1. Fechas de Muestreo.

Muestreo	Fecha
1	10 de Julio de 1998
2	13 de Julio de 1998
3	17 de Julio de 1998
4	20 de Julio de 1998
5	24 de Julio de 1998
6	27 de Julio de 1998
7	31 de Julio de 1998
8	3 de Agosto de 1998
9	7 de Agosto de 1998
10	10 de Agosto de 1998

3.4. Trabajo de Laboratorio.

El trabajo de laboratorio se realizó en el laboratorio de Investigación de la sección de Química Analítica. Haciendo un análisis por triplicado de cada una de las muestras y por cada patrón de la curva de metal a analizar.

Se tomaron dos alícuotas; una de 100 ml y otra de 50 ml vaciándose la de 100 ml en un vaso de precipitados de 250 ml para el tratamiento de la misma, este tratamiento se realizó para los metales analizados por flama y horno grafito; la alícuota de 50 ml fue colocada en uno de los vasos del microondas para ser digerida por esta técnica.

3.5. Tratamiento Preliminar de las Muestras.

Las muestras se colectaron en frascos, de acuerdo a la Norma Oficial NMX-AA-003⁽²³⁾, donde recomienda recipientes de polietileno o vidrio, los cuales son materiales inertes al contenido de las aguas residuales, tomando un volumen de 500 ml, y a los cuales se les adicionaron 5 mL de ácido nítrico concentrado; esto se realiza con la finalidad de mantener los metales en solución, y por otra parte evitar que los microorganismos descompongan las moléculas orgánicas y formen gases que volatilicen los metales.

Material y Reactivos para el Tratamiento preliminar.

a) Digestión Manual

- a) Placa Caliente.
- b) Vaso de precipitado de 250 ml, lavados con ácido y enjuagados con agua desionizada.
- c) Vidrio de Reloj,
- d) Pipetas de 50 ml,
- e) Papel Watman,
- f) Embudo de vidrio.

b) Digestión en Horno de Microondas.

- a. Equipo de Microondas CEM (Mars 5 CEM Corp.)
- b. Sensor de temperatura y presión,
- c. Vasos digestores HP – 500
- d. Membranas controladoras de presión.

c) Reactivos.

- a. Agua Desionizada, Tipo I,
- b. Ácido Nítrico, HNO_3 concentrado.

3.6. Tratamiento de las Muestras para Análisis de Metales Pesados por Absorción Atómica.

Como las muestras contenían materiales suspendidos y materia orgánica se requirió de un tratamiento específico, que consiste en una digestión ^(24,25,26,27,28)

3.6.1. Digestión manual. ^(23,29)

- a. Se transfirió una porción representativa (de 100 ml) a un vaso de precipitados de 250 mL se agregaron 5 mL de ácido nítrico concentrado, y se cubrió el vaso. Se evaporó casi a sequedad en una placa de calentamiento, asegurándose que la muestra no hirviera.
- b. Se enfrió el vaso de precipitados y se agregaron otros 5 mL de ácido nítrico concentrado. Se vuelve a cubrir el vaso y colocándolo de nuevo en la placa de calentamiento. Se aumenta la temperatura, hasta un reflujo lento.

- c. Se continúa calentando, cuando sea necesario, añadir ácido nítrico concentrado hasta que la digestión sea completa, esto se indica por un residuo de color claro.
- d. Se agrega al final de 1 a 2 ml de ácido nítrico concentrado.
- e. Lavar las paredes y el vidrio de reloj con agua.
- f. Filtrar la muestra para evitar que los silicatos y otros materiales insolubles obstruyan el atomizador.
- g. Aforar el volumen a 100 mL según el volumen de muestra tomado originalmente. La muestra esta lista para ser analizada.

3.6.2. Digestión en Horno de Microondas.⁽²⁹⁾

Se tomó una alícuota de 50 mL transfiriéndose a un vaso digestor HP – 500, se adicionaron 5 ml de ácido nítrico concentrado, se colocaron en el vaso control el sensor de temperatura y de presión, en todos los vasos se colocan las membranas controladoras de presión y se colocan en el carrusel.

Se realizó un programa de digestión para las muestras de agua residual controlando la temperatura para que el mercurio y el arsénico no se volatilizaran, las condiciones del sistema fueron:

Una rampa de temperatura que consta de 10 minutos hasta llegar a la temperatura de 90°C y después un mantenimiento a esta temperatura por 15 minutos.

Una vez finalizado el programa, se purgaron los vasos, teniendo cuidado de encender la campana extractor, para evitar los vapores del ácido nítrico, se espero a que se enfriara la solución, se filtro, y se coloca en un envase apropiado.

Las soluciones obtenidas están listas para el análisis del mercurio, pero para el análisis de arsénico falta un procedimiento que se describe posteriormente.

3.6.3. Preparación de las Muestras.

Para el caso de los metales que van a ser analizados por flama y Horno grafito, ya no es necesario hacer ningún procedimiento, al terminar de filtrar y aforar a 100 ml las muestras están listas para ser analizadas.

Para el caso del mercurio al cual se requiere hacer la digestión por microondas, al igual que los otros metales, al terminar de aforar ya no es necesario hacer otro procedimiento⁽³⁰⁾

Para el caso del arsénico se recomienda hacer una reducción de éste, para que de ésta manera se encuentre como As^{3+} el siguiente párrafo muestra la manera recomendable de hacer esta reducción:

El arsénico es analizado preferentemente como As^{3+} pues la sensibilidad es mejorada de un 20 a un 30 % que como As^{5+} . La forma típica de reducir el As^{5+} a As^{3+} es adicionando yoduro de potasio (KI) a una concentración final del 1% en HCl 1M. Para una completa reducción se requiere 50 minutos a temperatura ambiente.

Está reducción también se le debe hacer a los estándares, al finalizar el tiempo tanto estándares como muestras están listas para ser analizadas⁽³⁰⁾

3.6.4. Material y Equipo.

3.6.4.1. Flama aire – acetileno.

- a) Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Modelo SPECTRAA-800)
- b) Gas acetileno, calidad comercial estándar, ultrapuro.
- c) Aire, purificado y secado a través de un filtro que elimine humedad,
- d) Reactivo estándar del elemento a analizar
- e) Lámpara de cátodo hueco del elemento a analizar,
- f) Matraz aforado de 100 mL
- g) Matraz aforado e 50 mL
- h) Pipetas volumétricas de 1, 2, 3, 5, 10 mL
- i) Micro pipeta.

3.6.4.2. Horno grafito.

- a) Espectrofotómetro de absorción atómica (Modelo SPECTRAA-800)
- b) Tubos de grafito.
- c) Horno de Grafito (Modelo GTA-100)
- d) Gas Nitrógeno, (AGA, alta pureza)
- e) Agua desionizada (Tipo I),
- f) Lámpara de cátodo hueco del elemento a analizar

3.6.5. *Generador de Hidruros.*

- a) Celda de cuarzo,
- b) Espectrofotómetro de absorción atómica (Modelo SPECTRAA-800)
- c) Módulo de Generador de Hidruros (VGA-77)
- d) Lámpara de cátodo hueco del elemento de interés,
- e) Gas Nitrógeno (AGA, altapureza)
- f) Gas acetileno (AGA, altapureza)
- g) Aire, purificado y secado a través de un filtro que elimine humedad,
- h) Reactivo estándar del elemento a analizar.
- i) Borohidruro de sodio (NaBH_4)
- j) Hidróxido de Sodio (NaOH)
- k) Cloruro Estanoso (SnCl_2)
- l) Ácido Clorhídrico (HCl)
- m) Yoduro de Potasio (KI)

Las soluciones para la preparación de los estándares de los metales analizados se obtuvieron de soluciones de 1,000 ppm en la siguiente Tabla se muestran los laboratorios que lo surtieron y el ensayo de pureza de los mismos:

Metal	Ensayo	Laboratorio	Lote
Cobre	1,000 ppm	ARRC Laboratories	2416
Hierro	1,000 ppm	ARRC Laboratories	2414
Zinc	1,000 ppm	ARRC Laboratories	2412
Níquel	1,000 ppm	CRESCENT	801990R
Cadmio	1,000 ppm	CRESCENT	900503E
Cromo	999.3 ppm	ARRC Laboratories	941118
Plomo	1,000 ppm	ARRC Laboratories	2424
Mercurio	1,002.1 ppm	ARRC Laboratories	950106
Arsénico	1,000.20	ARRC Laboratories	941118

4. Análisis de las Muestras^(23,26,31,32,33)

Se realizaron, para cada metal analizado, curvas de calibración con cinco niveles de concentraciones diferentes, realizándose las lecturas de absorbancia por triplicado; analizando antes de la graficación la desviación estándar de las lecturas de absorbancia. Cada elemento fue analizado dependiendo de su sensibilidad a las diferentes técnicas, empleándose para ello las técnicas de Flama, Horno grafito y Generador de Hidruros.

TABLA 3.2. Técnicas Utilizadas para los Metales Analizados.

Elemento	Técnica Utilizada	Concentraciones Utilizadas (ppm)
Cobre	Flama	0.05, 0.1, 0.15 0.2 y 0.3
Zinc	Flama	0.016, 0.04, 0.08, 0.12 y 0.16
Hierro	Flama	0.2, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0
Plomo	Horno Grafito	0.04, 0.08, 0.12, 0.16 y 0.2
Cadmio	Horno Grafito	0.005, 0.01, 0.15, 0.02 y 0.25
Níquel	Horno Grafito	0.02, 0.03, 0.04, 0.05 y 0.06
Cromo	Horno Grafito	0.004, 0.008, 0.012, 0.016 y 0.02
Mercurio	Generador de Hidruros	0.005, 0.01, 0.02, 0.04 y 0.06
Arsénico	Generador de Hidruros	0.005, 0.01, 0.02, 0.03 y 0.04

3.6.1. Flama aire – acetileno.

Debido a las diferencias en las diversas formas y modelos de espectrofotómetros de absorción atómica, no es posible formular instrucciones aplicables a cada instrumento. Por lo cual, se tiene que consultar el manual de funcionamiento de cada fabricante.

En general se procede de la siguiente manera:

- a) Se instaló en el instrumento una lámpara de cátodo hueco para el metal deseado y se estableció el dial aproximado de longitud de onda.
- b) Se fijó en la rendijilla (Slit) siguiendo las sugerencias del manual del fabricante.
- c) Se aplicó la corriente a la lámpara de cátodo hueco según la que indicación del fabricante.
- d) Se optimizó la longitud de onda ajustando el dial de longitudes de onda hasta que se obtuvo la ganancia óptima de energía.
- e) Se abrieron la llaves de acetileno y aire, se encendió la llama. Ajustandose la velocidad de flujo de los mismos, para obtener la máxima sensibilidad.
- f) Se calibró el equipo a cero, aspirandose un blanco integrado por agua desionizada o una solución ácida con la misma concentración de ácido de los patrones y muestras (matriz).
- g) Se aspiró una solución patrón y se ajusto la velocidad de aspiración del nebulizador.
- h) Se aspiró un blanco de nuevo y se volvió a poner a cero el instrumento.

- i) Se seleccionan las concentraciones de cada solución patrón del metal a analizar, para establecer los límites para la concentración esperada del metal de una muestra.
- j) Se aspiró un blanco y se puso a cero el instrumento. Se aspiró entonces cada patrón sucesivamente en la llama y se registraron las absorbancias.
- k) Se enjuago el nebulizador aspirando agua con 1.5 ml de ácido nítrico (HNO_3) concentrado/L. Se atomizó un blanco y se ajusto a cero el instrumento. Se atomizó la muestra y se determinó su absorbancia.

