



73
24.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**ANALISIS DE METALES PESADOS DEL EFLUENTE
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL "MACRO PLANTA TOLUCA NORTE"
POR ABSORCION ATOMICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P R E S E N T A :

ALEJANDRO LEONEL VELAZQUEZ HERNANDEZ

ASESOR: OFI LETICIA ZUÑIGA RAMIREZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA F.E.-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

Al: Ing. Rafael Rodriguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

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

Análisis de mutageno potencial del sulfato de la Plata en Tratamiento de
agua residual "Influencia Toxicológica" por exposición crónica.

que presenta el pasante: Andrés Leónel Velázquez Hernández
con número de cuenta: 5112760 para obtener el TITULO de:
Químico Farmacéutico Biólogo

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida 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"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 5 de Septiembre de 1995

PRESIDENTE: M. en C. Elizabeth Toriz Garcia
VOCAL: M. en C. Leticia Jofre Ramirez
SECRETARIO: M. en C. Enrique Angeles Anguiano
MIEMBRO SUPLENTE: M. en C. Silvia Guzmán Contreras
SECRETARIO SUPLENTE: M. en C. Patricia Sánchez Martínez

Elizabeth Toriz Garcia
Leticia Jofre Ramirez
Enrique Angeles Anguiano
Silvia Guzmán Contreras
Patricia Sánchez Martínez

A mi padre...

.in memoriam

A mi madre con todo amor y cariño

A Roxana, Raúl y Gustavo

A Raquel con amor .

**A Samuel, Silvia, Astrid, Victor Ivan , Edgar
Samuel y Mauricio.**

ÍNDICE**INTRODUCCIÓN****OBJETIVOS****CAPITULO I GENERALIDADES**

| | Pág. |
|---|------|
| 1.1.- Agua residual----- | 1 |
| 1.1.1.- Contaminación del agua----- | 1 |
| 1.2.-Antecedentes históricos en el tratamiento del agua residual----- | 3 |
| 1.3.- Tratamiento del agua residual----- | 5 |
| 1.4.-Estudio de Caracterización fisicoquímica de aguas residuales - crudas y tratadas----- | 6 |
| 1.5.-Lineamientos de calidad del agua para la agricultura----- | 9 |
| 1.5.1.-Criterios de calidad fisicoquímica----- | 9 |
| 1.5.2.- Norma Oficial Mexicana NOM-032-ECOL-1993----- | 10 |
| 1.5.3.-Norma Oficial Mexicana NOM-031-ECOL-1993----- | 11 |
| 1.6.-Cinetica de los contaminantes ambientales----- | 13 |
| 1.6.1.-Toxicocinética----- | 15 |
| 1.6.2.-Toxicología de los metales pesados----- | 16 |
| 1.6.2.1.-Arsénico----- | 18 |
| 1.6.2.2.-Cadmio----- | 19 |
| 1.6.2.3.-Cromo----- | 20 |

| | |
|--|----|
| 1.6.2.4.-Mercurio | 21 |
| 1.6.2.5.-Plomo | 21 |
| 1.7.- Análisis de metales pesados en agua | 22 |
| 1.7.1.- Espectroscopia de absorción atómica | 23 |
| 1.7.1.1.-Instrumentación de absorción atómica | 25 |
| 1.7.1.2.-Espectroscopia basada en la atomización con llama | 26 |
| 1.7.1.3.-Técnica de generación de hidruros | 26 |
| 1.7.1.4.- Atomización electrotérmica (Horno de grafito) | 27 |

CAPITULO II MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|---|----|
| 2.1.-Zona de estudio | 28 |
| 2.2.-Estación de muestreo | 31 |
| 2.3.-Muestreo | 31 |
| 2.4.-Trabajo de laboratorio | 33 |
| 2.4.1.-Pretratamiento | 33 |
| 2.4.1.1.-Material y reactivos para tratamiento preliminar | 33 |
| 2.4.1.2.-Tratamiento preliminar de las muestras para el análisis de metales pesados totales | 34 |
| 2.4.2.-Método directo de llama aire-acetileno | 35 |
| 2.4.2.1.-Material y reactivos | 35 |
| 2.4.2.2.-Preparación de las muestras | 36 |
| 2.4.2.3.- Funcionamiento del instrumento | 36 |
| 2.4.2.4.- Análisis de muestras | 37 |

| | |
|--|----|
| 2.4.2.5.-Cálculos | 38 |
| 2.4.3.-Método espectrofotométrico de absorción atómica con generación de hidruros continuo | 38 |
| 2.4.3.1.-Material y reactivos | 38 |
| 2.4.3.2.-Generador continuo de hidruros | 39 |
| 2.4.3.3.-Cálculos | 40 |
| 2.4.4.-Método espectrofotométrico de absorción atómica electrotrémica | 40 |
| 2.4.4.1.-Material y equipo | 40 |
| 2.4.4.2.-Funcionamiento del instrumento | 41 |
| 2.4.4.3.-Análisis de muestras | 42 |
| 2.4.4.4.-Cálculos | 43 |
| 2.5.- Modelos de aparatos y equipos utilizados | 43 |

CAPITULO III RESULTADOS

| | |
|-----------------|----|
| 3.0.-RESULTADOS | 44 |
|-----------------|----|

CAPITULO IV ANÁLISIS ESTADÍSTICO

| | |
|---------------------------|----|
| 4.0.-ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 54 |
|---------------------------|----|

CAPITULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS

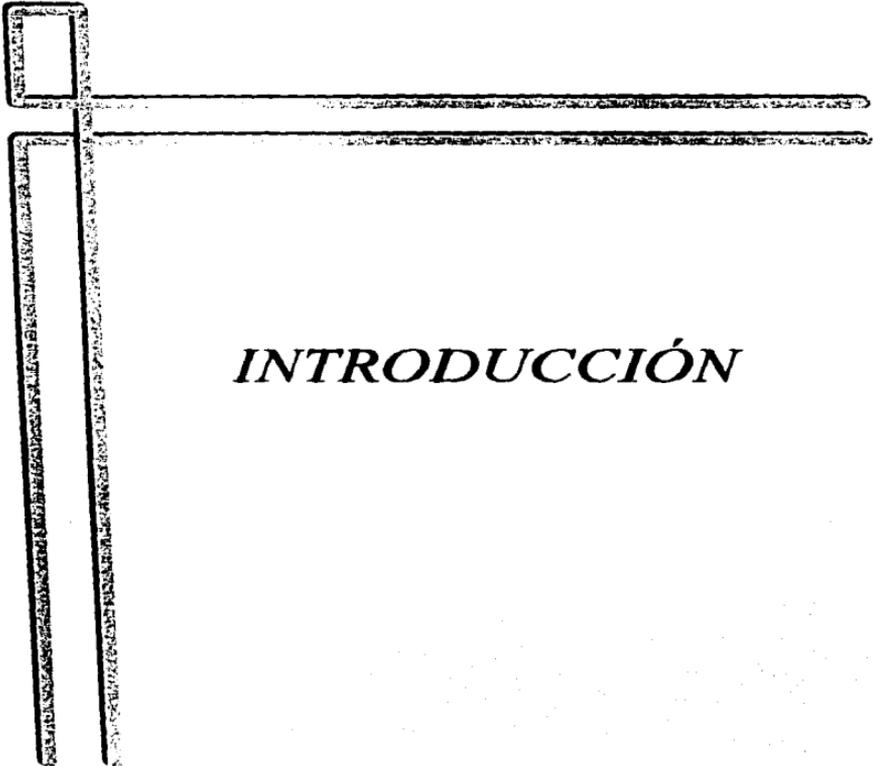
| | |
|-----------------------------|----|
| 5.0.-ANÁLISIS DE RESULTADOS | 69 |
|-----------------------------|----|

CAPITULO VI DISCUSIÓN

| | Pág. |
|-----------------------------|------|
| 6.0.-DISCUSIÓN | 73 |
| CONCLUSIONES | 76 |

ANEXOS

| | |
|--|-----|
| ANEXO I (Norma Oficial Mexicana NOM-001-1996) | 77 |
| ANEXO II (Determinación de cromo hexavalente) | 82 |
| ANEXO III (Secuencia de unidades de tratamiento) | 85 |
| ANEXO IV (Filtros biológicos) | 94 |
| ANEXO V (Criterios de calidad de agua de irrigación para elementos traza recomendadas por la FAO) | 101 |
| BIBLIOGRAFIA | 102 |



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El aumento en el conocimiento en años recientes acerca de los efectos acumulativos de la contaminación, ha llevado a una mayor preocupación general y a una legislación cada vez más estricta en lo que concierne a la descarga de residuos industriales, líquidos y gaseosos. Los productos residuales tienen que ser eliminados y disponer de los residuos acuosos, significa por lo general descargarlos en algún tipo de corriente de agua, como a un río, caudal, estuario o al mar. Cuando las aguas residuales descargadas no han sido del todo tratadas, el resultado será la contaminación de la corriente de agua, La prevención de la contaminación en las corrientes de agua tiene obviamente un valor ecológico, pero tiene también sólidas razones económicas. El agua es una materia prima esencial para numerosos procesos industriales y domésticos y constituye por lo tanto un vital recurso natural.

Por consiguiente, debido al elevado crecimiento poblacional, industrial y comercial, han ocasionado que las fuentes de abastecimiento sean actualmente insuficientes o se encuentren contaminadas, por lo que es necesario realizar estudios acerca del reuso de las aguas residuales crudas o tratadas para su posterior aprovechamiento en diversas actividades.

Por otra parte, las aguas residuales generan muchos problemas de contaminación ambiental y son focos de infección para la población en general.

La purificación biológica se utiliza comúnmente para tratar aguas de desecho que contienen materia orgánica disuelta. Las bacterias desdoblan los compuestos complejos en otros más sencillos y estables para su posterior aprovechamiento .

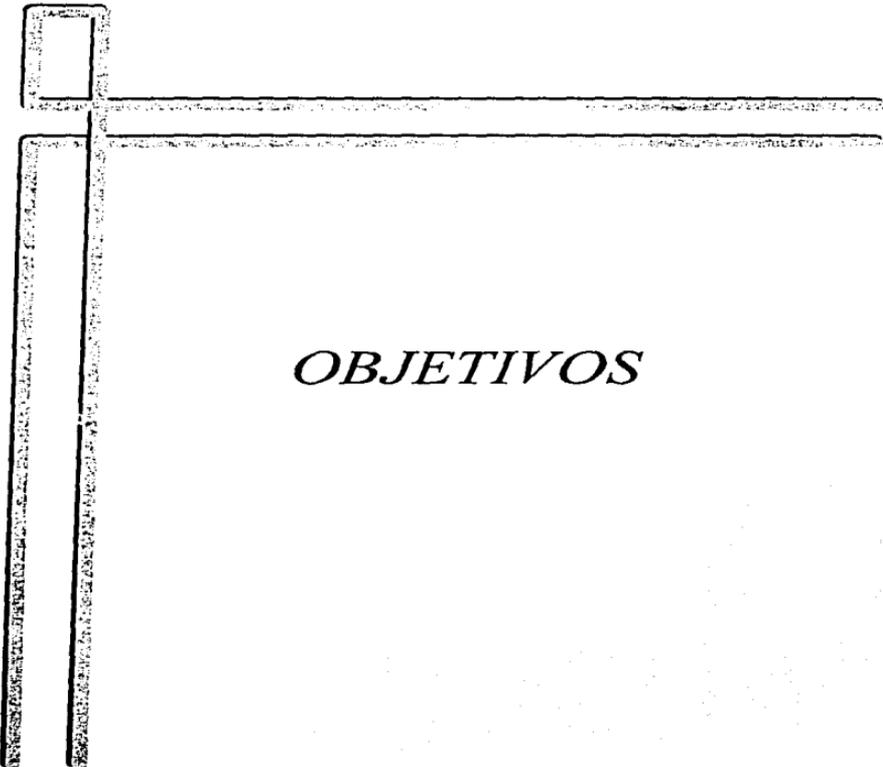
Las aguas residuales de origen municipal de la ciudad de Toluca y sus áreas conurbadas en los municipios de Metepec, San Mateo Atenco y Lerma son descargadas sin ningún tratamiento al Río Lerma y a los dos cauces principales del Río Verdiguél; las cuales son empleadas para riego agrícola.

Por tal motivo, el Laboratorio de Control de la Calidad del Agua de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS) realiza estudios relacionados con la caracterización microbiológica y fisico-química del influente y efluente de la Planta de Tratamiento "Macroplanta Toluca-Norte" diseñada para el saneamiento de la cuenca del Río Lerma.

Los metales pesados juegan un papel muy importante en la evaluación de los requerimientos necesarios que debe tener el agua de

reuso para el riego agrícola ya que representa la mayoría de los parámetros que deben analizarse para determinar si el agua cumple con las normas y directrices en vigor, dado los efectos nocivos que pueden causar a los consumidores.

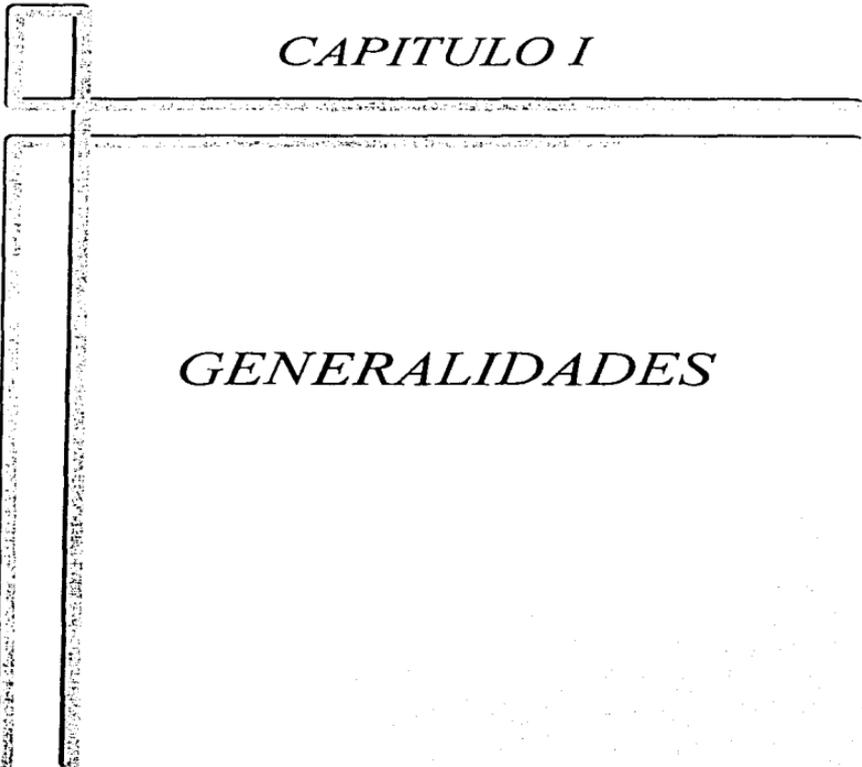
Por lo anterior las aguas residuales tratadas tienen que cumplir normas específicas de calidad antes de que se puedan volver a utilizar, ó con normas estrictamente definidas antes de que se puedan descargar a una corriente de agua.



OBJETIVOS

OBJETIVOS

- 1.- Determinar las características del agua residual del influente y efluente de la Planta de Tratamiento de agua residual "Toluca Norte" utilizada para el saneamiento del Río Lerma.**
 - 2.-Determinar el contenido de metales pesados en el agua residual del influente y efluente de la Planta de Tratamiento "Toluca Norte" y analizar si cumplen con las normas oficiales NOM-031-ECOL-1993 Y NOM-032-ECOL-1993 en cuanto a metales pesados se refiere.**
 - 3.- Observar el comportamiento de cada metal en el periodo de Marzo a Septiembre de 1995 en el efluente de la planta de tratamiento en estudio mediante un método estadístico de distribución de frecuencias.**
-



CAPITULO I

GENERALIDADES

1.- GENERALIDADES

1.1.- Agua residual

Es aquella agua o fluido de desecho, luego de ser usada por una comunidad o industria, que contiene materia orgánica, material disuelto y en suspensión. Tiene como característica común la de haber sido usada por el hombre. Se distinguen los siguientes tipos: aguas residuales urbanas y aguas residuales industriales.

Las aguas residuales urbanas se componen de aguas domésticas, procedentes de cocinas, baños, retretes, y aguas de limpieza de la vía pública. Finalmente, las aguas residuales industriales son de naturaleza muy variada debido a la diversidad de industrias situadas en el suelo urbano. (10) (12)

1.1.1.-Contaminación del agua

La mayor cantidad (97.2%) del agua existente en la tierra se localiza en los océanos. El agua dulce representa 2.8% , encontrándose la mayor parte en forma de hielos y el 0.63% del total es agua dulce disponible en ríos, lagos, arroyos, manantiales y depósitos subterráneos, lo cual indica que en realidad el volumen de agua dulce aprovechable por el hombre resulta muy reducido, aún sumándole a la última cifra indicada, el 0.02% del total, que representa el agua existente en la atmósfera (1) (3) (11)

En la actualidad existen muchas y muy diversas fuentes de contaminación del agua, siendo los centros de población una de las principales. Además las industrias generan aguas residuales con un sinnúmero de sustancias que

contribuyen grandemente al problema de la contaminación de aguas, al unirse a las aguas negras municipales y llegar en conjunto a las corrientes naturales.

Algunas sustancias son responsables de la disminución del contenido de oxígeno, lo cual es indicativo de su calidad, esto último se evalúa mediante la D.B.O. (Demanda Bioquímica de Oxígeno), y cuya magnitud es consecuencia del aumento de temperatura y del contenido de materia orgánica putrescible entre otros factores.

Las aguas negras municipales aunque causan daños al medio ambiente, a la larga son descompuestas aún en forma natural, en cambio cuando existen altas concentraciones de sustancias químicas contaminadoras, puede llegar a significar la destrucción del ecosistema acuático; tal es el caso de la presencia de metales pesados, plaguicidas, cianuros, arsénico, hidrocarburos, fenol, entre otros. (1)

Las aguas residuales son generadas por las actividades del sector social, que incluyen las descargas de origen doméstico y público; las del sector agropecuario que incluyen los efluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, así como por las actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo y satisfactorias para la población (1)

Las localidades que tienen la mayor proporción de habitantes, son aquéllas en las que se concentran la mayor parte de actividades industriales y las que dispone de una mayor cobertura en los servicios de agua potable y alcantarillado, constituyéndose así en las fuentes principales de generación de aguas residuales, siendo los ejemplos más claros las zonas localizadas en

torno a las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara, las cuales generan 46, 8.5 y 8.2 metros cúbicos por segundo respectivamente, lo que corresponde al 34 % del total generado a nivel nacional estimado en 184 metros cúbicos por segundo, de los cuales 105 corresponde a la población y 79 a la industria.

Por otra parte, el uso del agua como vehículo de desechos contaminantes y la poca importancia dada a su manejo y disposición, ha convertido a este sector en un elemento fundamental a ser considerado en el control para la preservación del recurso hidráulico, cuya disponibilidad se ve comprometida en amplias zonas del país. Las principales industrias responsables de la generación de mayores descargas de aguas residuales son: azucarera, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textil, siderúrgica, eléctrica y alimentos, tales giros corresponden prácticamente al 82 % del total de las aguas residuales generadas por el sector, destacando las industrias azucarera y química con el 59.8% del total. (11)

1.2.-Antecedentes históricos en el tratamiento del agua residual

Aunque la captación y drenaje de aguas pluviales datan de tiempos antiguos; la recogida de aguas residuales tiene su primer precedente en el siglo XIX. El tratamiento sistemático de las aguas residuales surgió a finales del siglo pasado y principios del presente. Los métodos intensivos de tratamiento del agua residual se desarrollaron en principio, como respuesta a su incidencia en la salud pública, y a las condiciones adversas causadas por los vertidos de aguas residuales al medio ambiente. El crecimiento de las ciudades, puso de relieve la importancia de la limitada disponibilidad de terreno necesario para la evacuación del agua residual mediante irrigación.

El desarrollo de la teoría del germen en la segunda mitad del siglo XIX por Koch y Pasteur marcó el inicio de una nueva era en el saneamiento. Antes de esta época la relación entre contaminación y enfermedades había sido estudiada tan sólo ligeramente, y la bacteriología, en aquel entonces en sus inicios, no había sido aplicada al tratamiento de las aguas residuales.

En Estados Unidos, el tratamiento y la eliminación de aguas residuales no recibió demasiada atención a finales del siglo XIX, porque la magnitud de los daños causados por los vertidos no tratados en las relativamente grandes masas de agua no era importante, y porque se disponía de grandes cantidades de terreno para su evacuación. A principios de este siglo, sin embargo, los daños y las condiciones sanitarias trajeron consigo una creciente demanda de que el tratamiento de las aguas residuales tuviera más eficacia. La imposibilidad de disponer de zonas suficientes para la evacuación en la tierra de agua residual no tratada, especialmente en grandes ciudades, condujo a la adopción de métodos de tratamiento más intensos. (3), (14)

En la actualidad, las operaciones y procesos unitarios se agrupan para constituir lo que se conoce como tratamientos primarios, secundarios y terciarios.

En general, los objetivos que se persiguen con el tratamiento se centran en:

- 1) Eliminación de materia en suspensión y flotantes
- 2) El tratamiento de la materia orgánica biodegradable
- 3) La eliminación de organismos patógenos (14), (24), (13)

1.3.-Tratamiento del agua residual

Se denomina así a cualquier proceso artificial al que se someten las aguas residuales, para eliminar o alterar sus constituyentes y hacerlas así menos peligrosas.

Este tratamiento puede efectuarse de forma más o menos completa, según los defectos que deban corregirse. Pueden ser necesarios varios procedimientos y, en cada caso, deberá estudiar su combinación de la forma más razonable, tanto desde el punto de vista de la eliminación de dichos defectos, como de las condiciones locales de instalación. Este estudio tiene además por objeto llegar a la realización más económica en gastos de primera inversión y en gastos de explotación. (11), (10), (9), (3).

La práctica del tratamiento de aguas residuales varía tanto en el tipo de equipo usado como en las secuencias del tratamiento. Los contaminantes pueden ser eliminados por medios físicos, químicos y biológicos (1).

La mayor parte de las plantas de tratamiento caen dentro de algunas categorías básicas, que pueden ser clasificados en un pretratamiento y tres niveles generales de tratamiento.



Fig 1.3.- Secuencia de unidades de tratamiento (25)

Las aguas negras se tratan para proteger la salud pública, para evitar perjuicios, para impedir la polución de las aguas de bebida y evitar los daños correspondientes. Las aguas negras constituyen un peligro para la salud, por contener bacterias patógenas y otros organismos responsables de enfermedades. Contienen también sustancias que pueden contaminar las fuentes de alimentos y de agua. No puede confiarse solamente en el tratamiento para evitar la descarga de elementos infecciosos en el agua, como drenajes y como fuente de abastecimiento de agua para servicios públicos, puede ser necesario una depuración para reducir la carga de las instalaciones de tratamiento de las aguas negras.

La protección de los medios naturales de recreo, la conservación de los recursos naturales, la prevención contra la polución de las corrientes, la conservación y la restauración de las condiciones naturales, constituyen fuertes razones para el tratamiento de las aguas residuales. (24) (1)

1.4.-Estudios de caracterización fisicoquímica de aguas residuales crudas y tratadas

Las características de las aguas residuales de una comunidad puede tener grandes variaciones dependiendo de factores como: el consumo de agua potable, el tipo de sistema de alcantarillado, la existencia de sistemas individuales de disposición de excretas y la presencia de desechos industriales. Aparte de los factores indicados, es importante reconocer la presencia de variaciones horarias, diarias, semanales y estacionales, tanto en lo relativo a concentraciones como a caudales. (12)

Las características importantes de las aguas residuales son las siguientes:

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) , la misma que se determina a través de una prueba que dura cinco días, en la cual se incuban botellas con diluciones del agua residual y se determina la cantidad de oxígeno consumido. Esta prueba es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica presente en el desecho.

Los sólidos en aguas residuales se encuentran en suspensión, en estado coloidal y disueltos Los parámetros de **sólidos sedimentables y en suspensión** son de valor para estimar la cantidad de sedimentos que pueden acumularse en un tratamiento primario. El componente volátil de los sólidos en suspensión puede ser utilizado para estimar la cantidad de materia orgánica activa.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una medida de la cantidad de oxígeno requerida en la oxidación química de la materia orgánica. Este parámetro es de utilidad para caracterización de aguas residuales con presencia de descargas industriales. La relación **DQO/DBO** tanto en el desecho crudo como en el tratado, son valores de utilidad para comprobación . Por ejemplo para un desecho doméstico crudo se tienen valores de **DQO/DBO** entre **1.7 y 2**, mientras que esta relación se incrementa con el grado de tratamiento .

En una agua residual cruda el **nitrógeno** está normalmente presente como **nitrógeno orgánico y en estado amoniacal**. El conocimiento de estos parámetros es de importancia para determinar las propiedades de biodegradabilidad del desecho. (1)

Los coliformes totales, fecales y parásitos son parámetros indispensables en la caracterización de aguas residuales y normalmente son usados en el diseño de plantas de tratamiento biológico.

Los **detergentes** sintéticos contienen sustancias surfactantes, las que ayudan en la penetración, remojo, emulsificación, dispersión, solubilización y formación de espuma. El problema provocado por los detergentes ocurre al ser alterada la tensión superficial de las aguas, originando así la pérdida del oxígeno contenida en ellas.

La mayoría de los **detergentes** sintéticos, son persistentes debido a que no son descompuestos por la acción bacteriana. Son responsables de grave contaminación en el agua, aunque sus efectos a largo plazo no están suficientemente documentados. (24)

Trazas de muchos metales, como el **Ni, Mn, Pb, Cr, Cd, Zn, Cu, Fe** son, importantes constituyentes de muchas aguas. Algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría, por ejemplo, limitar el crecimiento de las algas. La presencia de cualesquiera de los metales citados en cantidades excesivas interferirá con muchos usos provechosos del agua, dada su toxicidad; por tanto, conviene casi siempre medir y controlar las concentraciones de dichos metales. (13)(12)

1.5.-Lineamientos de calidad del agua para la agricultura.

Los requerimientos del efluente se definen a través de las normas oficiales mexicanas para descarga al alcantarillado municipal, para descarga a cuerpos receptores y para reuso agrícola.

Generalmente se expresan en términos de, por ejemplo:

- **materia orgánica (expresada como DBO y 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 últimos tres parámetros microbiológicos son particularmente apropiados si el efluente es utilizado para irrigación de cultivos o fertilización de estanques piscícolas. (11)

1.5.1.-Criterios de calidad fisicoquímica

Los criterios de calidad microbiológica son para la protección de la salud; los de calidad fisicoquímica son para mantener la salud de las plantas y mantener el rendimiento de los cultivos. En general la calidad fisicoquímica de las aguas residuales tratadas utilizadas para riego de cultivos 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 proporción de desechos industriales) estas recomendaciones deberán ser cuidadosamente verificadas, particularmente con respecto a metales pesados y otros tóxicos (10)

1.5.2.-La Norma Oficial Mexicana NOM-032-ECOL-93. Establece los límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola. Estos parámetros se muestran en la siguiente tabla: (21)

| TROS | LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| pH (unidades de pH) | 6.5 a 8.5 |
| Sólidos suspendidos totales(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 |

Campo de aplicación

La presente norma oficial 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

1.5.3.-La Norma Oficial Mexicana 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, cauces, 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:

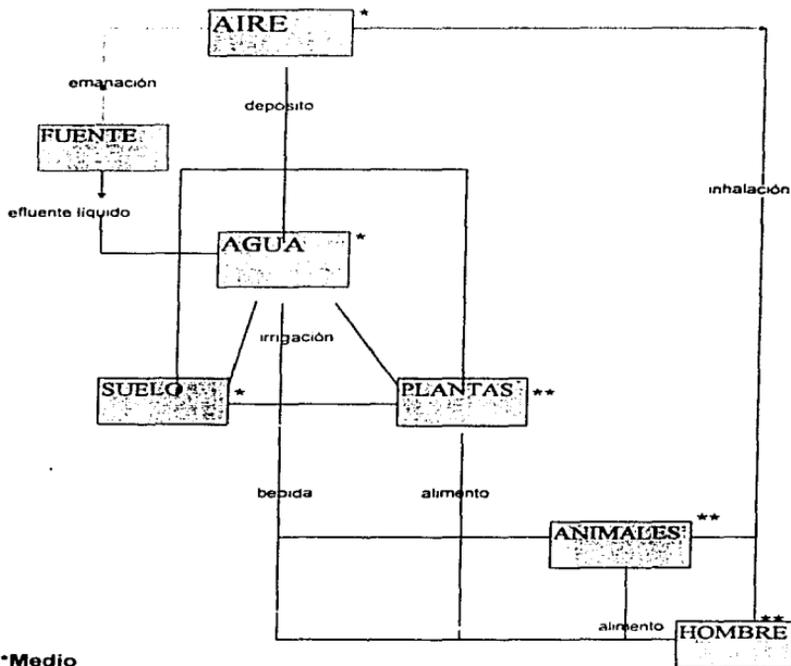
Las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal que se refiere esta norma debe cumplir con las especificaciones que se indican en la siguiente tabla: (20)

| PARAMETROS | LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES | |
|--|-----------------------------|-------------|
| | PROMEDIO DIARIO | INSTANTANEO |
| 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 elec. (µmhos/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 | 10 |
| Cromo vi (mg/l) | 0.5 | 1.0 |
| Cromo total (mg/l) | 2.5 | 5.0 |
| Fluoruros(mg/l) | 3 | 6 |
| Mercurio(mg/l) | 0.01 | 0.02 |
| Níquel(mg/l) | 4 | 8 |
| Plata(mg/l) | 1.0 | 2.0 |
| Plomo(mg/l) | 1.0 | 2.0 |
| Zinc(mg/l) | 6 | 12 |
| Fenoles(mg/l) | 5 | 10 |
| Sustancias activas al azul de metileno(mg/l) | 30 | 60 |

1.6.-La cinética de los contaminantes en el ambiente

El movimiento de un contaminante a través del aire, agua, tierra y biota, así como sus interacciones y modificaciones en cada uno de estos ámbitos, son procesos complejos. El contaminante que es incorporado al ambiente se dispersa en el medio correspondiente e interactúa con los elementos pertenecientes a él, se transporta a ciertas distancias dentro de ese medio y se transfiere hacia otros. En cualesquiera de estos pasos el contaminante se puede transformar y degradar.(6)

Fig.1.6.-Representación esquemática de la interacción entre los diferentes compartimientos (medios y receptores)



Fuente: Centro Panamericano de Ecología Humana. OPS. (8)

1.6.1.-Toxicocinética

La **farmacocinética** estudia los cambios que ocurren a través del tiempo en la absorción, distribución y eliminación de toda sustancia extraña al organismo. Cuando la sustancia xenobiótica es además un tóxico, al estudio de su cinética en el organismo se le denomina **Toxicocinética**.

En el estudio farmacocinético se supone al organismo como un sistema de compartimientos interconectados entre sí a través de la sangre circulante, de tal manera que los cambios temporales en la concentración sanguínea o plasmática de la sustancia permiten inferir las variaciones correspondientes en los tejidos y excretas (8).

Etapas de la toxicocinética:

- a) Exposición.-** Se considera que un individuo está expuesto cuando la fracción del tóxico contaminante se encuentra en la vecindad inmediata de las vías de ingreso al medio interno del organismo.
- b) Absorción.-** Una fracción del contaminante que se encuentra en las vías de ingreso, pasa a través de las membranas biológicas correspondientes a la circulación sistémica.
- c) Distribución.-** La sustancia xenobiótica que se encuentra en la sangre circulante es distribuida hacia los tejidos corporales, en donde, de acuerdo a la intensidad de la circulación tisular y a las características de la sustancia y del tejido, va a ser absorbida, biotransformada y retenida o excretada.
- d) Eliminación.-** La sustancia extraña al cuerpo tiende a ser eliminada, ya sea por excreción urinaria y/o intestinal y por biotransformación.
- e) Acumulación.-** La sustancia xenobiótica por sus características físico-químicas, puede, al interactuar con las macromoléculas celulares, fijarse en ciertos tejidos y acumularse en ellos (8).

1.6.2.-Toxicología de los metales pesados

Los efectos de los metales en aguas potables y residuales puede ser beneficiosos, tóxicos o simplemente molestos.

Algunos metales resultan esenciales, mientras que otros pueden perjudicar a los consumidores del agua, a los sistemas de tratamiento de aguas residuales y a las aguas de depósitos. En muchos casos el potencial beneficio o riesgo depende de la concentración. Dichos metales se encuentran en forma natural en la corteza terrestre en diferente concentración, y en algunos lugares en forma muy concentrada, constituyendo yacimientos minerales.

Los metales se encuentran en forma aislada como tales o combinados formando minerales. Los minerales constituyen parte de la corteza terrestre, formando depósitos superficiales o profundos en donde se encuentran concentrados, o bien, se encuentran disueltos en el agua de los océanos.

En ciertos medios del ecosistema, la concentración de algunos metales se puede elevar tanto que llega a constituir una contaminación, la cual puede ser de origen natural, de acuerdo a un ciclo biogeoquímico, o bien puede ser una contaminación causada por una contaminación humana, entonces considerada antropogénica.

El grupo de los denominados **metales pesados** comprende **40 elementos químicos que tienen una densidad mayor de 5**. La toxicidad de estos **metales tienen características comunes a todos ellos y efectos específicos de cada uno**. La unión de los metales a los materiales biológicos es de gran intensidad, pero no especifica ni para el metal ni para las estructuras biológica; en general los metales tienen la capacidad de

combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, especialmente con los grupos sulfhidrilos (-SH) de las proteínas. Sin embargo, la reactividad de cada metal es diferente y por lo tanto su fuerza de unión con las proteínas también lo es. Los metales al unirse con los grupos sulfhidrilos producen la inhibición de la actividad de numerosas enzimas del organismo.

El transporte de de los metales a través de las membranas celulares difiere según las características del compuesto metálico y del tejido. La concentración efectiva de un metal tóxico en la célula blanco depende tanto del tiempo de exposición como de los patrones toxicocinéticos del metal.

Por lo tanto, entre los mecanismos de la toxicidad de los metales se incluyen interacciones con sistemas enzimáticos, interacciones con las membranas celulares, efectos específicos sobre ciertos organelos y sobre el metabolismo celular general.

Los metales son absorbidos por las plantas tanto a través de la superficie de las hojas como a través de las raíces. La toxicidad vegetal de los metales dependerá de sus solubilidad y de su facilidad para ser absorbidos; estas características están favorecidas por la acidez del agua de interfase de las hojas y del suelo.

El problema esencial que plantean los metales pesados es el de que muchos de ellos se han utilizado durante siglos y son fundamentales para industrias importante, pero pueden perjudicar la salud humana y trastornar el equilibrio de los sistemas ambientales si se permite que alcancen concentraciones excesivas en el aire, el agua, el suelo o la comida.

Existen tres tipos principales de fuentes de emisión de metales en el medio ambiente. El más evidente es el proceso de extracción y purificación: minería, fundición y refinación. El segundo, menos conocido, es la emisión de metales

al quemarse combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. Tales combustibles contienen cadmio, plomo, mercurio, níquel, vanadio, cromo y cobre, y grandes cantidades de estos metales se traspasan al aire o se depositan en cenizas. La tercera fuente, la más diversa, es la producción y la utilización de productos industriales que contienen metales (7,8).

1.6.2.1.-Arsénico

El arsénico está presente en pequeñas cantidades en casi todos los suelos. También se encuentra en cantidades variables en aguas naturales, según su ubicación geográfica. El aire, a su vez, contiene arsénico, pero comúnmente en concentraciones muy pequeñas.

La contaminación ambiental por arsénico puede ser el resultado de prácticas agrícolas (empleo de agentes químicos destructores de maleza, fungicidas, baños parasiticidas para el ganado lanar, rodenticidas e insecticidas) o de la industria.

El arsénico puede presentarse en proporciones bajas en el agua potable. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda provisionalmente un límite de 0.05 mg/l.

El arsénico no es un elemento esencial para la fisiología del hombre, aunque por lo regular se le encuentra en los tejidos humanos en muy pequeñas cantidades. Es un veneno protoplasmático, fuerte y acumulativo que inhibe a los grupos -SH de las enzimas. Las sales son absorbidas fácilmente en el sistema gastrointestinal, pero no ocurre lo mismo con el arsénico elemental. El arsénico es absorbido también por la piel y los pulmones.

La intoxicación crónica conduce a la pérdida del apetito y de peso, produce diarrea alternada con estreñimiento, trastornos gastrointestinales, neuritis

periférica, conjuntivitis, hiperqueratosis y melanosis cutánea y , a veces, cáncer de la piel (7)(8)

1.6.2.2.-Cadmio

El cadmio no es indispensable para el organismo humano. Está presente en el suelo, la vegetación y los alimentos del hombre. Las fuentes de contaminación del ambiente humano son la minería y metalurgia, las industrias químicas, la transformación de chatarra metálica, galvanoplastia y los plaguicidas que contienen cadmio.

La contaminación del aire y del agua por cadmio puede provenir de la producción de cadmio refinado y de las diversas operaciones de manufactura que utilizan cadmio o zinc con impurezas de cadmio.

El agua y el suelo pueden contaminarse con cadmio que se encuentra en forma de trazas en los fertilizantes fosfatados.

El cadmio puede ingresar al organismo por ingestión (población general) y por inhalación (trabajadores) . La ingesta ocurre a través de agua o alimentos contaminados. El cuadro de intoxicación aguda se presenta con vómitos, diarrea y dolor abdominal.

La exposición gastrointestinal prolongada al cadmio provoca daño al funcionamiento de los túbulos renales , que se expresa por una elevada prevalencia de proteinuria en las poblaciones expuestas (8)

1.6.2.3.-Cromo

El cromo está ampliamente distribuido en la corteza terrestre concentrándose en las rocas básicas; su concentración promedio es de 125mg/Kg. El cromo no se presenta en la naturaleza en forma de metal libre sino como cromita.

En condiciones naturales el cromo se presenta casi siempre en forma trivalente y prácticamente todo el cromo hexavalente que existe es generado por las actividades humanas. El cromo VI es un agente oxidante que en contacto con material orgánico se reduce a cromo III

El cromo VI se encuentra en los cromatos de calcio, potasio, sodio, zinc, etc. y en el ácido crómico. El cromo trivalente III forma parte del óxido de cromo y del fosfato, carbonato y acetato de cromo.

El cromo es un elemento esencial traza para el organismo humano. Unido a la niacina forma el factor de tolerancia a la glucosa y se encuentra en grandes concentraciones en los ácidos ribonucleicos (RNA).

El cromo VI se absorbe fácilmente a través de las membranas celulares y a nivel del retículo endoplásmico se reduce a cromo III. Este cromo tiene la capacidad de formar complejos estables con las macromoléculas celulares.

La intoxicación aguda por ingestión de cromatos solubles produce daño del tracto gastrointestinal y shock cardiovascular. Como secuelas se observan necrosis hepática y renal y daño al sistema hematopoyético. La dosis letal oral de cromatos solubles en humanos es de 50-70 mg/kg peso corporal (8)

1.6.2.4.-Mercurio

El mercurio se encuentra en la naturaleza en forma de metal libre o de diversos minerales de los cuales el más importante es el disulfuro de mercurio.

Las fuentes naturales de mercurio pueden dar lugar a cierta contaminación local pero la contaminación por fuentes antropogénicas es mayor.

Una parte de los compuestos mercuriales utilizados en el tratamiento de semillas y plantas se acumula en los suelos, directamente, o por descomposición del material vegetal.

La contaminación de productos alimenticios está relacionada con el uso de fungicidas metilmercuriales y descargas de efluentes industriales.

El mercurio y sus derivados se distribuyen en todo el organismo y se acumulan en el sistema nervioso central. Los compuestos alquilados y arilados del mercurio son altamente liposolubles, se absorben rápidamente y atraviesan fácilmente la barrera hemato-cerebral y la barrera placentaria. Las sales inorgánicas de mercurio se absorben y se distribuyen más lentamente (8)

1.6.2.5.-Plomo

Aproximadamente el 80% del plomo que se encuentra en la atmósfera proviene del plomo de la gasolina. El plomo emitido por los vehículos se encuentra como un complejo inorgánico de clorobromuro de plomo (PbBrCl). Aunque la mayoría del plomo emitido por los vehículos (90%) se emite como partículas inorgánicas de plomo, también se emiten algunos vapores de alquilo de plomo.

El agua potable puede contaminarse en la misma fuente por el plomo del aire y del polvo. En los sistemas de distribución que usan tuberías que contienen plomo, éste puede disolverse, aún más si el agua tiene un pH ácido por debajo

de 6.5 . Las descargas de efluentes industriales de fundidoras y de otras industrias que utilizan algún compuesto de plomo son otras fuentes de contaminación del agua.

Una de las rutas de ingreso de plomo en el humano es a través de la ingestión de alimentos contaminados. Las frutas, legumbres y pasturas cultivadas en zonas expuestas a descargas de fundiciones se pueden contaminar en forma significativa. Los alimentos se pueden contaminar durante su transporte, procesamiento y preparación casera. Los alimentos enlatados tienen un contenido de plomo de 8 a 10 veces mayor que los correspondientes no enlatados.

El plomo se acumula en los tejidos del organismo en forma de quelatos, principalmente en el tejido óseo (huesos y dientes). Aproximadamente 95% del plomo corporal total se encuentra en los huesos; este plomo acumulado mantiene los niveles de plomo sanguíneo elevado aún después de cesar la exposición (7)(8)

1.7.- Análisis de metales pesados en agua

Los metales se pueden determinar de forma satisfactoria utilizando métodos de absorción atómica, de plasma de acoplamiento inductivo o colorimétricos. Los métodos de absorción incluyen técnicas electrotrémicas y de llama. En general, los métodos de llama se aplican en el caso de concentraciones moderadas en sistemas de matrices simples y complejas. los métodos electrotrémicos tienen mayor sensibilidad , en general, si los efectos de la matriz no son demasiado intensos. Algunos efectos de la matriz pueden compensarse con modificadores de la misma. **Las técnicas de plasma de acoplamiento inductivo (PAI)** son aplicables dentro de un amplio

intervalo lineal y resultan especialmente sensibles en el caso de los elementos refractarios. En general, los límites de detección de los métodos de PAI son superiores a los de los métodos electrotrémicos. Los métodos colorimétricos son aplicables cuando se conocen las interferencias en los otros métodos. (23)

1.7.1.- Espectroscopia de absorción atómica

Todos los elementos tienen un número específico de electrones. El orbital de configuración más estable es conocido como "estado basal", si la energía es aplicada en un átomo, la energía se absorbe y un electrón es expulsado a una configuración de estabilidad más baja, a éste se conoce como "estado excitado". Después de este estado inestable, el átomo retorna inmediatamente al estado basal, liberando una cantidad de energía. (25)

El proceso de absorción se ilustra en la figura siguiente:



fig. 1.7.1.-El átomo en estado basal absorbe una pequeña cantidad de energía de una longitud de onda específica y entra a un estado excitado, si el número de átomos en la trayectoria se incrementa ligeramente, la cantidad de energía puede incrementarse.