Las curvas de calibración se prepararon a partir de soluciones Stock de 1000 ppm del analito analizado, realizándose las diluciones apropiadas para llegar a las concentraciones requeridas, la flama utilizada fue aire-acetileno, y el flujo del aire y del acetileno fue establecido para obtener la mayor sensibilidad del analito, la altura del quemador utilizada fue la recomendada por el fabricante para cada una de los elementos analizados en el espectrofotómetro y no es conveniente moverlo debido a que pueden variar las lecturas de los estándares.

El flujo de la muestra al atomizador se recomienda que sea de 2 a 8 ml/min. hay que recordar que solo el 10% de la muestra llega a la flama, el resto es drenado, por lo que el flujo lo va a dictar la sensibilidad del analito.

Es importante que el blanco contenga las mismas condiciones que los estándares, ya que el instrumento se calibra a cero con esto, si existe una mala preparación del blanco se pueden tener fallas en el análisis.

**TABLA 3.3. Condiciones de Trabajo de las Diferentes Determinaciones por Flama
aire – acetileno.**

Parámetro	Longitud de Onda (nm)	Slit	Corriente de la Lámpara (mA)
Cobre	324.8	0.7	30
Zinc	248.3	0.7	15
Hierro	213.9	0.2	30

3.6.2. *Horno Grafito*⁽³³⁾

Se montó y se alineo el dispositivo del horno siguiendo las instrucciones del fabricante. Se seleccionó la fuente luminosa apropiada y se ajusto a la regulación eléctrica recomendada. Se seleccionó la longitud de onda apropiada y se establecieron todas las condiciones de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Se seleccionó el flujo apropiado de gas inerte o de protección.

Para hacer óptimas las condiciones del horno de grafito, se ajustó cuidadosamente las regulaciones de temperatura del horno para hacer máximas sensibilidad y precisión y hacer mínimas las interferencias.

Se utilizaron temperaturas de secado ligeramente superiores al punto de ebullición del disolvente, con el objeto de facilitar el tiempo y la temperatura de ebullición del disolvente, con el objeto de facilitar el tiempo y la temperatura suficiente para la evaporización completa sin ebullición, ni salpicaduras.

La temperatura de carbonización debe ser lo suficientemente alta para hacer máxima la volatilización de los componentes de la matriz que interfieren, siendo al mismo tiempo baja para volatilizar el elemento que interesa.

Se seleccionó la temperatura de atomización determinando la temperatura que proporciona un máximo de sensibilidad sin decremento de la precisión; siguiendo las indicaciones del fabricante.

Calibración del instrumento:

Se prepararon patrones para la calibración del instrumento diluyendo las soluciones de reserva del metal.

Se adaptó la matriz de las soluciones patrón a las de las muestras lo más exactamente posible.

Se inyectó una porción adecuada de cada una de las soluciones patrón, con el objeto de aumentar la concentración. Se analizó cada solución patrón por triplicado para comprobar la precisión del método.

Análisis de las Muestras:

Determinación Directa. Se inyectó en el horno de grafito una porción medida de la muestra sometida a tratamiento previo. Empleándose el mismo volumen que el utilizado para preparar la curva de calibración.

TABLA 3.4. Condiciones de Trabajo para las Determinaciones con Horno Grafito.

Parámetro	Long. de Onda (nm)	Slit	Corriente de la Lámpara (mA)
Plomo	217,0	1,0	4,0
Cadmio	228,8	0,5	3,0
Cromo	357,9	0,2	6,0
Níquel	232,0	0,2	25,0

3.6.3. Generador de Hidruros. ⁽³⁰⁾

Para el análisis con el Generador de Hidruros se trabajo con la unidad Generadora VGA-77, (Ver Anexo 2) y se procedió de la siguiente manera:

Se alinea el quemador y se seleccionó la fuente luminosa apropiada, posteriormente se monto la unidad generadora (VGA-77) conectando la celda de cuarzo y colocándola sobre el quemador.

En este momento es importante optimizar el flujo de los reactivos, en la tabla siguiente (Tabla 3.5) se indica el flujo de los reactivos y la muestra, lo cual es de suma importancia para tener buena sensibilidad del elemento a analizar.

TABLA 3.5. Flujo óptimo de los Reactivos y Muestra en el Sistema Generador.

Canal	Flujo (ml/min)
Ácido	1
Reductor	1
Muestra	7 a 8

Después de esto se optimizó la lámpara y se enciende el módulo Generador para calibrar el equipo a cero, conectando los reactivos en las mangueras correspondientes Ver Tabla 3.6 y 3.7).

Se deben preparar los estándares correspondientes, de la misma manera que las muestras, para eliminar posibles interferencias de los reactivos utilizados, para el caso del Arsénico se debe adicionar Yoduro de Potasio (KI) a una concentración final del 1% en HCL 1M, lo cual requiere de 50 minutos a temperatura ambiente para la completa reducción. Así mismo se debe preparar un blanco teniendo la misma concentración que en los estándares para eliminar el efecto de los reactivos utilizados.

TABLA 3.6. Condiciones de Trabajo para el Análisis de MERCURIO.

Recomendado.	
Canal Ácido	H ₂ O (D.I.)
Canal Reductor	SnCl ₂ 25% en HCl 20 %

TABLA 3.7. Condiciones de Trabajo para el Análisis de ARSÉNICO.

Individual.	
Canal Ácido	HCl 10 M
Canal Reductor	NaBH ₄ 0.6 %, NaOH 0.5%

Después de calibrar el equipo a cero se procede a la cuantificación, colocando uno por uno cada uno de los estándares y posteriormente leyendo las absorbancias de las muestras e interpolándolas en la curva de calibración para obtener las concentraciones de las muestras.

4.7. Cálculos.

Se construyen las curvas de calibración con las absorbancias de los estándares analizados para cada uno de los elementos analizados y se interpola el resultado de la muestra.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

4.1. Flama aire-acetileno.

4.1.1. Curvas de Calibración.

Para la preparación de las curvas de calibración se partió de soluciones con 1,000 ppm de los elementos a analizar (Cobre, Zinc y Hierro), realizándose las diluciones necesarias para obtener las concentraciones que se iban a analizar.

En las tablas 4.1., 4.2 y 4.3, se muestran las concentraciones que se utilizaron para cada uno de los analitos y las absorbancias que se obtuvieron para cada uno de ellos respectivamente; teniendo en cuenta que los estándares se leyeron por triplicado.

En las graficas 4.1, 4.2 y 4.3. se muestran las curvas de calibración de cobre, zinc y hierro respectivamente, realizándose para cada una de ellas un análisis de correlación lineal para comprobar que tienen un comportamiento lineal y determinar así si podían ser utilizadas para interpolar en ellas las absorbancias de las muestras.

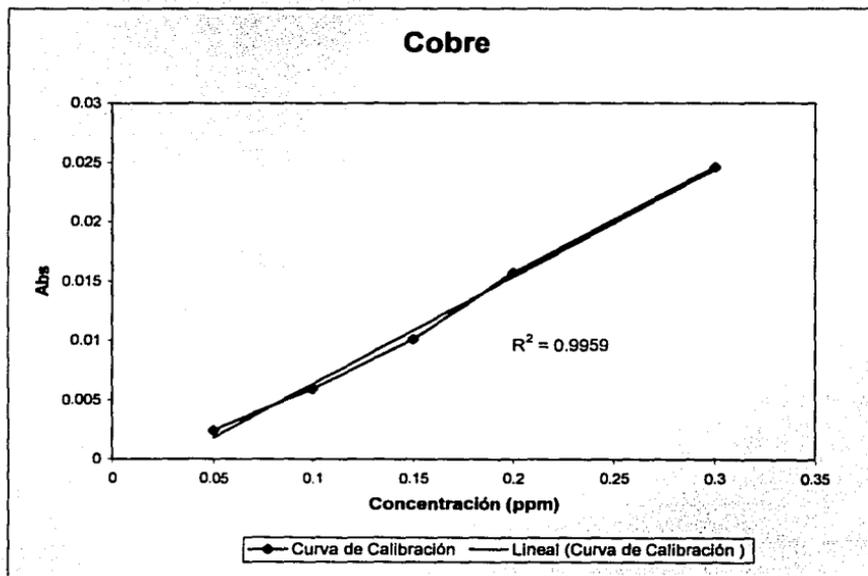
En la tabla 4.12 se muestran las concentraciones de las muestras y el promedio de todas ellas, tanto en el influente como en el efluente. Ahí se puede observar que las concentraciones promedio de las muestras en el influente quedan dentro de la curva; aunque las concentraciones medias del efluente, en el caso del cobre y el zinc no quedan dentro de estas, sin embargo las concentraciones que se están determinando son menores que las establecidas en la norma por lo que se decidió utilizar las concentraciones obtenidas; para poder determinar así el porcentaje de estos analitos que es retenido dentro de la planta.

Cobre.

TABLA 4.1. Curva de Calibración de Cobre.

Curva de Calibración de Cobre		
Std.	Conc. (ppm)	Abs
1	0.05	0.0024
2	0.1	0.0059
3	0.15	0.0101
4	0.2	0.0157
5	0.3	0.0246
Ecuación		$Y = 0.0906x - 0.0028$
Coeficiente de Calibración		$R^2 = 0.9959$

GRAFICA 4.1. Curva de Calibración de Cobre.

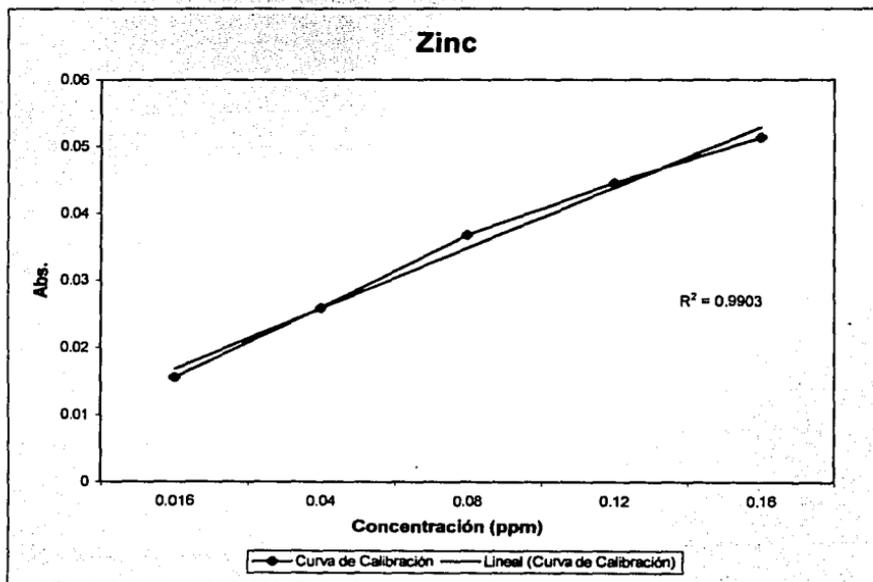


Zinc.

TABLA 4.2. Curva de Calibración de Zinc.

Curva de Calibración de Zinc		
Std.	Conc. (ppm)	Abs
1	0.016	0.0156
2	0.04	0.0259
3	0.08	0.0368
4	0.12	0.0446
5	0.16	0.0514
Ecuación		$Y = 0.009x + 0.0078$
Coeficiente de determinación		$R^2 = 0.9903$

GRAFICA 4.2. Curva de Calibración de Zinc.