Fuente. Perkin-Elmer Corporation. (2)

La absorción atómica parte del hecho de que los átomos de los metales presentan una fuerte absorción a longitudes de onda características, que coinciden con las líneas del espectro de emisión del metal en cuestión. En la espectrofotometría de absorción atómica se dirige un rayo luminoso a través de una llama a un monocromador y sobre un detector que mide la cantidad de luz monocromática absorbida por el elemento atomizado a determinarse en una flama, siendo dicha energía absorbida proporcional a la concentración del elemento.

Como cada metal tiene su propia longitud de onda de absorción característica, se utiliza como fuente luminosa una lámpara compuesta de dicho elemento; esto proporciona un método relativamente libre de interferencias espectrales o de radiación (21)(23)

En general los atomizadores son de dos tipos, continuos y discretos. En los primeros, la muestra se introduce en el atomizador a una velocidad constante. La señal espectral, es por tanto, constante con el tiempo. Con los atomizadores discretos, una cantidad medida de muestra se introduce como un bolo de líquido o de sólido. La señal espectral en este caso alcanza un valor máximo y luego disminuye a cero cuando el vapor atómico abandona la región calentada (23)

En los métodos de atomización de tipo continuo. La solución de la muestra se convierte en una niebla de pequeñas gotas finamente divididas mediante un chorro de gas comprimido. Este proceso se denomina nebulización. A continuación el flujo de gas transporta la muestra a una región calentada donde tiene lugar la atomización. La primera etapa corresponde a la desolvatación, en la que el disolvente se evapora para producir un aerosol molecular finamente dividido. La disociación de las moléculas conduce luego a la formación de un gas atómico. A su vez los átomos pueden disociarse en

iones y electrones; con la excitación en el medio calórico de moléculas, átomos en iones produciéndose así espectros de emisión moleculares y espectros de emisión atómicos. (23)(25)

1.7.1.1.-Instrumentación de absorción atómica

Son cinco los componentes básicos:

1. - La **Fuente de luz** la cual emite el espectro del elemento en interés
2. -Una **celda de absorción** en la cual los átomos de la muestra son producidos (flama, horno de grafito, generación de hidruros)
3. - Un **monocromador** para la dispersión de la luz
4. -Un **detector**, el cual mide la intensidad de la luz y amplifica la señal.
5. -Una **pantalla o sistema de lectura** la cual muestra la señal, después de que ha sido procesado por los instrumentos electrónicos (2)

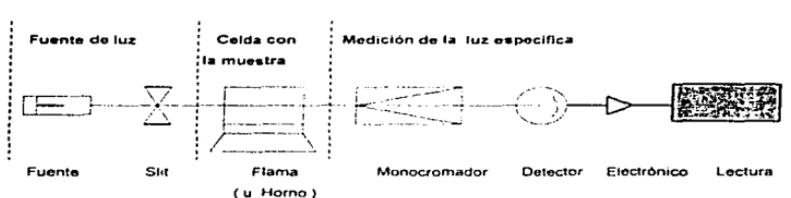


Fig. 1.7.1.1.-Instrumentación de absorción atómica Fuente: Perkin-Elmer Corporation (2)

1.7.1.2.-Espectroscopia atómica basada en la atomización con llama

En la atomización con llama, una disolución de la muestra se pulveriza en una llama mediante un nebulizador, el cual transforma la disolución de la muestra en un aerosol constituido por diminutas gotas del líquido. A continuación ocurren una serie de procesos encadenados; estos procesos al final dan como resultado una mezcla de átomos del analito, iones del analito, moléculas de la muestra, moléculas de óxido del analito y con seguridad una variedad de especies moleculares y atómicas que se forman por reacciones entre el combustible, el oxidante y la muestra.

Los atomizadores de llama se emplean para las medidas de emisión, absorción y fluorescencia atómica. (23)(25)

1.7.1.3.- Técnica de generación de hidruros.

La técnica de generación de hidruros proporciona un método para la determinación de arsénico, selenio, y mercurio como gases en un atomizador. Estos procedimientos aumentan la sensibilidad por un factor de 10 a 100. La determinación de algunos de estos elementos a bajos niveles de concentración es de gran importancia debido a que son altamente tóxicos.

La generación rápida de hidruros volátiles se produce, en general, por adición de una disolución acuosa de la muestra en medio ácido, a un pequeño volumen de una disolución acuosa de Borohidruro de sodio al 1 % contenido en una cubeta de vidrio. Después de mezclarse durante un breve período de tiempo, el hidruro que se forma es arrastrado a la cámara de atomización mediante un gas inerte. La cámara es por lo general un tubo de sílice calentado a unos cientos de grados en un horno o en una llama. La radiación

de la fuente pasa a través del tubo hacia el monocromador y el detector. La señal es un pico similar al que se obtiene con la atomización electrotérmica⁽²⁵⁾

1.7.1.4.-Atomización electrotérmica (Horno de grafito)

Los atomizadores electrotérmicos, proporcionan en general una mayor sensibilidad debido a que toda la muestra se atomiza en un periodo muy breve y el tiempo promedio de residencia de los átomos en el camino óptico es de un segundo o más. Los atomizadores electrotérmicos se utilizan para las medidas de absorción atómica y de fluorescencia atómica, pero por lo general no se han aplicado en los métodos de emisión

En los atomizadores electrotérmicos se evaporan primero unos pocos microlitros de muestra a baja temperatura, y luego se calcinan a una temperatura algo más alta en un tubo o cubeta de grafito calentado eléctricamente. Después de la calcinación, la corriente se incrementa a varios cientos de amperios, lo que eleva la temperatura aproximadamente a unos 2000 a 3000 °C; la atomización de la muestra se produce en un periodo de unos pocos milisegundos a segundos. En estos momentos, se mide la absorción o la fluorescencia de las partículas atomizadas en la zona situada inmediatamente por encima de la superficie calentada. ⁽²³⁾⁽²⁵⁾



CAPITULO II

*MATERIALES Y
MÉTODOS*

2.-MATERIALES Y METODOS

2.1.-Zona de estudio

Planta de tratamiento de aguas residuales Toluca-Norte

La planta de tratamiento de aguas residuales se construyó en un terreno de 16.5 ha., ubicada en el camino a Villa Cuauhtémoc en el Km 10 del Municipio de Toluca, del Estado de México con las siguientes medidas y colindancias:

I Al Norte, 585.38 m. con terreno de escuela primaria

II Al Sur, 459.8 m. con propiedad privada

III Al Este, 453.38 m. con Parque Industrial Toluca 2000

IV Al Oeste, 189.6 m. con camino a Villa Cuauhtémoc

El objetivo principal de su construcción está destinado para el tratamiento de la mayor parte de las aguas residuales, que se produzcan en el sistema de alcantarillado de la población de Toluca, Estado de México, con una población beneficiada de 440,000 habitantes, y un diseño para el tratamiento de aguas residuales domésticas con un flujo medio de 1250 l/s y obtener como resultado los siguientes parámetros (5)

| Parámetro | Influyente | Efluyente |
|-----------|------------|-----------|
| DBO(mg/l) | 300 | 30 |
| DQO(mg/l) | 450 | 60 |
| SST(mg/l) | 275 | 30 |

DQO: Demanda química de oxígeno

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno

SST: Sólidos suspendidos totales

Fuente: Empresa ECOSYS

La planta de tratamiento comenzó su funcionamiento en febrero de 1995 obteniéndose los siguientes resultados:

VOLUMEN DE AGUA TRATADA

| Mes | Flujo medio l/s. | Vol.tratado l/s | % Capacidad |
|------------|---------------------|--------------------|-------------|
| FEBRERO | 320 | 719,716 | 28 |
| MARZO | 155 | 414,563 | 12 |
| ABRIL | 401 | 1,038,802 | 32 |
| MAYO | 591 | 1,583,199 | 47 |
| JUNIO | 794 | 2,058,408 | 64 |
| JULIO | 790 | 2,144,877 | 63 |
| AGOSTO | 523 | 1,400,126 | 42 |
| SEPTIEMBRE | 604 | 1,603,460 | 48 |

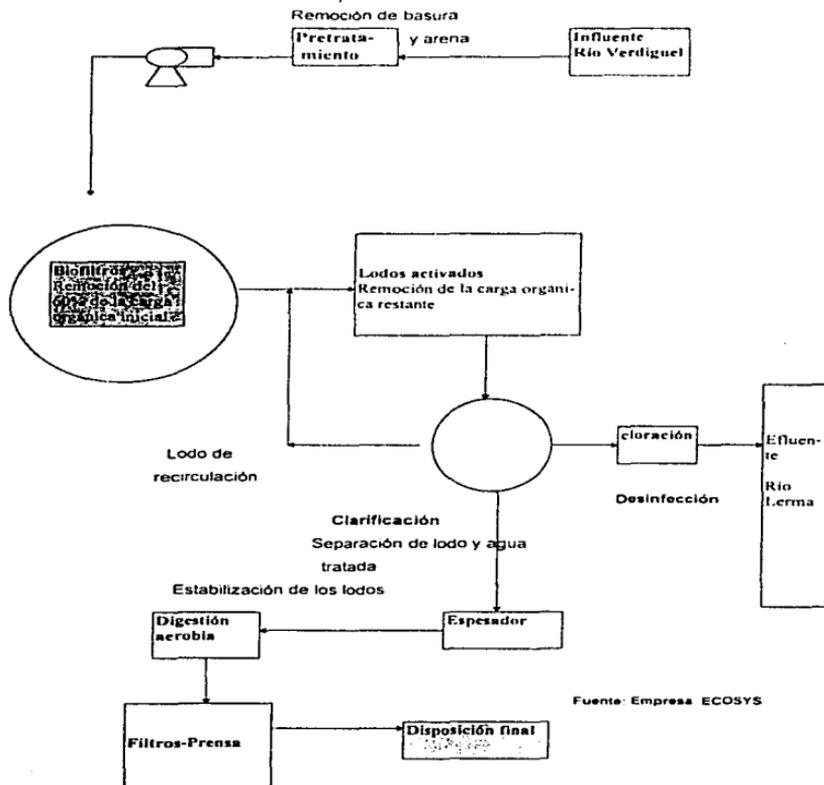
Fuente: CEAS, Laboratorio del Agua

CALIDAD DE AGUA TRATADA INFLUENTE

| Mes | SST mg/l | DBO mg/l | DQO mg/l |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| Febrero | 249 | 184 | 468 |
| Marzo | 199 | 185 | 407 |
| Abril | 245 | 216 | 445 |
| Mayo | 231 | 176 | 333 |
| Junio | 400 | 191 | 349 |
| Julio | 657 | 144 | 315 |
| Agosto | 285 | 97 | 200 |
| Septiembre | 239 | 104 | 246 |

Fuente: CEAS, Laboratorio del Agua

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO MACROPLANTA TOLUCA NORTE



2.2.-Estación de muestreo

Debido a la magnitud de la obra y a los objetivos presentados sólo se muestrearon el influente y efluente de la planta de tratamiento, por ser estos puntos los más representativos para observar la eficiencia de la obra en estudio.

2.3.-Muestreo

La frecuencia de los muestreos fueron una vez a la semana , obteniéndose muestras compuestas de 24 horas con intervalos de 2 horas (de acuerdo al caudal instantáneo) durante el periodo comprendido de Marzo a Septiembre de 1995.

La muestra fué tomada por un muestreador automático y la misma fué recogida en garrafas de polipropileno de capacidad de diez litros.

El número de muestras analizadas es el siguiente:

| Estación de muestreo | Número de muestras |
|--|--------------------|
| Influente de la planta de tratamiento Toluca-Norte | 21 |
| Efluente de la planta de tratamiento Toluca-Norte | 21 |

Fechas de muestreo:**Tabla 2.3**

| Muestreo | Fecha |
|-----------------|----------------------|
| 1 | 22 de Marzo 1995 |
| 2 | 31 de Marzo 1995 |
| 3 | 7 de Abril 1995 |
| 4 | 12 de Abril 1995 |
| 5 | 20 de Abril 1995 |
| 6 | 27 de abril 1995 |
| 7 | 25 de Mayo 1995 |
| 8 | 30 de Mayo 1995 |
| 9 | 15 de Junio 1995 |
| 10 | 22 de Junio 1995 |
| 11 | 29 de Junio 1995 |
| 12 | 4 de Julio 1995 |
| 13 | 11 de Julio 1995 |
| 14 | 18 de Julio 1995 |
| 15 | 27 de Julio 1995 |
| 16 | 1 de Agosto 1995 |
| 17 | 8 de Agosto 1995 |
| 18 | 14 de Agosto 1995 |
| 19 | 22 de Agosto 1995 |
| 20 | 24 de Agosto 1995 |
| 21 | 5 de Septiembre 1995 |

En la toma de muestras para el análisis de metales, los recipientes fueron de polipropileno, lavados previamente con soluciones de HCl al 20% primero y luego con HNO₃ al 20% , enjuagados con agua desionizada (15) (16)

2.4.-Trabajo de laboratorio

El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, en el Área de Absorción Atómica, y en el Departamento de Aguas Residuales del mismo. Haciendo un análisis por triplicado por cada muestra y por cada patrón del metal a analizar.

Se tomaron alícuotas de 100 ml. vaciándose en un vaso de precipitados de 250 ml. para realizar el pretratamiento de la misma.

2.4.1.-Pretratamiento de la muestra

El tratamiento de la muestra dependerá del tipo de metales que se van a determinar. Si se requiere metales totales o extractables no se debe filtrar la muestra; si se desea determinar metales disueltos, la muestra se filtra a través de una membrana de 0.45 μm (previamente lavada con una solución de ácido nítrico 1:1)

En cualquier caso acidificar la muestra con ácido nítrico concentrado hasta un pH de 2 o menor.

2.4.1.1.-Material y reactivos para Tratamiento preliminar

Material

- a) Placa caliente
- b) Vasos de precipitados, 250 ml, lavados con ácido y enjuagados con agua
- c) Vidrio de reloj
- d) Equipo de filtración MILLIPORE, con membranas de filtración de 0,45 μm

Reactivos

- a) Agua bidestilada

b) Ácido nítrico, HNO₃ conc.

2.4.1.2.-Tratamiento preliminar de las muestras para el análisis de metales pesados totales.

1. Tomar una porción de la muestra (50 ml o 100 ml) y transferirla a un vaso de precipitados
2. Agregar 5 ml de ácido nítrico concentrado y cubrir el vaso con un vidrio de reloj.
3. Evaporar casi a sequedad en una placa de calentamiento asegurándose que la muestra no ebulle.
4. Enfriar el vaso de precipitados y agregar otros 5 ml de ácido nítrico concentrado
5. Cubrir nuevamente el vaso de precipitados y regresarlos a la placa de calentamiento
6. Aumentar la temperatura hasta reflujo lento
7. Continuar calentando cuando sea necesario, añadiendo ácido nítrico concentrado hasta digestión completa.
8. Agregar 1 o 2 ml de ácido nítrico concentrado y calentar el vaso de precipitados ligeramente hasta disolver el residuo
9. Lavar las paredes del vaso y el vidrio de reloj con agua bidestilada.
10. Filtrar la muestra para evitar que los silicatos y otros materiales insolubles obstruyan el atomizador
11. Aforar el volumen a 50 ml o 100 ml según el volumen de muestra tomado originalmente

12. Realizar el análisis correspondiente de las muestras por medio de espectroscopía atómica basada en la atomización con llama, electrotérmica y con llama con generación de hidruros.

13. Reportar los resultados como metales totales, en $\mu\text{g/l}$ ó mg/l (10)

2.4.2.-Método directo de llama de aire-acetileno

Este método es aplicable a la determinación de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, níquel, plata, sodio y zinc.

2.4.2.1.-Material y reactivos

- a) Espectrofotómetro de absorción atómica y equipo asociado
- b) Gas acetileno, calidad comercial estándar
- c) aire, purificado y secado a través de un filtro que elimine humedad
- d) Reactivo estándar del elemento a analizar
- e) Agua bidestilada
- f) lámpara de cátodo hueco del elemento a analizar
- g) Matraz aforado de 100 ml
- h) Matraces aforados de 50 ml
- i) pipeta volumétrica de 1 ml, 2ml, 5 ml, 10 ml
- j) Micropipeta

2.4.2.2.-Preparación de la muestra

La preparación de la muestra requerida depende de la necesidad de medir únicamente los metales disueltos o los metales totales.

En todas las muestras se tiene que cerciorar de que las concentraciones de ácido de la matriz sea igual en muestras y patrones

2.4.2.3.-Funcionamiento del instrumento

Debido a las diferencias entre 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:

- 1) Instalese en el instrumento una lámpara de cátodo hueco para el metal deseado y establezca el dial aproximado de longitud de onda
- 2) Fijese la anchura de la rendija (slit) siguiendo las sugerencias del fabricante
- 3) Aplíquese la corriente a la lámpara de cátodo hueco según la que indique el fabricante
- 4) Optimice la longitud de onda ajustando el dial de longitudes de onda hasta que se obtenga la ganancia óptima de energía .
- 5) Conectese el acetileno y aire, enciendase la llama. Ajuste la velocidad de flujo de los mismos hasta obtener la máxima sensibilidad en relación con el metal que se mide.
- 6) Hágase aspirar un blanco integrado por agua bidestilada o una solución ácida con la misma concentración de ácido de los patrones y muestras (matriz). Póngase a cero el instrumento.

- 7) Hágase aspirar una solución patrón y ajústese la velocidad de aspiración del nebulizador para obtener la sensibilidad máxima.
- 8) Hágase aspirar un blanco de nuevo y vuelvase a poner a cero el instrumento. Hágase aspirar un patrón próximo al intervalo lineal. Registre la absorbancia de este patrón para verificar la consistencia del instrumento
- 9) Seleccione las concentraciones de cada solución patrón de metal para establecer límites para la concentración esperada del metal de una muestra.
- 10) Hágase aspirar un blanco y póngase a cero el instrumento. Hágase aspirar entonces cada patrón sucesivamente en la llama y registrese las absorbancias.
- 11)

Tabla 2.4.2.3.-Condiciones de trabajo de las diferentes determinaciones del método directo de llama con aire-acetileno

| Parámetro | Long. de onda (nm) | Slit (nm) | Corriente de la lámpara (mA) | Conc. de estándares (mg/l) |
|-----------|--------------------|-----------|------------------------------|----------------------------|
| Cu | 324.8 | 0.7 | 30* | 0.100 0.200 0.300 |
| Fe | 248.3 | 0.2 | 30* | 0.500 0.700 1.000 |
| Mn | 279.5 | 0.2 | 30* | 0.100 0.200 0.400 |
| Ni | 232.0 | 0.2 | 25 | 0.200 0.300 0.500 |
| Ag | 328.1 | 0.7 | 30* | 0.100 0.200 0.400 |
| Zn | 213.9 | 0.7 | 15 | 0.100 0.200 0.300 |
| Ca | 422.7 | 0.7 | 30* | 0.500 0.700 1.000 |
| Mg | 285.2 | 0.7 | 30* | 0.100 0.200 0.400 |
| Na | 589.0 | 0.4 | 8 | 0.100 0.200 0.400 |

En las determinaciones de los elementos se utilizó como deflector esfera de impacto en el nebulizador.

*Con lámpara de cátodo hueco de multielementos

2.4.2.4.-Análisis de muestras

Enjuáguese el nebulizador aspirando agua con 1.5 ml de HNO₃ conc/l. Atomicese un blanco y ajústese a cero el instrumento. Atomicese la muestra y determinese su absorbancia.

2.4.2.5.-Cálculos

Calculese la concentración de cada metal, en microgramos por litro, utilizando la curva de calibración apropiada. Alternativamente, leáse en directo la concentración en el instrumento si éste va equipado de lectura de salida.

2.4.3.- Método espectrofotométrico de absorción atómica con generación de hidruros continuo

El generador continuo de hidruros, ofrece las ventajas de sencillez de funcionamiento, bajos límites de detección y alta capacidad de volumen de muestra. Este método es aplicable en la determinación de mercurio, selenio y arsénico por transformación de los mismos en sus hidruros con reactivo borohidruro sódico y aspiración en un atomizador de absorción atómica

2.4.3.1.-Material y reactivos

- a) Celda de cuarzo
- b) lámpara de cátodo hueco del elemento de interés
- c) Matraz aforado de 100 ml
- d) Matraz aforado de 50 ml
- e) Pipeta volumétrica de 1, 5,10 ml
- f) Vaso de p.p. de 30 ml
- g) Micropipeta
- h) Agua bidestilada
- i) Borohidruro de sodio (NaBH_4)
- j) Hidróxido de sodio (NaOH)
- k) Gas argón
- l) Gas acetileno

m) Aire

n) Ácido clorhídrico conc (HCl)

o) Reactivo estándar del elemento a analizar (mercurio, arsénico ó selenio)

2.4.3.2.-Generador continuo de hidruros

La unidad básica esta compuesta de dos partes: una bomba peristáltica de precisión, utilizada para medir y mezclar reactivos y soluciones de muestras, y el separador gas-liquido. En el separador gas liquido, un flujo constante de argón arrastra el hidrógeno y los gases de hidruros metálicos formados en la reacción y los lleva a la celda de absorción de cuarzo calentada (en el caso de mercurio esto no se lleva a cabo por la fácil volatilización del mismo) montada en la parte de encima de la cabeza del quemador de aire acetileno regular. El liquido gastado sale del separador y fluye a través de un drenaje lateral de nivel constante, a un cubo de residuos. En la figura 2.4.3.2 se muestra el esquema y los parámetros de operación.

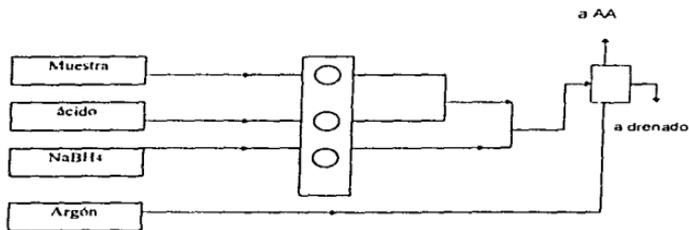


Figura 2.4.3.2.- Esquema de un generador continuo de hidruros . Fuente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ref. (26)

Tabla 2.4.3.2.-Condiciones de trabajo de las diferentes determinaciones por el método de generación de hidruros continuo

| Parámetro | Long. de onda (nm) | Slit (nm) | Energía de la lámpara (mA) | Temp. de la celda (°C) | Conc. de estándares (mg/l) |
|-----------|--------------------|-----------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| Hg | 253.7 | 0.7 | 6 | 100 | 0.001, 0.002, 0.003 |
| As | 193.7 | 0.7 | 16 | 900 | 0.020, 0.040 |
| Se | 196.0 | 2.0 | 16 | 900 | 0.020, 0.040 |

Se utilizó como agente reductante una solución de Borohidruro de sodio al 0.2 % con NaOH al 0.05 %, con un flujo de 3 a 7 ml /min. y una solución de HCl al 10 % con un flujo de 9 a 11 ml/min. El flujo de gas Argón fué de 50 a 100 ml/min.

2.4.3.3.-Cálculos

Se construye una curva de calibración con las absorbancias de las concentraciones de los estándares analizados y se interpola el resultado de la muestra.

2.4.4.-Método espectrofotométrico de absorción atómica electrotérmica

Este método es apropiado para determinar microcantidades de aluminio, bario, cromo, cadmio y plomo

2.4.4.1.-Material y equipo

- Lámpara de cátodo hueco del elemento a analizar
- Matraz aforado de 100 ml
- Matraz aforado de 50 ml

- d) Pipeta volumétrica de 1 ml y 5 ml
- e) Tubos de gráfito
- f) Micropipeta
- g) Reactivo estándar del elemento en cuestión
- h) Espectrofotómetro
- i) Horno de gráfito
- j) Gas Argón
- k) Agua bidestilada

2.4.4.2.-Funcionamiento del instrumento

Móntese y aliniese el dispositivo del horno siguiendo las instrucciones del fabricante. Seleccione la fuente luminosa apropiada y ajústese a la regulación eléctrica recomendada. Seleccione la apropiada longitud de onda y establezca todas las condiciones de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Seleccione un flujo apropiado de gas inerte o de protección.

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

Utilídense temperaturas de secado ligeramente superiores al punto de ebullición del disolvente, con objeto de facilitar el tiempo y la temperatura suficiente para una evaporación completa sin ebullición o 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.

Seleccione la temperatura de atomización determinando la temperatura que proporciona un máximo de sensibilidad sin detrimento de la precisión.

Calibración del instrumento

Preparese patrones para calibración del instrumento diluyendo las soluciones de reserva del metal.

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

Inyéctese una porción adecuada de cada solución patrón, con objeto de aumentar la concentración. Analícese cada solución patrón por triplicado para comprobar la precisión del método.

2.4.4.3.-Análisis de muestras

Determinación directa: Inyéctese en el horno de gráfito una porción medida de muestra sometida a tratamiento previo. Empléese el mismo volumen que el utilizado para preparar la curva de calibración.

Tabla 2.4.4.3.-Condiciones de trabajo en las determinaciones con Horno de gráfito

| Parámetro | Long. de onda (nm) | Slit (nm) | Corriente de la lámpara (mA) | Conc. de estándares (mg/l) |
|-----------|--------------------|-----------|------------------------------|----------------------------|
| Pb | 217.0 | 1.0 | 4.0 | 0.020 , 0.040 |
| Ba | 553.6 | 0.5 | 15.0 | 0.020, 0.040 |
| Al | 396.2 | 0.5 | 10.0 | 0.100 , 0.200 |
| Cd | 228.8 | 0.5 | 3.0 | 0.010 , 0.020 |
| Cr | 357.9 | 0.2 | 6.0 | 0.020, 0.040 |

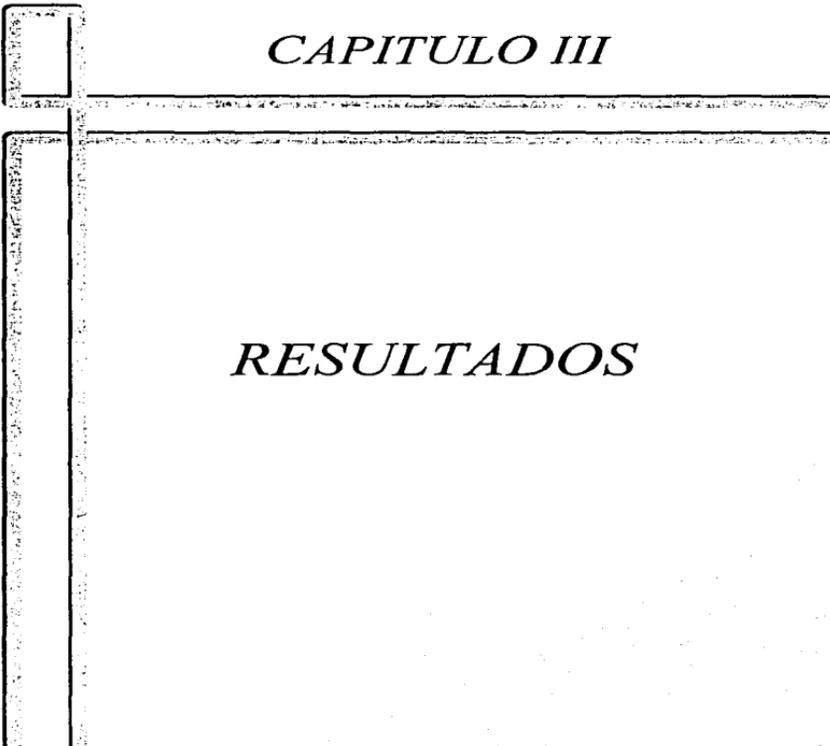
2.4.4.4.-Cálculos

Se construye una curva de calibración con las absorbancias de los estándares analizados y se interpola el resultado de la muestra.

2.5.-Aparatos y equipos

Equipo de absorción atómica utilizado:

| Metodo de atomización | Fundamento del método | Equipo utilizado |
|------------------------|-----------------------|---|
| Generación de hidruros | Absorción | Espectrofotómetro Perkin-Elmer-3100, Generador de hidruros MHS-FIAS 100 |
| LLama | Absorción | Espectrofotómetro Perkin-Elmer-3100 |
| Electrotérmica | Absorción | Espectrofotómetro GBC-902 Horno de grafito GBC GF-2000 |



CAPITULO III

RESULTADOS

3.- RESULTADOS

Se realizó un muestreo en influente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Macroplanta Toluca-Norte en el periodo comprendido de Marzo a Septiembre de 1995, con un muestreo por lo general de uno cada semana. Analizando 21 muestras de la estación de muestreo: influente y 21 muestras de la estación de muestreo : efluente. Todas las muestras fueron muestras compuestas de 24 horas, con periodos de recogida de muestras instantáneas de 2 horas.

Para reportar cada resultado, se realizó antes de hacer el análisis de cada muestra, una curva de calibración para el elemento de interés, utilizando estándares; para lo cual, se obtuvieron absorbancias de las muestras y se interpoló el resultado obtenido de las mismas, ya sea automáticamente por medio del equipo, o en una forma manual, obteniendo la ecuación de la curva de calibración.

Se realizó un análisis completo de metales pesados totales de las muestras, por técnicas de absorción atómica (llama, generación de hidruros, horno de grafito) de acuerdo a las características de cada elemento y de la optimización de la recuperación de cada equipo. Sólo en la determinación de cromo VI se utilizó un método colorimétrico.

No se realizó el análisis de boro (NOM-032-ECOL-1993), puesto que no se obtuvo la fuente de luz del elemento.

Tabla 3.1.- Todos los metales que se muestran a continuación fueron analizados :

| Parámetro | Técnica empleada |
|------------------|-------------------------|
| Arsénico (As) | Generación de hidruros |
| Cadmio (Cd) | Horno de grafito |
| Cobre (Cu) | Flama |
| Cromo (Cr) | Horno de grafito |
| CromoVI (Cr+6) | Método colorimétrico |
| Hierro (Fe) | Flama |
| Mercurio (Hg) | Generación de hidruros |
| Manganeso (Mn) | Flama |
| Níquel (Ni) | Flama |
| Plata (Ag) | Flama |
| Plomo (Pb) | Horno de grafito |
| Selenio (Se) | Generación de hidruros |
| Zinc (Zn) | Flama |
| Aluminio (Al) | Horno de grafito |
| Bario (Ba) | Horno de grafito |
| Calcio (Ca) | Flama |
| Magnesio (Mg) | Flama |
| Sodio (Na) | Flama |

Tabla 3.2 PLANTA DE TRATAMIENTO MACROPLANTA TOLUCA NORTE Estación de muestreo: Influyente

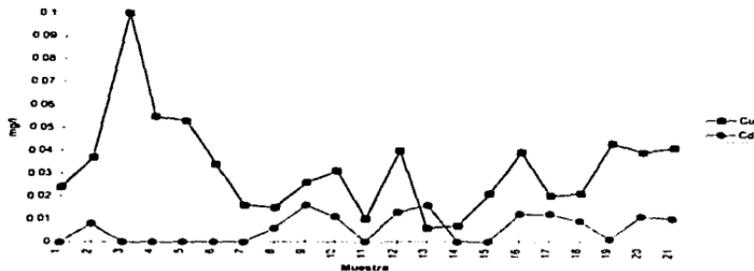
| Muestreo | Fecha | As | Cd | Cu | Cr | Cr hex. | Fa | Hg | Mn | Ni | Ag | Pb | Sa | Zn | Alc. |
|----------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 22-mar-95 | 0.010 | 0.010 | 0.086 | 0.025 | 0.010 | 1.006 | 0.0011 | 0.125 | 0.000 | 0.000 | 0.048 | 0.003 | 0.141 | 1.018 |
| 2 | 31-mar-95 | 0.015 | 0.012 | 0.115 | 0.015 | 0.007 | 1.503 | 0.0003 | 0.090 | 0.060 | 0.060 | 0.035 | 0.000 | 0.235 | 0.678 |
| 3 | 7-abr-95 | 0.019 | 0.010 | 0.127 | 0.085 | 0.015 | 2.131 | 0.0004 | 0.179 | 0.000 | 0.030 | 0.040 | 0.000 | 0.419 | 1.102 |
| 4 | 12-abr-95 | 0.021 | 0.011 | 0.112 | 0.081 | 0.020 | 0.959 | 0.004 | 0.100 | 0.083 | 0.005 | 0.041 | 0.112 | 0.182 | 2.478 |
| 5 | 20-abr-95 | 0.012 | 0.006 | 0.094 | 0.017 | 0.010 | 1.202 | 0.005 | 0.142 | 0.064 | 0.043 | 0.035 | 0.003 | 0.274 | 0.343 |
| 6 | 27-abr-95 | 0.037 | 0.005 | 0.104 | 0.038 | 0.012 | 2.312 | 0.003 | 0.165 | 0.098 | 0.030 | 0.035 | 0.002 | 0.216 | 0.342 |
| 7 | 25-may-95 | 0.095 | 0.006 | 0.053 | 0.029 | 0.010 | 3.619 | 0.0002 | 0.223 | 0.125 | 0.002 | 0.118 | 0.001 | 0.239 | 0.271 |
| 8 | 30-may-95 | 0.134 | 0.007 | 0.035 | 0.035 | 0.017 | 2.710 | 0.0004 | 0.313 | 0.044 | 0.000 | 0.191 | 0.001 | 0.157 | 0.251 |
| 9 | 15-jun-95 | 0.064 | 0.016 | 0.039 | 0.031 | 0.016 | 1.617 | 0.0002 | 0.184 | 0.024 | 0.043 | 0.030 | 0.021 | 0.143 | 0.664 |
| 10 | 27-jun-95 | 0.069 | 0.012 | 0.101 | 0.020 | 0.011 | 8.705 | 0.0000 | 0.118 | 0.032 | 0.015 | 0.073 | 0.025 | 0.290 | 1.491 |
| 11 | 29-jun-95 | 0.013 | 0.005 | 0.103 | 0.028 | 0.013 | 0.125 | 0.0000 | 0.045 | 0.041 | 0.018 | 0.007 | 0.001 | 0.029 | 0.223 |
| 12 | 4-jul-95 | 0.004 | 0.015 | 0.045 | 0.051 | 0.021 | 0.178 | 0.0001 | 0.135 | 0.020 | 0.008 | 0.015 | 0.001 | 0.022 | 0.091 |
| 13 | 11-jul-95 | 0.005 | 0.019 | 0.027 | 0.119 | 0.000 | 4.529 | 0.0002 | 0.025 | 0.091 | 0.042 | 0.044 | 0.001 | 0.256 | 0.392 |
| 14 | 19-jul-95 | 0.005 | 0.007 | 0.016 | 0.005 | 0.002 | 1.420 | 0.0001 | 0.140 | 0.072 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.219 | 1.531 |
| 15 | 27-jul-95 | 0.003 | 0.008 | 0.032 | 0.033 | 0.018 | 1.420 | 0.0000 | 0.107 | 0.024 | 0.000 | 0.014 | 0.007 | 0.251 | 1.442 |
| 16 | 1-ago-95 | 0.024 | 0.014 | 0.036 | 0.036 | 0.021 | 1.015 | 0.0000 | 0.178 | 0.024 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.211 | 0.307 |
| 17 | 8-ago-95 | 0.015 | 0.019 | 0.048 | 0.029 | 0.021 | 0.952 | 0.0004 | 0.076 | 0.005 | 0.000 | 0.015 | 0.013 | 0.442 | 0.773 |
| 18 | 14-ago-95 | 0.018 | 0.018 | 0.106 | 0.034 | 0.021 | 0.026 | 0.075 | 0.223 | 0.135 | 0.004 | 0.001 | 0.010 | 0.207 | 0.288 |
| 19 | 22-ago-95 | 0.017 | 0.009 | 0.000 | 0.025 | 0.012 | 0.100 | 0.000 | 0.100 | 0.010 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.300 | 0.500 |
| 20 | 24-ago-95 | 0.024 | 0.014 | 0.015 | 0.032 | 0.018 | 1.054 | 0.0004 | 0.269 | 0.147 | 0.019 | 0.004 | 0.000 | 0.195 | 0.395 |
| 21 | 5-sep-95 | 0.010 | 0.025 | 0.100 | 0.010 | 0.010 | 4.872 | 0.0000 | 0.070 | 0.040 | 0.000 | 0.045 | 0.000 | 0.195 | 0.713 |

Tabla 3.3 PLANTA DE TRATAMIENTO MACROPLANTA TOLUCA-NORTE Estacion de muestreo: efluente

| Muestra | Fecha | As | Cd | Cu | Cr | Crhex. | Fa | Hg | Mn | Ni | Ag | Pb | Se | Zn | Al |
|---------|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 22-mar-95 | 0.007 | 0.000 | 0.024 | 0.018 | 0.008 | 0.017 | 0.006 | 0.045 | 0.000 | 0.000 | 0.015 | 0.001 | 0.008 | 0.041 |
| 2 | 21-mar-95 | 0.006 | 0.006 | 0.037 | 0.010 | 0.000 | 0.036 | 0.006 | 0.060 | 0.001 | 0.000 | 0.028 | 0.002 | 0.012 | 0.031 |
| 3 | 7-abr-95 | 0.004 | 0.009 | 0.090 | 0.031 | 0.011 | 0.110 | 0.063 | 0.060 | 0.003 | 0.006 | 0.031 | 0.000 | 0.011 | 0.035 |
| 4 | 13-abr-95 | 0.015 | 0.000 | 0.055 | 0.043 | 0.009 | 0.06 | 0.017 | 0.044 | 0.007 | 0.000 | 0.031 | 0.000 | 0.016 | 0.033 |
| 5 | 20-abr-95 | 0.008 | 0.000 | 0.033 | 0.019 | 0.001 | 0.013 | 0.003 | 0.021 | 0.001 | 0.004 | 0.008 | 0.000 | 0.005 | 0.010 |
| 6 | 27-abr-95 | 0.012 | 0.000 | 0.044 | 0.010 | 0.005 | 0.048 | 0.000 | 0.048 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 7 | 25-may-95 | 0.006 | 0.000 | 0.016 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8 | 30-may-95 | 0.007 | 0.000 | 0.016 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 9 | 15-jun-95 | 0.007 | 0.016 | 0.028 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 10 | 22-jun-95 | 0.040 | 0.011 | 0.031 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 11 | 29-jun-95 | 0.013 | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 12 | 4-jul-95 | 0.000 | 0.010 | 0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 13 | 11-jul-95 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 14 | 18-jul-95 | 0.002 | 0.000 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | 27-jul-95 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 16 | 1-ago-95 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 17 | 18-ago-95 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 18 | 14-ago-95 | 0.010 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 22-ago-95 | 0.000 | 0.000 | 0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | 24-ago-95 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 21 | 5-sep-95 | 0.000 | 0.000 | 0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | NOM-CCA-032 | 0.100 | 0.010 | 0.200 | 0.100 | | 0.000 | | 0.000 | 0.200 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | NOM-CCA-031 | 0.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | 0.010 | | 0.000 | 0.400 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

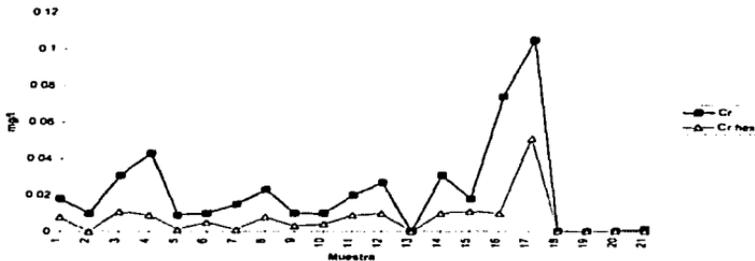
Los resultados son expresados en mg/l
 Los límites permitidos por la NOM-CCA-031

COBRE Y CADMIO



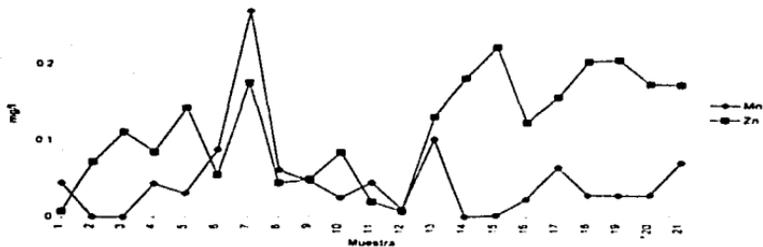
Gráfica 3 1.- Variación de la concentración de cobre y cadmio en el efluente de la planta de tratamiento en estudio

CROMO Y CROMO HEX.