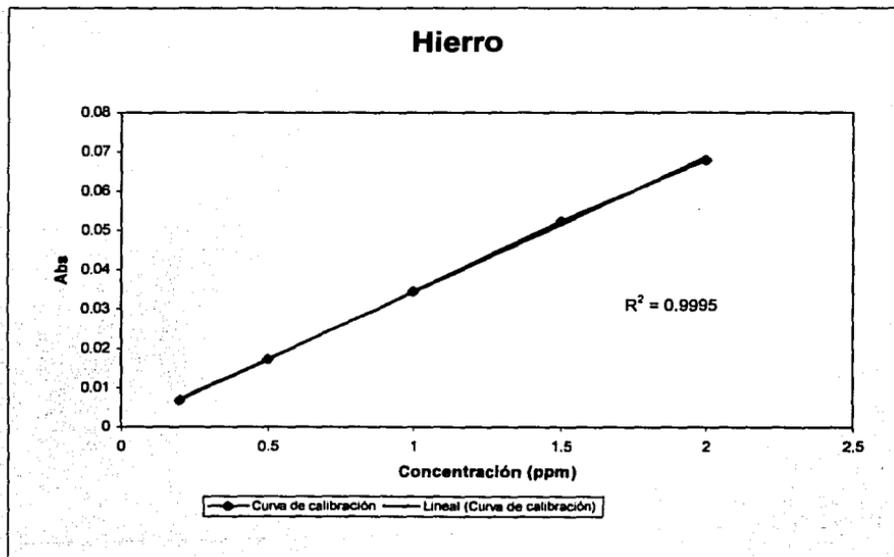


Hierro.

TABLA 4.3. Curva de Calibración de Hierro.

Curva de Calibración de Hierro		
Std.	Conc. (ppm)	Abs.
1	0.2	0.0068
2	0.5	0.0171
3	1	0.0345
4	1.5	0.0524
5	2	0.068
Ecuación		$Y = 0.0343x + 0.0001$
Coeficiente de Correlación		$R^2 = 0.9995$

GRAFICA 4.3. Curva de Calibración de Hierro.



4.1.2. Muestras.

Podemos observar en las graficas 4.4, 4.5 y 4.6. y comparándolo con las Normas Oficiales Mexicanas 001-ECOL-1996, 031-ECOL-1993 y 032-ECOL-1993 podemos observar que ninguna de las muestras analizadas sobrepasa los niveles máximos permisibles para los metales Cobre, Zinc y Hierro. Estos Límites son establecidos para las descargas, provenientes de la industria, actividades agroindustriales de servicios, de tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, y a las aguas provenientes de descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal, para disponer de estas mediante riego agrícola.

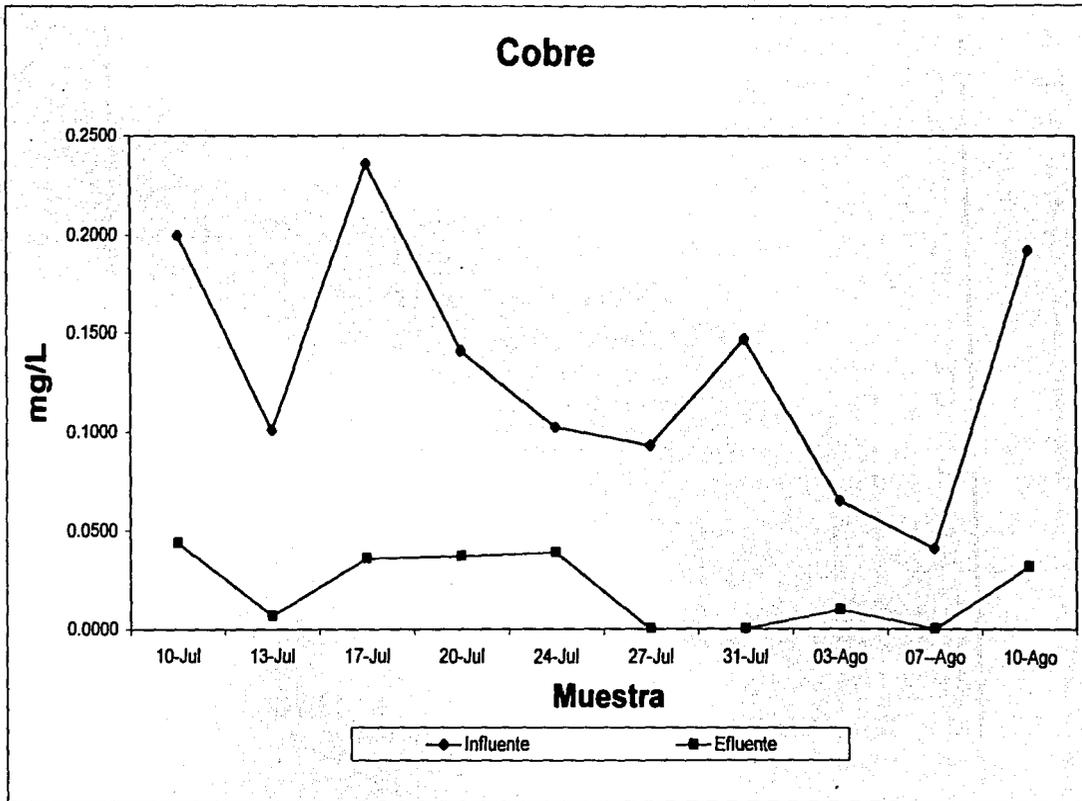
Podemos analizar también que dentro de la planta de tratamiento se retiene gran parte de estos metales, lo cual ayuda a mejorar la calidad del agua, ya que como sabemos estos metales tienden a acumularse debido a que no sufren ningún proceso de degradación y estos al acumularse en las tierras de cultivo pueden ser un factor serio para afectar la salud del hombre es importante que contemos con sistemas que retengan parte de estos metales para evitar su acumulación en las tierras de cultivo en donde es utilizada esta agua.

En la Tabla 4.12 puede observarse el grado de retención de estos metales dentro de la planta, esto se hizo comparando el promedio de las lecturas del influente con el promedio de las lecturas del efluente, y determinando de este modo la cantidad de metal que se está reteniendo dentro de la planta.

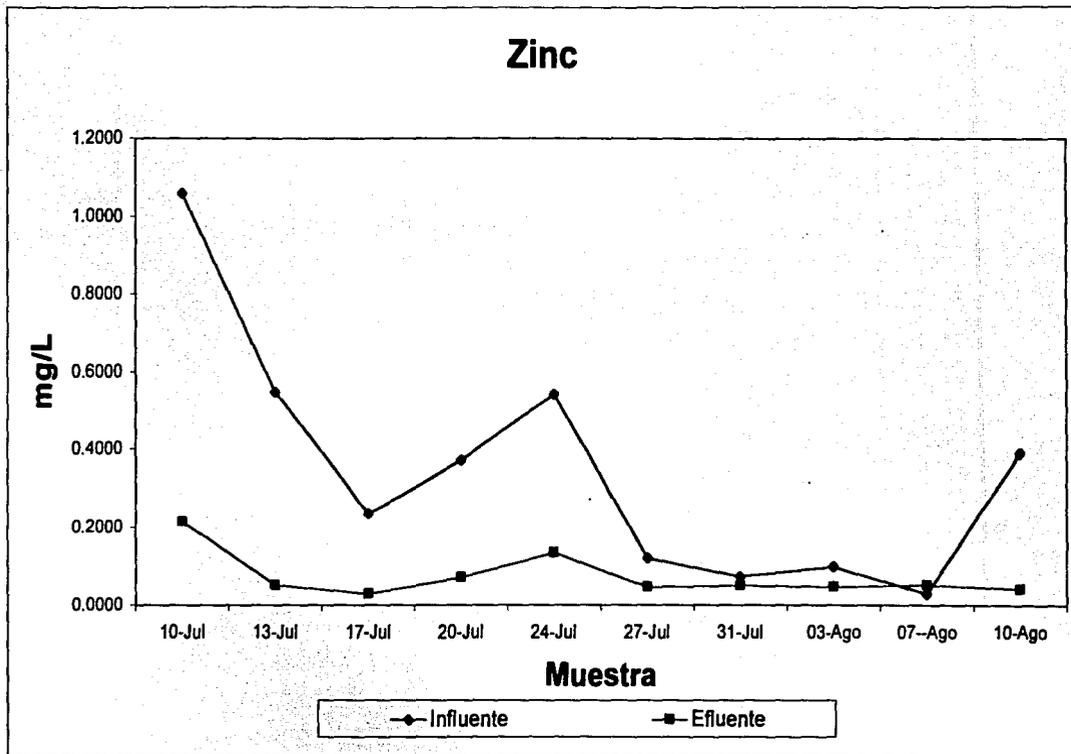
Podemos observar que para el caso del cobre, este es el metal que más es retenido dentro de la planta con un 84.45% lo cual indica que en realidad se esta reteniendo la mayor parte de el dentro de está, en el caso del zinc y el hierro, también son retenidos en gran parte 78.7 y 73.61% respectivamente, esto demuestra que el proceso de depuración dentro de la planta de tratamiento se esta llevando acabo de una manera efectiva para estos metales mejorando con ello la calidad

del agua y respetando las Normas de los límites máximos para las descargas de estos metales, con ello podemos decir entonces, que el agua producida o depurada dentro de la planta puede ser utilizada para la agricultura con respecto a estos contaminantes.

GRÁFICA 4.4. Concentración de Cobre en las muestras de Agua.

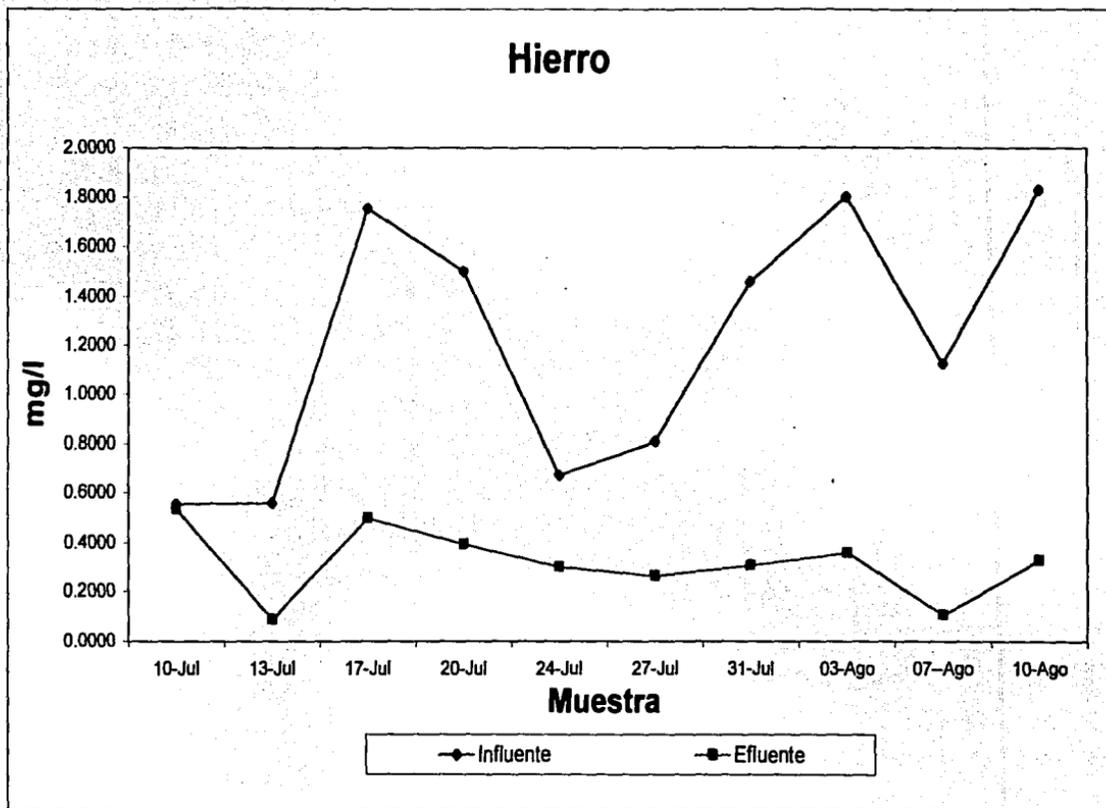


GRAFICA 4.5. Concentración de Zinc en las muestras de Agua.



GRAFICA 4.6. Concentración de Hierro en las muestras de Agua.

99



4.2. Horno de Grafito.

4.2.1. Curvas de Calibración.

Para la preparación de los estándares para el horno de microondas, solo fue necesario preparar un solución Stock, y el autodilutor hace las diluciones respectivas para preparar la curva de calibración.

Algo muy importante en el análisis por horno grafito es la corrección de fondo, en el caso de nuestro estudio se utilizo un corrector de fondo de Deuterio; este sistema de corrección corrige las interferencias no específicas de fondo que ocurren cuando el haz de luz se absorbe o se dispersa por especies moleculares o partículas sólidas en la zona de lectura.

La corrección es relativamente simple con la ayuda de una fuente de radiación de tipo continuo, la cual usualmente es una lámpara de deuterio y que presenta un espectro de emisión intenso desde 190 nm hasta 425 nm. Esto cubre la región UV donde la mayoría de las líneas de absorción ocurren y en donde los efectos de la absorción atómica ocurren y donde los efectos de absorción de fondo son más pronunciados.

En el instrumento de AA, la señal de la lámpara de cátodo hueco (HCL) y de deuterio (D_2) son moduladas, esto es que son "encendidas" y "apagadas" mediante una pulsación secuencial y el detector está capacitado para diferenciar esta pulsación vía electrónica por modulación sincrónica.

Cuando el detector recibe únicamente la señal de la lámpara de cátodo hueco, la absorbancia es medida ($A_t = A_a + A_f$) y cuando reciba la señal de la lámpara de deuterio solo la absorción de fondo es medida (A_f). La señal de fondo entonces es sustraída electrónicamente de la señal de absorbancia total y el resultado analítico es corregido ($A_a = A_t - A_f$).

Una de las ventajas de este método es que detecta hasta ppb y el volumen de la muestra es muy pequeño.

Otro aspecto importante es la etapa de secado la cual debe proporcionar la completa desolvatación de la muestra seleccionando apropiadamente la temperatura y el tiempo de calentamiento, los cuales dependen del punto de ebullición y volumen del disolvente respectivamente.

La temperatura de secado debe ser asignada justamente 1 a 2 °C por debajo del punto de ebullición del disolvente, evitando la pérdida de la muestra por efecto de una ebullición violenta.

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

La señal obtenida después de una atomización siempre será mediante la representación gráfica de un pico. La forma y tamaño de los picos pueden ser muy variable, pero es importante que solo se vea un pico, si se observan más o deformaciones podrían ser la señal de que hay una interferencia.

En las tablas 4.4., 4.5, 4.6, y 4.7. se presentan las concentraciones de los estándares utilizados y las absorbancias obtenidas para el plomo, cadmio, níquel y cromo respectivamente, en el análisis estadístico que se les realizó a estas curvas podemos observar que los coeficientes de correlación son los siguientes para cada una de las curvas de los diferentes analitos 0.9943, 0.9931, 0.9940 y 0.9988 respectivamente, estos datos estadísticos demuestran que las curvas realizadas son útiles para el análisis de nuestras muestras.

En las graficas 4.7, 4.8, 4.9, y 4.10. se representan gráficamente estos resultados, y se les adiciona la línea de tendencia, de esta manera podemos observar la desviación que hay de cada uno de los puntos y de igual forma que en el análisis estadístico se puede observar que los resultados obtenidos de estas líneas son útiles para nuestro análisis.

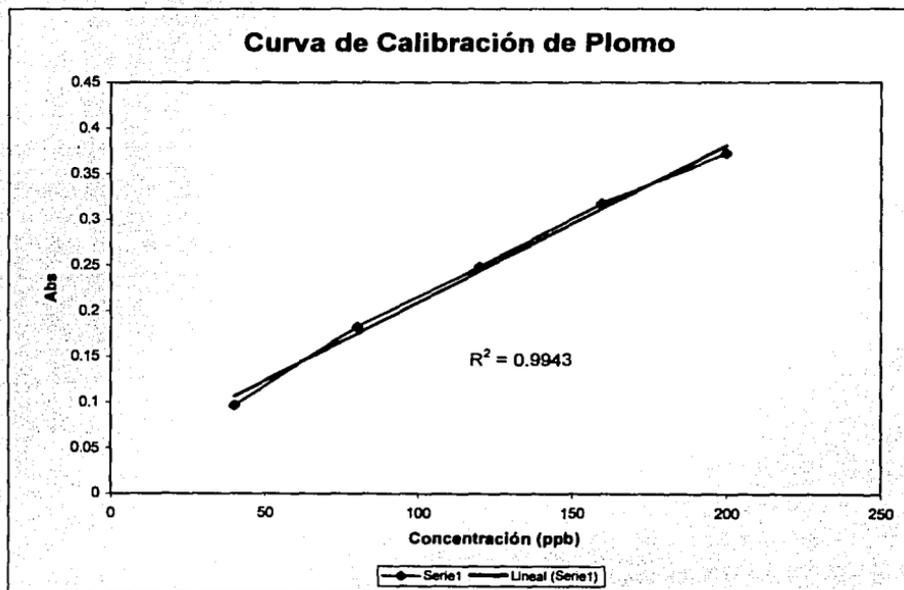
Plomo.

TABLA 4.4. Curva de Calibración de Plomo.

Curva de calibración de Plomo.

Std	Conc (ppb)	Abs.
1	40	0.0965
2	80	0.1824
3	120	0.2483
4	160	0.3179
5	200	0.3728
Ecuación		$Y = 0.0017x + 0.0371$
Coeficiente de determinación		$R^2 = 0.9943$

GRAFICA 4.7. Curva de Calibración de Plomo.

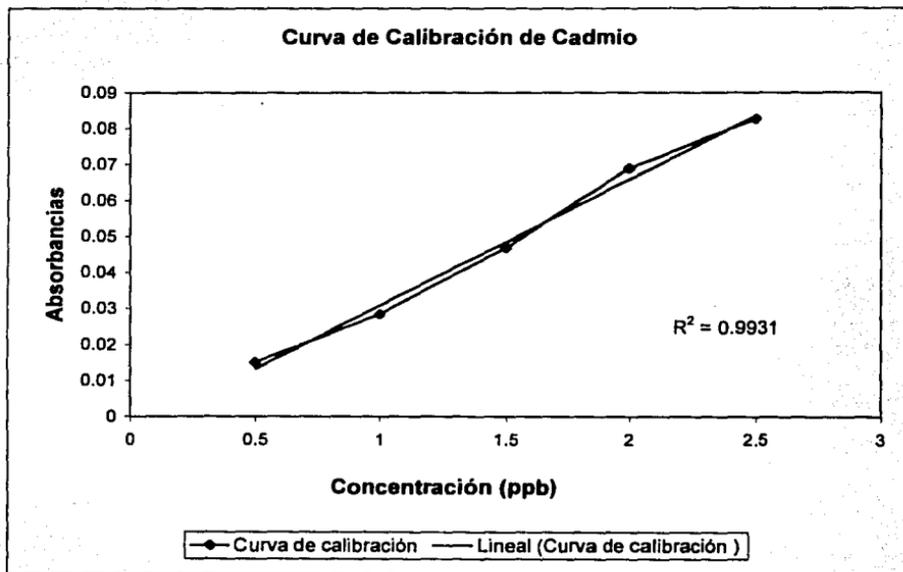


Cadmio.

TABLA 4.5. Curva de Calibración de Cadmio.

Curva de Calibración de Cadmio		
Std.	Conc. (ppb)	Abs.
1	0.5	0.0151
2	1	0.0284
3	1.5	0.0469
4	2	0.069
5	2.5	0.0827
Ecuación		$Y = 0.0352x - 0.0043$
Coeficiente de determinación		$R^2 = 0.9931$

GRAFICA 4.8. Curva de Calibración de Cadmio.



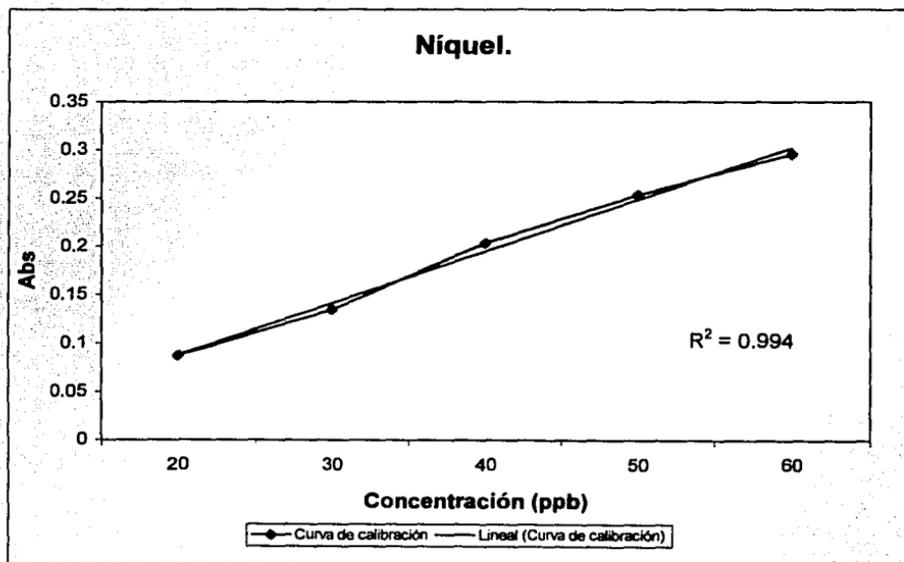
Níquel

TABLA 4.6. Curva de Calibración de Níquel.

Curva de Calibración de Níquel.

Std.	Conc. (ppb)	Abs.
1	20	0.0874
2	30	0.1349
3	40	0.2037
4	50	0.2535
5	60	0.2965
Ecuación		$Y = 0.0537x + 0.0342$
Coeficiente de determinación		$R^2 = 0.994$

GRAFICA 4.9. Curva de Calibración de Níquel.

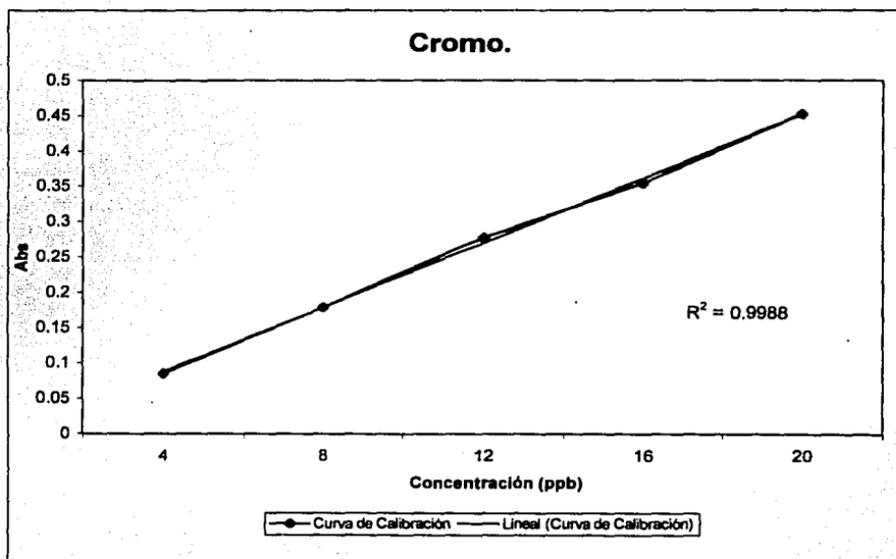


Cromo.

TABLA 4.7. Curva de Calibración de Cromo.

Curva de Calibración de Cromo.		
Std.	Conc. (ppb)	Abs.
1	4	0.0853
2	8	0.1786
3	12	0.2777
4	16	0.3551
5	20	0.4527
Ecuación		$Y = 0.0911x - 0.0035$
Coeficiente de determinación		$R^2 = 0.9988$

GRAFICA 4.10. Curva de Calibración de Cromo.