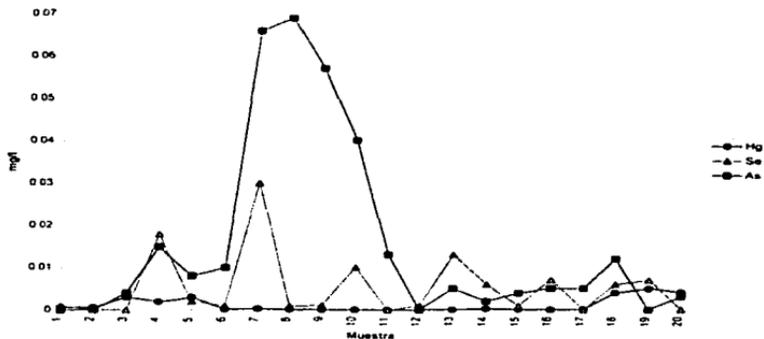
Gráfica 3 2.- Comportamiento de la cantidad de cromo total y cromo VI en las muestras analizadas

MANGANESO Y ZINC



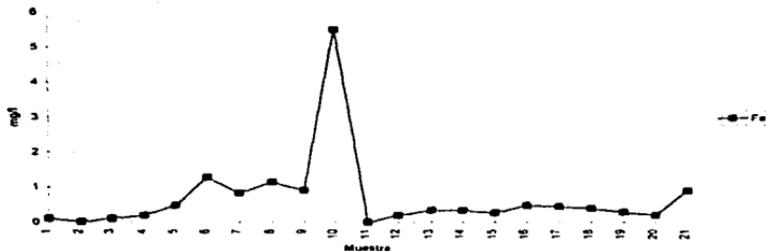
Gráfica 3 3 - Variación de la cantidad de manganeso y zinc del efluente de la planta de tratamiento Macroplanta Toluca-Norte

ARSENICO, SELENIO Y MERCURIO



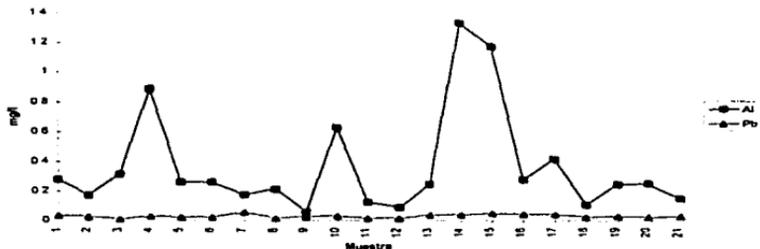
Gráfica 3 4 - Grafico que representa las variaciones de los elementos analizadas por el método de generación de hidruros

HIERRO

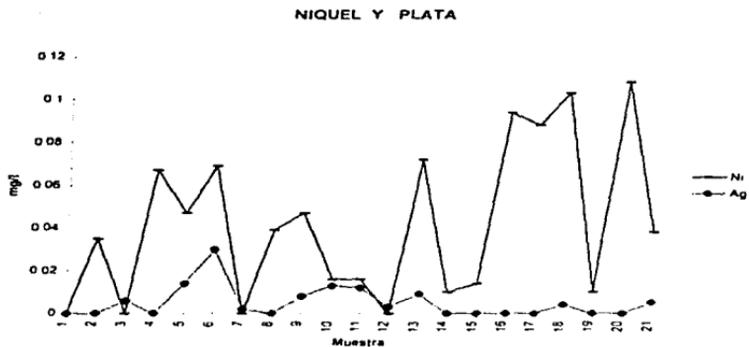


Gráfica 3.5 - Variaciones obtenidas en la determinación de hierro en la planta de tratamiento de aguas residuales en estudio

ALUMINIO Y PLOMO



Gráfica 3.6 - Gráfica que representa las concentraciones obtenidas de los metales de aluminio y plomo por el método de horno de grafito



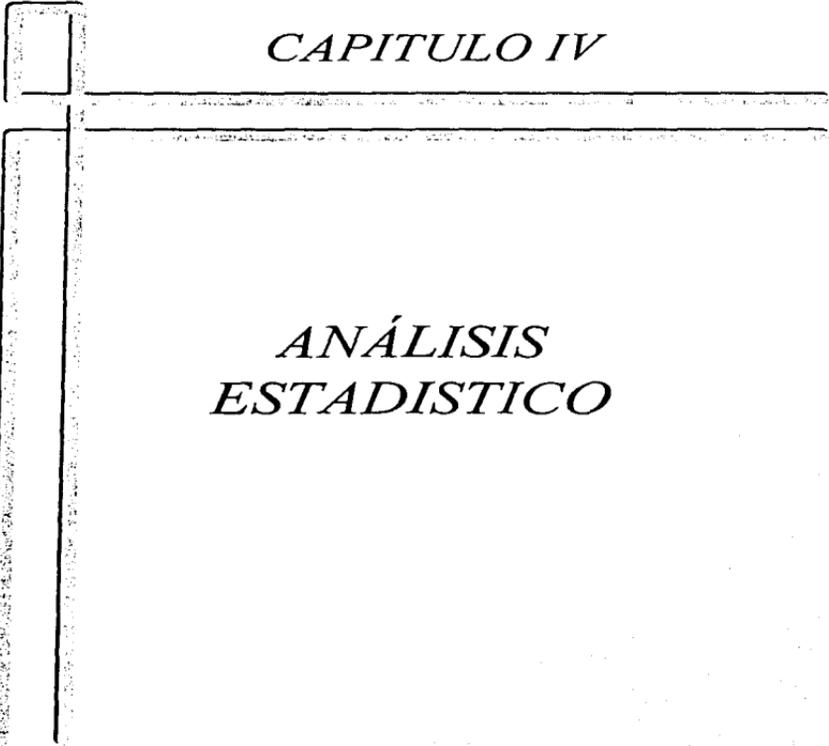
Gráfica 3 7 - Comportamiento de la cantidad de níquel y plata en el análisis efectuado de Marzo a Septiembre de 1995, en la planta de tratamiento Macroplanta Toluca-Norte

Tabla 3.4.- Eficiencias en porcentaje de remoción, de los metales analizados provenientes de la planta de tratamiento "Macroplanta Toluca-Norte" :

| Parámetro | Influyente Promedio(mg/l) | Efluente Promedio(mg/l) | Remoción Porcentaje |
|-------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Arsénico | 0.031 | 0.016 | 48.39 |
| Cadmio | 0.012 | 0.006 | 50.00 |
| Cobre | 0.077 | 0.032 | 58.44 |
| Cromo total | 0.042 | 0.022 | 47.62 |
| Cromo+6 | 0.020 | 0.007 | 65.00 |
| Hierro | 2.389 | 0.690 | 71.12 |
| Mercurio | 0.004 | 0.0014 | 65.00 |
| Manganeso | 0.207 | 0.048 | 76.81 |
| Niquel | 0.070 | 0.042 | 40.00 |
| Plata | 0.012 | 0.005 | 58.33 |
| Plomo | 0.052 | 0.031 | 40.38 |
| Selenio | 0.022 | 0.006 | 72.73 |
| Zinc | 0.226 | 0.115 | 49.12 |
| Aluminio | 0.766 | 0.366 | 52.22 |

Tabla 3.5.-De los metales mayoritarios , Calcio, Magnesio, Sodio y de Bario se obtuvo los siguientes resultados del efluente de la planta de tratamiento en estudio:

| Muestra | Ca (mg/l) | Mg (mg/l) | Na (mg/l) | Ba (mg/l) |
|-----------------|---------------|---------------|----------------|--------------|
| 1 | 32.600 | 12.600 | 121.000 | 0.022 |
| 2 | 22.195 | 6.000 | 87.000 | 0.004 |
| 3 | 12.500 | 20.500 | 166.000 | 0.015 |
| 4 | 119.000 | 9.000 | 73.000 | 0.019 |
| 5 | 9.700 | 26.000 | 768.000 | 0.025 |
| 6 | 46.000 | 13.000 | 719.000 | 0.021 |
| 7 | 11.000 | 15.200 | 172.000 | 0.064 |
| 8 | 80.000 | 10.000 | 102.000 | 0.036 |
| 9 | 50.000 | 9.000 | 125.000 | 0.051 |
| 10 | 7.500 | 24.000 | 128.000 | 0.034 |
| 11 | 35.000 | 4.000 | 184.400 | 0.026 |
| 12 | 29.000 | 3.000 | 264.000 | 0.026 |
| 13 | 29.000 | 21.000 | 66.500 | 0.031 |
| 14 | 50.000 | 3.041 | 327.000 | 0.032 |
| 15 | 62.000 | 2.991 | 331.000 | 0.021 |
| 16 | 34.500 | 40.000 | 234.000 | 0.030 |
| 17 | 90.000 | 42.000 | 316.000 | 0.033 |
| 18 | 13.000 | 17.500 | 60.000 | 0.021 |
| 19 | 24.000 | 20.000 | 69.500 | 0.024 |
| 20 | 71.000 | 26.000 | 69.000 | 0.017 |
| 21 | 5.721 | 18.300 | 32.000 | 0.018 |
| Promedio | 38.990 | 16.340 | 210.162 | 0.027 |



CAPITULO IV

*ANÁLISIS
ESTADÍSTICO*

4.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO

De los metales pesados determinados y de acuerdo a los resultados obtenidos, se realizó un análisis estadístico de los mismos utilizando un método de distribución de frecuencias y medidas de tendencia central; para observar el comportamiento de la cantidad de cada metal en el período comprendido de Marzo-Septiembre de 1995 en el efluente de la planta de tratamiento en estudio y obtener la media, mediana, el coeficiente de variación y la desviación estandar.

Se utilizaron las siguientes fórmulas para obtener las medidas antes mencionadas:

Media aritmética o media:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Mediana: (Valor que divide una distribución en dos mitades, o valor del término medio)

Si n es un número impar, la mediana es el valor de la observación que aparece en el lugar número $\frac{n+1}{2}$; si n es un número par, la mediana se define como el promedio de los valores de las observaciones que aparecen en los lugares $\frac{n}{2}$ y $\frac{n+2}{2}$

Moda: Es el valor que ocurre con mayor frecuencia

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n-1}$$

Coeficiente de variación:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100$$

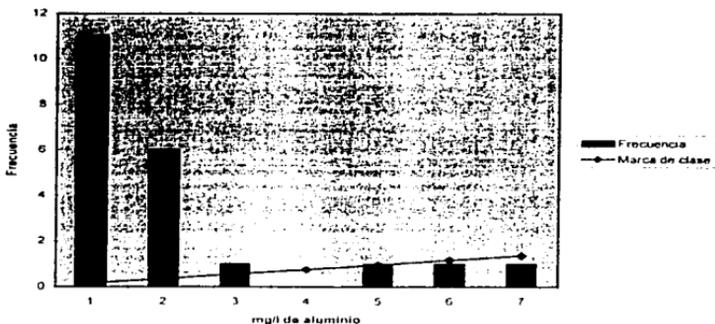
Tabla 4.1.- Del análisis estadístico se obtuvieron los siguientes resultados:

| Parámetro | Media | Mediana | Moda | Dev. Std. | Coef. de variación |
|-----------|--------|---------|------------|-----------|--------------------|
| Aluminio | 0.366 | 0.247 | 0.263 | 0.349 | 95.53 |
| Arsénico | 0.016 | 0.005 | 0.000 | 0.022 | 142.75 |
| Cadmio | 0.006 | 0.006 | 0.000 | 0.006 | 102.86 |
| Cobre | 0.032 | 0.034 | 0.021 | 0.021 | 64.98 |
| Cromo | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.026 | 119.50 |
| Cromo+6 | 0.007 | 0.005 | 0.000 | 0.011 | 152.32 |
| Mercurio | 0.0014 | 0.003 | 0.000 | 0.002 | 154.14 |
| Níquel | 0.042 | 0.035 | 0.000 | 0.036 | 87.56 |
| Plata | 0.005 | 0.002 | 0.000 | 0.007 | 147.50 |
| Plomo | 0.031 | 0.030 | 0.025 | 0.012 | 37.99 |
| Zinc | 0.115 | 0.123 | 0.008 | 0.068 | 59.39 |
| Selenio | 0.006 | 0.001 | 0.001 | 0.008 | 136.95 |
| Manganeso | 0.048 | 0.028 | 0.028,0.00 | 0.058 | 120.90 |

Gráfica 4.1.1 Que representa el análisis estadístico empleado en la determinación de aluminio

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|-----------------------|------------|---|----|
| 1 | 0,281 | 0,059-0,259 | 11 | 0,159 | 1 |
| 2 | 0,173 | 0,260-0,460 | 6 | 0,36 | 2 |
| 3 | 0,315 | 0,461-0,661 | 1 | 0,561 | 3 |
| 4 | 0,888 | 0,662-0,862 | 0 | 0,762 | 4 |
| 5 | 0,263 | 0,863-1,063 | 1 | 0,963 | 5 |
| 6 | 0,0263 | 1,064-1,264 | 1 | 1,164 | 6 |
| 7 | 0,176 | 1,265-1,465 | 1 | 1,365 | 7 |
| 8 | 0,215 | | | | |
| 9 | 0,059 | Media \bar{x} 0,366 | | Coef de variación S/\bar{x} 100 95,53 | |
| 10 | 0,628 | Mediana 0,247 | | | |
| 11 | 0,127 | Moda 0,263 | | | |
| 12 | 0,091 | Desv. Std. S 0,349 | | | |
| 13 | 0,247 | | | | |
| 14 | 1,331 | | | | |
| 15 | 1,172 | | | | |
| 16 | 0,279 | | | | |
| 17 | 0,416 | | | | |
| 18 | 0,108 | | | | |
| 19 | 0,246 | | | | |
| 20 | 0,262 | | | | |
| 21 | 0,150 | | | | |

Aluminio

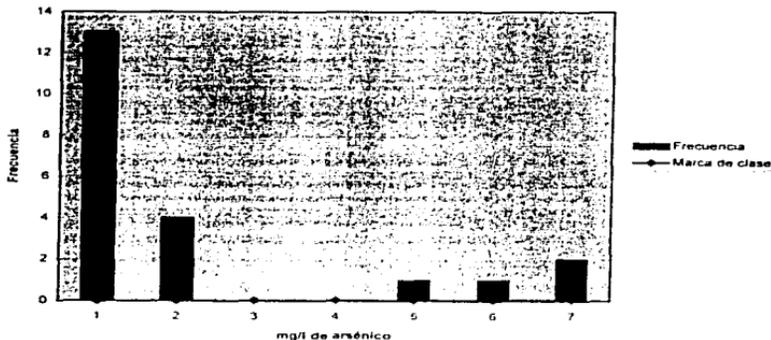


Gráfica 4 1 2 -Q1-o representa el método estadístico empleado para mostrar las variaciones obtenidas en la determinación de arsénico

| Muestra | Conc. mg/l | No | Clase | Frecuencia | Marca de clase |
|---------|------------|----|-------------|------------|----------------|
| 1 | 0 | 1 | 0,000-0,009 | 13 | 0,0045 |
| 2 | 0 | 2 | 0,010-0,019 | 4 | 0,0145 |
| 3 | 0,004 | 3 | 0,020-0,029 | 0 | 0,0245 |
| 4 | 0,015 | 4 | 0,030-0,039 | 0 | 0,0345 |
| 5 | 0,008 | 5 | 0,040-0,049 | 1 | 0,0445 |
| 6 | 0,01 | 6 | 0,050-0,059 | 1 | 0,0545 |
| 7 | 0,066 | 7 | 0,060-0,069 | 2 | 0,0655 |
| 8 | 0,069 | | | | |
| 9 | 0,057 | | | | |
| 10 | 0,04 | | | | |
| 11 | 0,013 | | | | |
| 12 | 0 | | | | |
| 13 | 0,005 | | | | |
| 114 | 0,002 | | | | |
| 15 | 0,004 | | | | |
| 16 | 0,005 | | | | |
| 17 | 0,005 | | | | |
| 18 | 0,012 | | | | |
| 19 | 0 | | | | |
| 20 | 0,003 | | | | |
| 21 | 0,008 | | | | |

Media \bar{x} 0,0155
 Moda 0,000
 Mediana 0,005
 Desv std S 0,0221
 Coeficiente de variación (S/x) 100= 142,748

Arsénico

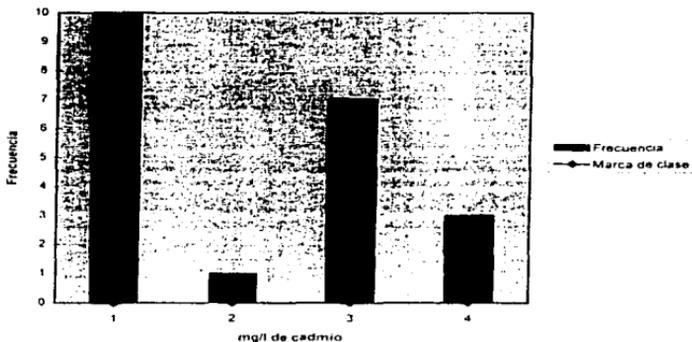


Grafica4 1 3 - Que representa el método estadístico empleado para mostrar las variaciones obtenidas en la determinación de **Cadmio**

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|--------------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0 | 0.000-0.003 | 10 | 0.0015 | 1 |
| 2 | 0.008 | 0.004-0.007 | 1 | 0.0055 | 2 |
| 3 | 0 | 0.008-0.012 | 7 | 0.01 | 3 |
| 4 | 0 | 0.013-0.016 | 3 | 0.0145 | 4 |
| 5 | 0 | | | | |
| 6 | 0 | | | | |
| 7 | 0 | | | | |
| 8 | 0.006 | Media x 0.00595 | | | |
| 9 | 0.016 | Moda 0.000 | | | |
| 10 | 0.011 | Mediana 0.006 | | | |
| 11 | 0 | Desv std S 0.00612 | | | |
| 12 | 0.013 | | | | |
| 13 | 0.016 | | | | |
| 14 | 0 | | | | |
| 15 | 0 | | | | |
| 16 | 0.012 | | | | |
| 17 | 0.012 | | | | |
| 18 | 0.009 | | | | |
| 19 | 0.001 | | | | |
| 20 | 0.011 | | | | |
| 21 | 0.01 | | | | |

Coef. de variación (S/x) 100 = 102.86

Cadmio

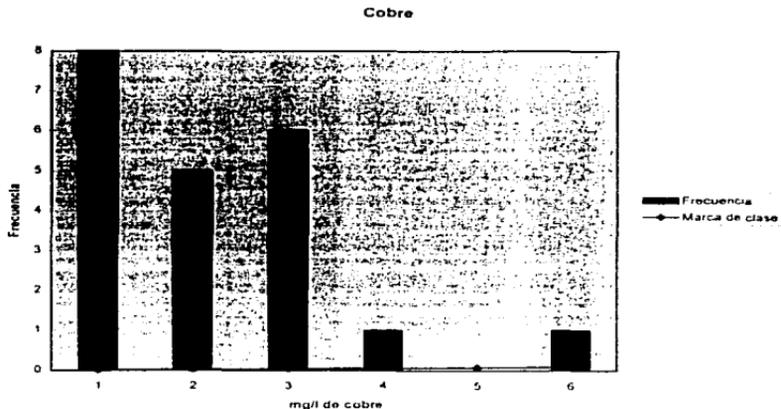


Gráfica 1.4 - Que representa el método estadístico empleado para mostrar las variaciones en la determinación de cobre

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|-------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0.024 | 0.006-0.021 | 8 | 0.0135 | 1 |
| 2 | 0.037 | 0.022-0.037 | 5 | 0.0295 | 2 |
| 3 | 0.1 | 0.038-0.053 | 6 | 0.0455 | 3 |
| 4 | 0.055 | 0.054-0.069 | 1 | 0.0615 | 4 |
| 5 | 0.053 | 0.070-0.085 | 0 | 0.0775 | 5 |
| 6 | 0.034 | 0.086-0.101 | 1 | 0.0935 | 6 |
| 7 | 0.016 | | | | |
| 8 | 0.015 | | | | |
| 9 | 0.026 | | | | |
| 10 | 0.031 | | | | |
| 11 | 0.01 | | | | |
| 12 | 0.04 | | | | |
| 13 | 0.006 | | | | |
| 14 | 0.007 | | | | |
| 15 | 0.021 | | | | |
| 16 | 0.039 | | | | |
| 17 | 0.02 | | | | |
| 18 | 0.021 | | | | |
| 19 | 0.043 | | | | |
| 20 | 0.039 | | | | |
| 21 | 0.041 | | | | |

Media \bar{x} 0.0322
 Meda 0.021
 Mediana 0.034
 Desv. std. S 0.0210

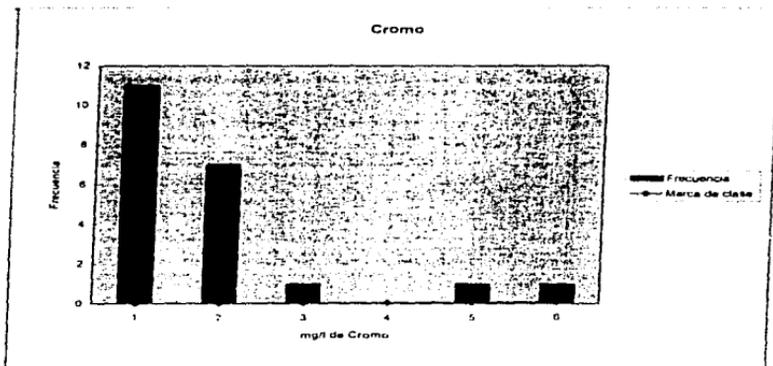
Coef de var (S/x) 100= 64.98



Gráfica 1.5 - Que muestra el método estadístico empleado para mostrar las variaciones en la determinación de Cromo

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|--------------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0.018 | 0.000-0.017 | 11 | 0.0085 | 1 |
| 2 | 0.010 | 0.018-0.035 | 7 | 0.0265 | 2 |
| 3 | 0.031 | 0.036-0.053 | 1 | 0.0445 | 3 |
| 4 | 0.043 | 0.054-0.071 | 0 | 0.0625 | 4 |
| 5 | 0.009 | 0.072-0.089 | 1 | 0.0805 | 5 |
| 6 | 0.010 | 0.090-0.107 | 1 | 0.0985 | 6 |
| 7 | 0.015 | | | | |
| 8 | 0.023 | Media x 0.02165 | | | |
| 9 | 0.010 | Mediana 0.015 | | | |
| 10 | 0.010 | Moda 0.010 | | | |
| 11 | 0.020 | Desv. std S 0.0269 | | | |
| 12 | 0.027 | | | | |
| 13 | 0.000 | | | | |
| 14 | 0.031 | | | | |
| 15 | 0.018 | | | | |
| 16 | 0.074 | | | | |
| 17 | 0.105 | | | | |
| 18 | 0.000 | | | | |
| 19 | 0.000 | | | | |
| 20 | 0.000 | | | | |
| 21 | 0.001 | | | | |

Coef. de variación (S/x) 100 = 119.5

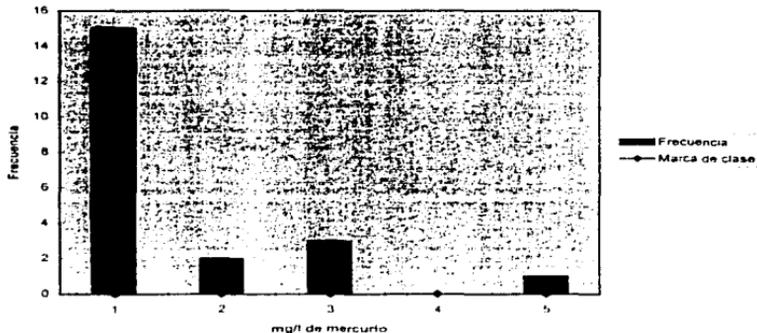


Gráfica 1.7 - Que representa el análisis estadístico de la determinación de mercurio