4.2.2. Muestras.

Al igual que en el caso de los otros metales analizados, podemos ver una disminución en la concentración de las muestras del efluente con respecto a las del influente (Ver tablas 4.10, 4.11 y 4.12 al final de este capítulo), ninguna de las concentraciones obtenidas sobrepasa los niveles permisibles que establecen las Normas Oficiales Mexicanas 001-ECOL-1996, 031-ECOL-1993 y 032-ECOL-1993. Las cuales establecen los límites máximos permisibles de descargas, provenientes de la industria, actividades agroindustriales de servicios y de tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, y a las aguas provenientes de descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal, para disponer de estas mediante riego agrícola.

Como sabemos el Plomo es uno de los contaminantes de mayor interés en el Valle de México y uno de los que más afectan la salud de los habitantes, la Norma Oficial 001-ECOL-1996, establece que tanto el plomo como el cadmio son considerados como componentes tóxicos del agua y su concentración máxima permisible es de 500 ppb para el plomo y 200 ppb para el cadmio, en las muestras analizadas tratándose de muestras instantáneas y de ser muestreada la planta de tratamiento por alrededor de mes y medio tomando dos muestras cada semana podemos decir que la concentración del agua que se desecha al alcantarillado público por las industrias ubicadas en Tlalnepantla y los desechos urbanos y municipales no sobrepasan la norma para descargas para estos contaminantes, siendo la concentración media del efluente para el plomo de 64 ppb y para cadmio de 4.8 ppb y las concentraciones máximas analizadas (ver graficas 4.11. y 4.12.) son de 280 ppb para el plomo y 10.6 ppb para el cadmio, estas concentraciones fueron obtenidas del influente de la planta, mientras que en el efluente encontramos una media de 29 ppb para el plomo y de 4.1 para el cadmio, aquí al igual que los otros metales analizados podemos ver una disminución del plomo y cadmio, de un 54.1% y 14.6 respectivamente (ver tabla 4.4.3 al final de este Capítulo). el límite máximo permisible para el tratamiento de aguas residuales lo establece la Norma Oficial Mexicana 031-ECOL-1993 la cual establece una concentración instantánea para plomo de 2,000 ppb y para cadmio de 1,000 ppb, entonces

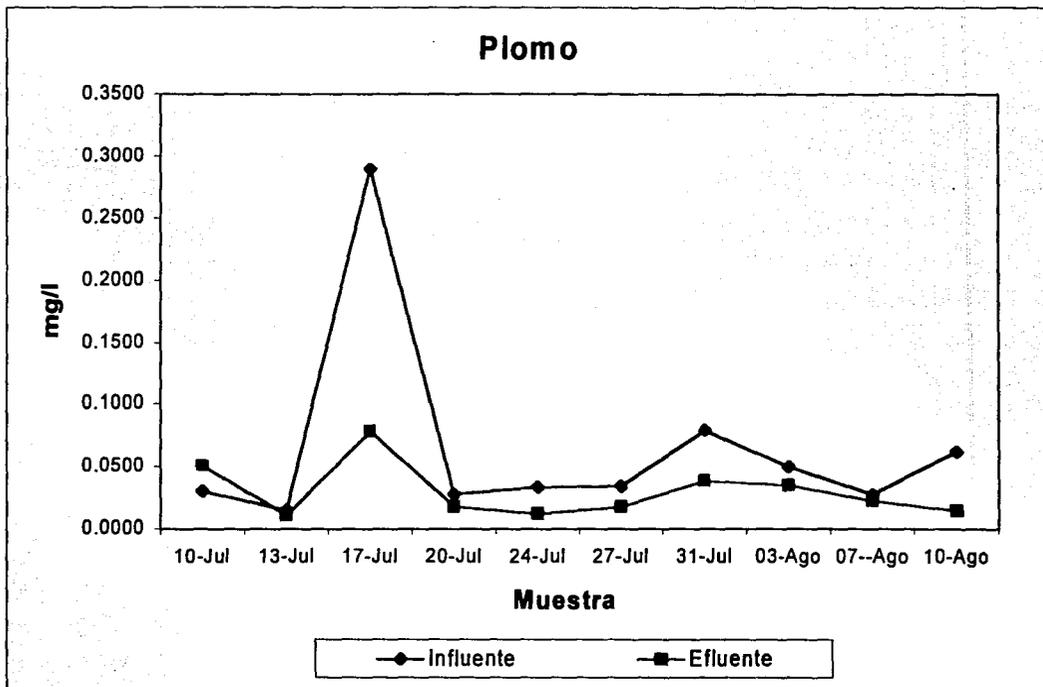
podemos apreciar que las concentraciones obtenidas del análisis están muy por de bajo de la norma y que por lo tanto la planta de tratamiento cumple con las especificaciones de esta Norma.

Para el caso del cromo y níquel, se establece en las normas que las concentraciones máximas permisibles son de 1 ppm para el cromo y 2 ppm para el níquel, la concentración media obtenida del influente fue de 0.014 y 0.032 ppm las cuales están muy por debajo de la Norma, la concentración máxima analizada fue de 0.0257 ppm para cromo y 0.0553 ppm para níquel lo cual demuestra que las industrias de Tlalnepantla y los desechos urbanos y municipales vertidos al alcantarillado público no sobrepasan los límites la Norma 001-ECOL-1996.

Las graficas 4.13 y 4.14. muestran las concentraciones de las muestras del influente y del efluente para cromo y níquel, ahí se puede observar que ninguna de las muestras sobrepasa los niveles máximos permisibles establecidos por las normas oficiales 001-ECOL-1996, 031-ECOL-1993 y 032-ECOL-1993 y se observa en la tabla 4.12 que el grado de depuración para el caso del cromo es un poco deficiente ya que solo se elimina el 2.37%, en cambio el níquel es eliminado en un 76.1% de la concentración que entra a la planta, pero en ninguno de los casos sobrepasa la Norma 031-ECOL-1996 la cual establece un límite máximo permisible de 5.0 ppm para el cromo y 8.0 ppm para el níquel.

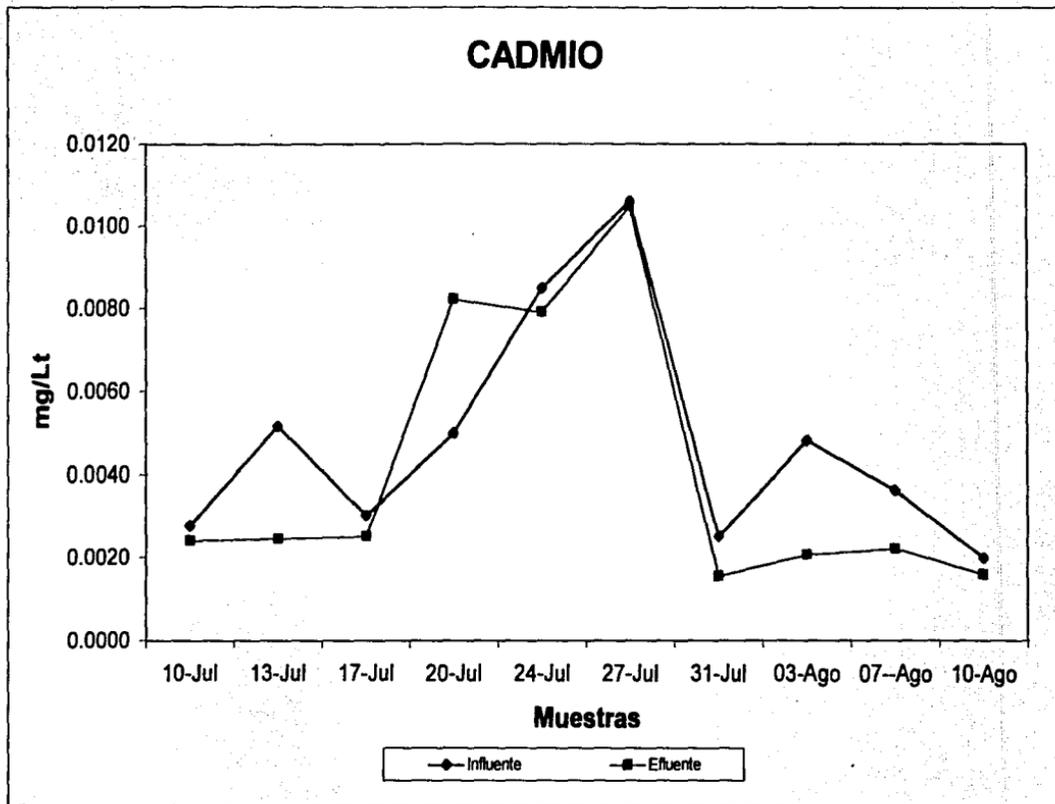
Los límites máximos permisibles para disponer del agua residual para uso agrícola, lo establece la Norma Oficial Mexicana 032-ECOL-1993 y las concentraciones máximas permisibles para estos metales es de 200 ppb para plomo, 10 ppb para cadmio, 100 ppb para cromo y 5,000 ppb para níquel. En el caso de plomo, cromo y níquel, ninguna de las muestras sobrepasa la norma pero en el caso del cadmio dos de las muestras analizadas sobrepasan la concentración máxima permisible, una de las muestras es del influente y otra del efluente las cuales pertenecen al día 27 de julio, aunque no lo sobrepasa por mucho puesto que la concentración en el influente fue de 10.6 y 10.5 ppb en el efluente, la concentración media para el influente fue de 4.6 ppb y 4.1 ppb para el efluente, por lo que se tiene que tener un mayor control de este metal en el futuro ya que se considera como un componente tóxico del agua

GRAFICA 4.11. Concentración de Plomo en las muestras de Agua.



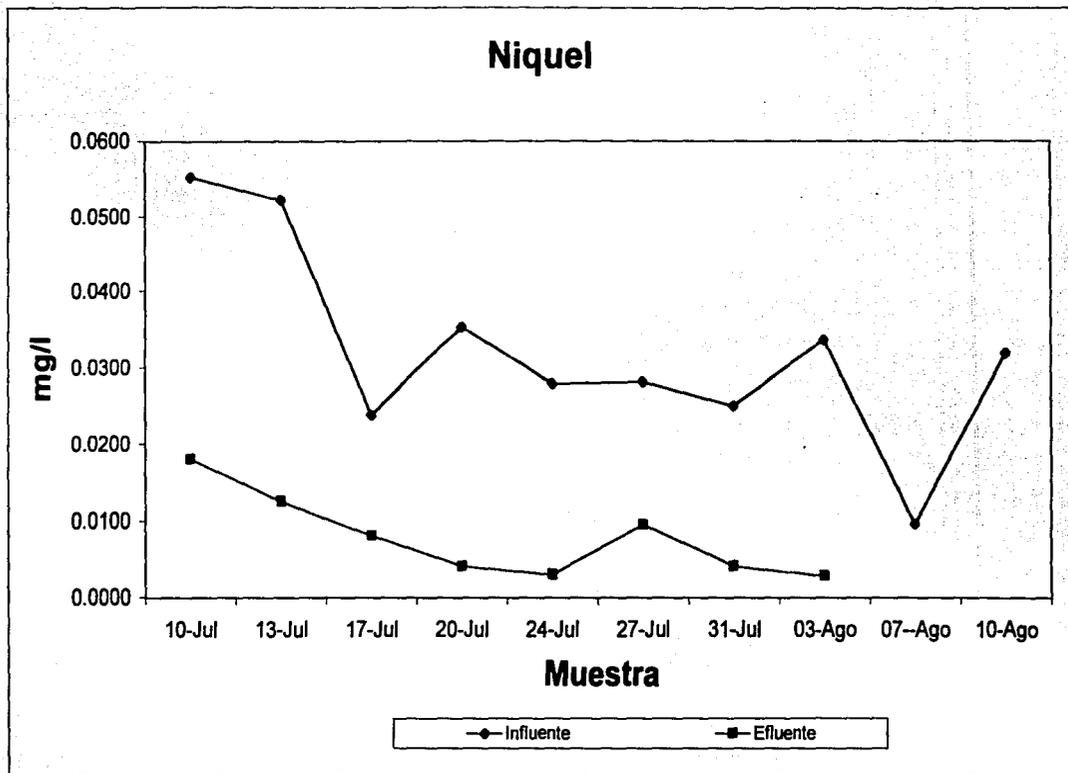
GRAFICA 4.12. Concentración de Cadmio en las Muestras de Agua.

75

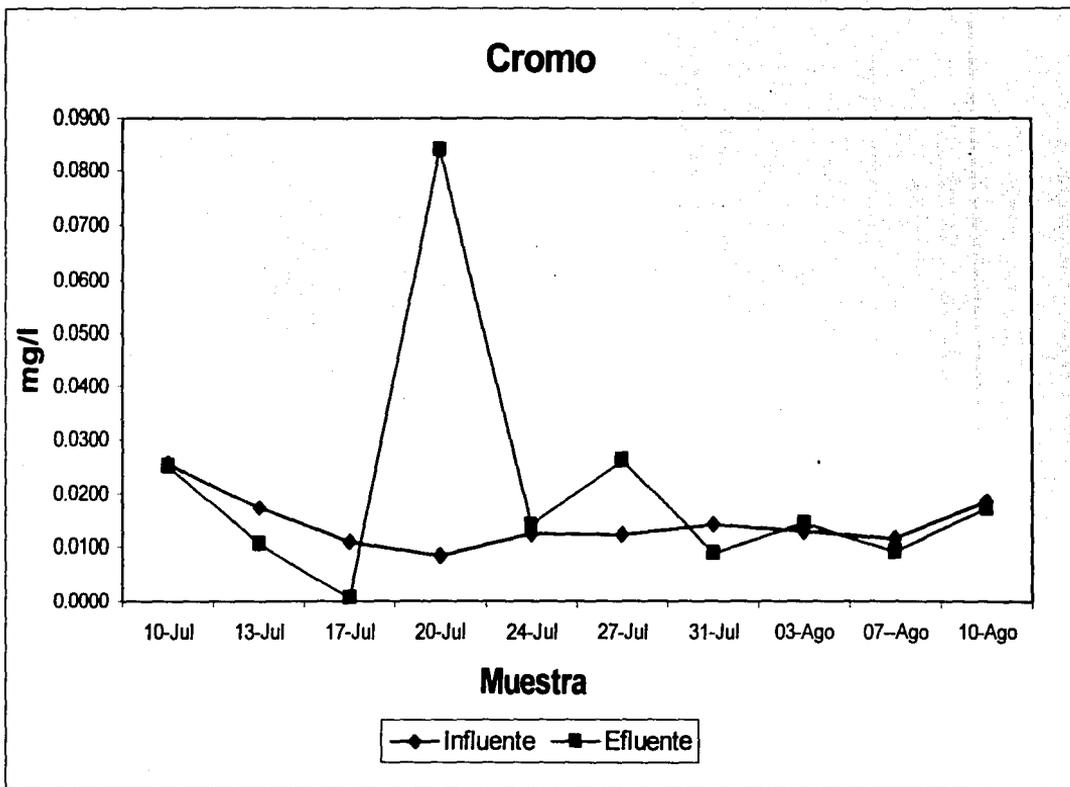


GRAFICA 4.13. Concentración de Níquel en las Muestras de Agua.

76



GRAFICA 4.14. Concentración de Cromo en las Muestras de A.



4.1. Generador de Hidruros.

4.1.1. Curvas de Calibración.

Para la preparación de las curvas de calibración se partió de soluciones con 1,000 ppm de los elementos a analizar (Mercurio y Arsénico), realizándose las diluciones necesarias para obtener las concentraciones que se iban a analizar.

En las Tablas 4.8 y 4.9. se muestran las curvas de calibración para cada uno de los analitos y las absorbancias que se obtuvieron de cada uno de ellos respectivamente; tomando en cuenta que los estándares se leyeron por triplicado, reportando el valor promedio.

En las graficas 4.15 y 1.16. se muestran las curvas de calibración de Mercurio y Arsénico respectivamente, realizándose para cada una de ellas un análisis de correlación lineal, para comprobar el comportamiento lineal en las concentraciones utilizadas y determinar de este modo si eran útiles para la cuantificación de las muestras.

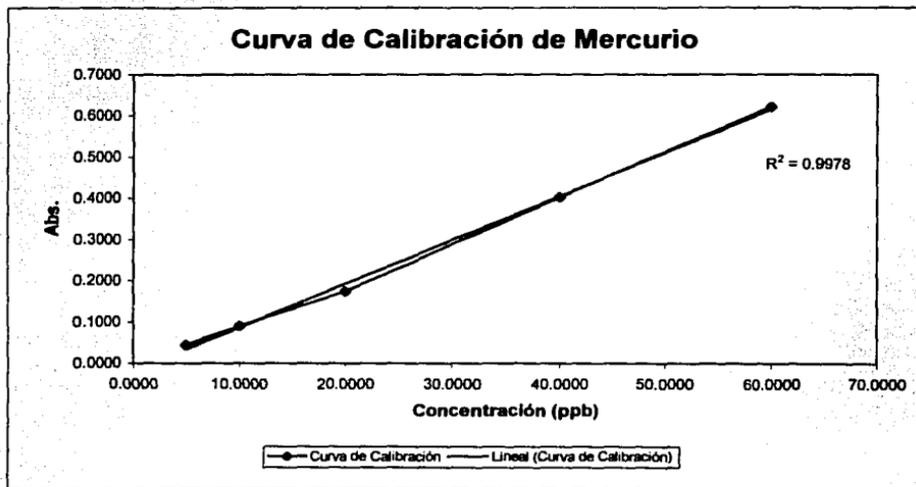
En la Tabla 4.10 se muestran las concentraciones de las muestras y el promedio de cada una de ellas, en esta tabla se puede observar que las concentraciones promedio de las muestras quedan por debajo de la curva, pero debemos recordar que la concentración más baja de la curva es el límite de cuantificación del elemento analizado, que es de 5 ppb para cada uno de ellos. Pero nos es útil por que así podemos demostrar que en las muestras analizadas no había gran cantidad de este metal. Las concentraciones obtenidas, fueron utilizadas al igual que para los demás elementos para determinar la cantidad del elemento que es retenido dentro de la planta de tratamiento.

Mercurio.

TABLA 4.8. Curva de Calibración de Mercurio.

Curva de Calibración de Mercurio.		
Std.	Conc. (ppb)	Abs.
1	5	0,0443
2	10	0,0899
3	20	0,1737
4	40	0,4033
5	60	0,6220
Ecuación		$Y = 0,0106x - 0,0196$
Coeficiente de determinación		$R^2 = 0,9978$

GRAFICA 4.15. Curva de Calibración de Mercurio.

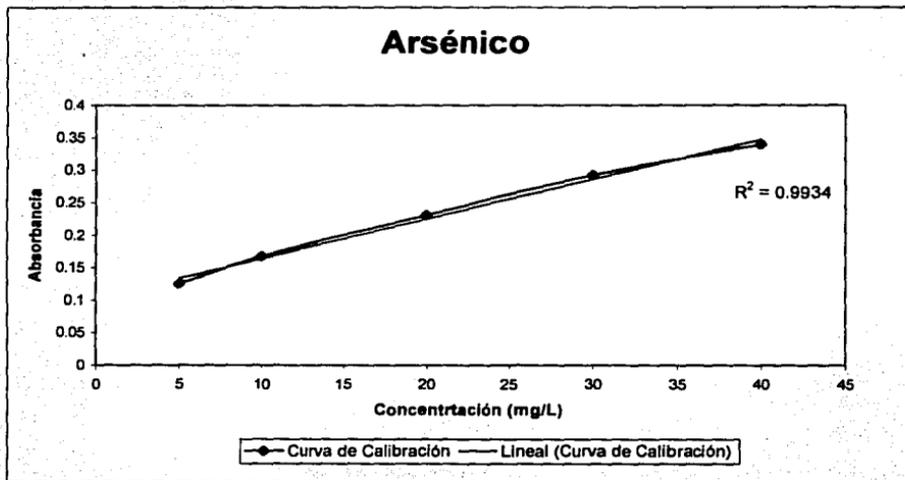


Arsénico.

TABLA 4.9. Curva de Calibración de Arsénico.

Curva de Calibración de Arsénico.		
Std.	Conc. (ppb)	Abs.
1	5	0.1255
2	10	0.1675
3	20	0.2308
4	30	0.2924
5	40	0.3397
Ecuación		$Y = 0.0061x + 0.103$
Coeficiente de determinación		$R^2 = 0.9934$

GRAFICA 4.16. Curva de Calibración de Arsénico.