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|--------------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0,0006 | 0.000-0.001 | 15 | 0.0005 | 1 |
| 2 | 0,005 | 0.002-0.003 | 2 | 0.0025 | 2 |
| 3 | 0,003 | 0.004-0.005 | 3 | 0.0045 | 3 |
| 4 | 0,002 | 0.006-0.007 | 0 | 0.0065 | 4 |
| 5 | 0,003 | 0.008-0.009 | 1 | 0.0085 | 5 |
| 6 | 0,0002 | | | | |
| 7 | 0,0004 | Media x 0.00144 | | | |
| 8 | 0,0002 | Mediana 0.0003 | | | |
| 9 | 0,000 | Moda 0.000 | | | |
| 10 | 0,000 | Desv. std S 0.0022 | | | |
| 11 | 0,000 | | | | |
| 12 | 0,000 | | | | |
| 13 | 0,000 | | | | |
| 14 | 0,0003 | | | | |
| 15 | 0,0002 | | | | |
| 16 | 0,000 | | | | |
| 17 | 0,0001 | | | | |
| 18 | 0,004 | | | | |
| 19 | 0,005 | | | | |
| 20 | 0,004 | | | | |
| 21 | 0,008 | | | | |

Coef. de variación (S/x) = 100 154 140

Mercurio

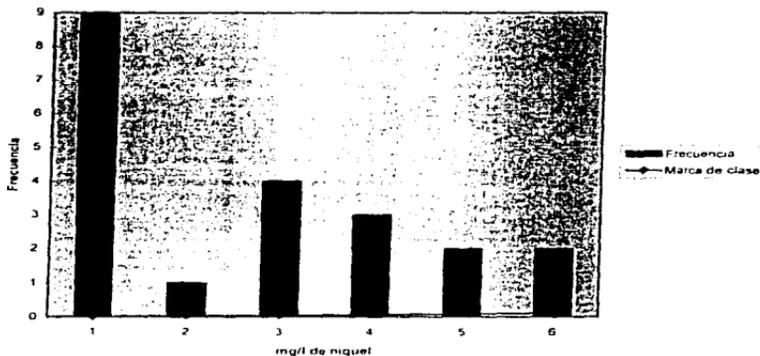


Gráfica 4.1.8 - Que representa el análisis estadístico sobre la determinación de níquel en el estudio realizado

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|-----------------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0,000 | 0,000-0,018 | 9 | 0,009 | 1 |
| 2 | 0,035 | 0,019-0,037 | 1 | 0,028 | 2 |
| 3 | 0,000 | 0,038-0,056 | 4 | 0,047 | 3 |
| 4 | 0,067 | 0,057-0,075 | 3 | 0,066 | 4 |
| 5 | 0,047 | 0,076-0,094 | 2 | 0,085 | 5 |
| 6 | 0,069 | 0,095-0,113 | 2 | 0,104 | 6 |
| 7 | 0,000 | | | | |
| 8 | 0,039 | Media \bar{x} 0,042 | | | |
| 9 | 0,047 | Mediana 0,035 | | | |
| 10 | 0,016 | Moda 0,000 | | | |
| 11 | 0,016 | Desv. std. S 0,0364 | | | |
| 12 | 0,000 | | | | |
| 13 | 0,072 | | | | |
| 14 | 0,010 | | | | |
| 15 | 0,014 | | | | |
| 16 | 0,094 | | | | |
| 17 | 0,088 | | | | |
| 18 | 0,103 | | | | |
| 19 | 0,010 | | | | |
| 20 | 0,108 | | | | |
| 21 | 0,038 | | | | |

Coef. de variación (S/x) 100 87,563

Níquel

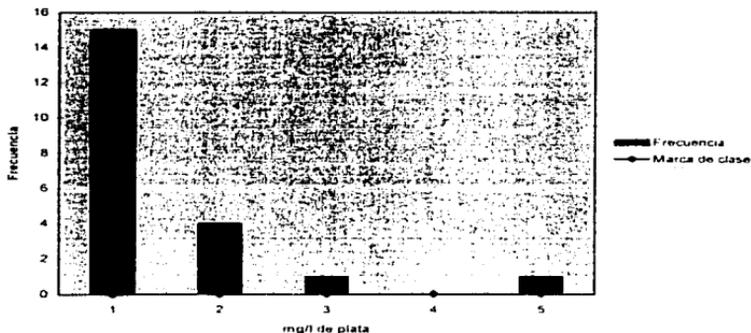


Gráfica 1.9 - Que muestra el método estadístico empleado para demostrar las variaciones obtenidas en la determinación de plata

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|------------------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0,000 | 0.000-0.005 | 15 | 0.003 | 1 |
| 2 | 0,000 | 0.007-0.013 | 4 | 0.01 | 2 |
| 3 | 0,006 | 0.014-0.020 | 1 | 0.017 | 3 |
| 4 | 0,000 | 0.021-0.027 | 0 | 0.024 | 4 |
| 5 | 0,014 | 0.028-0.034 | 1 | 0.031 | 5 |
| 6 | 0,030 | | | | |
| 7 | 0,002 | Media \bar{x} 0.005 | | | |
| 8 | 0,000 | Mediana 0.002 | | | |
| 9 | 0,008 | Moda 0.000 | | | |
| 10 | 0,013 | Desv. std. S 0.00744 | | | |
| 11 | 0,012 | | | | |
| 12 | 0,003 | | | | |
| 13 | 0,009 | | | | |
| 14 | 0,000 | | | | |
| 15 | 0,000 | | | | |
| 16 | 0,000 | | | | |
| 17 | 0,000 | | | | |
| 18 | 0,004 | | | | |
| 19 | 0,000 | | | | |
| 20 | 0,000 | | | | |
| 21 | 0,005 | | | | |

Coef. de variación (S/\bar{x}) 100 147.5

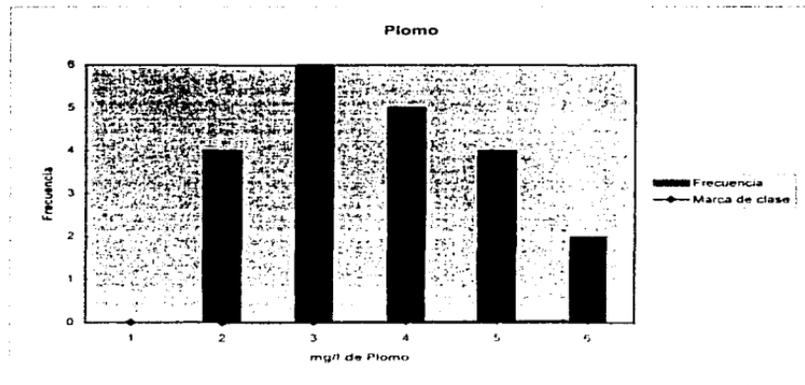
Plata



Gráfica 4.1.10 -que representa el método estadístico empleado para mostrar las variaciones obtenidas en la determinación de Plomo

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|-----------------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0.035 | 0.000-0.009 | 0 | 0.0045 | 1 |
| 2 | 0.028 | 0.010-0.019 | 4 | 0.0145 | 2 |
| 3 | 0.011 | 0.020-0.029 | 5 | 0.0245 | 3 |
| 4 | 0.031 | 0.030-0.039 | 5 | 0.0345 | 4 |
| 5 | 0.025 | 0.040-0.049 | 4 | 0.0445 | 5 |
| 6 | 0.025 | 0.050-0.059 | 2 | 0.0545 | 6 |
| 7 | 0.058 | | | | |
| 8 | 0.017 | | | | |
| 9 | 0.028 | Meda \bar{x} 0.0313 | | | |
| 10 | 0.032 | Mediana 0.030 | | | |
| 11 | 0.018 | Desv. std S 0.0119 | | | |
| 12 | 0.017 | | | | |
| 13 | 0.04 | | | | |
| 14 | 0.042 | | | | |
| 15 | 0.05 | | | | |
| 16 | 0.046 | | | | |
| 17 | 0.044 | | | | |
| 18 | 0.025 | | | | |
| 19 | 0.03 | | | | |
| 20 | 0.025 | | | | |
| 21 | 0.03 | | | | |

Coef. de variación (S/\bar{x}) 100 = 37.99

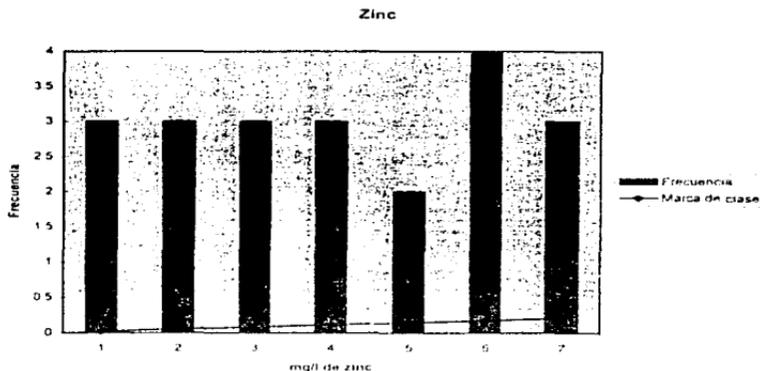


Gráfica 1.11 - que muestra el método estadístico empleado para mostrar las variaciones obtenidas en la determinación de zinc

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|-------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0,008 | 0,008-0,038 | 3 | 0,023 | 1 |
| 2 | 0,072 | 0,039-0,069 | 3 | 0,054 | 2 |
| 3 | 0,111 | 0,070-0,100 | 3 | 0,085 | 3 |
| 4 | 0,085 | 0,101-0,131 | 3 | 0,116 | 4 |
| 5 | 0,143 | 0,132-0,161 | 2 | 0,1465 | 5 |
| 6 | 0,055 | 0,162-0,192 | 4 | 0,177 | 6 |
| 7 | 0,176 | 0,193-0,223 | 3 | 0,208 | 7 |
| 8 | 0,045 | | | | |
| 9 | 0,049 | | | | |
| 10 | 0,084 | | | | |
| 11 | 0,020 | | | | |
| 12 | 0,008 | | | | |
| 13 | 0,130 | | | | |
| 14 | 0,181 | | | | |
| 15 | 0,222 | | | | |
| 16 | 0,123 | | | | |
| 17 | 0,156 | | | | |
| 18 | 0,203 | | | | |
| 19 | 0,205 | | | | |
| 20 | 0,173 | | | | |
| 21 | 0,172 | | | | |

Media \bar{x} 0,115
 Mediana 0,123
 Moda 0,008
 Desv. std. S 0,0683

Coef. de variación (S/x) 100: 59,39

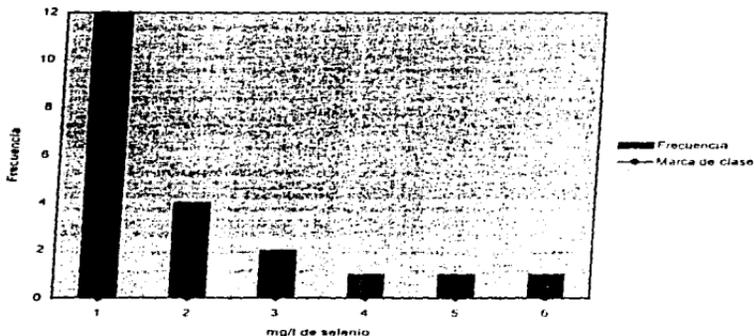


Gráfica 1 12 - Que representa el método estadístico empleado para mostrar las variaciones en la determinación de **selenio**

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|--------------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0,001 | 0,000-0,004 | 12 | 0,002 | 1 |
| 2 | 0,000 | 0,005-0,009 | 4 | 0,007 | 2 |
| 3 | 0,000 | 0,010-0,014 | 2 | 0,012 | 3 |
| 4 | 0,018 | 0,015-0,019 | 1 | 0,017 | 4 |
| 5 | 0,002 | 0,020-0,024 | 1 | 0,022 | 5 |
| 6 | 0,001 | 0,025-0,030 | 1 | 0,0275 | 6 |
| 7 | 0,030 | | | | |
| 8 | 0,001 | | | | |
| 9 | 0,001 | Media x 0,006 | | | |
| 10 | 0,010 | Mediana 0,001 | | | |
| 11 | 0,000 | Moda 0,001 | | | |
| 12 | 0,0001 | Desv. std S 0,0052 | | | |
| 13 | 0,013 | | | | |
| 14 | 0,006 | | | | |
| 15 | 0,001 | | | | |
| 16 | 0,007 | | | | |
| 17 | 0,000 | | | | |
| 18 | 0,006 | | | | |
| 19 | 0,007 | | | | |
| 20 | 0,000 | | | | |
| 21 | 0,020 | | | | |

Coef de variación (S/x) 100 = 136,95

Selenio

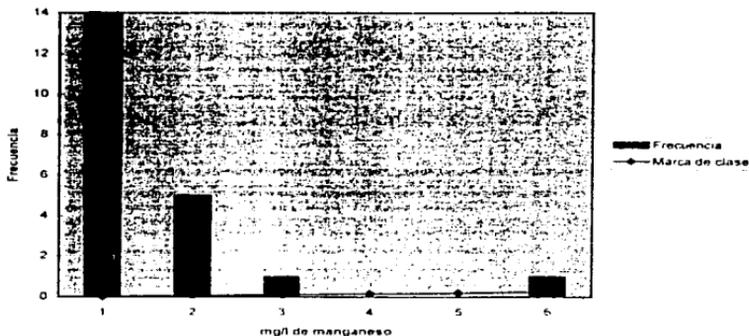


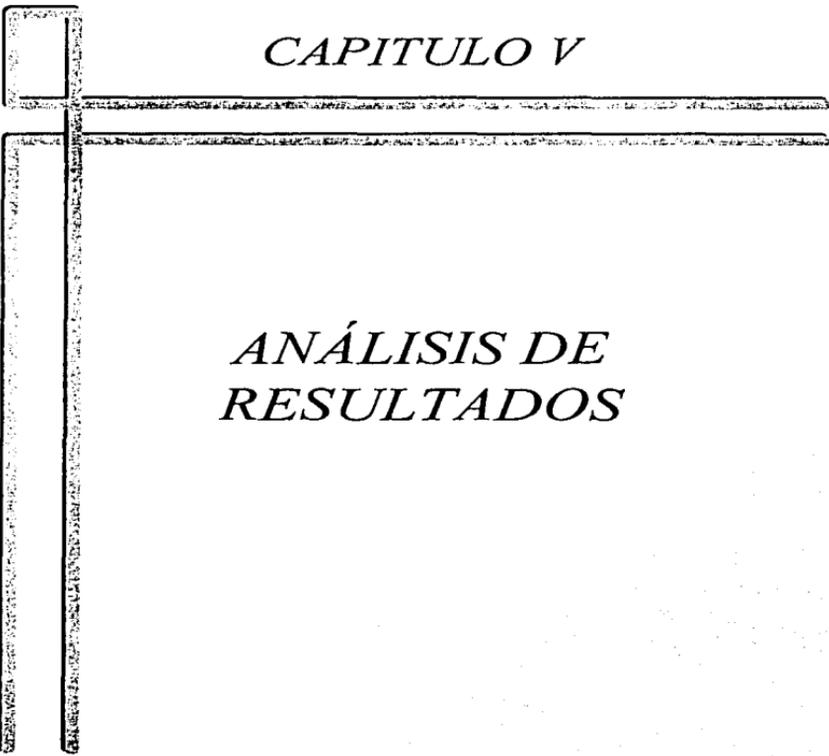
Grafica4 1 13 - Que muestra el análisis estadístico realizado para la determinación de manganeso

| Muestra | Conc. mg/l | Clase | Frecuencia | Marca de clase | No |
|---------|------------|--------------------|------------|----------------|----|
| 1 | 0,045 | 0,000-0,045 | 14 | 0,0225 | 1 |
| 2 | 0,000 | 0,046-0,091 | 5 | 0,0685 | 2 |
| 3 | 0,000 | 0,092-0,137 | 1 | 0,1145 | 3 |
| 4 | 0,044 | 0,138-0,183 | 0 | 0,1605 | 4 |
| 5 | 0,031 | 0,184-0,229 | 0 | 0,2065 | 5 |
| 6 | 0,088 | 0,230-275 | 1 | 0,2525 | 6 |
| 7 | 0,270 | | | | |
| 8 | 0,062 | Media x 0,048 | | | |
| 9 | 0,047 | Mediana 0,028 | | | |
| 10 | 0,025 | Moda 0,028 - 0,000 | | | |
| 11 | 0,045 | Desv std S 0,0582 | | | |
| 12 | 0,010 | | | | |
| 13 | 0,101 | | | | |
| 14 | 0,000 | | | | |
| 15 | 0,002 | | | | |
| 16 | 0,023 | | | | |
| 17 | 0,064 | | | | |
| 18 | 0,028 | | | | |
| 19 | 0,028 | | | | |
| 20 | 0,028 | | | | |
| 21 | 0,070 | | | | |

Coef de variación (S/x) 100 120,9

Manganeso



A decorative L-shaped border is positioned on the left side of the page. It consists of a vertical line and a horizontal line that meet at a top-left corner. The corner is reinforced with a small square frame. The lines are thick and have a slightly grainy, hand-drawn appearance.

CAPITULO V

*ANÁLISIS DE
RESULTADOS*

5.-ANÁLISIS DE RESULTADOS

El agua tratada (efluente) de la planta de tratamiento, tiene las características que cubren los requisitos para su posterior aprovechamiento en el riego agrícola de acuerdo a la norma oficial mexicana **NOM-032-ECOL-1993**

que establece los límites máximos permisibles de contaminante en aguas residuales municipales para su disposición mediante riego agrícola. Como se observa en la siguiente tabla 5.1, no se rebasa ningún límite máximo permisible respecto a los metales pesados: Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, y Zn, que forman parte de dicha Norma

Tabla 5.1.- Límites máximos permisibles de metales de la norma NOM-032-ECOL-1993 en comparación con los resultados promedio de metales pesados del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales "Macroplanta Toluca-Norte"

| Parámetro | Límite máximo permisible | Planta de tratamiento "efluente" (promedio) |
|-----------|--------------------------|---|
| Al | 5.0 | 0.366 |
| As | 0.1 | 0.016 |
| B | 1.5 | ----- |
| Cd | 0.01 | 0.006 |
| Cu | 0.2 | 0.032 |
| Cr | 0.1 | 0.0217 |
| Fe | 5.0 | 0.690 |
| Mn | 0.2 | 0.048 |
| Ni | 0.2 | 0.042 |
| Pb | 5.0 | 0.0313 |
| Se | 0.020 | 0.006 |
| Zn | 2.0 | 0.115 |

Nota: En el proceso de cuantificación de estos metales no se realizó un análisis estadístico de cada uno, para observar las variaciones que puedan obtenerse en utilizar este tipo de métodos analíticos. los resultados están reportados en mg/l

Por parte de la norma oficial mexicana **NOM-031-ECOL-93** que establece los límites de contaminantes en tratamiento de aguas a los sistemas de drenaje , alcantarillado urbano o municipal en cuanto a metales se refiere (Al,As, Cd, Cu, Cr vi, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, Pb, Zn), no se rebasa ningún límite con respecto a esta norma como se observa en la siguiente tabla 5.2.

Tabla 5.2.- Límites máximos permisibles de metales de la norma NOM-CCA-031-ECOL/93 en comparación con los resultados promedio del efluente de la Planta de Tratamiento de aguas residuales "Macroplanta Toluca-Norte"

| Parámetro | Límites máximos permisibles | | Efluente (promedio) |
|-----------|-----------------------------|-------------|------------------------|
| | Promedio diario | Instantáneo | |
| Al | 10 | 20 | 0.366 |
| As | 0.5 | 1.0 | 0.016 |
| Cd | 0.5 | 1.0 | 0.006 |
| Cu | 5 | 10 | 0.032 |
| Cr VI | 0.5 | 1.0 | 0.0072 |
| Cr | 2.5 | 5.0 | 0.0217 |
| Hg | 0.01 | 0.02 | 0.0014 |
| Ni | 4 | 8 | 0.042 |
| Ag | 1.0 | 2.0 | 0.005 |
| Pb | 1.0 | 2.0 | 0.0313 |
| Zn | 6 | 12 | 0.115 |

Nota: En el proceso de cuantificación de estos metales no se realizó un análisis estadístico de cada uno, para observar las variaciones que puedan obtenerse en utilizar este tipo de métodos analíticos. Los resultados se encuentran en mg/l

Tabla 5.3.-Normas de calidad de agua renovada para su reuso dictadas por la DGCOH en comparación con los resultados promedio de efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales Macroplanta Toluca-Norte.

| Parámetro | Recarga de acuíferos por inyección | Riego de áreas verdes | Uso agrícola (para crudos) | Industria Enfriamiento | Efluente Planta de tratamiento |
|-----------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Aluminio | 0.2 | 5.0 | 5.0 | 1.0 | 0.366 |
| Arsénico | 0.050 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.016 |
| Bario | 1.000 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.027 |
| Boro | 5.000 | 1.0 | 1.0 | 5.0 | ----- |
| Cadmio | 0.010 | 0.01 | 0.01 | 0.75 | 0.006 |
| Calcio | 400 | 375 | 375 | 75 | 38.990 |
| Cobre | 1.000 | 0.5 | 0.20 | 0.5 | 0.032 |
| Cromo | 0.050 | 0.10 | 0.10 | 1.0 | 0.022 |
| Cromo VI | 0.050 | 0.100 | 0.100 | 1.000 | 0.007 |
| Hierro | 0.300 | 5.000 | 5.000 | 0.500 | 0.690 |
| Mercurio | 0.002 | 0.020 | 0.002 | 0.020 | 0.0014 |
| Níquel | 0.050 | 0.200 | 0.20 | 0.200 | 0.042 |
| Plata | 0.050 | 0.050 | 0.050 | 0.050 | 0.007 |
| Plomo | 0.050 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 0.0313 |
| Selenio | 0.010 | 0.020 | 0.020 | 0.050 | 0.006 |
| Sodio | 100 | 250 | 250 | 500 | 210.162 |
| Magnesio | 125 | 250 | 250 | 250 | 16.340 |
| Manganeso | 0.050 | 0.200 | 0.20 | 0.500 | 0.048 |
| Zinc | 5.000 | 2.000 | 2.000 | 25 | 0.115 |
| RAS | 6.000 | 18 | 18 | 6 | 5.647 |

En el proceso de cuantificación de todos los metales mencionados no se realizó el análisis estadístico de cada uno, y observar las variaciones que puedan encontrarse al utilizar métodos analíticos de absorción atómica. Todos los parámetros se expresan en mg/l

De acuerdo a las Normas de calidad de agua renovada de la Dirección General de Contrucción y Operación Hidráulica (DGOH) del Distrito Federal el efluente de la planta de tratamiento en estudio cumple con las normas para reusar el agua en la recarga de acuíferos, en el riego de áreas verdes y en el reuso agrícola en lo que se refiere a alimentos crudos.