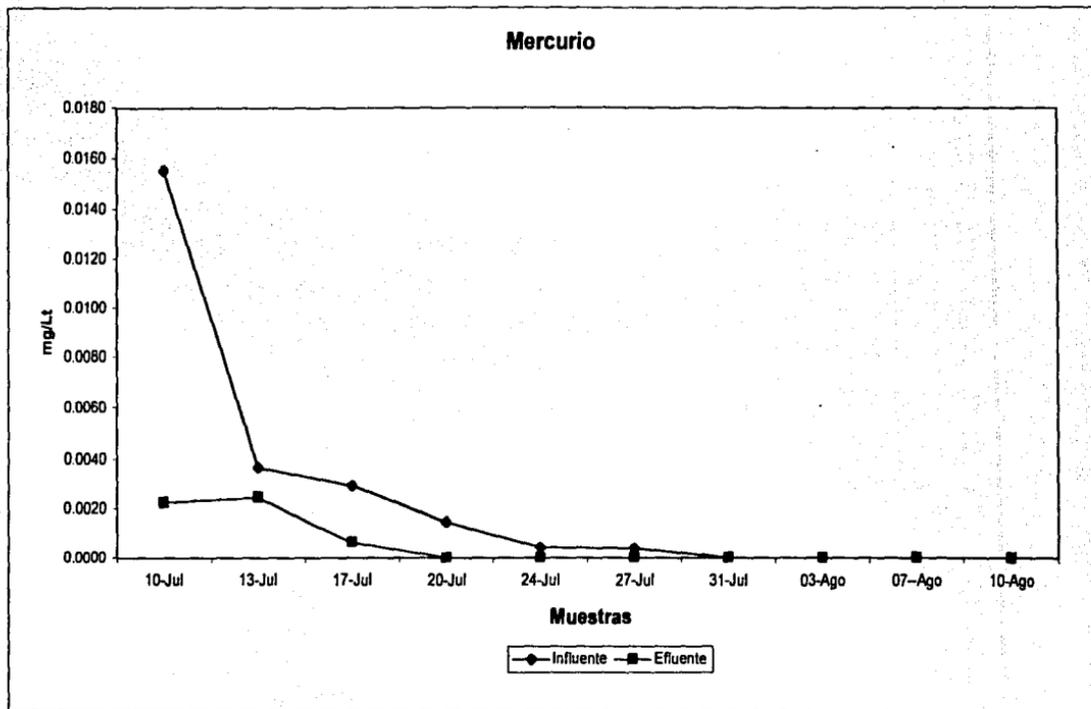


4.1.2. Muestras.

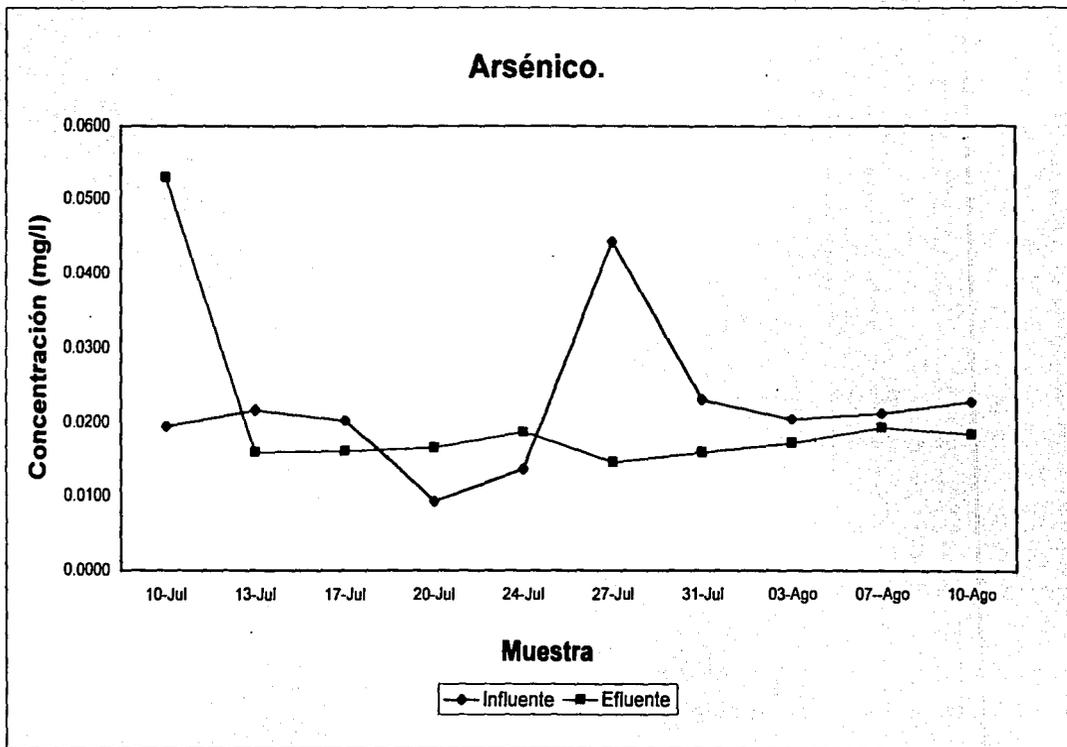
Debido a las concentraciones obtenidas que son muy pequeñas nos deja un rango muy corto para analizar lo que sucede dentro de la planta sobre estos metales, pero sí consideramos las concentraciones obtenidas podemos decir que la mayor parte del mercurio que entra dentro de la planta es retenido dentro de ella en un 76 %, mientras que para el Arsénico el porcentaje es muy bajo de tan solo 5.55% (Ver la Tabla 4.12) , esto puede ser debido a que las concentraciones en el influente son muy bajas, en ninguno de los casos, en el efluente y en el influente sobrepasan las Normas Oficiales 001-ECOL-1996, 031-ECOL-1993 y 032-ECOL-1993.

En las Graficas 4.17 y 4.18. están graficadas las concentraciones las concentraciones de las muestras, en donde se observa para el mercurio una disminución, hasta concentraciones no detectables, mientras que para el arsénico las concentraciones son más estables, las variaciones en ellas son muy pocas y donde se observa una variación más grande es el influente

GRAFICA 4.17. Concentración de Mercurio en las Muestras de Agua.



GRAFICA 4.18. Concentración de Arsénico en las Muestras de Agua.



4.2. RESUMEN.

En esta última parte del capítulo, hacemos una recopilación de los resultados obtenidos, para poder apreciar de manera más clara lo que le sucede a las concentraciones de los metales dentro de la planta, en la Tabla 4.12, con ayuda de las Tablas 4.10 y 4.11, colocamos las concentraciones de los metales analizados para cada una de las muestras, y promediando las concentraciones en el influente y el efluente, podemos observar una disminución en la concentración de los metales medidos, con esto pudimos construir la Tabla 4.12 en donde se muestra el porcentaje de retención para cada uno de los metales analizados así podemos analizar que el cobre, zinc, hierro y níquel, son los metales que más son retenidos dentro de la planta, aquí hicimos una acepción con el mercurio, ya que las concentraciones analizadas fueron muy bajas, fuera del límite de detección, por lo que en este apartado no se consideraran las concentraciones obtenidas y solo lo analizaremos como un metal que esta dentro de los límites permitidos en las normas oficiales que lo regulan. También se puede observar en la Tabla 4.12 que los metales que son retenidos en menor medida son el cromo, cadmio y arsénico, en las Tablas 4.10 y 4.11 se puede observar que dos de las muestras rebasan la concentración permitida por la Norma Oficial NOM-032-ECO-1993; en este punto se recomienda que se tenga un mayor control para este contaminante y de ser posible suplementar un tratamiento para que exista una mayor retención de él dentro de la planta.

En las Tablas 4.10 y 4.11, se muestran los promedios de las concentraciones de las muestras y debajo de ellas las normas que las regulan, ahí podemos observar que las concentraciones promedio de los metales analizados no rebasan los límites permisibles, por lo que podemos decir que están bajo la regulación de las Normas Oficiales que las rigen.

TABLA 4.10 Concentración de Metales Pesados en las Muestras de Agua Analizadas en el Influyente.

Influyente

Muestra	Cobre	Zinc	Hierro	Plomo	Cadmio	Níquel	Cromo	Mercurio	Arsénico
10-Jul	0.2000	1.0600	0.5560	0.0299	0.0028	0.0553	0.0257	0.0155	0.0195
13-Jul	0.1010	0.5478	0.5590	0.0143	0.0052	0.0523	0.0173	0.0037	0.0216
17-Jul	0.2360	0.2356	1.7520	0.2893	0.0030	0.0239	0.0110	0.0029	0.0202
20-Jul	0.1410	0.3698	1.5005	0.0274	0.0050	0.0355	0.0085	0.0015	0.0093
24-Jul	0.1020	0.5410	0.6690	0.0334	0.0085	0.0279	0.0124	0.0005	0.0135
27-Jul	0.0930	0.1207	0.8080	0.0336	0.0106(*)	0.0281	0.0123	0.0004	0.0443
31-Jul	0.1470	0.0746	1.4570	0.0791	0.0025	0.0250	0.0141	0.0000	0.0230
03-Ago	0.0650	0.0991	1.8000	0.0496	0.0048	0.0337	0.0129	0.0000	0.0203
07--Ago	0.0410	0.0291	1.1225	0.0273	0.0037	0.0096	0.0118	0.0000	0.0211
10-Ago	0.1920	0.3892	1.8275	0.0619	0.0020	0.0319	0.0184	0.0000	0.0228

Promedio	0.1318	0.3467	1.2052	0.0646	0.0048	0.0323	0.0144	0.0025	0.0216
----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Límite Permissible ^a	5.0	6.0	NP	1.0	0.5	4.0	2.5	0.01	0.5
Límite Permissible ^b	0.2	2.0	5.0	5.0	0.01	0.2	0.1	NP	0.1

Las concentraciones se encuentran en mg/L

^a Según la Norma Oficial NOM-031-ECOL-1993.

^b Según la Norma Oficial NOM-032-ECOL-1993.

TABLA 4.11 Concentración de Metales Pesados en las Muestras de Agua Analizadas en el Efluente.

Efluente

Muestra	Cobre	Zinc	Hierro	Plomo	Cadmio	Níquel	Cromo	Mercurio	Arsénico
10-Jul	0.0440	0.2144	0.5340	0.0504	0.0024	0.0180	0.0252	0.0023	0.0529
13-Jul	0.0070	0.0528	0.0900	0.0108	0.0025	0.0125	0.0106	0.0025	0.0158
17-Jul	0.0360	0.0294	0.5000	0.0779	0.0025	0.0081	0.0007	0.0007	0.0159
20-Jul	0.0370	0.0716	0.3935	0.0176	0.0082	0.0040	0.08394(*)	0.0000	0.0164
24-Jul	0.0390	0.1348	0.3010	0.0120	0.0079	0.0029	0.0140	0.0000	0.0185
27-Jul	0.0000	0.0466	0.2620	0.0177	0.0105(*)	0.0095	0.0262	0.0000	0.0144
31-Jul	0.0000	0.0502	0.3050	0.0380	0.0015	0.0040	0.0091	0.0000	0.0157
03-Ago	0.0100	0.0466	0.3575	0.0347	0.0021	0.0028	0.0144	0.0000	0.0169
07-Ago	0.0000	0.0510	0.1080	0.0225	0.0022	(*)	0.0093	0.0000	0.0191
10-Ago	0.0320	0.0412	0.3290	0.0149	0.0016	(*)	0.0172	0.0000	0.0182

Promedio	0.0205	0.0739	0.3180	0.0296	0.0041	0.0077	0.0141	0.0006	0.0204
----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Límite Permissible ^a	4.0	10	NP	0.5	0.2	2.0	1.0	0.01	0.2
Límite Permissible ^b	4.0	10	NP	0.2	0.1	2	0.5	0.01	0.1

Las concentraciones se encuentran en mg/l

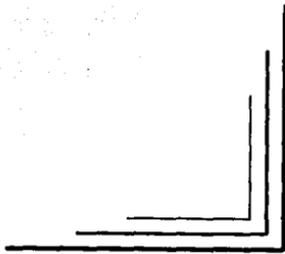
^a Según la Norma Oficial NOM-001-ECOL-1996 para su uso en riego agrícola.

^b Según la Norma Oficial NOM-001-ECOL-1996 para su uso público urbano.

TABLA 4.12. Porcentaje de Remoción de Metales Pesados Dentro de la Planta.

Parámetro	Influente Promedio (mg/l)	Efluente Promedio (mg/l)	Remoción Porcentaje
Cobre	0.1318	0.0205	84.45
Zinc	0.3467	0.0739	78.70
Hierro	1.2052	0.3180	73.61
Plomo	0.0646	0.0296	54.10
Cadmio	0.0048	0.0041	14.58
Niquel	0.0323	0.0077	76.09
Cromo	0.0144	0.0141	2.37
Mercurio	0.0025	0.0006	76.00
Arsénico	0.0216	0.0204	5.55

CONCLUSIONES



5. CONCLUSIONES.

El agua del influente como la del efluente que es trata en la Planta de Tratamiento *Aguas Residuales Vallejo*, cumple con las especificaciones de las Normas Oficiales que regulan los parámetros observados, las cuales son las Normas Oficiales NOM-031-ECOL-1993 y NOM-032-ECOL-1993.

Es importante este tipo de estudio, ya que en México un alto porcentaje de aguas residuales que se reutilizan para el riego agrícola, son provenientes de las zonas urbanas, industriales y refinerías, y estas no son tratadas, por lo cual pueden provocar una dispersión de contaminantes como lo son los metales pesados, los cuales contaminan el ambiente biótico y bioacumulación en los ecosistemas. En este trabajo se ha observado que los metales pesados en las aguas residuales provenientes de las industrias ubicadas en Tlalnepantla no sobrepasan los límites permisibles y cumplen con la normatividad vigente.

Dentro de la planta se pudo observar que en el caso de algunos metales estos son removidos en una buena proporción que son el caso del Cobre, Zinc, Hierro y Níquel, mientras que en los otros su concentración casi queda intacta.

ALIXOS

ANEXO 1

DEFINICIONES.

Aguas pluviales.

Aquellas que provienen de las lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y el granizo.

Aguas residuales.

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas residuales de proceso.

Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

Aguas residuales domésticas.

Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

Condiciones particulares para descargas al alcantarillado urbano o municipal.

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, establecidos por la autoridad competente, previo estudio técnico correspondiente, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.

Contaminantes.

Son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Descarga.

Acción de verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Instantáneo.