Tabla 5.4.- Que representa la calidad del agua tratada de la planta de tratamiento en estudio en comparación con las Normas Mexicanas en vigor. (NOM-031-ECOL-1993, NOM-032-ECOL-1993)

| Mes | pH unidad de pH | S.S.T. mg/l | D.B.O. mg/l | D.Q.O. mg/l | Gy A mg/l | Cof.T. col/100 ml | Conduct ividad µmhos/c m | Cloro resi- dual mg/l |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Marzo | 7.5 | 19.25 | 6.0 | 21.5 | 2.25 | 450 | 686.5 | 0.5 |
| Abril | 7.3 | 13 | 7 | 22 | 6 | 1050 | 634 | 0.6 |
| Mayo | 7.4 | 16 | 7 | 22 | 7 | 637 | 614 | 0.3 |
| Junio | 7.4 | 45 | 9 | 23 | 5 | 137 | 506 | 0.6 |
| Julio | 7.5 | 73.7 | 7.5 | 29 | 4.5 | 641 | 529 | 0.5 |
| Agosto | 7.4 | 45.6 | 6.5 | 24.3 | 6 | 544 | 534 | 0.8 |
| Sep. | 7.4 | 20.3 | 4.7 | 21.4 | 6.4 | 1435 | 592 | 0.7 |
| NOM- 031 Prom. diario | 6 a 9 | No sancio- nado | No sancio- nado | No sancio- nado | 60 | No sancio- nado | 5000 | — |
| NOM- 032 | 6.5 a 8.5 | 120 | 120 | 120 | No san- cionado | No san- cionado | 2000 | — |

Fuente: Resultados publicados por parte de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS). Laboratorio del Agua

De la tabla 5.4. se observa que los parámetros generales (pH, S.S.T., D.B.O., D.Q.O.) de un análisis de aguas residuales; ninguno de los mismos se encuentra por arriba de los límites establecidos de las Normas Mexicanas de referencia.



CAPITULO VI

DISCUSIÓN

6.0.-DISCUSIÓN

Con la finalidad de evaluar el comportamiento del saneamiento del Río Lerma , se realizó en el período de Marzo-Septiembre de 1995 el análisis fisicoquímico, tomando como parámetros de control de contaminantes orgánicos: la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.), Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.), Sólidos Suspendedos Totales(S.S.T.), del influente (Río Verdiguél) de la planta de tratamiento Macro planta Toluca-Norte y del efluente de la misma planta depuradora de agua, obteniéndose una reducción de estos contaminantes mayor al 90 %; y los resultados obtenidos del efluente en cuanto a estos parámetros estan muy por debajo de los límites máximos permisibles de la Norma técnica ecológica NOM-032-ECOL-1993.

En cuanto a otros parámetros fisicoquímicos (Conductividad, Grasas y aceites), también se encuentran muy por debajo de la NOM-031-ECOL-1993. El pH de el efluente es el óptimo (7.4) para su posible reutilización para el riego agrícola.

En comparación de las Normas Mexicanas en vigor que rigen las condiciones de descarga estableciendo los límites de contaminantes (metales pesados) en el tratamiento de aguas, su descarga a los sistemas de drenaje (NOM-031-ECOL-93) y los límites máximos permisibles de contaminantes de aguas residuales municipales, para su posterior aprovechamiento al riego agrícola (NOM-032-ECOL-93);

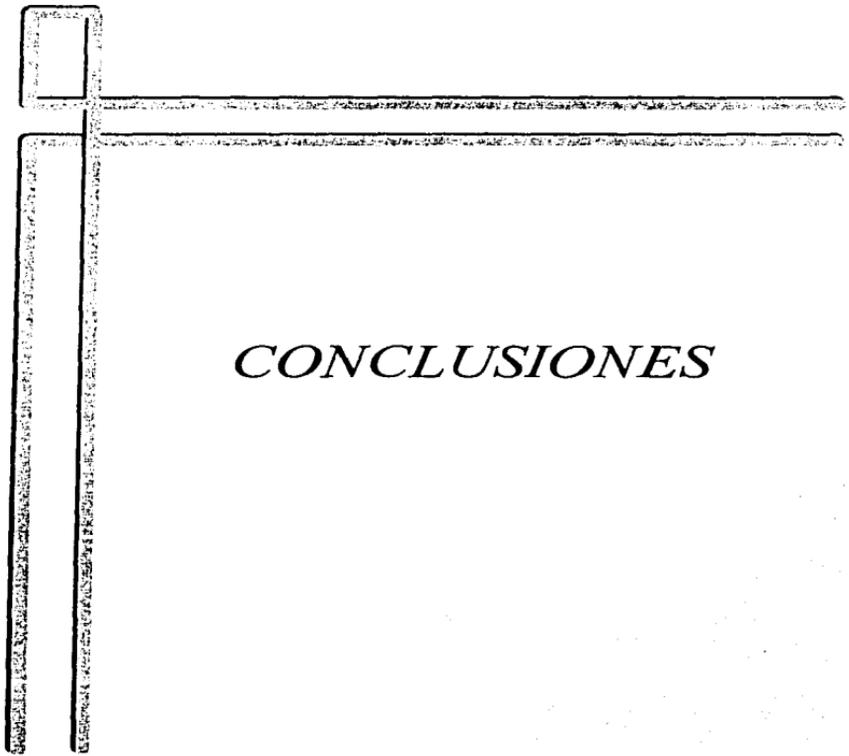
la concentración de los metales pesados de las normas señaladas anteriormente, en el efluente de la planta de tratamiento Macroplanta Toluca-Norte se encontraron muy por debajo de los límites permisibles señalados.

De acuerdo a el análisis estadístico de las gráficas de cada elemento, se obtuvo que no existe una regularidad del contenido de estos en el efluente de la planta en estudio, puesto que el coeficiente de variación de los metales Cobre, Arsénico, Aluminio, Cadmio, Cromo, Cromo VI, Mercurio, Níquel, Plata, Selenio y Manganeseo fué de 100 % o mayor, Zinc del 59.39 % y Plomo del 37.99 %. Estos resultados pueden deberse a los cambios de caudales de las épocas del año, obteniendo un caudal menor a principio del estudio y un mayor flujo a final del mismo, además de que las descargas de aguas residuales de tipo domésticas no son homogéneas, por lo cual las variaciones observadas fueron muy altas.

En cuanto a la cantidad de metales mayoritarios (Calcio, Sodio y Magnesio, además de Relación de Absorción de Sodio :RAS) , y por parte de las normas de la D.G.C.O.H. el agua tratada cumple con los límites establecidos para ser utilizable en el riego agrícola y en la recarga del Río Lerma.

De la eficiencia de la planta de tratamiento en la remoción de los metales estudiados se encontró que existe un decaimiento de la concentración de los mismos de alrededor del 50 % .

Es necesario realizar un análisis estadístico en cuanto a la determinación de cada parámetro y para cada método utilizado, apoyando de esta manera la calidad del trabajo realizado.



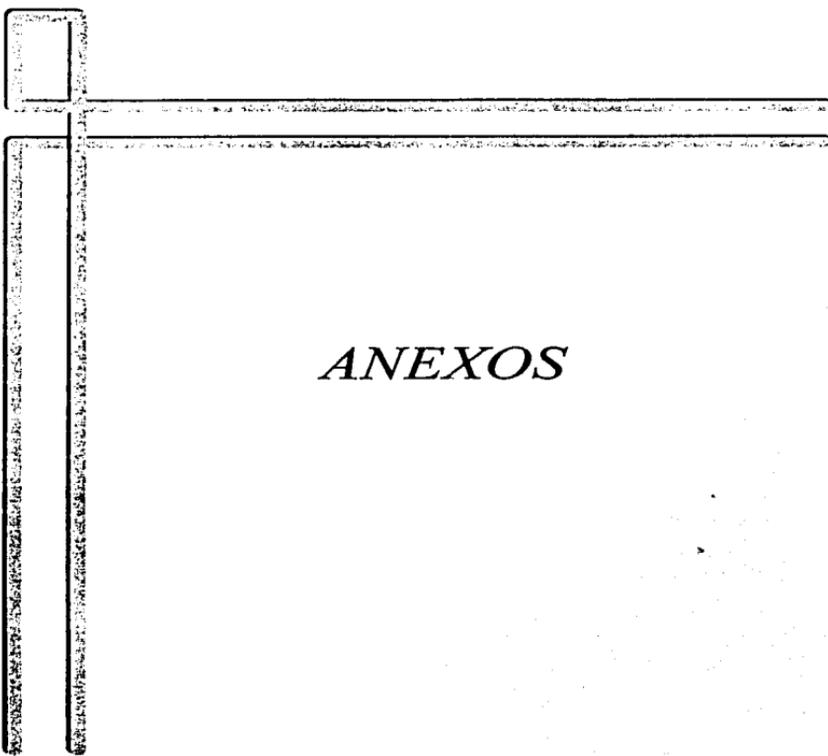
CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El agua residual tratada por la planta de tratamiento "Macroplanta Toluca- Norte cumple con el objetivo planteado para su construcción de obtener de la misma, agua de buena calidad y por ende, el sanear la cuenca del río Lerma que a su vez nutre el Lago de Chapala el cual se encuentra en un periodo de salvación.

Por lo tanto, y de acuerdo a los objetivos planteados se concluye que el agua residual tratada cumple con los requisitos establecidos de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-031-ECOL-1993 y NOM-032-ECOL-1993, y puede ser reutilizable el agua para el riego agrícola, en beneficio de la comunidad del municipio de Toluca.

Para el aprovechamiento óptimo de la obra, es imprescindible realizar mayores estudios y análisis, y así determinar los diferentes reusos que puedan obtenerse para el efluente de la planta de tratamiento.



ANEXOS

ANEXO I**Norma Oficial Mexicana NOM-001-1996**

En publicación del **DIARIO OFICIAL** del lunes 24 de junio de 1996 aparece el siguiente **PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-001-1996**. Que establece los límites máximos permisibles de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

El presente proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 fué aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental , en sesión celebrada el ,16 de Mayo de 1996 y se publica para consulta pública, a efecto de que los interesados , dentro de los 90 días naturales siguientes de su publicación en el Diario Oficial de la Federación presenten sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental.

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas . Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de drenajes pluviales independientes.

El responsable de la descarga tendrá obligación de realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales con la finalidad de determinar el promedio diario y/o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en función del uso del cuerpo receptor, que se establece en la presente Norma Oficial Mexicana. Asimismo, deberán conservar sus

registros de monitoreo por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestras.

Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales vertidas a cuerpos receptores deberán cumplir con la presente Norma dentro del plazo establecido en la siguiente tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana. De esta manera el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los intervalos de población y la inversión para la construcción de la infraestructura adecuada.

Tabla 1

| Fecha de cumplimiento a partir de: | Intervalo de Población |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1 enero 2000 | mayor o igual a 50,000 hab. |
| 1 enero 2005 | mayor o igual a 20,000 hab. |
| 1 enero 2010 | mayor o igual a 2,500 hab. |

Tabla 2.- Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.

| PARAMETROS (mg/l) excepto cuando se especifique | RIOS | | | | EMBALSE NATURAL O ARTIFICIAL | | | |
|--|--------------------|-----|-----------------------|-----|------------------------------|----|-----------------------|-----|
| | Uso público urbano | | Uso en riego agrícola | | Uso público urbano | | Uso en riego agrícola | |
| | 15 | 25 | 15 | 25 | 15 | 25 | 15 | 25 |
| Grasas y Aceites | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Sólidos sedimentables | 75 | 125 | 100 | 175 | 40 | 60 | 75 | 125 |
| Sólidos suspendidos totales | 75 | 150 | 100 | 200 | 30 | 60 | 75 | 150 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | 15 | 25 | 15 | 25 | 5 | 10 | 15 | 25 |
| Nitrógeno Total Kjeldhal | 10 | 20 | 10 | 20 | 5 | 10 | 15 | 25 |
| Fósforo total | 40 | 40 | NA | NA | 40 | 40 | NA | NA |
| Temperatura °C | PM | PD | PM | PD | PM | PD | PM | PD |
| Promedio | PM | PD | PM | PD | PM | PD | PM | PD |

PD: Promedio diario PM: Promedio mensual NA: No es aplicable

Tabla 3.- Límites máximos permisibles para contaminantes tóxicos.

| PARAME- TROS (mg/l) | RIOS | | | | EMBALSES NATURALES Y ARTI- FICIALES | | | |
|---------------------------|--------------------------|------|-----------------------------|------|--|------|--------------------------|------|
| | Uso público urbano | | Uso en riego agrícola | | Uso público urbano | | Uso en riego agrícola | |
| Arsénico | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |
| Cadmio | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |
| Cianuro | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 |
| Cobre | 4 | 6 | 4 | 6 | 4 | 6 | 4 | 6 |
| Cromo | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 |
| Mercurio | 0.00 5 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| Níquel | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| Plomo | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1.0 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1.0 |
| Zinc | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 |
| Promedio | PM | PD | PM | PD | PM | PD | PM | PD |

Observancia de esta Norma

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca por conducto de la Comisión Nacional del Agua y de la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, La Ley sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de La Federación.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Se abrogan las Normas Oficiales Mexicanas que a continuación se indican:

NOM-001-ECOL-1993
NOM-002-ECOL-1993
NOM-003-ECOL-1993
NOM-004-ECOL-1993
NOM-005-ECOL-1993
NOM-006-ECOL-1993
NOM-007-ECOL-1993
NOM-008-ECOL-1993
NOM-009-ECOL-1993
NOM-010-ECOL-1993
NOM-011-ECOL-1993
NOM-012-ECOL-1993
NOM-013-ECOL-1993
NOM-014-ECOL-1993
NOM-015-ECOL-1993
NOM-016-ECOL-1993
NOM-017-ECOL-1993
NOM-018-ECOL-1993
NOM-019-ECOL-1993
NOM-020-ECOL-1993
NOM-021-ECOL-1993
NOM-022-ECOL-1993
NOM-023-ECOL-1993
NOM-024-ECOL-1993
NOM-025-ECOL-1993
NOM-026-ECOL-1993
NOM-027-ECOL-1993
NOM-028-ECOL-1993
NOM-029-ECOL-1993
NOM-030-ECOL-1993
NOM-032-ECOL-1993

Publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 18 de Octubre de 1993.

Asimismo, se abrogan las siguientes Normas Oficiales Mexicanas :

NOM-063-ECOL-1994
NOM-064-ECOL-1994
NOM-065-ECOL-1994
NOM-066-ECOL-1994
NOM-067-ECOL-1994
NOM-068-ECOL-1994
NOM-069-ECOL-1994
NOM-070-ECOL-1994
NOM-071-ECOL-1994
NOM-072-ECOL-1994
NOM-073-ECOL-1994

Publicadas en los Diarios Oficiales de la Federación los días 5, 6 y 11 de enero de 1995, respectivamente.

ANEXO II

Determinación de cromo hexavalente (Cr VI)

Método colorimétrico

a) Principio

Este procedimiento mide únicamente el cromo hexavalente. El cromo hexavalente se determina colorimétricamente por una reacción con difenilcarbazida en solución ácida. Se produce un color rojo violeta de composición desconocida, en donde la reacción es muy sensible.

b) Interferencias

La reacción con la difenilcarbazida es prácticamente específica para el cromo. Las sales de molibdeno hexavalente y de mercurio reaccionarán para formar color con el reactivo, pero las intensidades son mucho más bajas que para el cromo al pH especificado. Se pueden tolerar concentraciones hasta 200 mg Mo o Hg/l. El vanadio interfiere fuertemente, pero las concentraciones hasta 10 veces las del cromo no causan problemas. La interferencia potencial de permanganato se elimina por reducción previa con azida.

c) Instrumental

1) Espectrofotómetro para utilizarlo a 540 nm con un trayecto luminoso de 1 cm o más largo.

d) Reactivos

1) Solución de cromo de reserva

Disuélvase 141,4 mg de $K_2Cr_2O_7$ en agua y dilúyase hasta 1,000 ml;
1,00 ml = 50,0 $\mu\text{g Cr}$

2) Solución de cromo patrón :

Diluyanse 10,0 ml de solución de cromo de reserva hasta 100 ml;
1,00 = 5,00 $\mu\text{g Cr}$

3) Agua desionizada

4) Solución de fenilcarbazida

Disuélvase 250 mg de 1,5-difenilcarbazida (1,5 difenilcarbhidrazida) en 50 ml de acetona. Consérvese en frasco color ámbar. Descartese cuando la solución se decolora.

5) Ácido fosfórico , H_3PO_4 conc.

6) Ácido sulfúrico, H_2SO_4 0 2 N: Dilúyanse 17 ml de H_2SO_4 6N hasta 500ml con agua.

e) Procedimiento

Preparación de la curva de calibración

Para compensar posibles pérdidas ligeras de cromo durante la digestión u otras operaciones analíticas, trátense los patrones de cromo por el mismo procedimiento que la muestra. Para ello llévase con la pipeta volúmenes medidos de solución de cromo patrón (5 $\mu\text{g/l}$) que varían entre 1 ml y 10 ml , para obtener patrones de 5 a 50 $\mu\text{g Cr}$, a vasos o matraces erlenmeyer de 250 ml.

Desarróllese el color como en el caso de las muestras, pásese una porción adecuada de cada solución coloreada a una celda de absorción de 1 cm y médase la absorbancia a 540 nm. Útilícese agua desionizada como referencia. Corrijanse las lecturas de abosbancia de los patrones restando la absorbancia de un blanco de reactivo que ha sido trabajado con el mismo método.

Trácese una curva de calibración llevando valores de absorbancia corregidos frente a microgramos de cromo en un volumen final de 102 ml.

f) Desarrollo de color y medida

Utilícese H_2SO_4 0,2 N y un pHmetro para ajustar la solución a pH 1,0 \pm 0,3. Pásese la solución a un matraz volumétrico, dilúyase hasta 100 ml y mézclese. Añadanse 2,0 ml de solución de difenilcarbazida, mézclese y déjese reposar 5 a 10 minutos para el total desarrollo de color. Párese una porción apropiada a una celda de absorción de 1cm y mídase su absorbancia a 540 nm. Utilícese agua desionizada como referencia. Corrijase la lectura de la absorbancia restando la absorbancia de un blanco tratado con el mismo método. Determinense los microgramos de cromo presentes a partir de la absorbancia corregida por referencia a la curva de calibración.

Nota: Si la solución está turbia después de dilución a 100 ml en el anterior apartado, tómese una lectura de absorbancia previa a la adición del reactivo carbazida y corrijase la lectura de absorbancia de la solución coloreada final restando la absorbancia medida previamente.

F) Cálculos

$$\text{mg Cr/l} = \text{ug Cr (en 102 ml de volumen final)} \times 100$$

$$A \times B$$

donde :

A = ml de muestra original, y

B = ml de porción de 100 ml de muestra digerida

ANEXO III**Secuencia de unidades de tratamiento****Pretratamiento**

Es el acondicionamiento de cualquier desecho industrial, en el lugar donde se origina, para eliminar o neutralizar las sustancias perjudiciales para las alcantarillas y los procesos de tratamiento. En el proceso mismo se llama así a las operaciones unitarias que preparan el licor para operaciones subsiguientes más intensas.

Dicho material incluye madera, cartón, trapo, grasas, espuma, plásticos y basura en general. (10), (24)

Los equipos del pretratamiento son los siguientes:

Rejas

Militamices

Desarenadores

Desmenuzadores

Desengrasadores

Tanques de compensación

Tratamiento primario

El **tratamiento primario** tiene por objetivo la remoción de la materia orgánica e inorgánica suspendida en las aguas residuales. En este tipo de tratamiento tenemos la **sedimentación y la coagulación**.

La **sedimentación** es la eliminación de sólidos suspendidos en el agua por asentamiento gravitacional. La flotación también es un proceso de separación mediante la gravedad, pero se trata como un proceso aparte. Para que se efectúe la sedimentación, la velocidad del agua debe reducirse a un valor tal que los sólidos se asienten por gravedad si es suficientemente grande el tiempo de retención en el recipiente de sedimentación.

La velocidad de asentamiento de las partículas está determinada por su tamaño, forma y densidad, así como por la naturaleza del líquido a través del cual se asientan. Al asentarse una partícula se acelera hasta que la fuerza de arrastre de su superficie contra el líquido es igual al peso de la partícula en el fluido de suspensión.

Los procesos de **coagulación y de floculación** se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos siempre que su rapidez natural de asentamiento sea demasiado baja para proporcionar clarificación efectiva ^{(15), (12)}

Tomando como un ejemplo la clarificación de agua superficial, el agua cruda turbia contiene material suspendido, tanto sólidos que pueden asentarse como partículas lo bastante grandes que se asienten en reposo, o sólidos dispersados que no se asentarán con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no se asientan pueden ser coloides. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie .

haciendo que repela las partículas vecinas , como se repelen mutuamente dos polos magnéticos . Ya que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores , llamados flóculos , las partículas no se asientan . La **coagulación** desestabiliza estos coloides al neutralizar las fuerzas que los mantiene separados. Esto se logra por lo general añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, las sales de hierro y los polielectrólitos. La **floculación biológica o biofloculación** , se ha atribuido a la secreción de polielectrólitos naturales, como los polisacáridos y poliaminoácidos complejos, durante las fases declinantes y endógenas, de algunas bacterias.

El proceso de desestabilización es la coagulación (neutralización de la carga); la etapa de formación de flóculos es la **floculación**. (29)

Tratamiento secundario (Procesos unitarios biológicos)

En el agua se desarrollan gran parte de los fenómenos vitales. Muchos de estos fenómenos son útiles para el hombre: un ejemplo lo constituye la autodepuración que se produce después de un vertido de aguas residuales. Los organismos proliferan gracias a las condiciones favorables creadas por el hombre. Estos fenómenos útiles se aprovechan en forma general en los tratamientos biológicos. (12)

En la naturaleza el papel clave de las bacterias es descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivientes. En los procesos biológicos las bacterias son los organismos más importantes, ya que son causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente.

En el reactor, o tanque del líquido mezcla, parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada, por los microorganismos con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células. En realidad, sólo una parte del residuo original es verdaderamente oxidado a compuestos de bajo contenido energético, tales como NO_3 , SO_4 , CO_2 el resto es sintetizado en materia celular. Los productos intermedios que se forman antes de obtenerse los productos finales de oxidación son muy diversos. (12), (4). Los procesos biológicos se clasifican según la dependencia de oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables del tratamiento de los residuos. (15)

En los procesos aerobios, la estabilización de los residuos se consigue mediante microorganismos aerobios y facultativos; en los procesos anaerobios, se utilizan los microorganismos anaerobios y anaerobios facultativos. Cuando se encuentran presentes los tres tipos de microorganismos a los procesos se les denomina aerobio-anaerobios o facultativos. (4)(15)

En la actualidad se conocen y se utilizan algunos procesos de tratamiento biológico tales como:

FILTROS BIOLÓGICOS

LODOS ACTIVADOS

DISCOS ROTATORIOS

ZANJAS DE OXIDACION

LAGUNAS AIREADAS

LAGUNAS DE ESTABILIZACION

DIGESTION ANAEROBIA

Tratamiento aerobio de aguas residuales

En los procesos aerobios se tiene: *1) lodos activados; 2) filtros biológicos 3) Discos rotatorios ; 4) Zanjas de oxidación y 5) Lagunas aireadas*

En el proceso aerobio, un residuo -generalmente agua residual doméstica - se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aerobias. El ambiente aerobio 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 biológicos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrante es eliminada o purgada puesto que de no ser así, la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más. (24)

La forma general de la ecuación para la descomposición aerobia del material orgánico es:



Tratamiento anaerobio

El tratamiento anaerobio de agua residual supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. La principal aplicación se halla en la digestión de los fangos de agua residual doméstica

una vez concentrados, así como en el tratamiento de algunos residuos industriales.

El tiempo de retención del líquido en el reactor oscila entre 10 y 30 días, incluso más, según como opere el sistema.

Los microorganismos causantes de la descomposición de la materia orgánica se dividen frecuentemente en dos grupos. El primer grupo hidroliza y fermenta compuestos orgánicos complejos a ácidos simples, de los cuales los más corrientes son el ácido acético y el ácido propiónico. Este grupo de microorganismos se componen de bacterias facultativas y anaerobias, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos.

El segundo grupo convierte los ácidos orgánicos en gas metano y anhídrido carbónico. Las bacterias responsables de esta conversión son anaerobias estrictas y se les conoce como bacterias formadoras de metano. Las bacterias más importantes de este grupo tienen tasas de crecimiento muy lentas y, por ello, su metabolismo se considera como limitante del tratamiento anaerobio de un residuo orgánico. En esta segunda fase tiene realmente la estabilización del residuo, al convertirse los ácidos orgánicos en metano y anhídrido carbónico.

(12)

El metabolismo anaerobio que utiliza el oxígeno de la propia materia orgánica puede representarse por la reacción:

Materia orgánica + Bacterias -----> Nuevas células bacterianas +
aldehídos, alcoholes, ácidos + CO₂ (29)(7)

Tratamiento aerobio-anaerobio (Lagunas de estabilización)

Un estanque de estabilización es una masa de agua relativamente poco profunda contenida en un estanque de tierra de configuración controlada, cuya finalidad es el tratamiento del agua residual. El término de estanque de oxidación, con frecuencia empleado es sinónimo. Los estanques son de uso muy corriente en pequeñas comunidades, ya que sus bajos costos de construcción y funcionamiento ofrecen una notoria ventaja económica sobre otros métodos de tratamiento. Asimismo, estos estanques se usan mucho en el tratamiento de residuos industriales y mezclas de residuos industriales y agua residual doméstica susceptibles de tratamiento biológico.

En un estanque aerobio-anaerobio existen tres zonas: 1) una zona superficial donde las algas y bacterias aerobias existen en una relación simbiótica; 2) una zona anaerobia inferior en la que los sólidos acumulados son activamente descompuestos por las bacterias anaerobias, y 3) una zona intermedia, en parte aerobia y en parte anaerobia, donde la descomposición de los residuos orgánicos es llevada a cabo por las bacterias facultativas. (10), (24)

Tratamiento terciario

Proceso de tratamiento, químico o biológico usado para alcanzar un grado de tratamiento de las aguas residuales más allá de la etapa secundaria o biológica. Es el método más completo de tratamiento de los desechos pero no ha sido adoptado ampliamente por su alto costo.

Actualmente el término está siendo reemplazado por un término más adecuado : tratamiento avanzado. Puede implicar la remoción de varios parámetros como:

- **Remoción de sólidos en suspensión** (microcibado, clarificación química , filtración).
- **Remoción de complejos orgánicos disueltos** (adsorción, oxidación química, etc.).
- **Remoción de compuestos inorgánicos disueltos** (destilación, electrodiálisis, intercambio iónico, osmosis inversa, precipitación química).
- **Remoción de nutrientes** (nitrificación-desnitrificación, desgasificación del amoníaco, precipitación química, asimilación biológica).
- **Remoción de microorganismos** (cloración) (10), (4)

ANEXO IV

Filtros biológicos

El primer filtro percolador (filtro biológico) se puso en funcionamiento en Inglaterra en 1893. el concepto de filtro percolador nació del uso de los filtros de contacto, que eran estanques impermeables rellenos con piedra machacada. En su funcionamiento, el lecho de contacto se llenaba con el agua residual desde la parte superior y se dejaba que se pusiese en contacto con el medio durante un corto período de tiempo. El lecho se vaciaba a continuación y se le permitía que reposase antes de que se repitiese el ciclo . Un ciclo típico exigía 12 horas de las cuales había 6 horas de reposo. Las limitaciones del filtro de contacto incluían una posibilidad relativamente alta de obstrucciones, el prolongado periodo de tiempo necesario, y la carga relativamente baja que podía utilizarse. (12)

En el filtro biológico ideado para superar estas limitaciones, el agua residual es rociada sobre la piedra y se deja que filtre a través del lecho. El filtro biológico consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual.

Las condicionantes de las aguas conducidas a los filtros biológicos son tres fundamentales:

- **La entrada del agua en los lechos o filtros debe estar precedida de una decantación primaria**, para eliminación de grasas y sólidos en suspensión
- **Debe prestarse atención a los elementos tóxicos e inhibidores de los procesos biológicos**. Por supuesto la contaminación vertida sobre el lecho debe ser biodegradable.

• **Debe conseguirse una correcta maduración del lecho bacteriano.** Para el establecimiento de una película biológica bien equilibrada (maduración de los lechos), se requiere un período de tiempo, menor en verano que en invierno, que exige semanas o meses, debido a una proliferación más lenta de los microorganismos. Después de algunas semanas de maduración, los materiales de relleno se recubren de una película gelatinosa de bacterias de 3 a 4 mm de espesor. El agua que se aporta por goteo, tarda aproximadamente de 20 a 60 minutos en atravesar el medio filtrante. (1)

Los sistemas de películas adheridas se pueden considerar convenientemente como formados por dos tipos diferentes: **sistemas estacionarios o de medio fijo, y sistemas de medio movimiento.** En ambos tipos de sistemas, el agua residual se mueve en relación con la película de lama microbiana y el soporte sólido al que está adherida. En el **primer caso**, el agua residual pasa sobre el medio estacionario y en el **segundo caso**, el medio se mueve a través del líquido. Los reactores de película biológica en medio fijo han estado en uso desde hace mucho tiempo para el tratamiento de las aguas residuales, pero los sistemas de medio en movimiento son relativamente recientes. (2a)

Sistemas de medio fijo

En los sistemas de medio fijo, el medio sólido de soporte está dispuesto en forma de un lecho empacado a través del cual gotea el agua residual. Las superficies mojadas del medio de empaque desarrollan una película de lama microbiana, y el agua residual fluye sobre la superficie del empaque en una delgada capa que

está en contacto con la lama microbiana por un lado y con la atmósfera en los espacios intersticiales del empaque por el otro (29)

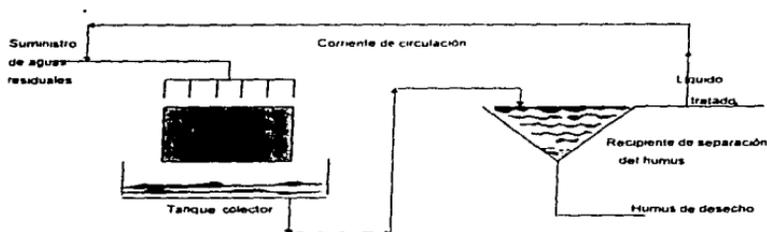


Figura 1 4.1.- Diagrama de flujo de un filtro biológico Fuente: M.A.Winkler ref. (28)

El oxígeno se disuelve en la superficie de la capa del líquido en movimiento y es transferido a través de la capa líquida a la capa de lama microbiana. El oxígeno y los nutrientes del líquido se difunden hacia dentro de la película microbiana para ser metabolizados por la población microbiana de la lama. Las materias en suspensión y las coloides presentes en el agua residual se aglomeran y absorben también en la película de lama microbiana.

Los medios de empaque usados en estos sistemas están diseñados de manera que presenten un área de contacto muy grande entre la capa de líquido y el aire, aumentando la absorción del oxígeno por la capa líquida y presentando de manera similar una gran área de contacto entre el líquido y la lama microbiana, con lo que se aumenta la transferencia de nutrientes y oxígeno a los microorganismos.

En términos de ingeniería, el sistema de medio fijo es un reactor biológico de tres fases y lecho fijo, para poner en contacto el gas, el líquido y los microorganismos.

(28) (10)

Características funcionales de los filtros biológicos

| MATERIAL DEL LECHO | CLASE DE AGUAS A QUE CONVIENE (Sólidos en suspensión) | DURACIÓN DEL CICLO(horas) | PERIODO DE LAVADO DEL LECHO | OBSERVACIONES |
|--------------------|--|---------------------------|-----------------------------|--|
| GRUESO | 200 a 300 300 a 500 | 16 a 25 24 | 18 a 24 MESES | EL EFLUENTE DEBE PASAR POR OTRO MATERIAL |
| MEDIO | 10 a 150 | 12 | 3 a 5 AÑOS | |
| FINOS | 40 a 70 10 a 40 | 8 4 a 6 | 4 a 5 AÑOS 6 a 8 AÑOS | |

Fuente: Hernández Muñoz Aurelio ref.(10)

Película de lama microbiana

Como sucede con los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales, el rango y proporciones de las diferentes especies de organismos presentes en la población microbiana dependen de las condiciones de operación del sistema, especialmente la carga y la composición de nutrientes de las aguas residuales en proceso de tratamiento. Sin embargo la lama microbiana de los percoladores es ecológicamente más compleja que, por ejemplo, los lodos activados.

El equilibrio entre las varias especies presentes varía también con la situación dentro del lecho, y cuando la unidad está situada al aire libre, el equilibrio ecológico mostrará también variaciones estacionales. La película de lama interviene en una compleja serie de cadenas alimentarias y relaciones entre el

predador y la presa, desde las bacterias hasta los insectos, teniendo cada una de ellas un efecto significativo en la operación del percolador (26)

Desarrollo de la película microbiana

Cuando la capa de agua residual fluye sobre el medio de empaque cubierto de lama, el oxígeno y los otros nutrientes se consumen según se difunden dentro de la película de lama, desde la interfase entre la lama y el líquido. Los microorganismos presentes en la película de lama crecen, y según se engruesa la película de lama, sus regiones cercanas a la superficie sólida de soporte y más alejadas de la película de líquido se vuelven anaeróbicas. Esta condición anaeróbica o anaerobiosis, ha sido propuesta como una de las causas de inicio del proceso de desprendimiento, ya que las capas anaeróbicas padecen hambre, mueren, se disuelven y se separan de las superficies del empaque del medio de soporte, y la película remanente de microorganismos pueden tener viabilidad defectuosa.

La eficiencia de purificación de la lama alcanza un máximo cuando hay una delgada película de lama completamente aeróbica, y la eficiencia puede bajar ligeramente según aumente el espesor de la película y las regiones más profundas de la película se vuelven inactivas o anaeróbicas. Así a pesar de que una película de lama puede tener un espesor de varios milímetros, sólo una capa exterior de 0.05 a 0.15 de profundidad podrá ser aeróbica. La profundidad de la película de lama depende de las características de las aguas residuales en tratamiento, y de la resultante ecología microbiana de la capa de lama .

El espesor de la película que proporciona máxima eficiencia ha sido citado como 0.25 mm. (28)

Ecología de la lama microbiana

La lama microbiana consiste de un sistema microecológico de bacterias, principalmente por bacterias autótrofas (fondo) y heterótrofas (superficie), hongos, algas verdes, protozoarios y alguna macrofauna. Como las aguas residuales en proceso de tratamiento cambian su composición según pasan a través del lecho, los diferentes estratos del empaque estarán en contacto con líquidos de diferente composición. El equilibrio ecológico de los organismos en la lama variará por consiguiente dentro del lecho. Esto permite la existencia de un rango más amplio de especies en el percolador, que en sistemas de mezcla total, y la distribución estratificada de las especies dentro del empaque contribuye a la capacidad de los percoladores para resistir cargas de choque. En el tratamiento de las aguas residuales domésticas, las bacterias son los organismos predominantes, encontrándose ejemplos de especies aeróbicas, anaeróbicas y facultativas (10)(12)

Los tratamientos de percolación se pueden clasificar aproximadamente como procesos a "alta tasa" o procesos a "baja tasa" de acuerdo con la carga del sistema. En términos generales, los procesos a baja tasa separan un alto porcentaje de los nutrientes del influente, pero la tasa de remoción es baja, en términos de la masa de nutrientes removidos por volumen unitario del sistema. Por el contrario, los tratamientos a alta tasa eliminan una más baja proporción de

los nutrientes del influente, pero a una alta tasa en términos de la masa por volumen unitario. Por tanto, a los procesos a alta tasa se les llama a veces **tratamientos burdos** y a los procesos a baja tasa, **tratamientos de "pulimento"**. (28)10)

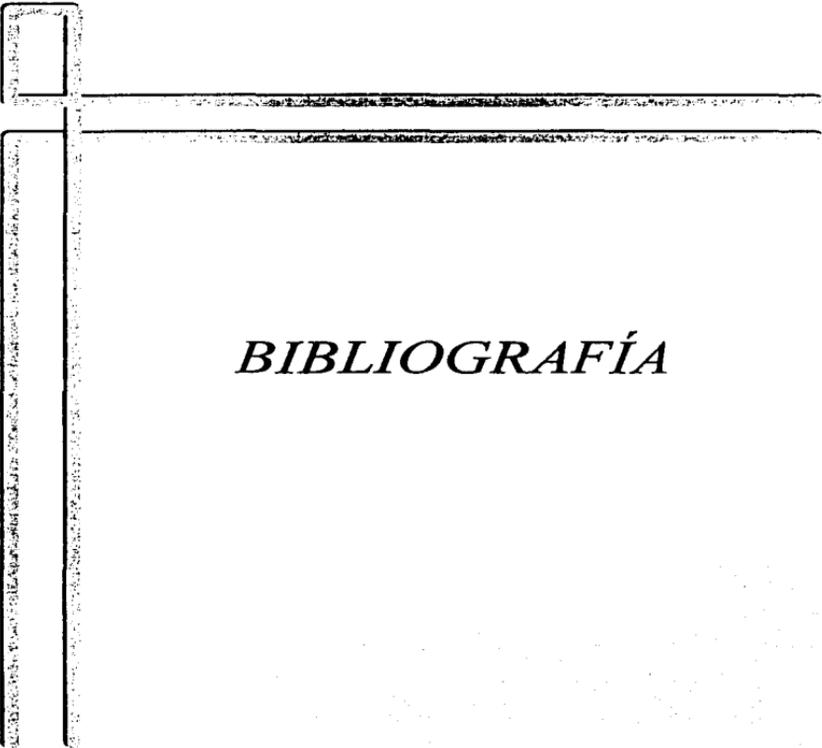
ANEXO V

**Crterios de calidad de agua de irrigación para elementos
traza recomendadas por la FAO**

| Elemento | Conc. máxima recomendada (mg/l) | Planta de Tratamiento (mg/l) |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|
| Al | 5.0 | 0.366 |
| As | 0.1 | 0.016 |
| Be | 0.1 | N.D. |
| Cd | 0.01 | 0.006 |
| Co | 0.05 | N.D. |
| Cr | 0.1 | 0.022 |
| Cu | 0.2 | 0.032 |
| F | 1.0 | N.D. |
| Fe | 5.0 | 0.690 |
| Li | 2.5 | N.D. |
| Mn | 0.2 | 0.048 |
| Mo | 0.01 | N.D. |
| Ni | 0.2 | 0.042 |
| Pd | 5.0 | N.D. |
| Se | 0.02 | 0.006 |
| V | 0.1 | N.D. |
| Zn | 2.0 | 0.115 |

N.D. No determinado

fente: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985, Water Quality For Agriculture, Irrigation, and Drainage Paper No.29. Kandiah A., Water Quality in Food Production, Water Quality Bulletin, v.12, no. 1, Jan.1987



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. - Aguilar Ugarte Jorge., Curso: Impacto Ambiental. Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS) ., (1995) México
2. - Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry., Perkin-Elmer Corporation., (1982)., USA.
3. - Babbitt Harold E. , Alcantarillado y tratamiento de aguas negras.Edit.Continental. 1ª Edición., (1983) México.
4. - Brock Thomas D.,Microbiología. 6ª Edición., Prentice Hall., (1993). México.
5. - Contrato de prestación de los servicios para el tratamiento de aguas residuales municipales. Comisión Estatal de Agua y Sanamiento (CEAS) ., (1992) México.
6. - Criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 . , Gaceta Ecológica. Secretaria de Ecología . Enero de 1990.
7. - De la Moria, Federico., Chavarria Miró Juan. , Técnicas de Defensa del Medio Ambiente., Edit. Labor S. A., España., (1978)

-
- 8.- Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. O.P.S., O.M.S., Edit. Limusa.,(1988) México.
 - 9.- FIAS(Flow Injection Analysis System for Atomic). Bodenseewerk Perkin-Elmer(1992) Federal Republic of Germany.
 - 10.-Hernández Muñoz Aurelio., Depuración de aguas residuales. Colección Seignor., (1990) España.
 - 11.- Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1991-1992. Secretaría de Desarrollo Social., Instituto Nacional de Ecología.
 - 12.- Kemmer Frank N. Manual del agua NALCO., Edit. Mc. Graw Hill (1989) México.
 - 13.- Lagunas de Estabilización ., Comisión Nacional del Agua., (1994).México.
 - 14.- Manual Técnico del Agua., Degremont, 4edición. (1979).España.
 - 15.-Metcalf-Eddy . Ingeniería Sanitaria.tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales.(1979) España.
 - 16.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-3-1980 "Aguas residuales-muestreo". Dirección General de Normas.

-
- 17.-Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980 "Cuerpos receptores-muestreo" . Dirección General de Normas.
- 18.-Norma Oficial Mexicana Nom-044-1982 "Determinación de cromo hexavalente en agua". Dirección General de Normas.
- 19.- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-51-1981 "Análisis de agua-determinación de metales-Método espectrofotométrico de absorción atómica" Dirección General de Normas.
- 20.- Norma Oficial Mexicana NOM-031-ECOL-1993. Diario Oficial de la Federación. 18 de Octubre de 1993.
- 21.- Norma Oficial Mexicana NOM-032-ECOL-1993 Diario Oficial de la Federación 18 de Octubre de 1993.
- 22.- Navarrete M.L. Análisis de aguas por espectroscopia de absorción atómica VARIAN S.A. (1989) México.
- 23.-Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento 1994-2000. Gobierno del Estado de México
- 24.- Sarmiento, Sarmiento Ma. de los Angeles. Los parásitos como índice de calidad de aguas residuales para el riego agrícola .FESC-Cuautitlan UNAM (1988)

- 25.- Skoog and Leary. Análisis Instrumental. Edit. Mc. Graw -Hill . (1994) España.
- 26.- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA,AWWA,WPCF.18th. edition (1992) USA.
- 27.- System 200. Operation Manual 902/903. Atomic absorption spectrophotometer GBC. Australia
- 28.- Winkler M.A. Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho , Edit. Limusa, (1994) México.
- 29.- Yañez Cossio F., Lagunas de Estabilización. teoría, diseño, evaluación y mantenimiento. Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, (IEOS) (1992).Ecuador.
- 30.-Zavala A.José C. Procesos biofisicos de la "Tecnología alternativa apropiada" del SIDETRAN., Técnica ambiental S.A. de C.V.