Es el valor que resulta del análisis de laboratorio a una muestra de agua residual tomada de manera aleatoria o al azar en la descarga.

Límite máximo permisible.

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Muestra compuesta.

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la especificación 4.10 de esta Norma Oficial Mexicana.

Muestra simple.

La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente él o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

Parámetro.

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

Promedio diario (P.D).

Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga.

Promedio mensual (P.M.).

Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal de los valores que resulten del análisis de laboratorio practicados al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un periodo de un mes.

Punto de descarga.

Es el sitio seleccionado para la toma de muestras, en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS

PARÁMETROS (*)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				SUELO			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
(miligramos por litro)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1	3	1	2	1	2	2	3	1	2	2	3	1	2
Cobre	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
Cromo	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	0.5	1
Mercurio	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

ANEXO 2.

SISTEMAS GENERADORES DE FLUJO CONTINUO.

Los generadores de flujo continuo son instrumentos que cuentan como un sistema de mangueras y un separador gas / líquido, a través de los cuales son proporcionados en forma continua reactivos y gas de arrastre, obteniéndose así una producción constante de vapor atómico o hidruros a través del haz de luz.

En este sistema la señal de absorbancia es obtenida en forma sostenida y ser interpretada por integración de períodos de tiempo previamente establecidos al igual que un análisis en flama.

El flujo de reactivos (ácido, reductor y muestra) son establecidos mediante una bomba peristáltica y el gas de arrastre (N_2 o Ar) es fijado por el instrumento. Una vez tomados los reactivos, se mezclan en el serpentín de reacción donde el vapor o los hidruros son generados en forma gaseosa. Posteriormente son llevados hacia el separador gas / líquido donde la fase líquida es drenada y el gas es arrastrado hacia la celda de cuarzo.

La celda debe ser alineada respecto al haz de luz haciéndole incidir a través de ésta. Existen dos tipos de celdas de cuarzo. Para análisis de hidruros y de *Flow-through* para análisis de vapor frío.

La celda de cuarzo para hidruros está abierta en sus extremos, y reducido su diámetro en la parte central por donde son introducidos los hidruros. Esta celda está diseñada principalmente para el análisis por vapor de mercurio también es factible. La celda puede ser calentada a una temperatura aproximada de 1000 °C mediante una flama aire - acetileno o por calentamiento eléctrico para disociar los hidruros. En el análisis de vapor no es necesario el calentamiento de la celda.

Los flujos de los reactivos son establecidos previos a una análisis y son validados para la técnica de generación de hidruros y vapor. El flujo es optimizado para cada canal de reactivos con el siguiente ajuste de la precisión de las mangueras a través de la bomba peristáltica.

El tipo de gas de arrastre no presenta ningún efecto sobre los resultados analíticos ya que solo sirve como medio de transporte de los gases generados y pueden ser utilizados (N_2), argón (Ar) o incluso aire. El flujo de gas de arrastre normalmente lo establece el sistema generador y no es necesario modificarlo. Mantener un flujo constante de gas evita tener variaciones en los resultados.

La solución de Borohidruro ($NaBH_4$) debe estabilizarse disolviendo primero en una solución de hidróxido de sodio al 0.5 % (p/v), si este no es estabilizado se descompondrá en uno o dos días. No debe prepararse más de 500 ml de solución al mismo tiempo si no se consumirá dentro de los primeros días.

La solución de Cloruro de Estaño II al 25 % (p/v) en HCl 20 % (v/v) se prepara disolviendo la sal en HCl concentrado, calentando ligeramente antes de agregar el agua.

Los intervalos típicos para los elementos analizados por generación de hidruros en general son de 5 - 100 ppb. El límite de detección para As y Hg es menor de 0.5 $\mu g/L$ y la precisión de las lecturas se encuentra entre 0.5 y 1.5 de desviación estándar relativa (% RSD).

Para el mercurio y el arsénico las muestras fueron tratadas en un horno de microondas, debido a que es importante cuidar el calentamiento del proceso, para evitar la volatilización de los metales y por lo tanto la obtención de resultados imprecisos en la determinación.

En la técnica de generación de vapor al igual que la de hidruros, el mercurio tiene con un estado óptimo de oxidación (Hg^{2+}) el cual debe obtenerse previamente a la formación de vapor atómico, por lo tanto, también requiere de un tratamiento de la muestra, la cual consiste en una oxidación y estabilización.

Mediante la digestión de la muestra el mercurio es llevado a su forma Hg^{2+} , la cual no requiere posterior reducción, ya que este es su estado de oxidación óptimo para la formación de vapor atómico. Sin embargo las soluciones de Mercurio $2+$ son normalmente inestables y deben ser estabilizadas adicionando HNO_3 5 % (v/v) o dicromato de potasio 0.01 % (p/v).

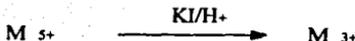
La generación del vapor atómico se lleva acabo mediante la reacción de reducción del Hg^{2+} en medio ácido dentro del sistema generador.

Los agentes reductores comúnmente utilizados en esta reacción son:

- Cloruro de Estaño II ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Borohidruro de sodio.

Reducción.

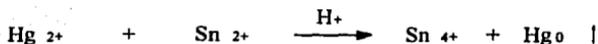
La reducción es esencial ya que mediante está el analito es llevado a su máximo estado de oxidación a su estado óptimo de oxidación para la formación de los hidruros. La reducción se lleva a cabo por la acción de un agente reductor y/o el pH del medio de reacción.



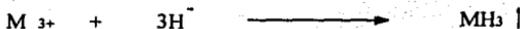
Formación de los Hidruros.

Una vez el analito en su estado óptimo de oxidación, es llevado al sistema generador donde se lleva a cabo la reacción de formación de hidruros.

El cloruro Estanoso se utiliza preferentemente al Borohidruro de sodio por simplificación en la preparación de la muestra y similitud de la sensibilidad.



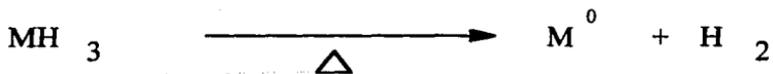
El medio de reacción debe ser ácido para que se complete la reacción.



Atomización.

Una vez formados los hidruros extremadamente volátiles a temperatura ambiente, son arrastrados por el flujo de gas hacia al haz de luz del instrumento el cual pasa a través de la celda de cuarzo.

La celda es calentada para disociar los hidruros, obteniendo así el metal libre y en estado basal.



El mercurio tiene una presión de vapor a temperatura ambiente tal, que puede existir en forma libre en estado basal, motivo por el cuál la técnica de vapor es aplicada exclusivamente al análisis de Mercurio. Una vez formado el vapor atómico y ser arrastrado, absorberá el haz de luz sin necesidad de ser calentada la celda.

Bibliografía.

1. Reporte del Consejo Nacional de Investigación (National Research Council, 1994).
2. Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento 1994 - 2000 Gobierno del estado de México.
3. Héctor Salgado Rodríguez. Aguas residuales, origen, características y tratamiento. Rector del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
4. <http://www.dgcoh.gob.mx/tratamiento1.html>
5. Abastecimiento, Distribución y Aguas de Desecho, Documento Comisión Nacional del Agua Documento 1992.
6. Informe Anual de Actividades 1999. Comisión Nacional del Agua.
7. <http://www2.adl.uam.es/~risito/contatrn.html>
8. Sarmiento Sarmiento, María de los Angeles. Los parásitos como Índice de Calidad para el Riego Agrícola FESC- Cuautitlan UNAM, (1988).
9. Manual de Evaluación y Manejo de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales. Estudio de caso Río Paraíba o Sul, Brasil
10. Jaime Miranda , Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas; Universidad de Chile; Beauchef 850, ; Casilla 2777; Santiago-Chile.
11. Hernández Muños, Aurelio; Depuración de Aguas Residuales; colección Señor; (1990) España.
12. Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales; Metcalf-Eddy.
13. <http://www.vnet.es/~juliorod/depura.html>
14. Norma Oficial Mexicana NOM - 001 - ECOL - 1996, "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales"
15. Norma Oficial Mexicana NOM 002 - ECOL - 1996. "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales Provenientes de la Industria, Actividades Agroindustriales, de Servicios y el Tratamiento de Aguas Residuales a los Sistemas de Drenaje y Alcantarillado Urbano o Municipal".
16. Norma Oficial Mexicana NOM - 003 - ECOL - 1997 "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para las Aguas Residuales Tratadas que se Reúsen en Servicios al Público"

17. Norma Oficial Mexicana NOM - 031 - ECOL - 1993 "Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales Provenientes de la Industria, Actividades Agroindustriales, de Servicios y el Tratamiento de Aguas Residuales a los Sistemas de Drenaje y Alcantarillado Urbano o Municipal.
18. Norma Oficial Mexicana NOM - 032 - ECOL - 1993 "Límites Máximos Permisibles de los Parámetros de los Contaminantes en las Aguas Residuales de Origen Urbano y Municipal para su Disposición Mediante Riego Agrícola"
19. Norma Mexicana NMX - AA - 003 - 1980. "Aguas Residuales - Muestreo"
20. Norma Mexicana NMX - AA - 051 - 1981. "Análisis de Agua- Determinación de Metales- Método espectrofotométrico de Absorción Atómica" dirección General de Normas.
21. Vazquez Hernández, Alejandro leonel; Análisis de Metales Pesados del Efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual "Macropianta Toluca Norte" Por Absorción Atómica; TESIS; FESC, UNAM, 1997.
22. Nonato Nonato, Fernando; "Sistemas de Atomización Utilizados en espectrofotometría de Absorción Atómica: Flama, Horno Grafito, Generador de Hidruros y Generador de Vapor, Para el Análisis de Muestras Complejas"; FESC, UNAM, 1997.
23. Navarrete M. L. Análisis de Aguas por espectrofotometría de Absorción Atómica VARIAN S.A. (1989) México.
24. Haswell, S.J. Atomic Absorption Spectrometry; Theory, Design and Applications. Elsevier, Amsterdam (1991).
25. C. Latino; John, A. Geosser, Zoe; Modern Flame Atomic Absorption Analysis of Waster; Perkin Elmer C.O. (CT 06859-0324 USA); Atomic Spectroscopy; Nov - Dic 1996. Vol 17, No. 6; pag 215 - 218.
26. Curso Teorico Practico de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Sección Química Analítica F.E.S. Cuautitlan 1996.
27. THE SPECTRAA 800 SERIES. VARIAN Australia Pty Ltd Mulgrave, Victoria Australia. Publicación No. 85-101042-00, Julio 1983.
28. Flame Absorption Spectrometry. Analytical Methods. Varian Australia Pty Ltd., Mulgrave Victoria, Australia Publicación No. 85-100009-00, Revised March 1989.
29. Analytical Methods for Graphite Tube Atomizers. Varian Australia Pty Ltd, Mulgrave, Victoria, Australia; Publication No 85-100848-00, September 1993.
30. Aquino de V. R., 1980. Contaminación marina por metales pesados y otros efluentes industriales y domésticos. H. Pérez N. (E), Contaminación e impacto ambiental marino costero. Equinoccio Edit. Univ. Simón Bolívar, Caracas , 109-129p.

31. Estudio de los Niveles de Plomo, Cadmio, Cinc y Arsénico, En Aguas de la Provincia de Salamanca Proyecto de Investigación Coordinado Multidepartamental subvencionado por la Junta de Castilla León nº 1884.. Angel Luis Blanco Hernández (1), Dionisio Alonso Gutiérrez(2), Oroncio Jiménez de Blas (3), Margarita Santiago Guervós(1), Benito de Miguel Manzano (1), (1) Hospital de Nuestra Señora de Sonsoles. Ávila.(2) Hospital Universitario. Salamanca (3) Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Salamanca. Universidad de Salamanca.
32. http://www.msc.es/revistas/resp/199801/f_199801.htm

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN