

39



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

"ANALISIS FISICOQUIMICO Y DE METALES PESADOS DE  
LOS EFLUENTES ACUOSOS DEL CAMPUS CUAUTITLAN  
CAMPO 1, CONFORME A LA NORMATIVIDAD OFICIAL  
ESTABLECIDA"

284179

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO**

P R E S E N T A :

**MARCO ANTONIO MARTINEZ RODRIGUEZ**

ASESOR: M.C. ELIZABETH TORIZ GARCIA



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



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

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

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

"Análisis Fisicoquímico y de Metales Pesados de los Efluentes  
Acuosos del Campus Cuautitlán Campo 1, conforme a la Normati-  
vidad Oficial establecida".

que presenta el pasante: Martínez Rodríguez Marco Antonio  
con número de cuenta: 8906859-5 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

ATENTAMENTE.  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 6 de octubre de 1999

PRESIDENTE	<u>M.C. Elizabeth Toriz García</u>	
VOCAL	<u>QFI. Leticia Zúñiga Ramírez</u>	
SECRETARIO	<u>DR. Enrique Angeles Anquiano</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>QFB. Salvador Zambrano Martínez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>QFB. Enrique Amador González</u>	

A MI

## **PADRE Y MADRE**

Por el amor que me dieron.

Por el apoyo y ejemplo de trabajo que solamente de ellos pude obtener.

Y a quienes agradezco infinitamente la oportunidad que me dieron para llegar a ser alguien en esta vida.

A MIS

## **HERMANOS**

Por su ayuda y compañía, que sin duda ha sido un pilar importante para estructurar mi formación.

## Agradecimientos

A mis asesores y amigos Elizabeth Toriz G. y Javier Soriano S.

Por la confianza y amistad que en mi depositaron, haciéndome parte de su espacio y equipo de trabajo del cual obtuve el ideal de la superación constante como vía de alcance de mis aspiraciones y expectativas.

A mi amiga Adriana Camargo Bravo

Por su valiosa ayuda y por ser una persona humilde que siempre ve lo positivo en todo y en todos y que aprende a conocer a las personas por lo que representan y llevan dentro.

A mis amigos del CCH-N : David Peralta, Jaime Martínez y Marco A. Aguilar

A mis amigos y compañeros de la Universidad, a los cuales no terminaría de nombrar pero que siempre estarán con migo.

# ÍNDICE

<b>Capítulo 1.- Planteamiento del problema</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 2.- Planeación para la resolución del problema</b>	<b>7</b>
2.1.- Contaminación del agua	7
2.2.-Agua residual	8
2.3.- Estudios de caracterización de Aguas Residuales	8
2.4.- Plan de trabajo en campo	9
2.5.- Preservación de las muestras	11
2.6.- Análisis de laboratorio	12
1.-Sólidos totales.	12
2.- Sólidos sedimentables.	15
3.- Materia flotante.	16
4.- Turbiedad.	16
5.- Temperatura.	17
6.- Conductividad.	18
7.-Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).	19
8.- Demanda Química de Oxígeno (DQO).	21
9.- Grasas y aceites.	23
10.- Detergentes (SAAM).	24
11- Nitrógeno.	26
12.- Fenoles.	29
13.-Cianuros.	31
14.- pH.	32
15.- Acidez.	33
16.- Alcalinidad.	34
17.- Dureza total.	35
18.- Cloruros.	36
19.- Metales.	38
<b>Capítulo 3.- Ejecución del plan</b>	<b>44</b>
<b>Capítulo 4.- Evaluación</b>	<b>45</b>
<b>Conclusión</b>	<b>80</b>
<b>Anexo I.- Programa de muestreo</b>	<b>82</b>
<b>Anexo II.- Medición del flujo</b>	<b>86</b>

# CAPÍTULO 1

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Toda sociedad siempre ha requerido para subsistir el uso de los recursos naturales que lo rodean, con la idea equivocada de que todo proceso social y económico requiere obligatoriamente de un inevitable deterioro ecológico. Así se han generado en otras regiones del planeta como en nuestro propio país deforestaciones masivas, erosión de los suelos, contaminación de cuerpos de agua por residuos de origen industrial y urbano, y la contaminación del suelo por residuos sólidos, insecticidas y fertilizantes, entre tantos.

El deterioro gradual mundial que ha venido sufriendo el medio ambiente requiere de una atención especial. Ya en los años 70 comenzó a utilizarse el término “**uso racional de los recursos naturales**” de manera estricta y formal dejando atrás estructuras gubernamentales y leyes caducas, creando recursos legales y técnicas acordes a la problemática actual. La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente es un claro ejemplo de esta nueva conciencia ecológica. Como resultado de tales planteamientos, en 1975 surge el Plan Nacional Hidráulico, que da a conocer que México dispone de agua suficiente para su desarrollo futuro, siempre y cuando se utilice eficientemente y se conserve la calidad de los cuerpos de agua, superficiales y subterráneos. Considerando que en la actualidad a nivel nacional, se extraen anualmente 185,000 m<sup>3</sup> de aguas superficiales y subterráneas para los diversos usos, lo cual representa el 43 % del volumen total anual de agua renovable. De este volumen, 61% se utiliza en la generación de energía hidroeléctrica, 30 % en riego, 5 % para la industria y el restante 4 % para uso urbano, que incluye el suministro de agua potable.

Es de gran trascendencia la cantidad de agua potable que se consume en el país y las consecuencias que esto trae consigo, ya que tan sólo el caudal de agua potable que se suministra a la Ciudad de México es de 62 metros cúbicos por segundo, de los cuales 35 se consumen por el Distrito Federal y 27 por la zona conurbada perteneciente al Estado de México. De éste, el 66% se obtiene mediante pozos y de los mantos acuíferos del valle sobre los que está asentada la ciudad. El 34 % restante se trae por medio de grandes acueductos desde fuentes situadas fuera del Valle de México. El acuífero del Valle de Lerma, localizado a 60 kilómetros de la ciudad, proporciona aproximadamente el 9 % del agua que se consume y del sistema Cutzamala, distante 127 kilómetros de la ciudad, se obtiene el 25 % restante. El acuífero se recarga anualmente con 393 millones de metros cúbicos de agua de lluvia. Sin embargo, se le extraen 1300 millones de metros cúbicos al año.

Sin embargo, el agua residual que retorna a las corrientes con mayor o menor grado de carga contaminante suma menos de 20,000 m<sup>3</sup> al año a nivel nacional. El sector agrícola genera 46 % de este volumen y sus contaminantes son residuos agroquímicos y restos de suelo debido a la erosión. La industria genera 28 % con una amplia gama de compuestos, muchos de ellos contaminantes. El

restante 26 % se vierte a través de las descargas municipales con contenido de materia orgánica y bacteriológica, así como algunos tóxicos que provienen de las descargas industriales conectadas a las redes municipales de alcantarillado. Parte de esta contaminación es controlada en plantas depuradoras. Sin contar con la contaminación indirecta del agua producto de la disposición inadecuada de residuos sólidos sobre cauces o terrenos, lixiviación de agroquímicos, erosión, drenados ácidos de minas y lavado de los contaminantes del aire, que desafortunadamente en el país es incipiente su evaluación.

Como respuesta a la demanda social y a las necesidades del desarrollo de la propia Universidad Nacional Autónoma de México, La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán en una manifestación de real ocupación por la protección y mejoramiento del ambiente, y para conciliar el mejoramiento de la misma sin perjuicio de los recursos naturales, establece un Programa Ambiental en el Campus y su periferia. Ajustándose al Plan de Desarrollo Nacional que señala la protección al ambiente, como una de las más altas prioridades de crecimiento, así como un requisito para dar vitalidad al proceso de modernización del país, y soportándose el marco jurídico en esta materia.

Por lo cual se establece que para disminuir las necesidades de agua potable la principal solución es el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales, en actividades que no requieren de agua potable, como es el lavado de vehículos, el enfriamiento industrial, el riego de parques y jardines y el llenado de lagos artificiales, entre muchos otros.

El presente trabajo como parte del programa antes mencionado considera necesario realizar la caracterización fisicoquímica y de metales pesados de las aguas residuales de la facultad de acuerdo a los métodos de prueba que la Normatividad Nacional establece, y así establecer si se cumple con las condiciones de descarga que marca la Norma Oficial Mexicana en materia de ecología, la NOM-CCA-031-ECOL/1993, bajo la cual se encuentra regulada la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. La realización de este estudio forma parte de un ambicioso proyecto que tiene el propósito final de construir una planta de tratamiento de aguas residuales con lo cual además de disminuir la contaminación a la red municipal, se pretende reutilizar el agua tratada en los servicios sanitarios y en los sistemas de riego de áreas verdes de la propia institución, contribuyendo a cubrir la demanda y evitando de esta manera el abuso en el consumo de tan valioso recurso natural.

Conscientes del gran peligro que representa agotar los mantos freáticos, el propósito fundamental de tal proyecto es que la Universidad Nacional Autónoma de México y la propia facultad no sigan siendo parte del problema sino de una de las posibles soluciones.

## OBJETIVOS

- Realizar el análisis físicoquímico y de metales pesados de los Efluentes Acuáticos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1, conforme a la Normatividad Oficial Establecida.
- Determinar si se cumple con las condiciones de descarga (límites máximos permisibles) que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993, bajo la cual se encuentra regulada la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1.

## CAPÍTULO 2

# PLANEACIÓN PARA LA RESOLUCION DEL PROBLEMA

### 2.1.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Una de las definiciones de contaminación establece que se trata de una acumulación de materia, energía o información en un sistema. Esta acumulación generalmente tiene efectos nocivos y es debida a que la velocidad de entrada de la materia, energía o información al sistema es notablemente mayor a la velocidad de degradación o de salida.<sup>(1)</sup>

En el caso del agua, se trata de una sustancia que es ampliamente susceptible de contaminación debido a que es utilizada en una gran variedad de usos. Todos los organismos requerimos de agua para poder vivir pero también todas las sociedades, desde las más primitivas hasta las más modernas, han hecho y hacen un amplio uso de este líquido. Esto implica la posibilidad de que lleguen al agua sustancias con características muy diversas.

La fuerte contaminación que se observa en numerosos cuerpos acuáticos es consecuencia de errores de concepto pues se considera, por una parte, que una dilución suficiente de las sustancias tóxicas vertidas previene numerosos riesgos, y por otra, que los contaminantes no tóxicos como la materia orgánica o los fertilizantes son fácilmente degradados por procesos naturales o son directamente utilizados por la flora acuática. La detección de concentraciones cada vez mayores de productos tóxicos (como metales pesados, plaguicidas organoclorados y sustancias radiactivas ) en ciertos organismos a lo largo de las redes tróficas, ha puesto en entredicho la utilidad de la dilución como método fácil de eliminación; el vertido en el agua de grandes cantidades de sustancias no tóxicas provoca también alteraciones muy graves en los ambientes acuáticos.

Las diferentes formas de contaminación del agua pueden ser agrupadas dentro de tres grandes categorías: 1) la contaminación por factores físicos; 2) la contaminación por agentes químicos y 3) la contaminación por agentes biológicos.<sup>(1)</sup>

## 2.2.-AGUA RESIDUAL

Por definición se entiende por agua residual, al líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.<sup>(2,3)</sup>

Las definiciones de calidad de agua están relacionadas con su uso . Cada uso produce aguas residuales que contienen contaminantes los cuales impactan el ambiente en diferentes formas. Por lo que se entiende que las aguas residuales de actividades agroindustriales, son las que provienen de las actividades de la elaboración de alimentos, crianza y reproducción ganadera, porcícola, avícola y establos. Las aguas residuales de los servicios provienen de la reparación y mantenimiento automotriz, gasolineras, tintorerías, lavanderías, baños públicos, hospitales, hoteles, restaurantes, revelado de fotografía, etc. Por último las aguas residuales industriales, provienen de los procesos de extracción, beneficio, transformación o generación de bienes de consumo o de actividades complementarias.<sup>(4)</sup>

## 2.3.- ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Caracterizar aguas subterráneas, aguas superficiales, lagos, estuarios, aguas costeras, aguas residuales municipales e industriales para hacer un monitoreo de la calidad del agua resulta ser una gran tarea. Es necesario que una vez tomada la muestra, los constituyentes de la misma deben estar en condiciones similares que cuando fue colectada. Ya que los métodos analíticos se han estandarizado, pero los resultados de los análisis serán sólo tan buenos como se realicen los métodos de muestreo y preservación, ver anexo I.<sup>(5)</sup>

#### 2.4.-PLAN DE TRABAJO EN CAMPO

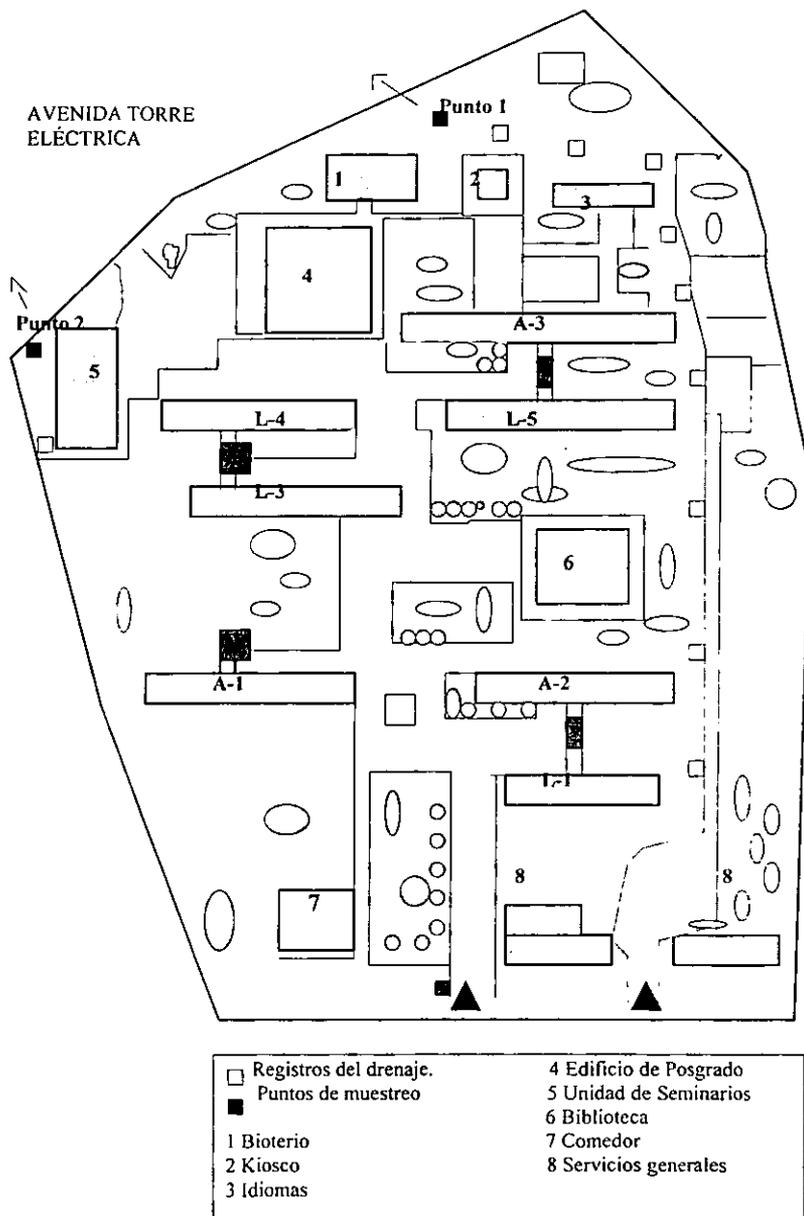
- Realizar el método de muestreo con base en la Legislación Mexicana, de acuerdo a las Normas Oficiales NOM-AA-3-1980 para el muestreo de agua residual y la NOM-AA-14-i980 para cuerpos receptores ver anexo VI.
- Realizar cinco muestreos en diferentes días de la semana, de acuerdo a la calendarización mostrada en la tabla 2.1.

Tabla 2.1.- Días y Fechas de Muestreo

MUESTREO	FECHA
1.- Martes	11 de febrero -97
2.- Miércoles	19 de febrero -97
3.- Jueves	27 de febrero -97
4.- Viernes	07 de Marzo -97
5.- Lunes	17 de Marzo -97

- Los puntos de muestreo se indican en el plano del campo 1; de La UNAM Campus Cuautitlán, donde se observan las dos descargas principales, que desembocan al drenaje municipal en la Avenida Torre Eléctrica . Se les asignó un número de registro a cada descarga para un mejor control. De esta forma se le asignó el número 1 a la descarga localizada a espaldas del Bioterio y el número 2 a la descarga localizada a espalda del edificio de la Unidad de Seminarios.
- Realizar muestreos de 10 horas, de las 9:00 a.m. a 19:00 p.m. . Durante este lapso de tiempo tomar 6 muestras simples (instantáneas) de dos litros, con un intervalo de 2 horas cada una, y así conformar por cada descarga, una muestra compuesta de cinco litros de acuerdo al flujo instantáneo ver anexo III.
- Colectar las muestras de forma manual, con la ayuda de un dispositivo de toma de muestra (que facilita la tarea), y transportar en recipientes perfectamente identificados de polietileno (con previo tratamiento).
- Determinar a todas las muestras simples la temperatura y el pH en el momento de ser tomadas y registrar los datos obtenidos en las etiquetas adheridas a los recipientes y en las hojas de registro que se diseñaron para este propósito ver anexo II y III.

FIGURA 2.1.- PLANO DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, CAMPO 1



## 2.5.- PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para la preservación de las muestras durante los periodos de tiempo entre la toma y el análisis de laboratorio, es necesario la utilización de las técnicas que marca la USEPA y las Normas Oficiales Mexicanas de Muestreo ( NOM ).

Tabla 2.2 Condiciones de almacenamiento y preservación de muestras de agua residual.

PARAMETRO	RECIPIENTE	PRESERVATIVO	ALMACENAMIENTO
Temperatura	P,V	No requiere	Análisis inmediato
pH	P,V	No requiere	Análisis inmediato
Conductividad	P,V	Refrig.4°C	28 días
Turbiedad	P,V	Refrig.4°C	48 horas
Sólidos en todas sus formas	P,V	Refrig.4°C	7 días
Materia flotante	P,V	No requiere	Análisis inmediato
Sólidos sedimentables	P,V	Refrig.4°C	48 horas
DBO	P,V	Refrig.4°C	48 horas
DQO	P,V	Refrig.4°C, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2	28 días
Grasas y aceites	V	Refrig.4°C, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2	28 días
Detergentes	P,V	Refrig.4°C	48 horas
Nitrógeno	P,V	Refrig.4°C, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2	28 días
Fenoles	V	Refrig.4°C, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2	28 días
Cianuros	P, V	Refrig.4°C, NaOH a pH>12	14 días
Acidez	P, V	Refrig.4°C	14 días
Alcalinidad	P, V	Refrig.4°C	14 días
Dureza Total	P, V	HNO <sub>3</sub> pH<2	6 meses
Cloruros	P, V	No requiere	28 días
Nitratos	P, V	Refrig.4°C	48 horas
Nitratos	P,V	Refrig.4°C	48 horas
Metales	P,V	HNO <sub>3</sub> pH<2	6 meses
Cr <sup>VI+</sup>	P,V	Refrig.4°C	24 horas
Mercurio	P,V	HNO <sub>3</sub> pH<2	8 días

## 2.6.- ANÁLISIS DE LABORATORIO

Para el análisis de las muestras, los métodos y material utilizados se basan en las Normas Técnicas de Análisis de Aguas Residuales, editadas por el Diario Oficial de la Federación, ver anexo VI y complementada con los Métodos Estándar USA.

### 1.- SÓLIDOS TOTALES

Analíticamente se entiende, que el contenido total de sólidos de una agua residual es la materia que queda como residuo de evaporación a 103 - 105 °C. Los sólidos totales o residuos de evaporación, pueden clasificarse como sólidos suspendidos y sólidos filtrables, de acuerdo a la porción que es retenida y a la que pasa a través de un filtro.<sup>(7)(8)</sup>

La fracción de sólidos filtrables se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre  $10^{-3}$  y  $1 \mu\text{m}$ . Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, inorgánicas y iones que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua.

Los sólidos suspendidos totales están constituidos por partículas pequeñas, de composición tanto inorgánica como orgánica, las cuales se encuentran flotando en el agua. A su vez, cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse nuevamente en base a su volatilidad a 600 °C. La fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas a dicha temperatura, permaneciendo la fracción inorgánica como ceniza. Por tanto, los términos "Sólidos suspendidos volátiles" y "Sólidos suspendidos fijos" se refieren, respectivamente al contenido orgánico e inorgánico (mineral) de los sólidos suspendidos.<sup>(7)</sup>

Los sólidos impiden la adecuada penetración de la luz en el agua, limitando la capacidad de producción por fotosíntesis y la generación de oxígeno por esta vía. Una fracción importante de sólidos suspendidos puede estar formada por microorganismos, como bacterias, algas y protozoarios. Esta fracción de los sólidos suspendidos totales intervienen en la degradación de la materia orgánica muerta transformándola en materia orgánica estabilizada.

Los materiales sólidos ( minerales u orgánicos ) proceden de fuentes muy diversas, tales como canteras, extracciones de material de construcción, fábricas de cemento, minas de carbón, papeleras, colectores urbanos, etc.<sup>(1)</sup>

#### 1.1. Método de determinación de Sólidos Totales

El método es seleccionado de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-34-1980.

Los sólidos totales representan la totalidad de material suspendido y disuelto que contiene el agua y se determina evaporando y secando la muestra de agua a una temperatura definida.

En una cápsula de porcelana puesta previamente a peso constante ( $P_1$ ), colocar 100 ml de muestra y evaporar a sequedad.

Someter a sequedad en estufa eléctrica durante 30 minutos a 103-105°C.

↓

Terminada la evaporación de la muestra enfriar la cápsula en el desecador por un tiempo aproximado de una hora y pesar nuevamente ( $P_2$ ).

Las ppm de sólidos totales se calculan con la siguiente fórmula:

$$\text{ppm (ST)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 10^6}{V_1}$$

Donde:

$P_1$  = Peso de la cápsula de porcelana en condiciones de peso constante, en g.

$P_2$  = Peso de la cápsula de porcelana después de la evaporación, en g.

$V_1$  = Volumen de muestra para el análisis en ml.

$10^6$  = Factor de conversión.

### 1.2.- Determinación de Sólidos Totales Volátiles STV

Una vez determinados los sólidos totales, colocar la cápsula de porcelana ( $P_2$ ) en la mufla para calcinación a 550 °C por 15 minutos.

Finalizada la calcinación enfriar la cápsula en el desecador por un tiempo aproximado de 1 hora y pesar para obtener el peso tres. ( $P_3$ )

Las ppm de sólidos totales volátiles se calculan con la siguiente fórmula:

$$\text{ppm (STV)} = \frac{(P_3 - P_2) \times 10^6}{V_1}$$

Donde:

$P_2$  = Peso de la cápsula de porcelana antes de la calcinación , en g.

$P_3$  = Peso de la cápsula de porcelana después de la calcinación , en g.

$V_1$  = Volumen de muestra para el análisis en ml.

$10^6$  = Factor de conversión.

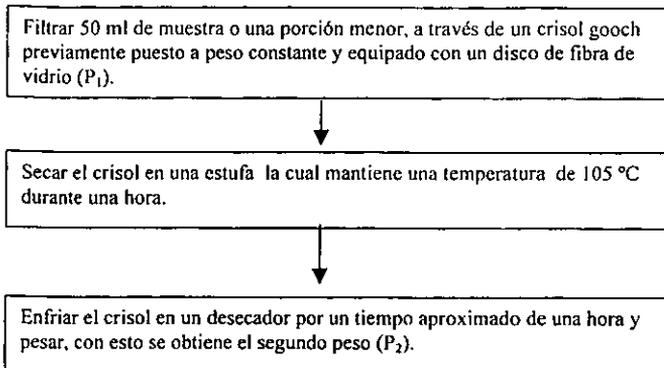
### 1.3.- Determinación de Sólidos Totales Fijos STF

Los sólidos totales fijos se calculan por diferencia entre sólidos totales y sólidos totales volátiles, y también por la siguiente fórmula:

$$\text{ppm (STF)} = \frac{(P_3 - P_1) \times 10^6}{V_1}$$

#### 1.4.- Sólidos Suspendidos Totales SST

Los sólidos suspendidos totales es la materia que puede ser retenida a través de un disco de fibra de vidrio después de una filtración y posteriormente secada a una temperatura de 105°C.



Las ppm de sólidos suspendidos totales se calculan con la siguiente fórmula:

$$\text{ppm (SST)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 10^6}{V_1}$$

Donde:

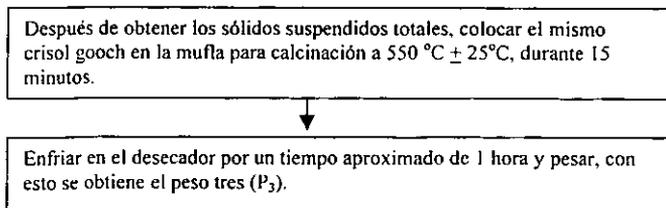
$P_1$  = Peso del crisol gooch en condiciones de peso constante, en g.

$P_2$  = Peso del crisol gooch con residuo, en g.

$V_1$  = Volumen de muestra para filtración en ml.

$10^6$  = Factor de conversión.

#### 1.5.- Sólidos Suspendidos Volátiles SSV



Las ppm de sólidos suspendidos volátiles se calculan con la siguiente fórmula:

$$\text{ppm (SSV)} = \frac{(P_2 - P_3) \times 10^6}{V_1}$$

Donde:

$P_2$  = Peso del crisol gooch antes de la calcinación.

$P_3$  = Peso del crisol gooch después de la calcinación.

$V_1$  = Volumen de la muestra para el análisis.

$10^6$  = Factor de conversión.

#### 1.6.- Sólidos Disueltos Totales SDT

Estos se calculan a partir de la diferencia de los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales.

$$\text{ppm (SDT)} = \text{ppm (ST)} - \text{ppm (SST)}$$

#### 1.7.- Sólidos Disueltos Volátiles SDV

Los sólidos disueltos volátiles se calculan a partir de la diferencia entre los sólidos totales volátiles y sólidos suspendidos volátiles.

$$\text{ppm (SDV)} = \text{ppm (STV)} - \text{ppm (SSV)}$$

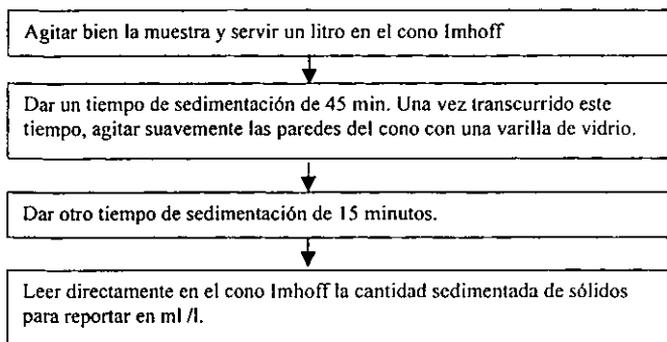
## 2.- SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Los sólidos sedimentables son partículas que pueden depositarse rápidamente cuando la agitación del agua desaparece o disminuye. Incluyen partículas de compuestos inorgánicos y orgánicos. Los sólidos sedimentables, mientras permanecen suspendidos afectan la penetración de la luz en el cuerpo de agua, disminuye la calidad estética del mismo y en el caso de que sean de composición orgánica generan una demanda de oxígeno para su descomposición. Cuando los sólidos sedimentables se depositan tienen un efecto importante sobre los microorganismos que viven en el fondo de los cuerpos de agua pues puede formarse una capa que cubra el fondo e impida la respiración y actividad de los organismos.<sup>(1)</sup>

#### 2.1.- Sólidos Sedimentables SSed

Los sólidos sedimentables se determinan de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-4-1977.

El método volumétrico se basa en la propiedad que tienen los materiales sólidos de sedimentarse, en niveles progresivos de acuerdo con sus diferentes densidades.



### 3.- MATERIA FLOTANTE

La materia flotante presente en el agua puede tener orígenes diversos. Puede tratarse de flóculos de materia orgánica parcialmente degradada, de florecimientos de algas, de residuos de materiales vegetales como hojas o restos de plantas, etc. La materia flotante también representa una disminución del valor estético del cuerpo de agua y puede tener efectos nocivos sobre el mismo, por ejemplo disminuyendo la capacidad de penetración de la luz y limitando la producción primaria.<sup>(1)</sup>

### 4.- TURBIEDAD

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que provoca en una muestra que la luz se desvíe o se absorba en lugar de transmitirse en línea recta. La turbiedad en el agua es debida a la presencia de partículas de material suspendido, que varía desde partículas insolubles de arcillas, materia orgánica e inorgánica hasta microorganismos. La turbiedad debida a la materia orgánica depende de la concentración más que del tamaño.<sup>(7)(8)</sup>

En el aspecto inorgánico los tamaños de las partículas que causan la turbiedad, varían de diámetro que van desde 0.2 micras a 0.5 micras o mayores, las que exceden de 1 micra de diámetro generalmente sedimentan rápidamente. Las partículas menores se clasifican como coloides y pueden permanecer mucho tiempo suspendidas.

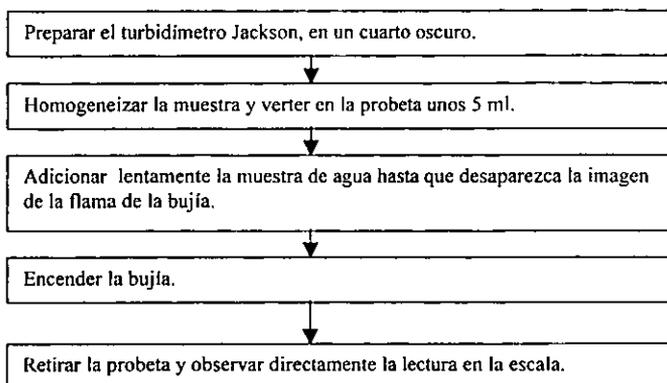
La turbiedad excesiva, reduce la penetración de la luz en los cuerpos de agua, afectando la fotosíntesis que realizan los microorganismos fitoplanctónicos, al igual que la vegetación. La turbiedad en el agua es removida por una combinación de coagulación, sedimentación y filtración. Las columnas de intercambio iónico utilizadas para el ablandamiento de aguas, pierde su capacidad al aumentar la turbiedad.<sup>(7)</sup>

#### 4.1.- Método de la Turbiedad

El método de aplicación seleccionado es el de la bujía Jackson considerado como método estándar en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-38-1981, que reporta la turbiedad como unidades de turbiedad Jackson (UTJ).

El método se basa en el paso de la luz a través de un volumen de muestra de agua, que justamente haga desaparecer la imagen de la flama de una bujía patrón, esto es, que la haga indistinguible contra el fondo de iluminación general, cuando se observa la flama a través de la muestra.

#### 4.2.- Determinación de la Turbiedad



### 5.-TEMPERATURA

La temperatura del agua residual es generalmente más alta que la del suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de las casas y de actividades industriales ya que numerosas industrias utilizan el agua como fluido de refrigeración en círculo abierto (centrales térmicas, siderúrgicas, industrias agrícolas, centrales nucleoelectricas, etc. ), vertiendo en el medio receptor cantidades importantes de calor.<sup>(7)(1)</sup>

La temperatura tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que tienen lugar en el seno del agua, como la solubilidad de los gases y de las sales, así como las reacciones biológicas. La descomposición de la materia orgánica presente en el agua experimenta una aceleración por efecto del incremento de la temperatura. Un vertido de agua caliente en un río ya contaminado por materia orgánica agrava, por tanto, el déficit de oxígeno producido por esta contaminación, al tiempo que disminuye la longitud del recorrido necesario para la realización de los mecanismos de autodepuración.

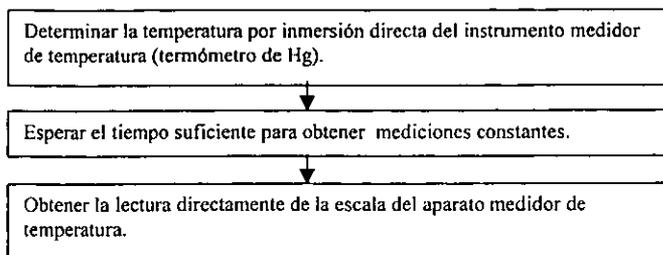
Las reacciones biológicas que se desarrollan en el agua son influenciadas por la temperatura, actuando ésta sobre las poblaciones como un factor de control o como factor letal. Para todas las especies existe una temperatura óptima en la que se desarrollan y que depende de la especie, edad, estación, etc. Las temperaturas inferiores hacen que el metabolismo se reduzca y las superiores hacen que se sobreactiven los procesos de síntesis y de catabolismo, adquiriendo estos últimos cierta

preponderancia. El calentamiento exagera la toxicidad de ciertos productos y ayuda al crecimiento de organismos patógenos.<sup>(1)</sup>

### 5.1.- Método de determinación de Temperatura

El método de la determinación de temperatura de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana es el siguiente.

### 5.2.- Determinación de la Temperatura



## 6.- CONDUCTIVIDAD

La conductividad eléctrica es una expresión numérica de la propiedad de una solución acuosa para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración total, movilidad, valencia y de la temperatura. La conductividad está relacionada con la cantidad de sólidos disueltos y varía con la temperatura así como la concentración electrolítica. El coeficiente de conductancia de soluciones electrolíticas en agua, es siempre positiva y de una magnitud del 1 al 13%, por grado centígrado, la temperatura de referencia en las mediciones de conductividad, es de 25° C.

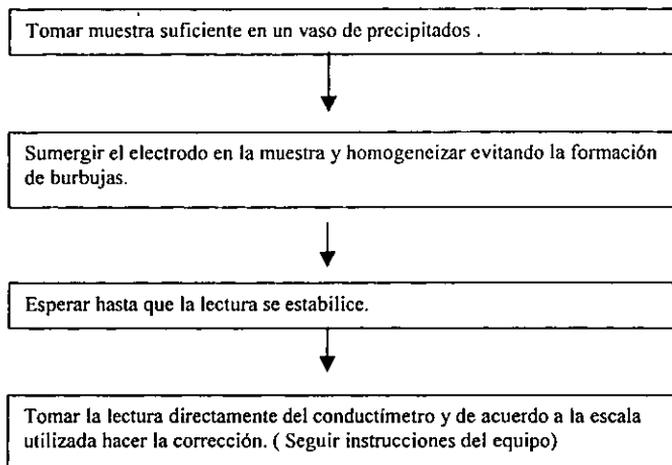
Es importante conocer el valor de la conductividad, pues al aumentar, aumenta la presión osmótica, lo que ocasiona una disminución en la respiración de las plantas.<sup>(4)</sup>

### 6.1.- Método de determinación de la Conductividad

Se trata del método eléctrico en el cual es necesario un conductímetro de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-93-1984.

El método se basa en la teoría de la disociación electrolítica. Esta teoría establece que cuando se disuelven en agua un ácido, una base o una sal, una porción considerable de la misma se disocia espontáneamente en iones positivos y negativos.

## 6.2.- Determinación de la Conductividad



## 7.- DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ( DBO)

El parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los cinco días ( $DBO_5$ ). Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica. La DBO es fundamental en tratamiento de aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad del agua porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Los datos de la DBO se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento y medir el rendimiento de algunos de estos procesos, así mismo se puede calcular la velocidad a la que se requerirá el oxígeno.

Las limitaciones de la determinación de la DBO incluyen la necesidad de una elevada concentración de bacterias activas y aclimatadas que hagan de inóculo, de un pretratamiento cuando haya residuos tóxicos y la reducción de los efectos provocados por organismos nitrificantes, también por otro lado, el arbitrario y prolongado periodo de tiempo requerido para obtener resultados, el hecho de que sólo se midan los productos orgánicos biodegradables, y el que el ensayo no tenga validez estequiométrica una vez que la materia orgánica soluble presente en la solución haya sido utilizada.

Esta prueba es una serie de bioensayos en condiciones muy similares a las naturales, la degradación de la materia orgánica efectuada por los organismos en condiciones aerobias, llega hasta una oxidación completa, es decir, dióxido de carbono, agua y amoníaco.

Las reacciones oxidativas efectuadas en la DBO son el resultado de una actividad biológica, la velocidad a la que se lleva a cabo está regida por la población de microorganismos y la temperatura. Los efectos de la temperatura se controlan manteniendo la prueba a 20 °C.

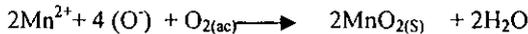
En forma teórica, se requiere de un tiempo infinito para una oxidación biológica de la materia orgánica, pero para fines prácticos, la reacción se puede considerar completa a los 20 días.

Sin embargo en la mayoría de los casos un periodo de 20 días es grande para esperar resultados. Se ha encontrado por experiencia, que un porcentaje razonablemente alto de la BDO total se logra en 5 días, aproximadamente el 70 - 80 % en aguas residuales domésticas y muchas industriales. Por consiguiente, el lapso de 5 días de incubación se ha aceptado como patrón.<sup>(7)</sup>

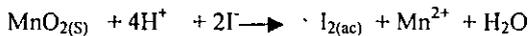
### 7.1.- Método de determinación de la DBO

El método de aplicación seleccionado es el de dilución de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-28-1981.

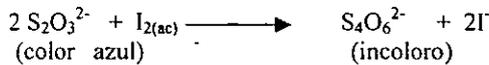
El método de dilución se basa en el concepto fundamental de que la velocidad de degradación bioquímica orgánica es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidada. La prueba consiste en determinar el oxígeno disuelto en dos fases al inicio del ensayo y a los cinco días de incubación por medio de una reacción de oxido-reducción. Donde al adicionar a la muestra  $MnSO_4$  (fijador de oxígeno), solución de alcali-yoduro y  $H_2SO_4$  concentrado obtenemos  $I_2$  que le da una coloración amarilla a la solución, esta solución se titula con tiosulfato de sodio utilizando indicador de almidón que evidencia el final de la titulación por un cambio de color azul a incoloro, de acuerdo a las siguientes reacciones.



Al agregar  $H_2SO_4$ , el  $MnO_{2(s)}$  oxida al  $I^-$



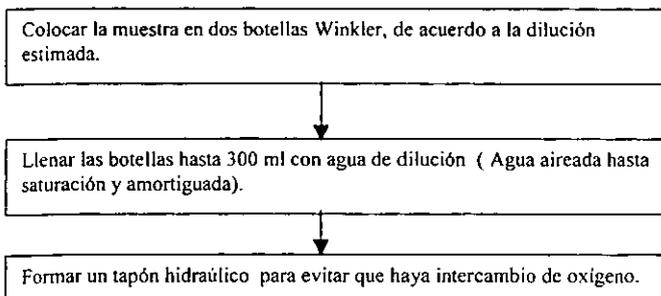
El  $I_2$  nos da un color amarillo que se titula con tiosulfato  $S_2O_3^{2-}$  más almidón .

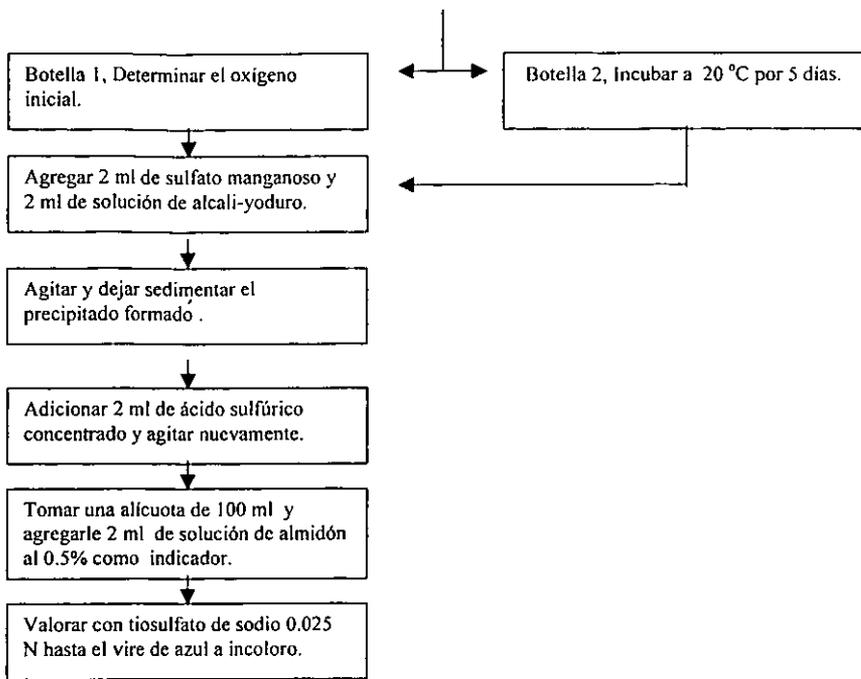


Suma de reacciones:



### 7.2.-Determinación de DBO





La concentración de  $DBO_5$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$ppm (DBO) = \frac{(OD)_i - (OD)_5}{P}$$

Donde:

$(OD)_i$  = ppm de oxígeno disuelto inicial.

$(OD)_5$  = ppm de oxígeno disuelto al 5º día.

P = Por ciento de dilución expresado en decimales

## 8.- DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales, que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual es por lo general mayor que la DBO, porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DQO con la DBO, esto resulta muy útil porque la DQO puede determinarse en tres horas comparado con los cinco días que supone la DBO. Una vez que la correlación ha sido establecida pueden utilizarse las medidas de DQO para el funcionamiento y control de una planta de tratamiento.

El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante en medio ácido. El dicromato de potasio resulta excelente para tal fin. La determinación debe realizarse a temperatura elevada. Para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuestos orgánicos se necesita un catalizador (sulfato de plata).

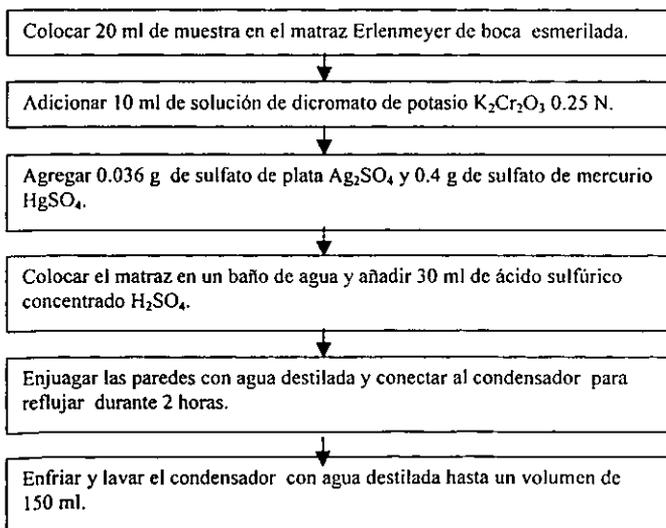
Dentro de las ventajas de la DQO se encuentran : el costo del equipo y el tiempo que es menor, sus condiciones de oxidación son mucho más efectivas al abarcar un mayor espectro de compuestos químicos, especialmente en ciertos desechos con sustancias tóxicas, en donde la DQO puede ser el único método para determinar la carga orgánica del desecho. Los resultados de la DQO sumados al oxígeno equivalente para lograr la oxidación del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) para formar nitritos ( $\text{NO}_2$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3$ ), y del nitrógeno orgánico (aminas, amidas, imidas y los compuestos diazoicos) se consideran como una muy buena estimación de la DBO última para muchos desechos municipales domésticos. Dentro de las limitaciones tenemos ciertos compuestos no susceptibles a la oxidación de las condiciones de la prueba, o son demasiado volátiles para poder permanecer en el matraz al ser oxidados a la temperatura elevada del sistema.<sup>(7)</sup>

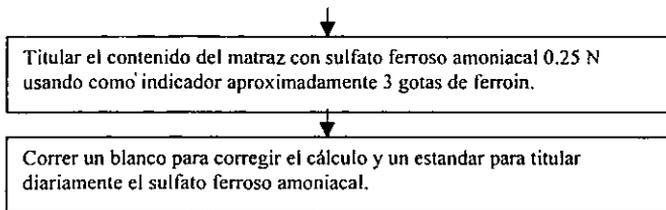
### 8.1.- Método de Determinación de la Demanda Química de Oxígeno DQO

El método empleado es el volumétrico de reflujo con dicromato de potasio como agente oxidante considerado en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-30-1981.

El método se basa en una oxidación enérgica de la materia orgánica y la inorgánica oxidable que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido, con una cantidad conocida de dicromato de potasio usando para este proceso un sistema de reflujo. El remanente de agente oxidante se determina por titulación con solución valorada de sulfato ferroso amoniacal en presencia del indicador ferroin (Complejo ferroso de ortofenantrolina). La cantidad de materia orgánica oxidable, medida como oxígeno equivalente es proporcional al dicromato consumido.

### 8.2.-Determinación de DQO





La concentración de DQO se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{ppm (DQO)} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times \text{Eq} \times 1000}{V_3}$$

Donde:

$V_1$  = Volumen de la solución de sulfato ferroso amoniacal gastado en la titulación del testigo (ml)

$V_2$  = Volumen de la solución de sulfato ferroso amoniacal gastado en la titulación de la muestra (ml).

$V_3$  = Volumen tomado de la muestra (ml).

$N$  = Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal (0.25).

$\text{Eq}$  = Equivalente químico del oxígeno (8).

1000 = Factor de conversión.

## 9.- GRASAS Y ACEITES

El término grasa, normalmente utilizado, incluye las grasas animales, aceites y ceras que se encuentran en el agua residual.

Las grasas son uno de los compuestos más estables y no se descomponen fácilmente por acción bacteriana. Sin embargo los ácidos minerales las atacan, formando glicerina y ácido grasos. En presencia de álcalis, tales como el hidróxido de sodio la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos, generalmente conocidos como jabones. Estos son solubles en agua, pero en presencia de los constituyentes de la dureza, las sales sódicas se transforman en sales de calcio y magnesio de los ácidos grasos (jabones minerales), que son insolubles y precipitan.<sup>(7)</sup>

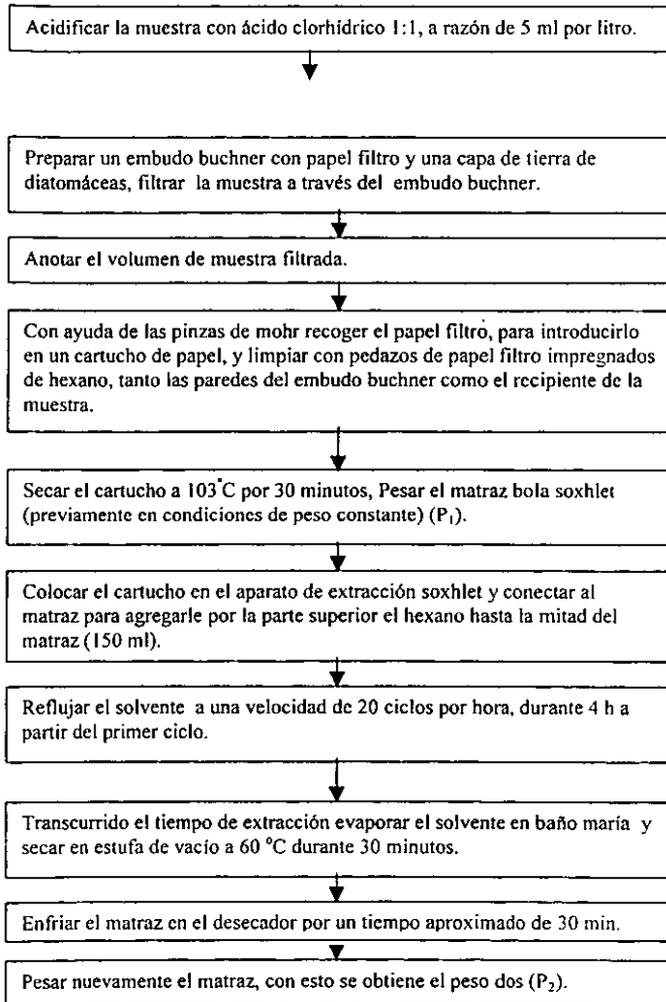
La presencia en las aguas descargadas de grasas y aceites representa un doble peligro para los cuerpos receptores: por una parte, existe la posibilidad de que algunos compuestos de las grasas y los aceites resulten tóxicos para alguno o algunos grupos de microorganismos acuáticos. Por otra parte, la presencia en la zona superficial del agua de grasas y aceites impide el adecuado intercambio de gases con la atmósfera favoreciendo la aparición de condiciones de anoxia.<sup>(1)</sup>

### 9.1.- Método de Grasas y Aceites

El método seleccionado es el de extracción Soxhlet, debido a su alto porcentaje de extracción de las grasas y aceites, este método es considerado en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-6-1980.

El método se basa en un procedimiento gravimétrico, que involucra la filtración de una muestra acidulada a pH aproximadamente de 1, extracción de las grasas y aceites por medio de reflujo con un solvente adecuado y posterior evaporación del mismo.

## 9.2.- Determinación



Las ppm de grasas y aceites se calculan por la siguiente ecuación:

$$\text{ppm (G y A)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 10^6}{V_1}$$

Donde:

$P_1$  = Peso del matraz soxhlet, en g.

$P_2$  = Peso del matraz soxhlet con los residuos de grasas y aceites, en g.

$10^6$  = Factor de conversión.

$V_1$  = Volumen de muestra, en ml.

## 10.-DETERGENTES (SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO)

Los detergentes son sustancias que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del líquido donde se encuentran disueltos, de modo que éste adquiere mayor poder de penetración a través de los poros de ciertos materiales, y se extienden más fácilmente en la superficie de los cuerpos en los que se aplica. Contiene de 20 al 30 % de una sustancia activa llamada surfactante o tensoactivo, y del 70 a 80 % de aditivos que sirven para aumentar las propiedades de los detergentes; entre los aditivos más comunes se hallan: tripolifosfato de sodio (de 25 a 50 %), sulfato de sodio (del 5 al 10 %), silicato de sodio (de 2 a 10 %), y bloqueadores ópticos (trazas).

En general la molécula del surfactante presenta una cadena polar alifática, que es hidrofílica y una aromática hidrofóbica. A esta dualidad de la molécula, se deben las propiedades humectantes, dispersantes y emulsificantes de los detergentes. Los surfactantes se clasifican de acuerdo a su disociación electrolítica, la cual depende del grupo polar y puede ser de tres tipos: aniónicos, catiónicos y no iónicos.

La espuma generada por los detergentes provoca problemas de operación en las plantas depuradoras de agua debido a que oculta los equipos de control y recubre las superficies de trabajo con sedimentos que contienen altas concentraciones de surfactantes, grasas, proteínas y lodos, también dificulta la difusión y dilución del oxígeno atmosférico en el agua.

La eutroficación es otro de los problemas ya que los detergentes presentan un alto contenido de fosfatos, los cuales son nutrientes que incrementan la población de la flora acuática, al morir se degrada formando pantanos, esto provoca una mayor demanda de oxígeno que perjudica a la fauna y al propio cuerpo del agua.

Otros aspectos secundarios producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales son: cambios en la Demanda Bioquímica de Oxígeno y en los sólidos suspendidos, formación de flóculos, efectos corrosivos en las partes mecánicas e interferencias en el proceso de cloración.<sup>(7)</sup>

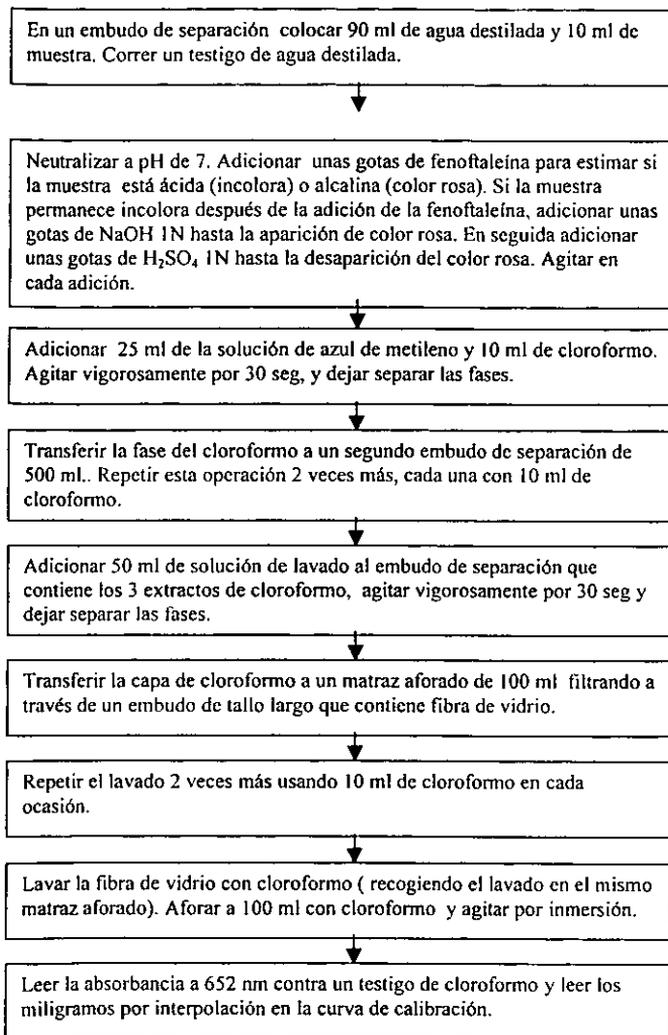
### 10.1.- Método de Detergentes ( Sustancias Activas al Azul de Metileno)

El método colorimétrico del azul de metileno es el aceptado en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-39-1980.

El método es aplicable en un rango de concentración de 0.1 a 2 ppm de sulfonato de alquil benceno ABS. Mayores concentraciones pueden determinarse por dilución de la muestra de agua. El método requiere de la elaboración de una curva de calibración.

El método se basa en la formación de una sal, cuando el azul de metileno reacciona con los surfactantes. La sal es soluble en cloroformo y la intensidad del color es proporcional a su concentración. La intensidad es medida espectrofotométricamente.

## 10.2.- Determinación



Las ppm de detergentes se calculan con la siguiente ecuación:

$$\text{ppm (ABS)} = \frac{A \times 1000}{V_1}$$

Donde:

A = mg de ABS leídos en la curva de calibración.

V<sub>1</sub> = volumen de muestra en ml.

1000 = Factor de conversión.

## 11.-NITRÓGENO

El nitrógeno presente en el agua residual reciente, se encuentra principalmente en la forma de urea y materia protéica. La descomposición por las bacterias cambia fácilmente estas formas en amoníaco. La edad del agua residual viene indicada por la cantidad relativa de amoníaco presente. En un ambiente aerobio, las bacterias pueden oxidar el nitrógeno del amoníaco a nitritos y nitratos. El predominio del nitrógeno del nitrato indica que el agua residual se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. Sin embargo los nitratos pueden ser usados por las algas y otras plantas acuáticas para formar proteínas vegetales que a su vez, pueden ser utilizadas por animales para formar sus proteínas respectivas. La muerte o descomposición de las proteínas vegetales y animales por las bacterias produce de nuevo amoníaco.

El nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa, bien como ion amonio o como amoníaco, dependiendo ello del pH de la solución, según la siguiente ecuación de equilibrio<sup>(7)</sup>:



### 11.1.- Método de determinación de Nitrógeno Amoniacal

El método aceptado por la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-26-1980 es el método de titulación precedido de una destilación.

El método se basa en una operación de destilación de la muestra de agua, en condiciones alcalinas (pH = 9.5). El nitrógeno amoniacal del destilado es recibido en una solución de ácido bórico indicador mixto y cuantificado por titulación con solución de ácido sulfúrico estándar.

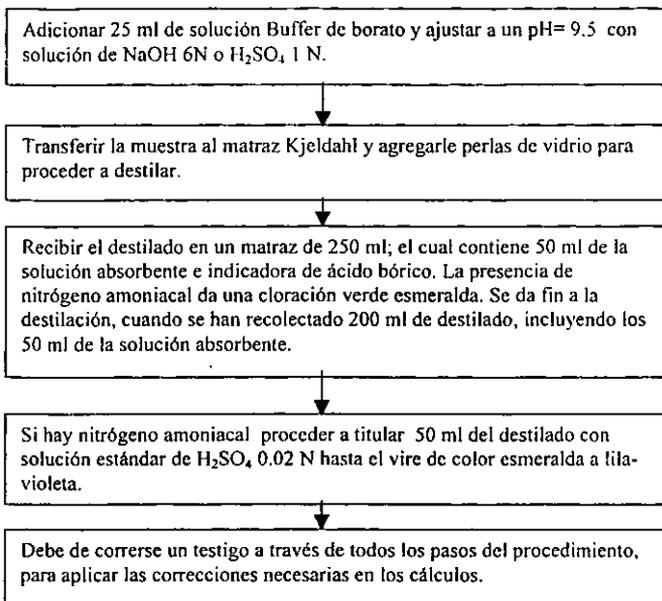
### 11.2.- Método de determinación de Nitrógeno Orgánico

El procedimiento se basa en una etapa de digestión de la muestra de agua, en presencia de ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, sulfato de potasio K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y sulfato mercúrico HgSO<sub>4</sub> (como catalizador), para convertir el nitrógeno de muchos compuestos orgánicos a sulfato de amonio (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Durante la digestión se forma un complejo de amonio mercúrico el cual posteriormente es descompuesto con tiosulfato de sodio Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Esto indica que el nitrógeno orgánico ha sido convertido a nitrógeno amoniacal, el cual es destilado en condiciones alcalinas y absorbido en una solución indicadora de ácido bórico; para ser cuantificado por titulación con ácido sulfúrico estándar.

### 11.3.- Determinación de Nitrógeno Amoniacal

Tomar una cantidad determinada de muestra de tal forma que no rebase los 300 ml o una parte alicuota.





Las ppm de nitrógeno amoniacal se obtienen por la siguiente ecuación:

$$\text{ppm (N-NH}_3\text{)} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times \text{Eq} \times 1000}{V_3}$$

Donde:

$V_1$  = Volumen de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gastado para la muestra en ml.

$V_2$  = Volumen de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gastado para el testigo.

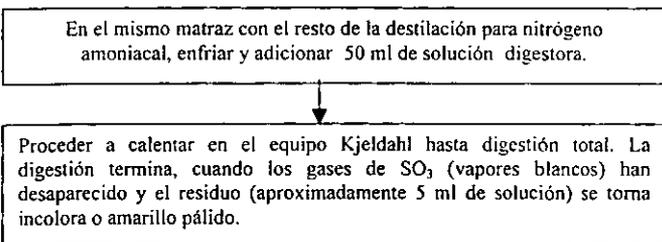
$V_3$  = Volumen tomado de la muestra en ml.

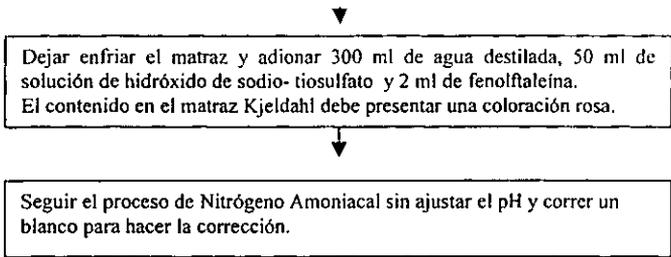
$N$  = Normalidad del  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 0.02$

$\text{Eq}$  = Equivalente químico del nitrógeno = 14

1000 = Factor de conversión.

#### 11.4.- Determinación de Nitrógeno Orgánico.





Las ppm de Nitrógeno Orgánico se obtienen por la siguiente ecuación:

$$\text{ppm (N-Org)} = \frac{(V_1 - V_2) \times 280}{V_3}$$

Donde:

- V<sub>1</sub> = Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gastado para la muestra en ml.
- V<sub>2</sub> = Volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gastado para el testigo en ml.
- V<sub>3</sub> = Volumen tomado de muestra en ml.

## 12.- FENOLES

El fenol, derivado monohidroxilado del benceno, es ampliamente usado como desinfectante y en la síntesis de productos orgánicos, particularmente resinas. Se presenta como componente natural de las aguas residuales de las industrias del petróleo, gas alumbrado, plantas de coque y de procesos que comprenden el uso del fenol como materia prima.

El término "Fenoles", incluye los derivados orto-, meta- y para- sustituidos por halógenos o por un grupo alquilo, aldehído, amílico, nitrofenilo, nitroso y del ácido sulfónico. Dada la diversidad de compuestos fenólicos, el fenol propiamente dicho, ha sido seleccionado como patrón y cualquier reacción producida por los compuestos fenólicos se reporta como tal. Entre las principales fuentes de contaminación de este tipo de compuestos tenemos; la industria de aluminio, automotriz, de compuestos químicos orgánicos, refinación del petróleo, materiales plásticos y sintéticos, papel y acero.

La remoción de olores provocados por el fenol, es un problema serio en las plantas de tratamiento. Para resolverlo se usan procesos de cloración, tratamiento con dióxido de cloro o cloroamoniaco, ozonización y adsorción con carbón activado.<sup>(7)</sup>

### 12.1.- Método de determinación de Fenoles

El método seleccionado en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-50-1971, es el método colorimétrico de la 4 aminoantipirina precedido de una destilación. El método en su aplicación, abarca concentraciones de los compuestos fenólicos más comunmente descargados a los cuerpos de agua y es aplicable a desechos que contienen menos de 1 ppm de fenoles.



Las ppm de Fenoles se obtienen por la siguiente ecuación:

$$\text{ppm (Fenol)} = \frac{A}{V_1}$$

Donde:

A = Concentración de fenol leídos en la curva de calibración.

V<sub>1</sub> = Volumen de muestra en ml.

### 13.- CIANUROS

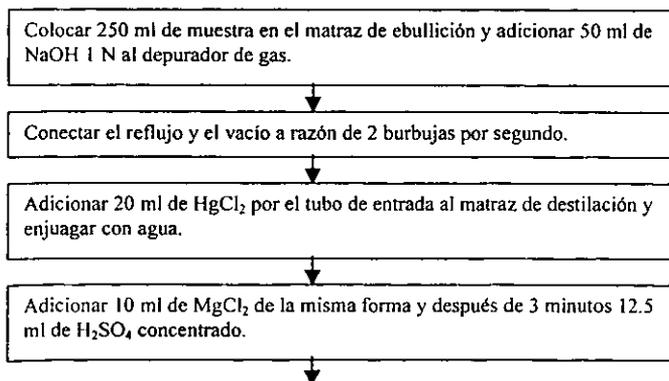
Los cianuros, representados por ácido cianhídrico y sus sales son importantes contaminantes químicos industriales. Son extremadamente tóxicos, especialmente a valores de pH bajos (menores de 7), esto es porque los cianuros actúan inhibiendo las reacciones de oxidación fosforilativa, las cuales permiten la respiración celular. Los compuestos con cianuro formados por la reacción de CN<sup>-</sup> con metales pesados pueden ser más tóxicos. Por esta razón el control de cianuro en efluentes industriales es muy importante, su remoción es comúnmente efectuada por aplicación de cloro, el cual progresivamente oxida a este compuesto, sin embargo, esto también puede producir la formación de compuestos organoclorados.

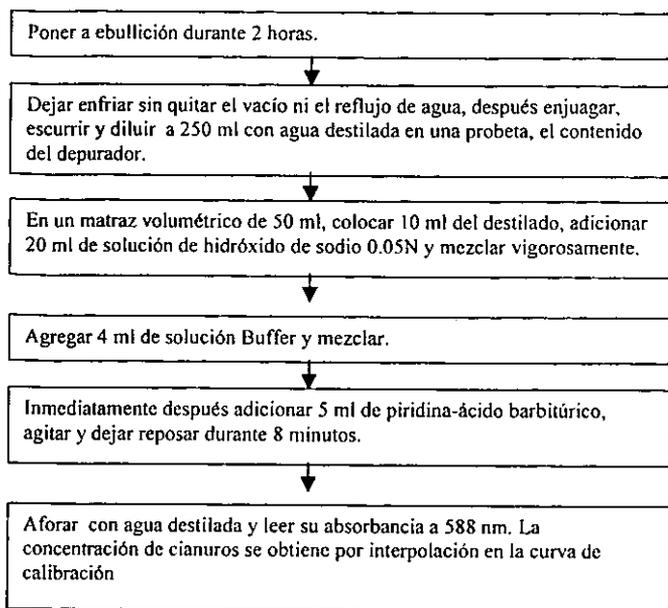
#### 13.1.- Método de determinación de Cianuros

El método aceptado por la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-58-1982, es el método de la piridina.

El método se basa en la destilación como ácido cianhídrico (HCN) de los cianuros simples y complejos, que se absorben en una solución alcalina. Posteriormente se hace reaccionar con una mezcla de piridina- pirazolona, lo que da lugar a la formación de un complejo colorido azul, cuya intensidad se puede medir colorimétricamente y es proporcional a la cantidad de cianuros presente.

#### 13.2.- Determinación de cianuros:





Las ppm de Cianuros se obtienen por la siguiente ecuación:

$$\text{ppm (CN)} = \frac{A}{V_1}$$

Donde:

A = Concentración de Cianuros leídos en la curva de calibración.

V<sub>1</sub> = Volumen de muestra en ml.

#### 14.- pH

El pH es la expresión de la concentración de los iones H<sup>+</sup> en el agua. El pH del agua afecta diversos procesos como puede ser la solubilidad y el estado químico de muchos compuestos y elementos (por ejemplo de los metales pesados), la actividad de algunas enzimas y la sobrevivencia de numerosas especies.<sup>(1)</sup>

El pH de las aguas negras es normalmente cercano a 7; cambios en los valores de pH suelen ser indicadores de la presencia de descargas industriales, éstas frecuentemente dañan los sistemas de alcantarillado y complican el tratamiento, ya que hay que incluir procesos de neutralización en forma complementaria con objeto de evitar alteraciones en el proceso, además su intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico.

La mayoría de las especies prefieren valores de pH cercanos a la neutralidad (aproximadamente 7). Sin embargo existen especies adaptadas a vivir en condiciones extremas de pH, ya sea hacia la parte ácida o básica de la escala,<sup>(4)</sup>

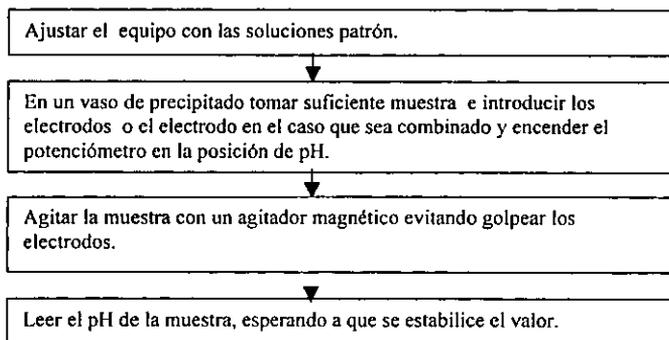
#### 14.1.- Método de determinación de pH.

Para esta técnica se selecciona el método potenciométrico por ser el más exacto de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-8-1980.

Este método se basa en las diferencias de potenciales entre dos líquidos de diferente concentración de iones hidrogeno. Uno de los cuales asume un potencial constante (electrodo de referencia) en tanto que el de medición (electrodo de vidrio), genera un potencial que depende del pH de la muestra.

Esta diferencia de potencial sensible al pH es amplificada y medida sobre una escala preparada, tanto para medir pH como la fuerza electromotriz en milivolts, producida en la escala electroquímica respectiva.

#### 14.2.- Determinación de pH



El valor de pH se lee directamente en la carátula del potenciómetro.

#### 15.- ACIDEZ

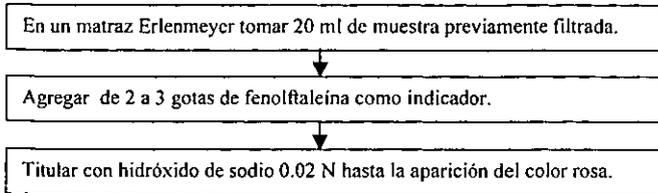
La acidez del agua se puede deber a la presencia de dióxido de carbono no combinado, de ácidos minerales o de sales de ácidos fuertes y bases débiles. En estas últimas categorías se encuentran las sales de hierro y aluminio provenientes de minas o de origen industrial, en algunos desechos industriales, la acidez se debe a la presencia de ácidos, principalmente en la industria metalúrgica. Las aguas ácidas poseen propiedades corrosivas atacando cualquier tipo de tubería, y provocando reacciones secundarias que alteran las reacciones ecológicas del cuerpo de agua.

##### 15.1.-Método de determinación de Acidez

El método más utilizado es el colorimétrico aunque se puede usar el potenciométrico de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-36-1980.

En el método la acidez presente en el agua se mide por la titulación con una solución valorada de una álcali fuerte (NaOH).

## 15.2.- Determinación de Acidez



La acidez se cuantifica en ppm como  $\text{CaCO}_3$  con la siguiente ecuación:

$$\text{ppm} (\text{CaCO}_3) = \frac{V_1 \times N \times 50 \times 1000}{V}$$

Donde:

$V_1$  = Volumen gastado de solución  $\text{NaOH}$  0.02N.

$V$  = Volumen de la muestra.

$N$  = Normalidad de la solución de  $\text{NaOH}$ .

50 = Equivalente químico del  $\text{CaCO}_3$ .

1000 = Factor de conversión.

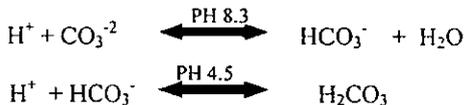
## 16.- ALCALINIDAD

La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco, aunque también contribuyen otras sales de ácidos débiles como boratos, silicatos y fosfatos. De estos, los más frecuentes son los bicarbonatos de magnesio y calcio. El agua residual es generalmente alcalina, recibiendo del agua de suministro, subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico.

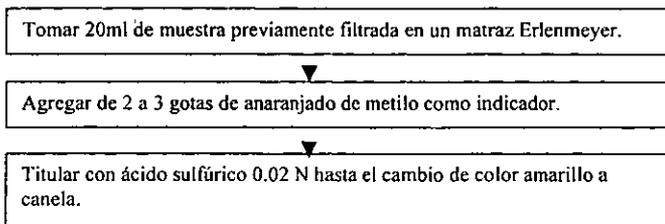
### 16.1.- Método de determinación de Alcalinidad Total.

El método más utilizado es el colorimétrico aunque se puede usar el potenciométrico de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-36-1980.

La alcalinidad total se determina por titulación de la muestra con una solución valorada de un ácido fuerte como el  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , por medios potenciométricos o por medio del cambio de color utilizando el indicador anaranjado de metilo, que vira en una escala de pH de 4.5 en la cual cubre la reacción ácido base de los carbonatos de acuerdo a las siguientes reacciones:



## 16.2.- Determinación de Alcalinidad total



La alcalinidad se cuantifica en ppm como  $\text{CaCO}_3$  con la siguiente ecuación:

$$\text{ppm } (\text{CaCO}_3) = \frac{V_1 \times N \times 50 \times 1000}{V}$$

Donde:

$V_1$  = Volumen gastado de solución  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02N.

$V$  = Volumen de la muestra.

$N$  = Normalidad de la solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

50 = Equivalente químico del  $\text{CaCO}_3$ .

1000 = Factor de conversión.

## 17.- DUREZA TOTAL

La dureza refleja la naturaleza de las formaciones geológicas por las que el agua ha pasado, por eso la dureza en las aguas varía de un lugar a otro, siendo las aguas superficiales menos duras que las subterráneas. La dureza es indeseable en algunos procesos, tales como el lavado doméstico e industrial, provocando que se consuma más jabón, al producirse sales insolubles. En calderas y sistemas enfriados por agua, se producen incrustaciones en las tuberías y una pérdida en la eficiencia de la transferencia de calor. Además le da un sabor indeseable al agua potable.

La dureza es causada por la presencia de cationes metálicos divalentes, los cuales reaccionan con el jabón formado precipitados y con ciertos aniones ocasionando incrustaciones. Los principales cationes que causan dureza son: calcio, magnesio, estroncio, fierro y manganeso. Los iones  $\text{Al}^{+3}$  y  $\text{Fe}^{+3}$  a veces se consideran como dureza, pero su solubilidad es tan limitada a los valores naturales de pH, que sus concentraciones iónicas son despreciables.<sup>(3)</sup>

### 17.1.- Método de determinación de Dureza

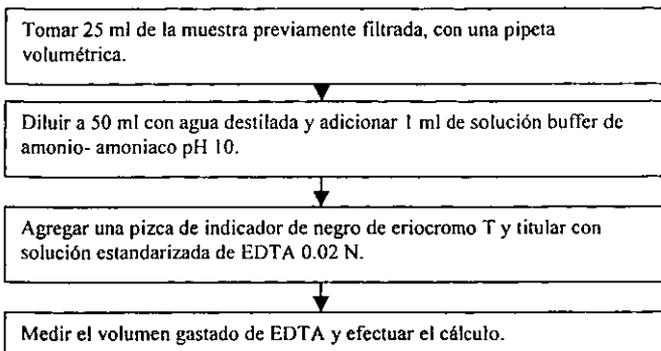
El método seleccionado es el volumétrico del EDTA de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-72-1981.

El método se basa en la titulación con solución valorada de EDTA, de los iones causantes de la dureza; en presencia de negro de eriocromo T (NET) para dureza total y murexida para dureza de calcio. Donde al agregar un buffer para obtener pH de 10 el indicador NET se combina con los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  formando un complejo poco estable de color vino.

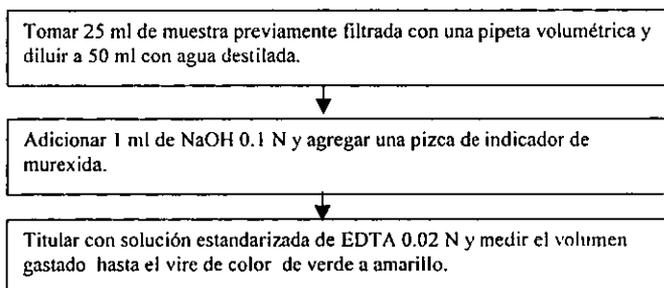
Durante la valoración con EDTA se forma un complejo más estable con los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  dejando libre al indicador NET que da una coloración azul.

Para la determinación de dureza de calcio ocurre un fenómeno similar con el indicador murexida.

### 17.2.- Determinación de Dureza



### Dureza de calcio



La Dureza se cuantifica en ppm como  $\text{CaCO}_3$  con la siguiente ecuación:

$$\text{ppm} (\text{CaCO}_3) = \frac{V_1 \times N \times 50 \times 1000}{V}$$

Donde:

$V_1$  = Volumen gastado de solución EDTA 0.02N.

$V$  = Volumen de la muestra.

$N$  = Normalidad de la solución de EDTA.

50 = Equivalente químico del  $\text{CaCO}_3$ .

1000 = Factor de conversión.

## 18.- CLORUROS

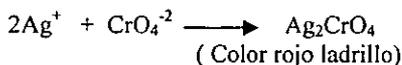
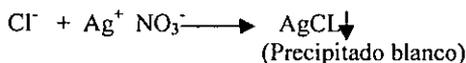
Los cloruros se encuentran en el agua natural procedente de la disolución de suelos y rocas que los contienen, y que están en contacto con el agua, en las regiones costeras debido a la intrusión del agua salada. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales.

Las heces humanas, por ejemplo, contienen aproximadamente 6 gramos de cloruros por persona y día. En lugares donde la dureza del agua sea elevada, los ablandadores del agua aportarán igualmente grandes cantidades de cloruros.<sup>(7)</sup>

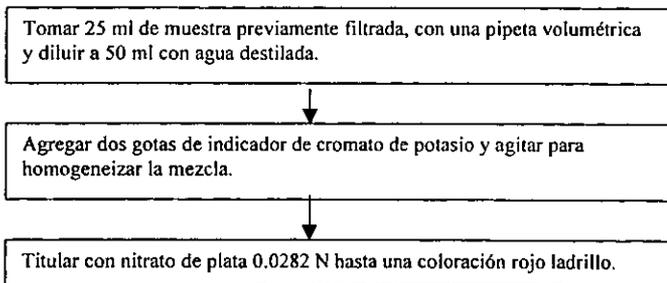
### 18.1.- Método de determinación de Cloruros

El método aceptado en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-73-1981, es el método argentométrico.

El cloruro se determina en un medio neutro o ligeramente alcalino por titulación con solución valorada de nitrato de plata, usando cromato de potasio como indicador. El cloruro de plata formado es cuantitativamente precipitado antes de que sea formado el cromato de plata color rojo ladrillo que indica el final de la titulación de acuerdo a la siguiente reacción.



### 18.2.- Determinación Cloruros:



Las ppm de iones cloruro se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\text{ppm (Cl)} = \frac{V_1 \times N \times 35.5 \times 1000}{V}$$

Donde:

V<sub>1</sub> = Volumen de la solución de nitrato de plata gastado en ml.

V = Volumen tomado de muestra en ml.

N = Normalidad de la solución de nitrato de plata.

35.5 = Equivalente químico de cloruro.

1000 = Factor de conversión.

## 19.- ANÁLISIS DE METALES

Todos los metales pueden ser tóxicos para los seres vivos si los niveles de exposición son suficientemente altos. Los metales son especialmente importantes debido a su característica de acumulación en los organismos. Los metales y elementos relacionados considerados en la legislación son: aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, boro, cadmio, cianuro, cobre, fierro, cromo hexavalente, manganeso, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y zinc. También se consideran los asbestos, aunque en este caso se trata de un material fibroso formado por silicato de magnesio.

Muchos de los metales tienen efectos toxicológicos similares. Por ejemplo, el mercurio, cadmio, plomo y arsénico tienen una gran afinidad por los grupos -SH de las proteínas, por lo cual su efecto tóxico se produce por la alteración de diferentes procesos en los que intervienen enzimas o bien, en otros casos, por la alteración de la estructura celular. El tipo de proteínas afectadas varía de acuerdo con los diferentes metales.

Los metales, en forma de diferentes sales, llegan a los cuerpos de agua a través de la descarga de diferentes efluentes. Entre los efluentes principales se encuentran los de minas, los de fábricas de procesamiento de metales, los de industrias químicas y los de refineries. Muchos tipos de aguas de desechos industriales contienen metales pesados en solución. Se llaman "**metales pesados**" debido a que su densidad es mayor de 5 g/cm<sup>3</sup>. Los que no superan esta densidad se conocen como metales ligeros. A menudo, estas aguas industriales son descargadas en el sistema de alcantarillado municipal. Los metales pesados ejercen un efecto adverso sobre la generalidad de los procesos biológicos.

### A.-ARSÉNICO

Es un metaloide con amplia distribución. Se le emplea en aleaciones, en la fabricación de plaguicidas, de conservadores de la madera y en algunas medicinas. Sus efectos en los seres humanos son muy amplios e incluyen vómitos, dolores abdominales, dermatitis, bronquitis y gangrena. Además parece tener efectos carcinogénicos sobre los tejidos de la boca, esófago, laringe y vejiga. En los cuerpos de agua se ha observado que se acumula a lo largo de las cadenas tróficas y en el ambiente marino los cangrejos y langostas son especialmente capaces de acumular este elemento. Cuando se ingiere en pequeñas cantidades pero continuamente, se presentan los síntomas del arsenismo crónico que incluye: desórdenes vasculares y gastrointestinales, cambios en la pigmentación del tejido dérmico, alteraciones en el sistema nervioso central que provocan disturbios motores y sensoriales.<sup>(1)(9)</sup>

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.<sup>(9)(10)</sup>

### B.- CADMIO

Es un metal bastante escaso que se obtiene como subproducto de la minería de otros metales como zinc, plomo y cobre. Se le utiliza en el electroplateado ya que previene la oxidación del acero, fierro, cobre y la lámina. También se usa como pigmento en pinturas, plásticos, cerámica; es estabilizador de plásticos como el PVC. Finalmente se usa en la fabricación de baterías de níquel - cadmio. Se trata de un elemento que no es esencial. Su forma tóxica es el ión Cd<sup>+2</sup>. Su eficiencia de absorción por los seres humanos es de un 5 a 6 % y no experimenta transformaciones. Se acumula

en el hígado y en los riñones. En este último causa daño a los túbulos renales. Causa diferentes efectos sobre los organismos acuáticos, en los cuales se acumula.<sup>(1)</sup>

El agua y el suelo pueden contaminarse con cadmio que se encuentra en forma de trazas en los fertilizantes fosfatados. El cuadro de intoxicación aguda se presenta con vómitos, diarrea y dolor abdominal.<sup>(9)(10)</sup>

### C.-COBRE

Es un elemento muy abundante que es utilizado en forma pura o en aleaciones. Es un micronutriente esencial que forma parte de pigmentos respiratorios. No se sabe que se amplifique biológicamente. El problema principal del cobre es su elevada toxicidad aguda. Es muy tóxico para algas, moluscos y peces.<sup>(1)</sup>

### D.-CROMO

El cromo se emplea principalmente en la fabricación de acero y en la industria del cromado y en el curtido de pieles. De las diferentes formas químicas que puede presentar la de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ) es la más tóxica. En los seres humanos el cromo ingerido en el agua afecta especialmente al hígado y a los riñones. La intoxicación aguda por ingestión de cromatos solubles produce daño del tracto gastrointestinal y shock cardiovascular. En el nivel celular el  $\text{Cr}^{+6}$  se absorbe fácilmente a través de las membranas celulares y a nivel de retículo endoplásmico se reduce a  $\text{Cr}^{+3}$ . Este cromo tiene la capacidad de formar complejos estables con las macromoléculas celulares, parece ser que este metal puede causar alteraciones cromosómicas. Como secuelas se observan necrosis hepáticas y renal y daño al sistema hematopoyético. El cromo es un micronutriente para muchos microorganismos que lo requieren para el metabolismo de las grasas y de los carbohidratos.

Este metal es especialmente peligroso debido a su elevada capacidad de concentración en el interior de numerosos organismos. La dosis letal oral de cromatos solubles en humanos es de 50-70 mg/kg peso corporal.<sup>(1)(9)(10)</sup>

### E.-MERCURIO

El mercurio es uno de los metales pesados más peligrosos debido a su amplia distribución. Las fuentes principales del metal hacia el agua son la minería, la producción electrolítica de mercurio, la fabricación de equipo eléctrico, la industria del papel y la celulosa, la agricultura (mediante el uso de fungicidas mercuriales) y la industria de fabricación cloro-sosa. El mercurio tiene formas tóxicas inorgánicas como el mercurio elemental, el cloruro mercurioso y el cloruro mercuríco, pero también existen varias formas orgánicas tóxicas como el metil mercurio y los compuestos alquil mercuriales.

Todas las formas del mercurio son potencialmente tóxicas pero con toxicidad variable. Los compuestos inorgánicos de mercurio son los menos tóxicos pues casi no se acumulan. Los compuestos más tóxicos son los alquilmercuriales debido a que son estables y presentan tiempos de retención largos en los tejidos, hecho que favorece su acumulación.

El mercurio y sus derivados se distribuyen en todo el organismo y se acumulan en el sistema nervioso central, causan anomalías en la división de la célula y ruptura de los cromosomas. 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.

Los compuestos de mercurio pueden experimentar transformaciones en el ambiente. En condiciones de ausencia de oxígeno en los sedimentos acuáticos el mercurio metálico puede ser transformado por la bacteria *Clostridium cochlearium* en metil y dimetil mercurio. Esta misma transformación puede ocurrir en condiciones de presencia de oxígeno por medio de las bacterias *Pseudomonas spp.* Y del hongo *Neurospora crassa*. Esta transformación significa la conversión de la forma menos tóxica del mercurio en la forma más tóxica. Hay otras varias transformaciones que pueden ocurrir biológica o químicamente. En el ambiente acuático se ha observado que las algas, especialmente las diatomeas, son altamente susceptibles a los plaguicidas organomercuriales. El mercurio se acumula y se ha visto que los peces y muchas aves acuáticas presentan concentraciones muy elevadas de este metal.<sup>(1)(6)(7)</sup>

#### F.- PLOMO

El plomo está ampliamente distribuido en la naturaleza, pero son las actividades humanas que lo emplean las que provocan que las emisiones de este metal pesado hacia el ambiente sean peligrosas. El plomo se genera en la industria de fundición del metal, en la fabricación de insecticidas, pinturas, vidrios y baterías eléctricas. Además, en forma de tetraetilo de plomo, se agrega a las gasolinas como antidetonante.

El plomo afecta a los microorganismos retardando la degradación de la materia orgánica. Los animales pueden absorber plomo por inhalación o ingestión. La absorción es muy elevada pero la excreción es todavía más lenta, por lo que el metal se acumula en forma de quelatos, principalmente en el tejido óseo. La mayor parte del plomo es absorbido por los glóbulos rojos y circula a través del cuerpo encontrándose inicialmente en el hígado y los riñones. Posteriormente puede pasar a los huesos, dientes y al cerebro. El primer síntoma de la intoxicación por plomo es la anemia, debido a que el metal interfiere con la formación del grupo hemo. Algunos síntomas asociados incluyen náuseas, vómitos y dolores abdominales. El plomo también afecta el tejido del sistema nervioso central causando una gran diversidad de importantes efectos.<sup>(1)(9)(10)</sup>

#### G.- NÍQUEL

El níquel es un metal que es requerido en muy pequeñas cantidades por la mayoría de los organismos. Sin embargo, en concentraciones elevadas tiene efectos como dermatitis y desórdenes respiratorios, llegando incluso a provocar cáncer de pulmón cuando es inhalado. Entre los usos más importantes de este metal están el de recubrimiento, como catalizador y en la fabricación de cerámica.

#### H.- ZINC

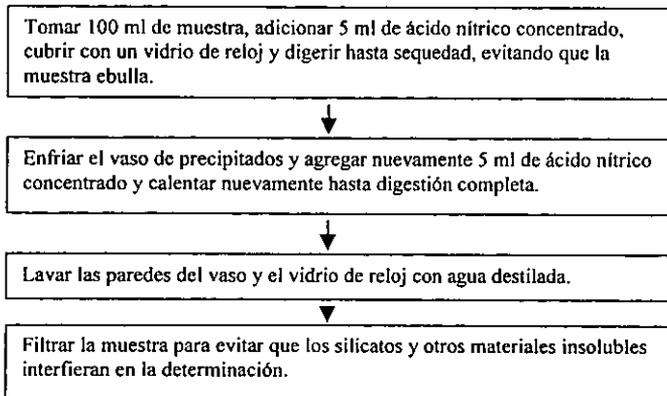
El zinc es un metal también muy escaso que constituye sólo el 0.004 % de la corteza terrestre. Se usa principalmente como recubrimiento de otros metales y es un micronutriente esencial, es decir, es requerido en pequeñas cantidades por los organismos para poder vivir. Debido a esta característica no es extremadamente tóxico y su concentración disminuye a lo largo de las cadenas tróficas.

## 19.2.- Método de determinación de Metales

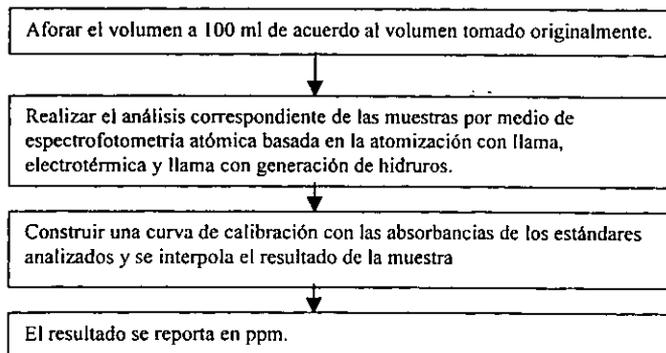
El método de elección para determinación de metales de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-51-1981 es, el basado en espectrofotometría de absorción atómica y este puede variar de acuerdo al principio de cada instrumento, por ejemplo: Método directo de llama (Aire-Acetileno), Método de absorción atómica electrotérmica o Método de absorción atómica con generación de hidruros.

## 19.3.- Determinación de Metales:

### Preparación de la muestra



### Determinación:



#### 19.4.- CONDICIONES DE TRABAJO PARA EL ANÁLISIS DE METALES

##### I.- MÉTODO DIRECTO DE LLAMA (AIRE-ACETILENO).

- Este método es aplicable a la determinación de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, níquel, plata, sodio y zinc, con las siguientes condiciones de trabajo.

Parámetro	Long. de onda (nm)	Slit (nm)	Corriente de la lámpara (mA)	Conc. de los estándares (mg/l)		
Cu	324.8	0.7	30*	0.10	0.20	0.30
Fe	348.3	0.2	30*	0.50	0.70	1.00
Mn	279.5	0.2	30*	0.10	0.20	0.40
Ni	232.0	0.2	25	0.20	0.30	0.50
Ag	328.1	0.7	30*	0.10	0.20	0.40
Zn	213.9	0.7	15	0.10	0.20	0.30
Ca	422.7	0.7	30*	0.50	0.70	1.00
Mg	285.2	0.7	30*	0.10	0.20	0.40
Na	589.0	0.4	8	0.10	0.20	0.40

\* Con lámpara de cátodo hueco de multielementos.

##### II.- MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA ELECTROTÉRMICA.

- Este método es apropiado para determinar microcantidades de aluminio, bario, cromo, cadmio y plomo, con las siguientes condiciones de trabajo.

Parámetro	Long. de onda (nm)	Slit (nm)	Corriente de la lámpara (mA)	Conc. de los 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

### III.- MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON GENERACIÓN DE HIDRUIROS.

- Este método es aplicable en la determinación de mercurio, selenio y arsénico por transformación de los mismos en sus hidruros correspondientes, con las siguientes condiciones de trabajo.

Parámetro	Long. de onda (nm)	Slit (nm)	Corriente de la lámpara (mA)	Temperatura de la celda (°C)	Conc. de los 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	

Nota: Se utilizó como agente reductante una solución de borohidruro de sodio al 0.2% con hidróxido de sodio al 0.05%, con un flujo de 3 a 7 ml/min. Y una solución de ácido clorhídrico al 10% con un flujo de 9 a 11 ml/min. El flujo de gas argón fue de 50 a 100 ml/min.

- **NOTA:** Debido a las diferencias entre los diversos métodos y modelos de espectrofotómetros de absorción atómica, no es posible formular instructivos aplicables a cada instrumento. Por lo cual, se tiene que consultar el manual de funcionamiento de cada fabricante.

## CAPÍTULO 3

### EJECUCIÓN DEL PLAN

El plan completo de trabajo comprende de un programa de muestreo y un programa de análisis de laboratorio, todo esto tomando como base la Normatividad Oficial Mexicana.

#### I.- Muestreo

El programa de muestreo se estableció tomando en cuenta las Normas Oficiales NOM-AA-3-1980, NOM-AA-14-1980, NOM-CCA-031-ECOL/1993 y recomendaciones de bibliografía especializada, éste se realizó del 11 de Febrero al 17 de Marzo de 1997. Se tomaron cinco días diferentes de la semana, de lunes a viernes, ya que en este periodo se realiza la mayor actividad académica y de investigación en el Campus.

MUESTREO	FECHA
1.- Martes	11 de febrero -97
2.- Miércoles	19 de febrero -97
3.- Jueves	27 de febrero -97
4.- Viernes	07 de Marzo -97
5.- Lunes	17 de Marzo -97

Como se indica en el plano de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1, la institución cuenta con dos descargas principales que desembocan en la Avenida Torre Eléctrica, en las cuales se realizó el trabajo de manera conjunta, de tal forma que se obtuvieron cinco muestras compuestas por cada descarga, una muestra compuesta por día, conformadas en proporción por muestras simples que fueron tomadas durante un lapso de 10 horas (de 9:00 a 19:00 hrs), a intervalos de dos horas cada una.

Las muestras compuestas se conformaron en base al flujo instantáneo en el momento de la toma de cada muestra simple, considerando un volumen final de cinco litros. Los cálculos para determinar el flujo instantáneo y la distribución de las muestras compuestas se observan en las tablas 4.1 y 4.2, además de los resultados de las pruebas de campo que se le determinaron a cada muestra simple, donde se consideran el pH y la temperatura, durante los cinco días del muestreo.

El programa de análisis de laboratorio inició desde el momento de la toma de muestra, debido a que cada muestra tuvo que ser preservada por un método físico o químico, como se marca en las normas técnicas oficiales y en la USEPA, para cada parámetro de interés ya que de otra forma el resultado final se vería afectado.

# CAPÍTULO 4

## EVALUACIÓN

### I.- ANÁLISIS DE CAMPO

De acuerdo al plan de trabajo establecido, los resultados del flujo a lo largo del día durante toda la semana para ambas descargas se muestran en la figura 4.1 y 4.3, mientras que los resultados de las pruebas de campo se muestran en las figuras 4.2 y 4.4. A los cuales se realizó un análisis estadístico con medidas de tendencia central para poder comparar los resultados del caudal a lo largo de todo el muestreo, por medio del cual podemos observar que el comportamiento del caudal de agua residual en las dos descargas principales de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1, sigue una tendencia acorde al ritmo de trabajo en la misma, dicho en otras palabras, el volumen de agua residual descargado depende del horario de actividades académicas y de investigación a lo largo de los días de la semana.

La tabla 4.3.A, muestra el análisis estadístico del caudal en relación con las horas de muestreo y la tabla 4.3.B, muestra la comparación del caudal con los días del muestreo. En la descarga que se le asignó el número 1 (ver plano la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1), se observa una tendencia más uniforme con respecto a la descarga número 2, ya que de 11 a 15 horas el caudal aumenta para la descarga 1, y en cambio para la descarga 2, donde el caudal es menor, no se observa una tendencia clara, sino que se trata de puntos diferidos a lo largo del día. (Ver Figura 4.5). Las diferencias se hacen más patentes en el análisis del caudal por día ( Ver figura 4.6), donde se observa que el día de mayor flujo de agua residual para la descarga número 1 es el martes, mientras que para la descarga número 2 es el viernes.

Es importante destacar, como se muestra en el plano del Campus, que la descarga número 1 es alimentada por el agua residual de los edificios : L-1, A-2, L-5, A-3, Biblioteca, Servicios Generales, Idiomas, Posgrado, Bioterio y Kiosco, y la descarga número dos, sólo recibe agua residual de los edificios A-1, L-3, L-4, Comedor y Unidad de Seminarios, lo cual le da un carácter lógico al comportamiento del caudal, si tomamos en cuenta el número de edificios que alimenta a cada descarga y el tipo de actividades que se realiza en cada uno de ellos. Con lo que respecta a lo anterior, los turnos académicos influyen de manera directa, ya que existen dos bien establecidos: uno matutino y uno vespertino, pero si se trata de semestre regular existe un tercer horario que se traslapa con los otros dos, en el caso de las carreras con mayor matrícula en la institución. Las actividades extracadémicas juegan un papel importante, en especial los festejos que se organizan regularmente y que por lo general se realizan en viernes, lo que ocasiona que la población estudiantil permanezca por más tiempo en el plantel.

Las pruebas de campo que se aplicaron a todas las muestras simples son el pH y la temperatura, el pH determinado es homogéneo durante todo el día ya que no se encontraron variaciones significativas entre cada intervalo de toma de muestra ( Ver figura 4.2 y 4.4 ). Estas

afirmaciones se corroboran con los resultados del análisis estadístico aplicado a nuestros resultados que se muestran en la tabla 4.4, donde se manejan también los resultados de la temperatura.

La temperatura de la muestra tiene una importancia relativa cuando se maneja como prueba de campo, debido a que en este caso necesita ser comparada con la temperatura ambiente para poder tener un valor significativo. Así una vez hecha la comparación, se puede determinar si existe influencia por la temperatura ambiente o es meramente por las actividades en que fue utilizada. En cuestiones de legislación la temperatura solamente es normada si se reportan valores instantáneos y estos no deben rebasar el límite máximo permisible de 40 °C (313 °K).

Tabla 4.2.- Pruebas de campo y cálculo de los flujos instantáneos para la descarga número 1.

PRIMER MUESTREO MARTES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIEMPO (h)	TIEMPO (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	X <sup>2</sup>	AT	A. m <sup>2</sup>	V. m/s	Q l/s	DISTRIBUCIÓN*
9:00	17	8.6	25	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5820	0.00154821	0.5820	0.917	0.889
11:00	18	8.0	21	0.023	14.8	0.4084	0.0505	0.0101783	0.00294482	0.7048	0.00294482	0.7048	0.917	1.559
13:00	19	8.6	29	0.025	14.8	0.4084	0.0515	0.010327	0.00328674	0.5103	0.00328674	0.5103	1.962	1.248
15:00	19	8.8	25	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5820	0.00154821	0.5820	0.917	0.689
17:00	19	9.0	28	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5286	0.00154821	0.5286	0.860	0.496
19:00	17	9.1	30	0.01	14.8	0.4084	0.0246	0.005923	0.00083792	0.4933	0.00083792	0.4933	0.476	0.320
												TOTAL	6.658	5.000

SEGUNDO MUESTREO MIÉRCOLES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIEMPO (h)	TIEMPO (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	X <sup>2</sup>	AT	A. m <sup>2</sup>	V. m/s	Q l/s	DISTRIBUCIÓN*
9:00	17	8.9	28	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5286	0.00154821	0.5286	0.819	0.820
11:00	18	7.4	30	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.4933	0.00154821	0.4933	0.764	0.765
13:00	19	8.5	22	0.018	14.8	0.4084	0.0443	0.011714	0.002065054	0.6727	0.002065054	0.6727	1.349	1.351
15:00	19	8.7	26	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5692	0.00154821	0.5692	0.832	0.834
17:00	18	8.5	30	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.4833	0.00154821	0.4833	0.764	0.765
19:00	17	8.7	31	0.01	14.8	0.4084	0.0246	0.005923	0.00083792	0.4774	0.00083792	0.4774	0.412	0.413
												TOTAL	4.991	5.000

TERCER MUESTREO JUEVES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIEMPO (h)	TIEMPO (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	X <sup>2</sup>	AT	A. m <sup>2</sup>	V. m/s	Q l/s	DISTRIBUCIÓN*
9:00	21	8.7	28	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5286	0.00154821	0.5286	0.819	0.823
11:00	23	8.7	25	0.014	14.8	0.4084	0.0344	0.00627	0.001365981	0.5920	0.001365981	0.5920	0.808	0.813
13:00	25	9.3	27	0.014	14.8	0.4084	0.0344	0.00627	0.001365981	0.5481	0.001365981	0.5481	0.749	0.753
15:00	24	8.8	25	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5620	0.00154821	0.5620	0.817	0.822
17:00	22	8.7	25	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5820	0.00154821	0.5820	0.817	0.822
19:00	21	8.6	30	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.4833	0.00154821	0.4833	0.764	0.768
												TOTAL	4.875	5.000

CUARTO MUESTREO VIERNES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIEMPO (h)	TIEMPO (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	X <sup>2</sup>	AT	A. m <sup>2</sup>	V. m/s	Q l/s	DISTRIBUCIÓN*
9:00	17	8.5	25	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5820	0.00154821	0.5820	0.917	0.870
11:00	17	8.6	23	0.013	14.8	0.4084	0.0320	0.00756	0.001248817	0.6435	0.001248817	0.6435	0.803	0.768
13:00	19	8.8	30	0.02	14.8	0.4084	0.0492	0.014125	0.007335344	0.4933	0.007335344	0.4933	1.106	1.109
15:00	18	8.8	28	0.017	14.8	0.4084	0.0418	0.01133	0.001871274	0.5892	0.001871274	0.5892	1.065	1.019
17:00	16	8.7	28	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.5286	0.00154821	0.5286	0.819	0.782
19:00	16	8.5	29	0.01	14.8	0.4084	0.0246	0.005923	0.000910643	0.5103	0.000910643	0.5103	0.468	0.447
												TOTAL	5.234	5.000

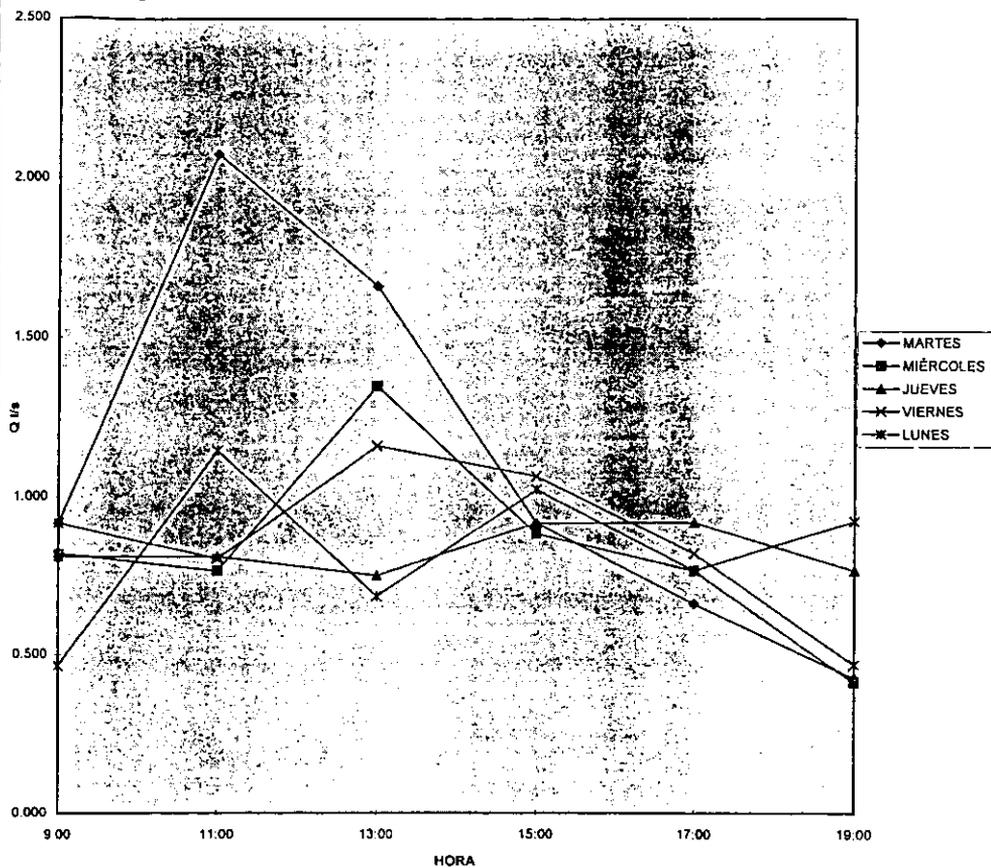
QUINTO MUESTREO LUNES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIEMPO (h)	TIEMPO (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	X <sup>2</sup>	AT	A. m <sup>2</sup>	V. m/s	Q l/s	DISTRIBUCIÓN*
9:00	21	9.1	30	0.01	14.8	0.4084	0.0246	0.005923	0.000910643	0.4933	0.000910643	0.4933	0.452	0.455
11:00	22	9.0	20	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.7400	0.00154821	0.7400	1.146	1.149
13:00	22	9.0	27	0.015	14.8	0.4084	0.0320	0.00756	0.001248817	0.5481	0.001248817	0.5481	0.684	0.686
15:00	22	9.3	29	0.018	14.8	0.4084	0.0443	0.011714	0.002065054	0.5103	0.002065054	0.5103	1.025	1.025
17:00	22	9.0	30	0.015	14.8	0.4084	0.0389	0.00938	0.00154821	0.4933	0.00154821	0.4933	0.764	0.768
19:00	22	9.1	28	0.017	14.8	0.4084	0.0416	0.010154	0.001740797	0.5286	0.001740797	0.5286	0.920	0.922
												TOTAL	4.991	5.000

La tabla muestra los resultados de las pruebas de campo aplicadas a las muestras simples en el momento de ser tomadas; también indica los cálculos realizados para determinar el flujo instantáneo y en base a esto determinar la distribución de las muestras compuestas.

\* La distribución se calculó en base a una muestra compuesta de 5 litros.

Figura 4.1.- COMPORTAMIENTO DEL FLUJO A LO LARGO DEL DÍA EN LA DESCARGA 1.



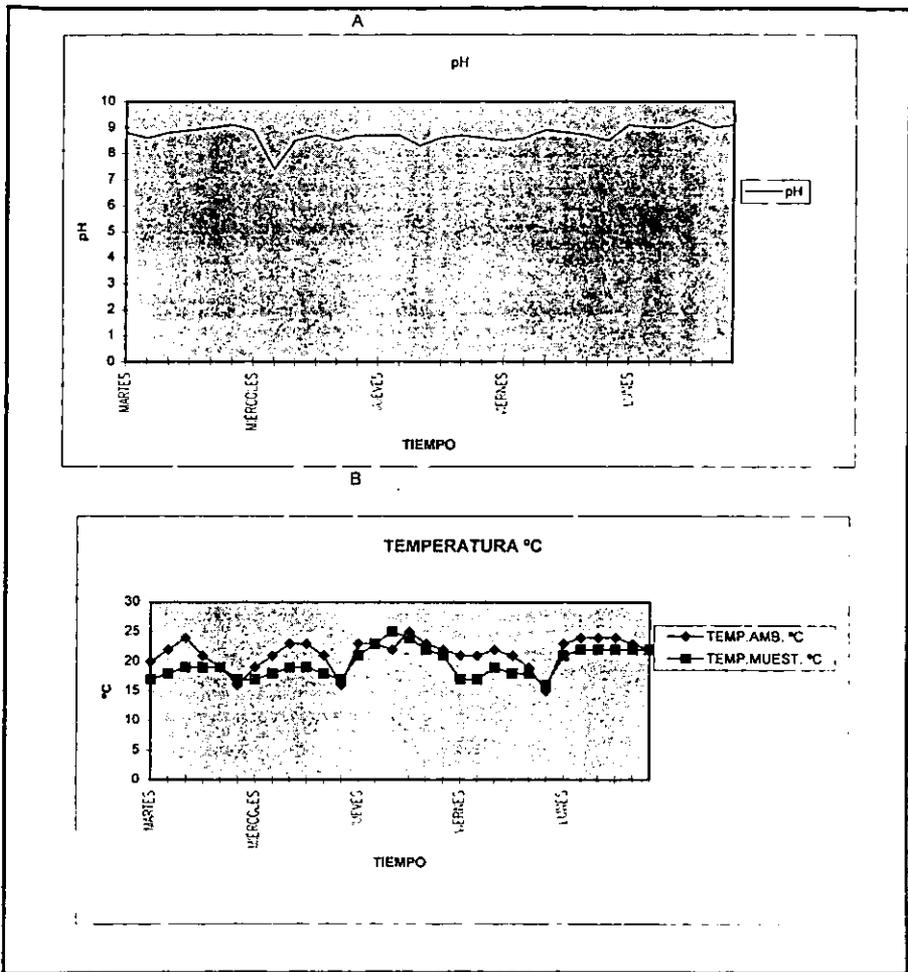
- La figura indica el comportamiento del flujo a lo largo del día durante los 5 días de muestreo en la descarga número 1.

- Q representa el flujo en l/s.

- Las horas indican el rango de 10 horas de muestreo al día.

- Los días siguen el orden de muestreo establecido.

Figura 4.2.- RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO EN LA DESCARGA 1.



A.- El gráfico muestra el comportamiento del pH a lo largo de todo el muestreo. Los valores se obtuvieron de todas las muestras simples en el momento de ser tomadas

B.- El gráfico muestra el comportamiento de la temperatura de las muestras simples en relación con la temperatura ambiente en el momento de ser tomadas.

PRIMER MUESTREO MARTES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIRANTE (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	AT	A m2	V m/s	Q lit/s	DISTRIBUCIÓN <sup>1*</sup>
9:00	17	8.6	1.3	0.018	0.8	0.4572	0.0394	0.01015	0.002121673	0.8015	1.276	2.271
11:00	17	8.6	2.0	0.010	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4000	0.361	0.643
13:00	18	8.8	2.0	0.010	0.8	0.4572	0.0432	0.00963018	0.4000	0.361	0.361	0.643
15:00	17	8.9	2.0	0.007	0.8	0.4572	0.0153	0.00244	0.000510038	0.4000	0.204	0.363
17:00	17	8.8	2.0	0.010	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4000	0.361	0.643
19:00	15	9.1	2.0	0.008	0.8	0.4572	0.0175	0.00294	0.000614354	0.4000	0.246	0.437
										TOTAL	2.810	5.000

SEGUNDO MUESTREO MIÉRCOLES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIRANTE (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	AT	A m2	V m/s	Q lit/s	DISTRIBUCIÓN <sup>1*</sup>
9:00	18	8.6	2.4	0.0100	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.3333	0.361	0.579
11:00	17	8.6	1.5	0.0100	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.5333	0.482	0.926
13:00	19	8.6	1.6	0.0125	0.8	0.4572	0.0587	0.001227017	0.5000	0.814	0.814	1.180
15:00	19	8.7	2.0	0.0100	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4000	0.361	0.685
17:00	18	8.5	2.0	0.0100	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4000	0.361	0.695
19:00	15	8.7	1.5	0.0100	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.5333	0.482	0.926
										TOTAL	2.800	5.000

TERCER MUESTREO JUEVES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIRANTE (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	AT	A m2	V m/s	Q lit/s	DISTRIBUCIÓN <sup>1*</sup>
9:00	20	8.7	1.7	0.010	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4706	0.425	1.050
11:00	23	8.8	1.8	0.010	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4444	0.401	0.982
13:00	25	8.5	2.0	0.010	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4000	0.361	0.892
15:00	24	8.3	1.8	0.010	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4444	0.401	0.992
17:00	21	8.6	2.8	0.008	0.8	0.4572	0.0175	0.00294	0.000614354	0.3077	0.189	0.467
19:00	20	8.7	2.0	0.008	0.8	0.4572	0.0175	0.00294	0.000614354	0.4000	0.246	0.607
										TOTAL	2.024	5.000

CUARTO MUESTREO VIERNES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIRANTE (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	AT	A m2	V m/s	Q lit/s	DISTRIBUCIÓN <sup>1*</sup>
9:00	19	8.6	1.7	0.013	0.8	0.4572	0.0294	0.00791	0.001263607	0.4706	0.609	0.789
11:00	20	8.8	1.8	0.015	0.8	0.4572	0.0294	0.00791	0.001653442	0.4444	0.735	0.952
13:00	20	8.8	1.8	0.013	0.8	0.4572	0.0294	0.00791	0.001263607	0.4444	0.375	0.745
15:00	20	9.0	2.0	0.015	0.8	0.4572	0.0294	0.00791	0.001653442	0.4000	0.661	0.857
17:00	19	8.8	2.0	0.015	0.8	0.4572	0.0294	0.00791	0.001653442	0.4000	0.661	0.857
19:00	15	8.9	1.5	0.012	0.8	0.4572	0.0292	0.00355	0.001180127	0.5333	0.619	0.861
										TOTAL	3.890	5.000

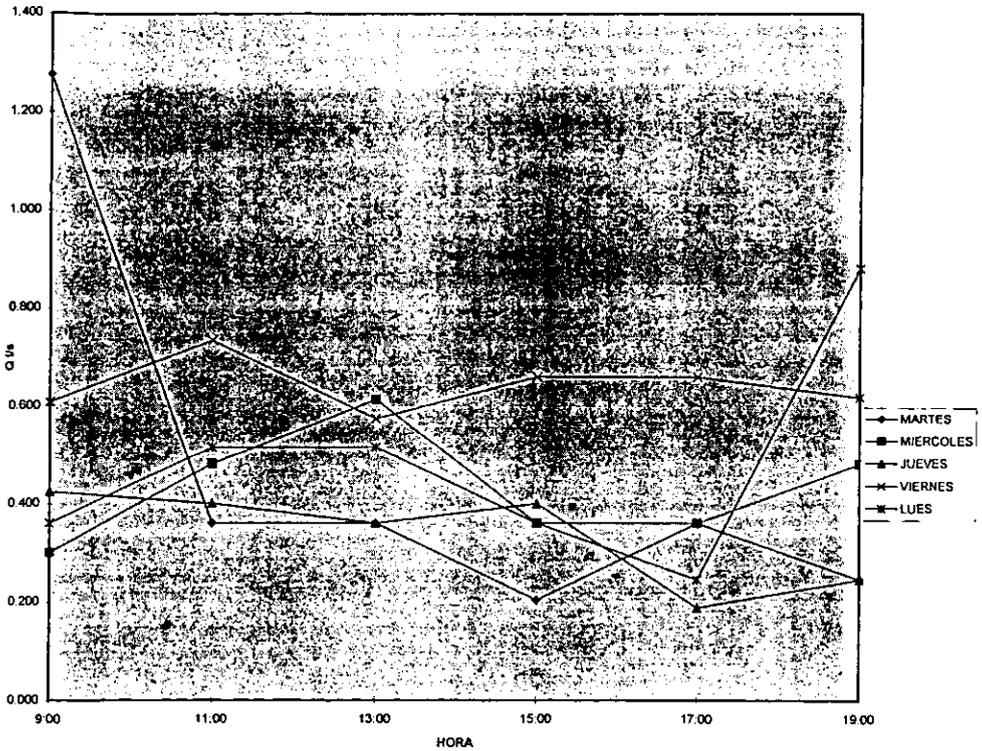
QUINTO MUESTREO LUNES

HORA	TEMP. °C	pH	TIEMPO (s)	TIRANTE (m)	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	X	AT	A m2	V m/s	Q lit/s	DISTRIBUCIÓN <sup>1*</sup>
9:00	21	8.5	2.0	0.010	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4000	0.361	0.627
11:00	23	8.8	1.8	0.012	0.8	0.4572	0.0292	0.00355	0.001180127	0.4444	0.516	0.885
13:00	22	9.0	1.8	0.012	0.8	0.4572	0.0292	0.00355	0.001180127	0.4444	0.516	0.885
15:00	21	8.9	2.0	0.010	0.8	0.4572	0.0219	0.00432	0.000603018	0.4000	0.361	0.627
17:00	21	8.8	2.0	0.008	0.8	0.4572	0.0175	0.00294	0.000614354	0.4000	0.246	0.427
19:00	20	8.8	1.5	0.015	0.8	0.4572	0.0292	0.00355	0.001653442	0.5333	0.682	1.530
										TOTAL	2.881	5.000

La tabla muestra los resultados de las pruebas de campo aplicadas a las muestras simples en el momento de ser tomadas, también indica los cálculos realizados para determinar el flujo instantáneo y en base a esto determinar la distribución de las muestras compuestas.

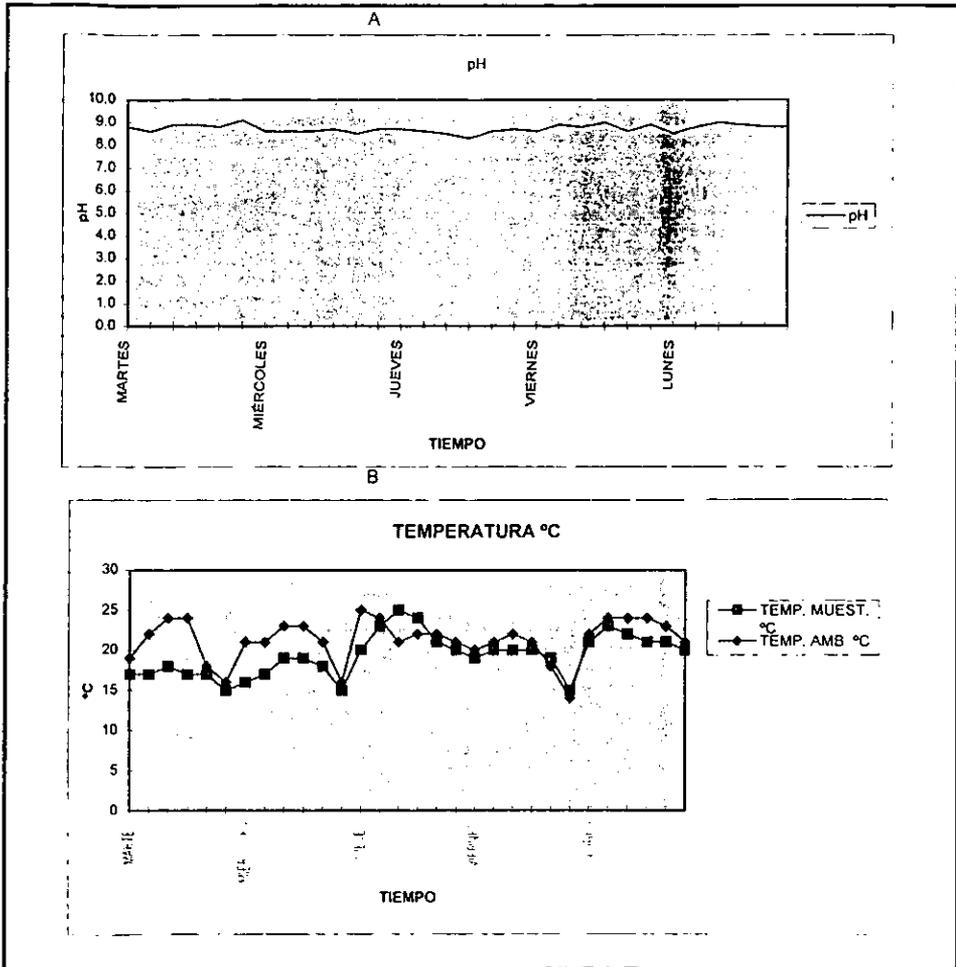
\* La distribución se calculó en base a una muestra compuesta de 3 litros.

Figura 4.3.- COMPORTAMIENTO DEL FLUJO A LO LARGO DEL DÍA EN LA DESCARGA 2.



- La figura indica el comportamiento del flujo a lo largo del día durante los 5 días de muestreo en la descarga número 2.
- Q representa el flujo en l/s.
- Las horas indican el rango de 10 horas de muestreo al día.
- Los días siguen el orden de muestreo establecido.

Figura 4.4.-RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO EN LA DESCARGA 2.



A.- El gráfico muestra el comportamiento del pH a lo largo de todo el muestreo. Los valores se obtuvieron de todas las muestras simples en el momento de ser tomadas

B.- El gráfico muestra el comportamiento de la temperatura de las muestras simples en relación con la temperatura ambiente en el momento de ser tomadas.

Tabla 4.3.- Medidas de tendencia central para los resultados del caudal.

A.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CAUDAL POR HORA				B.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CAUDAL POR DÍA			
DESCARGA 1				DESCARGA 1			
HORA	MEDIA X	S	C.V.	DÍA	MEDIA X	S	C.V.
9:00	0.7848	0.1924	24.52	1	1.1096	0.6294	56.72
11:00	1.1194	0.556	49.67	2	0.8318	0.3018	36.28
13:00	1.121	0.4109	36.85	3	0.8292	0.0729	8.79
15:00	0.9608	0.0787	8.19	4	0.8723	0.2423	27.78
17:00	0.7848	0.0938	11.93	5	0.8318	0.2505	30.12
19:00	0.598	0.2304	38.53				
DESCARGA 2				DESCARGA 2			
HORA	MEDIA X	S	C.V.	DÍA	MEDIA X	S	C.V.
9:00	0.5944	0.3981	66.98	1	0.4682	0.4015	85.75
11:00	0.499	0.1457	29.20	2	0.4335	0.1143	26.37
13:00	0.4854	0.1188	24.47	3	0.3372	0.0966	28.65
15:00	0.3976	0.1054	41.80	4	0.6433	0.0556	8.64
17:00	0.3636	0.1822	50.11	5	0.4803	0.2223	46.28
19:00	0.495	0.2689	54.32				

La tabla muestra el análisis estadístico que se manejó para los resultados del caudal en las dos descargas muestreadas.

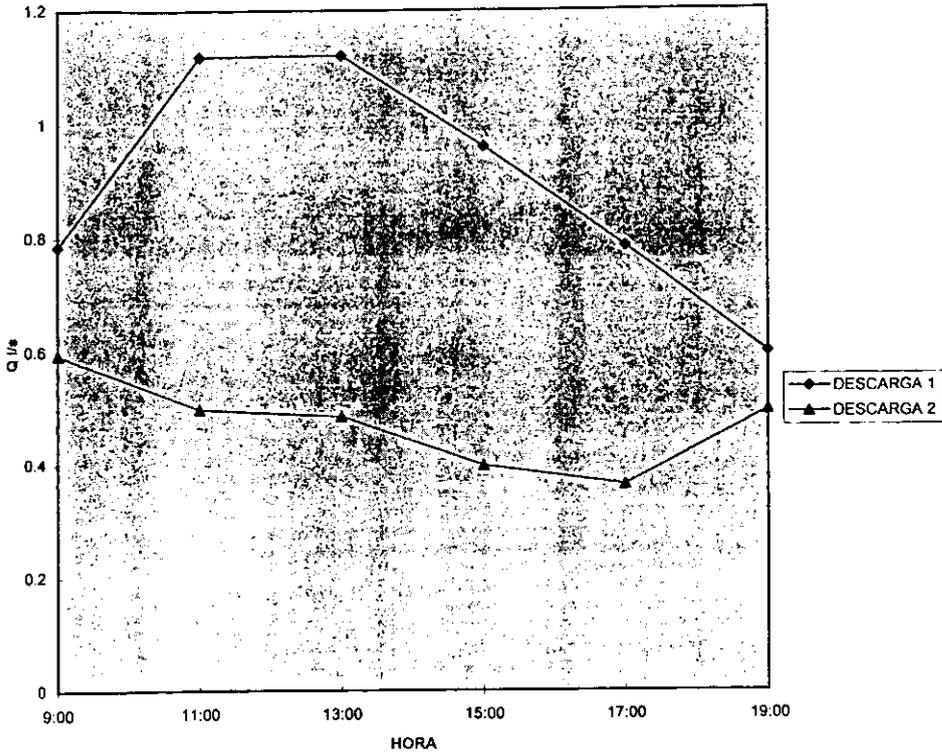
A.- Muestra las medidas de tendencia central obtenidas del análisis estadístico del caudal por hora.

B.- Muestra las medidas de tendencia central obtenidas del análisis estadístico del caudal por día.

Tabla 4.4.- Medidas de tendencia central para las pruebas de campo.

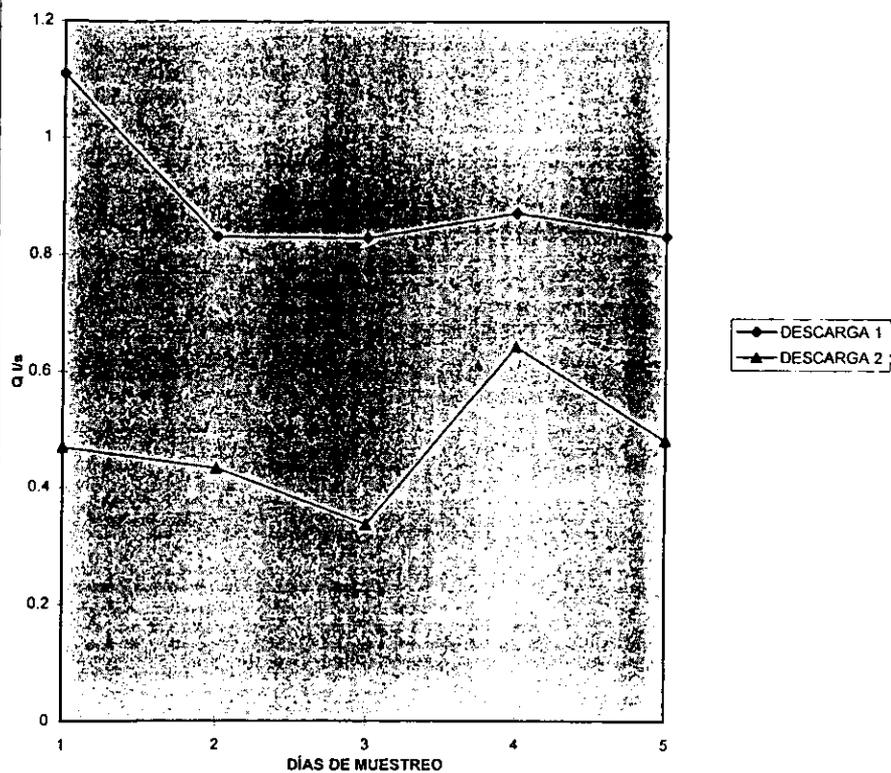
DESCARGA 1				DESCARGA 2			
	MEDIA X	S	C.V.		MEDIA X	S	C.V.
pH	8.7	0.3407	3.9	pH	8.7	0.1789	2.06
Temperatura	21.4	2.4858	11.61	Temperatura	21.3	2.674	12.59

Figura 4.5- COMPARACIÓN DE LAS MEDIAS DEL CAUDAL CON LA HORA DE MUESTREO.



El gráfico muestra la comparación de las medias ( $\bar{X}$ ) obtenidas del caudal entre cada intervalo de toma de muestra a lo largo del día. Se observa un comportamiento distinto entre las dos descargas, mientras para la descarga número 1 se observa un periodo de tiempo uniforme donde aumenta el caudal, para la descarga número dos no es así.

Figura 4.2.- COMPARACIÓN DE LAS MEDIAS DEL CAUDAL CON LOS DÍAS DE MUESTREO.



En este gráfico se indica el comportamiento del caudal a lo largo de los cinco días del muestreo, donde se sigue observando lo desigual que funcionan las dos descargas, ya que en la descarga número 1, el primer día de muestreo que corresponde al martes, es el de mayor volumen de agua residual vertido a la red municipal y para la descarga número 2 es cuarto día de muestreo, que corresponde al viernes.

## II.-ANÁLISIS DE LABORATORIO.

De acuerdo a las Normas Técnicas Oficiales de los métodos de prueba que se implementaron, se analizaron un total de 42 parámetros fisicoquímicos y de metales pesados en el laboratorio, los cuales se agruparon en tres bloques para un mejor control y de esta forma hacer una comparación más práctica entre las dos descargas a lo largo de los cinco días de muestreo.

Los resultados se agruparon en agentes físicos, agentes químicos y metales, las tablas 4.5 y 4.6 muestran estos bloques para las dos descargas respectivamente, donde se pueden observar los parámetros analizados en los diferentes muestreos. Los agentes físicos abarcan 10 parámetros, los químicos 14 y los metales 18, en este último bloque se encuentran 3 parámetros que no se consideran químicamente metales, la razón por la cual se situaron en este bloque es que se analizaron por el mismo método que se utilizó en la determinación de todos los metales. Las figuras 4.6 hasta la 4.47 muestran los resultados de manera gráfica haciendo una comparación para cada parámetro entre ambas descargas.

Para los resultados de las determinaciones que se realizaron en el laboratorio, se manejó un análisis estadístico con medidas de tendencia central donde además de la media ( $X$ ), desviación estándar ( $S$ ) y el coeficiente de variación ( $CV$ ), se determinó el rango, y se determinaron los límites de probabilidad máximos y mínimos para cada parámetro analizado. Los límites se determinaron sumando y restando el rango al valor promedio obtenido. Estos resultados se muestran en la tabla 4.7 y 4.8.

La función de determinar los límites máximos y mínimos es la de marcar una zona de probabilidad en base a la cual se podrán realizar futuros trabajos o cálculos de diseño para sistemas de tratamiento, ya que no es posible saber cuando va a disminuir o aumentar el valor para cada parámetro de interés, debido a la variabilidad que existe en cuanto a horarios, actividades, temporadas y condiciones climatológicas.

Los datos obtenidos como resultado del análisis de laboratorio que se efectuó a nuestras muestras compuestas, se consideran como "promedios diarios", ya que estas muestras resultaron de la mezcla de muestras simples, todas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medio en el sitio y en el momento de muestreo. Los valores determinados muestran que existe una diferencia muy marcada en las dos descargas principales en cuanto a la concentración de las sustancias vertidas en ellas. No obstante las diferencias de concentración encontradas, las dos descargas muestran un comportamiento similar, en cuanto al contenido de agentes contaminantes, ya que en ambas se encuentra una turbiedad elevada que se relaciona con el alto contenido de sólidos, en especial los sólidos suspendidos y los sólidos suspendidos volátiles que por lo general son indicadores de la presencia de materia orgánica. La conductividad en cambio que determina la cantidad de sustancias en estado ionizado, se encuentra estrechamente relacionada con los sólidos disueltos, que de alguna forma indican el contenido de sales o de compuestos orgánicos en solución. En lo que respecta a los sólidos sedimentables, el contenido es bajo por el recorrido que se realiza desde los puntos de vertido hasta las dos descargas muestreadas, provocando que el agua residual se homogenice y los desechos voluminosos se fragmenten, evitando de esta forma la sedimentación.

Tabla 4.5.- Resultados generales del análisis de laboratorio para la descarga 1.

AGENTES FÍSICOS

PARÁMETRO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5
TEMPERATURA °C	20	18	20	20	19
TURBIEDAD UNFL	100	90	165	130	80
CONDUCTIVIDAD micromhos	1684	1348	1327	1123	1245
SÓLIDOS TOTALES mg/l	770	814	1234	684	700
SÓL.TOTALES VOLÁTILES mg/l	290	276	796	214	250
SÓLIDOS DISUELTOS mg/l	603	631	1111	544	589
SÓL. DISUELTOS VOLÁTILES mg/l	157	124	696	101	179
SÓL. SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	167	183	123	140	111
SÓL. SUSP. TOT. VOLÁTILES mg/l	133	152	100	113	71
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/l	1.75	0.6	0.6	2.0	0.2

AGENTES QUÍMICOS

PARÁMETRO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5
DOO mg/l	289	379	276	320	204
DBO mg/l	157	148	113	134	104
GRASAS Y ACEITES mg/l	13	20	9	18	6
DETERGENTES mg/l	2.5600	2.4600	0.4850	0.3748	2.1470
NITRÓGENO TOTAL mg/l	138	125	110	120	113
FENOLES mg/l	0.140	0.016	0.092	0.140	0.103
CIANUROS mg/l	0	0	0	0	0
pH	8.8	9.0	8.9	8.9	8.7
ACIDEZ TOTAL mg/l	0	0	0	0	0
ALCALINIDAD TOTAL mg/l	693	528	509	535	540
DUREZA TOTAL mg/l	140	160	152	140	144
DUREZA DE CALCIO mg/l	40	76	80	65	96
CLOURUROS mg/l	228	270	210	352	180
NITRATOS mg/l	2.3068	2.3102	4.4121	2.8940	4.5784

METALES

PARÁMETRO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5
ALUMINIO mg/l	0.128	0.113	0.130	0.146	0.217
ARSÉNICO mg/l	0.115	0.011	0.022	0.020	0.016
BARIO mg/l	0.051	0.032	0.078	0.078	0.032
CADMIO mg/l	tr	tr	0.056	0.005	tr
COBRE mg/l	0.066	0.004	0.053	0.040	0.008
CROMO mg/l	0.078	tr	0.048	0.043	0.010
CROMO +V1 mg/l	0.025	0,0*	0,0*	0,0*	0,0*
HIERRO mg/l	0.572	0.680	0.606	0.715	0.247
MANGANESO mg/l	0.014	tr	0.204	0.095	0.1350
MERCURIO mg/l	0.0003	tr	0.0008	tr	0.005
NIQUEL mg/l	tr	tr	0.051	0.061	0.069
PLATA mg/l	0.006	tr	tr	tr	tr
PLOMO mg/l	0.080	0.058	0.030	0.023	0.025
SELENIO mg/l	tr	0.003	tr	tr	tr
ZINC mg/l	0.209	0.246	0.358	0.146	0.335
CALCIO ** mg/l	31.300	48.100	32.200	35.300	30.500
MAGNESIO** mg/l	2.230	27.300	54.700	28.200	10.000
SODIO** mg/l	652.000	123.600	321.900	361.800	90.25

\*\* Estos elementos no se consideran metales pero se determinaron por el método de absorción atómica.

Tabla 4.6.- Resultados generales del análisis de laboratorio para la descarga 2.

**AGENTES FÍSICOS**

PARÁMETRO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5
TEMPERATURA °C	20	20	20	20	19
TURBIEDAD UNFL	110	100	240	220	120
CONDUCTIVIDAD micromhos	1671	1401	1456	1376	1165
SÓLIDOS TOTALES mg/l	920	720	762	2062	652
SÓL. TOTALES VOLÁTILES mg/l	334	254	270	268	250
SÓLIDOS DISUELTOS mg/l	763	552	629	1919	549
SÓL. DISUELTOS VOLÁTILES mg/l	209	130	163	175	165
SÓL. SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	157	168	133	143	103
SÓL.SUSP. TOT. VOLÁTILES mg/l	125	124	107	93	85
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/l	1.5	0.5	0.5	0.6	0.2

**AGENTES QUÍMICOS**

PARÁMETRO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5
DOO mg/l	524	369	391	300	320
DBO mg/l	355	157	143	153	112
GRASAS Y ACEITES mg/l	18	18	15	25	11
DETERGENTES mg/l	5.0600	2.2400	4.1722	0.6869	2.4348
NITRÓGENO mg/l	127	135	141	114	88
FENÓLES mg/l	0.227	0.011	0.150	0.050	0.084
CIANUROS mg/l	0	0	0	0	0.005
pH	7.2	8.9	8.9	8.7	8.5
ACIDEZ TOTAL mg/l	0	0	0	0	0
ALCALINIDAD TOTAL mg/l	363	533	589	525	460
DUREZA TOTAL mg/l	160	140	144	206	148
DUREZA DE CALCIO mg/l	36	60	52	88	53
CLORUROS mg/l	290	200	252	384	120
NITRATOS mg/l	2.7616	2.5865	2.9140	2.7184	2.1233

**METALES**

PARÁMETRO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5
ALUMINIO mg/l	0.144	0.095	0.125	0.132	0.235
ARSÉNICO mg/l	0.047	0.080	0.016	0.017	0.018
BARIO mg/l	0.026	0.011	0.065	0.067	0.032
CADMIO mg/l	tr	tr	0.035	0.005	tr
COBRE mg/l	0.062	tr	0.034	0.038	0.024
CROMO mg/l	0.143	tr	0.045	0.040	0.009
CROMO +VI mg/l	0.072	tr	tr	tr	tr
HIERRO mg/l	0.868	0.544	0.217	0.321	0.320
MANGANESO mg/l	0.038	tr	0.095	0.035	0.110
MERCURIO mg/l	tr	tr	0.0005	0.0002	0.0003
NÍQUEL mg/l	tr	tr	0.013	0.022	0.041
PLATA mg/l	0.005	tr	tr	tr	tr
PLOMO mg/l	0.090	0.063	0.056	0.022	0.019
SELENIO mg/l	tr	0.004	0.032	0.055	tr
ZINC mg/l	0.471	0.135	0.082	0.132	0.292
CALCIO** mg/l	34.000	18.500	5.700	20.420	13.771
MAGNESIO** mg/l	41.000	21.100	43.600	31.200	8.250
SODIO** mg/l	661.000	121.700	282.700	328.100	82.500

\*\* Estos elementos no se consideran metales pero se determinaron por el método de absorción atómica.

Tabla 4.8.- Medidas de tendencia central para la descarga 1.

**AGENTES FÍSICOS**

PARÁMETRO	MEDIA X	S	C.V	RANGO	LI	LS
TEMPERATURA °C	19.4	0.8944	4.61	2.00	17.4	21.4
TURBIEDAD UNFL	113	34.5687	30.59	85.00	28.0	198.0
CONDUCTIVIDAD micromhos	1345.4	208.8882	15.53	561.00	784.4	1906.4
SÓLIDOS TOTALES mg/l	840.4	226.245	26.92	550.00	290.4	1390.4
SÓL. TOTALES VOLÁTILES mg/l	365.2	242.5555	66.42	582.00	214.0	947.2
SÓLIDOS DISUELTOS mg/l	695.6	234.3348	33.69	567.00	128.6	1262.6
SÓL. DISUELTOS VOLÁTILES mg/l	251.4	250.3363	99.58	595.00	101.0	846.4
SÓL. SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	144.8	29.9699	20.70	72.00	72.8	216.8
SÓL.SUSP. TOT. VOLÁTILES mg/l	113.8	31.0274	27.26	81.00	32.8	194.8
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/l	1.03	0.7934	77.03	1.80	0.2	2.83

**AGENTES QUÍMICOS**

PARÁMETRO	MEDIA X	S	C.V	RANGO	LI	LS
DQO mg/l	293.6	63.932	21.78	175	118.6	469
DBO mg/l	131.2	22.5099	17.16	53	78.2	184.2
GRASAS Y ACEITES mg/l	13.2	5.8906	44.63	14	6.0	27.2
DETERGENTES mg/l	1.60136	1.0897	68.05	2.1852	0.3748	3.7866
NITRÓGENO mg/l	121.2	11.077	9.14	28	93.2	149.2
FENOLES mg/l	0.0982	0.0507	51.63	0.124	0.016	0.222
CIANUROS mg/l	0	0		0	0	0
pH	8.86	0.114	1.29	0.3	8.6	9.2
ACIDEZ TOTAL mg/l	0	0		0	0	0
ALCALINIDAD TOTAL mg/l	561	74.7228	13.32	184	377.0	745.0
DUREZA TOTAL mg/l	147.2	8.6717	5.89	20	127.2	167.2
DUREZA DE CALCIO mg/l	71.4	20.7797	29.10	56	15.4	127.4
CLORUROS mg/l	248	66.6483	26.87	172	76.0	420.0
NITRATOS mg/l	3.3003	1.1182	33.88	2.27160	1.0287	5.5719

**METALES**

PARÁMETRO	MEDIA X	S	C.V	RANGO	LI	LS
ALUMINIO mg/l	0.1468	0.0409	27.86	0.104	0.0428	0.2508
ARSÉNICO mg/l	0.0368	0.0439		0.104	0.0110	0.1408
BARIO mg/l	0.0542	0.023	42.44	0.046	0.0082	0.1002
CADMIO mg/l	0.0122	0.0245		0.056	0.0000	0.0682
COBRE mg/l	0.0342	0.0273	79.82	0.062	0.0040	0.0962
CROMO mg/l	0.0354	0.0311	87.85	0.078	0.0000	0.1134
CROMO +VI mg/l	0.005	0.0111		0.025	0.0000	0.0300
HIERRO mg/l	0.564	0.1861	33.00	0.468	0.0960	1.0320
MANGANESO mg/l	0.0896	0.085	94.87	0.204	0.0000	0.2936
MERCURIO mg/l	0.00032	0.0003	93.75	0.005	0.0000	0.0053
NIQUEL mg/l	0.0362	0.0336	92.82	0.069	0.0000	0.1052
PLATA mg/l	0.0012	0.0026		0.006	0.0000	0.0072
PLOMO mg/l	0.0432	0.0249	57.64	0.055	0.0250	0.0982
SELENIO mg/l	0.0006	0.0013		0.003	0.0000	0.0036
ZINC mg/l	0.2588	0.088	34.00	0.212	0.0468	0.4708
CALCIO** mg/l	35.48	7.2857	20.53	17.60	18	53
MAGNESIO** mg/l	24.486	20.247	82.69	52.47	2	77
SODIO** mg/l	309.91	225.1798	72.66	561.75	90	872

La tabla muestra las medidas de tendencia central y el rango por medio del cual se obtuvieron los límites inferior y superior, para la descarga número 1.

\*\*Estos elementos no se consideran metales pero fueron determinados por absorción atómica.

Tabla 4.8.- Medidas de tendencia central para la descarga 2.

**AGENTES FÍSICOS**

PARÁMETRO	MEDIA X	S	C.V.	RANGO	LI	LS
TEMPERATURA °C	19.8	0.4472	2.26	1	18.8	20.8
TURBIEDAD UNFL	156	66.4831	42.08	140	18.0	298.0
CONDUCTIVIDAD micromhos	1413.8	181.2641	12.82	506	907.8	1919.8
SÓLIDOS TOTALES mg/l	1023.2	589.0035	57.56	1410	652.0	2433.2
SÓL. TOTALES VOLÁTILES mg/l	275.2	33.9882	12.35	84	191.2	359.2
SÓLIDOS DISUELTOS mg/l	882.4	585.9452	66.40	1370	549.0	2252.4
SÓL. DISUELTOS VOLÁTILES mg/l	168.4	28.316	16.81	79	89.4	247.4
SÓL. SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	140.8	24.984	17.74	65	75.8	205.8
SÓL.SUSP. TOT. VOLÁTILES mg/l	106.8	17.9777	16.83	40	66.8	146.8
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/l	0.66	0.4929	74.68	1.3	0.2	1.96

**AGENTES QUÍMICOS**

PARÁMETRO	MEDIA X	S	C.V.	RANGO	LI	LS
DQO mg/l	380.8	87.9983	23.11	224	156.8	604.8
DBO mg/l	184	97.2059	52.83	243	112.0	427.0
GRASAS Y ACEITES mg/l	17.4	5.1283	29.47	14	3.4	31.4
DETERGENTES mg/l	2.9187	1.7199	58.92	4.3731	0.6869	7.2918
NITRÓGENO mg/l	121	21.0356	17.38	47	74.0	168
FENOLES mg/l	0.1044	0.0854	81.80	0.216	0.011	0.320
CIANUROS mg/l	0.001	0.0022		0	0	0
pH	8.44	0.7127	8.44	1.70	6.74	10
ACIDEZ TOTAL mg/l	0	0	0	0	0	0
ALCALINIDAD TOTAL mg/l	494	86.3481	17.48	226	268.0	720.0
DUREZA TOTAL mg/l	160	27.8567	17.41	68	92.0	228.0
DUREZA DE CALCIO mg/l	57.8	19.0315	32.93	52	5.8	109.8
CLORUROS mg/l	249.2	98.6873	39.60	264	120.0	513.2
NITRATOS mg/l	2.6207	0.3016	11.51	0.7907	1.8300	3.4114

**METALES**

PARÁMETRO	MEDIA X	S	C.V.	RANGO	LI	LS
ALUMINIO mg/l	0.1462	0.0528	36.11	0.140	0.0062	0.2862
ARSÉNICO mg/l	0.0356	0.028	78.65	0.064	0.0160	0.0996
BARIO mg/l	0.0402	0.0247	61.44	0.056	0.0110	0.0962
CADMIO mg/l	0.008	0.0152		0.035	0.0000	0.0430
COBRE mg/l	0.0316	0.0225	71.20	0.062	0.0000	0.0936
CROMO mg/l	0.0474	0.0568		0.143	0.0000	0.1904
CROMO +VI mg/l	0.0144	0.0322		0.072	0.0000	0.0864
HIERRO mg/l	0.454	0.2604	57.36	0.651	0.2170	1.1050
MANGANESO mg/l	0.0556	0.0456	82.01	0.095	0.0000	0.1506
MERCURIO mg/l	0.0002	0.0002	100.00	0.0005	0.0000	0.0007
NÍQUEL mg/l	0.0152	0.0171		0.041	0.0000	0.0562
PLATA mg/l	0.001	0.0022		0.005	0.0000	0.0060
PLOMO mg/l	0.05	0.0298	59.60	0.071	0.0190	0.1210
SELENIO mg/l	0.0182	0.0245		0.055	0.0000	0.0732
ZINC mg/l	0.2224	0.1598	71.85	0.389	0.0820	0.6114
CALCIO** mg/l	18.4782	10.3698	56.12	28.30	5.7000	46.7782
MAGNESIO** mg/l	29.03	14.6199	50.36	32.75	8.25	61.78
SODIO** mg/l	295.2	229.3424	77.69	578.50	82.5	873.70

La tabla muestra las medidas de tendencia central y el rango por medio del cual se obtuvieron los límites inferior y superior, para la descarga número 2.

\*\*Estos elementos no se consideran metales pero fueron determinados por absorción atómica.

De acuerdo a los resultados de las pruebas de laboratorio indicadas como DQO, DBO y Nitrógeno total, podemos inferir que el agua residual del Campo 1 presenta como característica principal, un alto contenido de materia orgánica, considerando que la prueba de DQO determina toda la materia orgánica presente en la muestra susceptible a una oxidación fuerte, la DBO a la materia orgánica biodegradable mediante un bioensayo y el Nitrógeno total se relaciona por el alto contenido de este elemento en los grupos proteicos y en sus compuestos de degradación. El contenido de materia orgánica, le confiere al agua residual un carácter altamente eutrificante de los cuerpos receptores, provocando alteraciones graves de los ecosistemas acuáticos.

Otros compuestos como los fenoles, detergentes y cianuros se encontraron en bajas concentraciones, pero la importancia de su detección radica en su grado de toxicidad para los organismos vivos, al igual que los metales pesados y algunos metaloides.

Con lo que respecta a los parámetros de naturaleza inorgánica, el pH, que desde las determinaciones de campo se encontró en un rango de 8 a 9 unidades y que se conservó al incorporar las muestras compuestas, tiene una amplia relación, esto se ve reflejado en especial con la alcalinidad total determinada, la cual se encuentra influenciada por las bases nitrogenadas de los productos de degradación de los grupos proteicos (considerados como bases débiles), hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. En relación con la dureza facilita la reacción de cationes divalentes (determinados por la prueba de dureza total y dureza de calcio) con bases saponificadas provocando incrustaciones que corroen los ductos metálicos.

Los metales, metales pesados y metaloides se encuentran al igual que otras sustancias tóxicas en bajas concentraciones, hasta el límite de no ser detectadas, que en este caso se denotan como trazas debido al método en el cual se realizó la detección de cada elemento. Por este motivo no dejan de considerarse sustancias tóxicas, ya que aún en bajas concentraciones estos elementos pueden ser letales como es el caso, por ejemplo del mercurio y el arsénico o se pueden ir acumulando en los tejidos de los organismos hasta producir trastornos graves en el caso del plomo.

El análisis y las comparaciones realizadas entre las dos descargas corresponden a un estudio de "descarga general", en el que se involucran aspectos técnicos y prácticos para realizar las pruebas lo más completa y representativamente necesarias para conocer el estado o la calidad del agua residual que nuestra institución vierte a la red municipal. Estos estudios también son de utilidad para proponer procesos de tratamiento o para detectar fallas en los mismos.

Por otro lado en cuanto a Normatividad Oficial se refiere, actualmente no existe una norma específica que regule los límites máximos permisibles de contaminantes para instituciones del orden de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por lo tanto la norma bajo la cual se encuentra regulada nuestra institución, en cuanto a los contaminantes que vierten sus descargas es la Norma O31 (NOM-CCA-031-ECOL/1993, ver anexo VI), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y tratamiento de aguas residuales que son vertidas a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

La tabla 4.9, muestra los límites máximos permisibles que establece la Norma 031 y los resultados promedio obtenidos del agua de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1, para sus dos descargas principales, donde se observa que no se rebasa ningún límite máximo

permisible, lo que indica que legalmente la institución está cumpliendo ante la Secretaría del Medio Ambiente. En un apartado de esta misma norma se señala que cuando las autoridades del Distrito Federal, estatales o municipales, en el ámbito de su competencia, identifiquen técnicamente que alguna descarga a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 4.9, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales o en la calidad que éstas deben cumplir antes de su vertido al cuerpo, se podrán fijar condiciones particulares de descarga, en las que se establezcan límites máximos permisibles más estrictos para los parámetros previstos en la tabla 4.9 y en su caso, además límites máximos permisibles para aquellos parámetros que se consideran aplicables a la descarga, como pueden ser entre otros : Color, Fósforo total, Sulfuros, Nitrógeno total, Alcalinidad, Acidez, Sólidos Disueltos Totales, Tóxicos orgánicos, DQO, DBO, Sólidos Suspendedos Totales, Metales pesados que no se incluyen en la tabla 4.9 ó Hidrocarburos que no se incluyen en Tóxicos orgánicos.

Tabla 4.9. Límites máximos permisibles de acuerdo a la NOM-CCA-031-ECOL/1993 y los resultados promedio de las dos descargas principales de la UNAM- Campus Cuautitlán, Campo 1.

PARAMETRO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES		DESCARGA 1	DESCARGA 2
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO		
Temperatura (°C)	---	40°C (313°K)	---	--
pH (unidades de pH)	6 a 9	6 a 9	8.86	8.44
Sólidos sedimentables (ml/L)	5	10	1.03	0.66
Grasas y aceites (mg/L)	60	100	13.2	17.4
Conductividad eléctrica (micromhos/cm)	5,000	8,000	1,345.4	1413.8
Aluminio (mg/L)	10	20	0.1468	0.1462
Arsénico (mg/L)	0.5	1.0	0.0368	0.0356
Cadmio (mg/L)	0.5	1.0	0.0122	0.008
Cianuros (mg/L)	1.0	2.0	ND	0.001
Cobre (mg/L)	5	10	0.0342	0.0316
Cromo hexavalente (mg/L)	0.5	1.0	0.005	0.0144
Cromo total (mg/L)	2.5	5.0	0.0354	0.0474
Fluoruros (mg/L)	3	6	--	--
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02	0.00032	0.0002
Níquel (mg/L)	4	8	0.0362	0.0152
Plata (mg/L)	1.0	2.0	0.0012	0.001
Plomo (mg/L)	1.0	2.0	0.0432	0.05
Zinc (mg/L)	6	12	0.2588	0.2224
Fenoles (mg/L)	5	10	0.0982	0.1044
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	30	60	1.601	2.9187

NOTA: Las sustancias activas al azul de metileno (SAAM) se manejan de igual forma que detergentes a lo largo de este escrito.

• ND.- No detectable.

Esta misma Norma establece que los responsables de las descargas tendrán la obligación de realizar una vez al año los análisis del total de los parámetros comprendidos en la tabla 4.8, pero

también tendrán derecho de ser eximidos de esto y de presentar futuros resultados de mediciones, respecto de aquellos parámetros que comprueben técnicamente que no se pueden generar en sus procesos productivos, ni derivar de sus materias primas, mediante un reporte técnico acompañado de un análisis representativo del efluente que comprenda todos los parámetros de la tabla. 4.9.

Es evidente que las descargas de la UNAM Campus Cuautitlán, Campo 1, que son vertidas a la red municipal cumplen con la Normatividad Oficial establecida actualmente en el país, pero esto no indica que la institución deja de contaminar y mucho menos que su agua residual pueda ser reutilizada en este estado, sin un previo tratamiento. En la tabla 4.10 se hace una comparación con las normas que sancionan la calidad fisicoquímica del agua residual tratada para reuso según la DGCOH (Dirección General de Control y Operación Hidráulica del D.F.) con la concentración promedio del agua residual de las dos descargas de Campo 1.

Tabla 4.10.- Normas de calidad de agua renovada para su reuso dictadas por la DGCOH en comparación con los resultados promedio de las dos descargas principales de la UNAM Campus Cuautitlán, Campo 1.

PARÁMETRO	RECARGA DE ACÍFEROS (INYECCIÓN)	RIEGO DE ÁREAS VERDES	USO AGRÍCOLA (PARA CRUDOS)	INDUSTRIA ENFRIAMIENTO	CAMPO 1 DESCARGA 1	CAMPO 1 DESCARGA 2
Temperatura °C	NS	NS	NS	NS	--	--
Turbiedad UTJ	5.0	20	10	10	113	158
Conductividad $\mu$ mhos	900	2000	3500	2000	1325.4	1413.8
Sólidos Totales	500	1200	2000	1700	840.4	1023.2
Sól. Tot. Volátiles.	N.S	N.S	N.S	N.S	365.2	275.2
Sólidos Disueltos	500	1200	2000	1200	695.6	882.4
Sól. Dis. Volátiles.	10	10	10	10	251.4	168.4
Sól. Suspendidos.	2.0	15	100	500	144.8	140.8
Sól. Susp. Volátiles.	1.0	5.0	25	100	113.8	106.8
Sólidos Sedimentables*	N.S	N.S	N.S	N.S	1.03	0.66
DQO	4	35	35	75	293.6	380.8
DBO	2.5	20	20	20	131.2	184
Grasas y Aceites	VL	VL	VL	VL	13.2	17.4
Detergentes	0.5	1.0	0.50	0.51	1.6013	2.9187
Nitrógeno Total	1.0	30	30	1.0	121.2	121
Fenoles	3500	14,000	7000	NS	0.0982	0.1044
Cianuros	0.20	0.020	0.10	0.20	ND	0.001
pH	7-9	6-9	7-8	5-8.3	8.86	8.44
Alcalinidad Total	500	500	500	500	561	494
Dureza Total	500	625	625	325	147.2	160
Cloruros	250	500	500	600	248	249.2
Nitratos	30	90	30	90	3.3003	2.6207
Aluminio	0.2	5.0	5.0	1.0	0.1468	0.1462
Arsénico	0.05	0.1	0.1	0.1	0.0368	0.0356
Bario	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0542	0.0402
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.05	0.0122	0.008

Tabla .- 4.10 Continuación.

Cobre	1.0	0.5	0.2	0.5	0.0342	0.0316
Cromo	0.05	0.10	0.10	1.0	0.0354	0.0474
Cromo VI	0.05	0.10	0.10	1.0	0.005	0.0144
Hierro	0.3	5.0	5.0	0.5	0.564	0.454
Manganeso	0.05	0.20	0.20	0.01	0.0896	0.0556
Mercurio	0.002	0.02	0.002	0.02	0.0003	0.0002
Níquel	0.05	0.20	0.20	0.01	0.0362	0.0152
Plata	0.05	0.05	0.05	0.05	0.0012	0.001
Plomo	0.05	5.0	5.0	5.0	0.0432	0.05
Selenio	0.01	0.02	0.02	0.05	0.0006	0.0182
Zinc	5.0	2.0	2.0	25	0.2588	0.2224
Calcio	NS	NS	NS	NS	35.48	18.47
Magnesio	125	250	250	250	24.286	29.03
Sodio	100	250	250	500	309.91	295.2

NOTA: Los resultados se encuentran en mg/l excepto donde se indican las unidades.

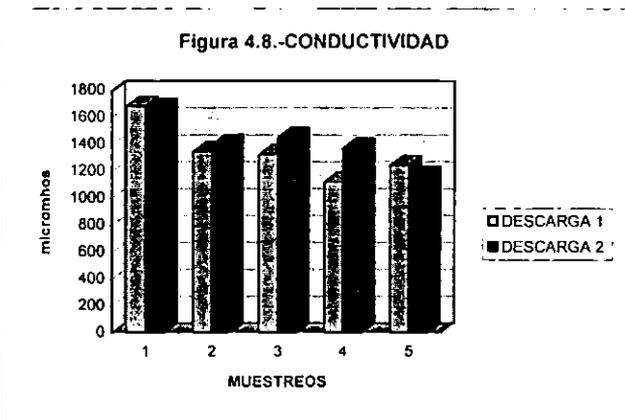
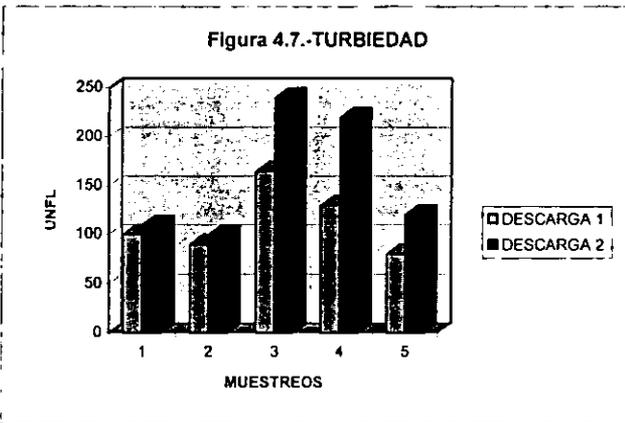
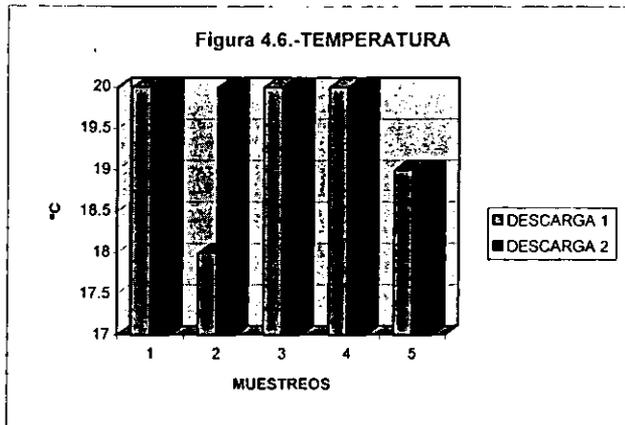
\*Para sólidos sedimentables las unidades son ml/l.

NS = No Sancionada

VL = Virtualmente Libre

En base a esta comparación podemos observar que desde el punto de vista fisicoquímico, aún sin considerar el aspecto biológico infeccioso, el agua residual de esta institución no puede ser reutilizada en ninguno de los procesos que mencionan en la tabla 4.10, sin un previo tratamiento, ya que hay parámetros que rebasan los límites máximos permisibles como DBO, DQO, detergentes, grasas y aceites, nitrógeno total, sólidos suspendidos totales y volátiles, sólidos disueltos volátiles y turbiedad. Considerando también que existe un alto riesgo para la salud pública desde el punto de vista microbiológico.

## AGENTES FÍSICOS



# AGENTES FÍSICOS

Figura 4.9.-SÓLIDOS TOTALES

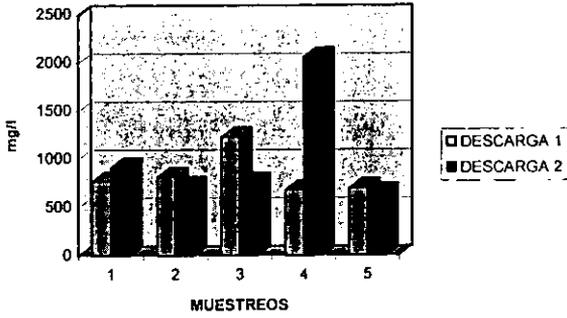


Figura 4.10.-SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES

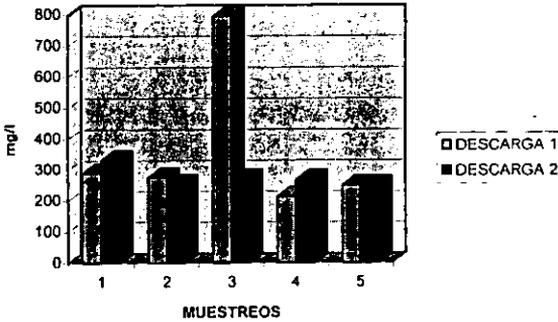
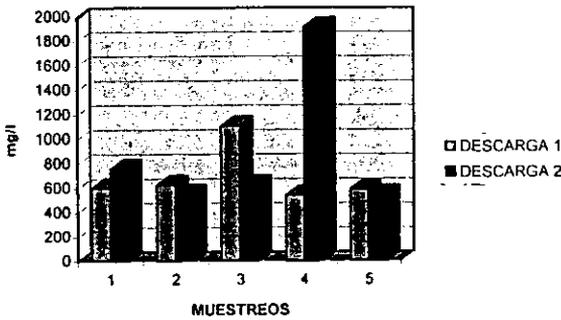


figura 4.11.-SÓLIDOS DISUELTOS



# AGENTES FÍSICOS

Figura 4.12.-SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES

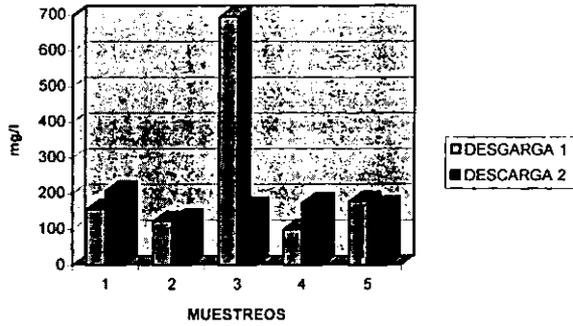


Figura 4.13.-SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

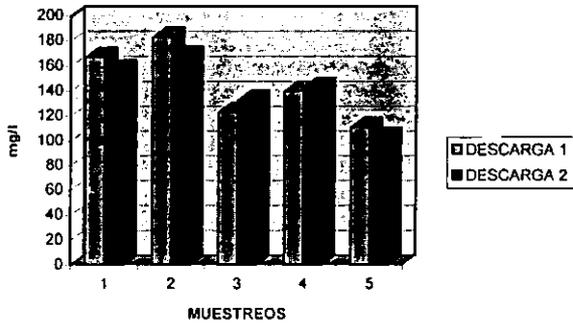
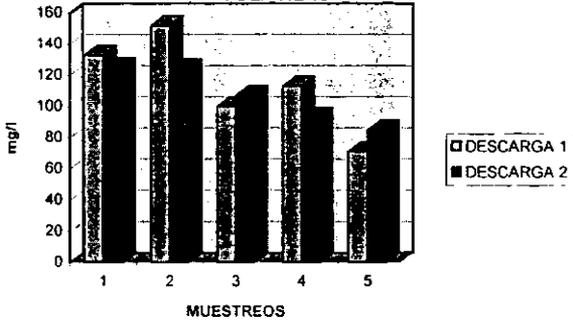
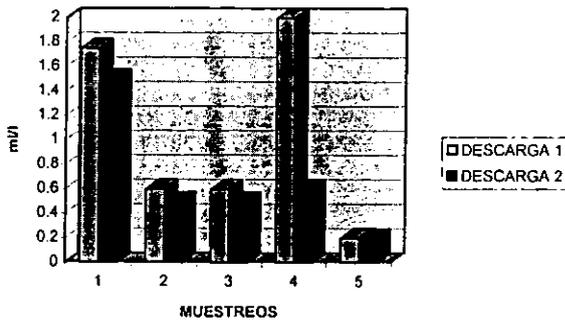


Figura 4.14.-SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES VOLÁTILES



# AGENTES FÍSICOS

Figura 4.15.-SÓLIDOS SEDIMENTABLES



# AGENTES QUÍMICOS

Figura 4.16.- DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

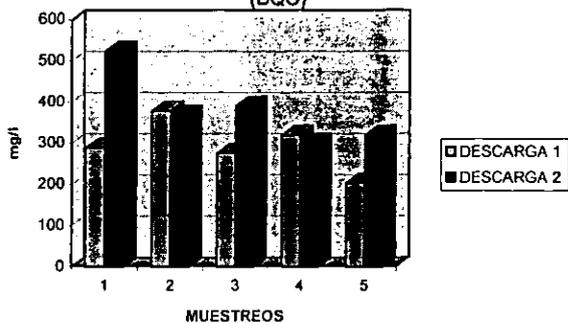


Figura 4.17.- DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

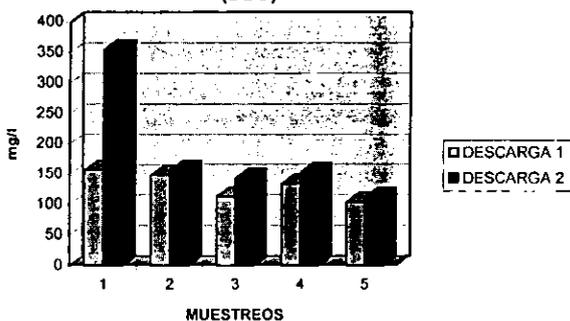
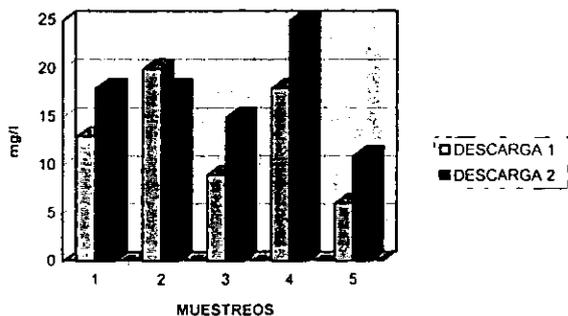
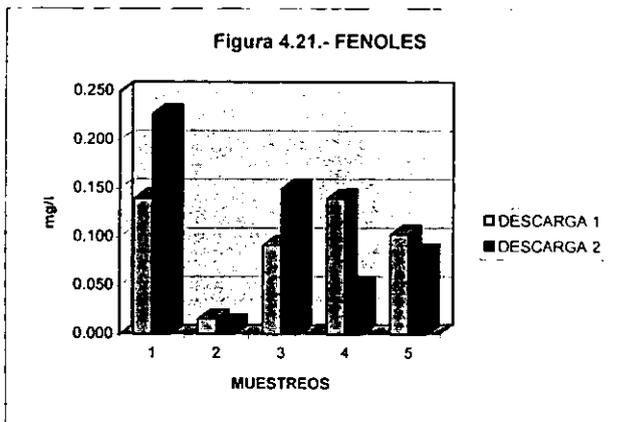
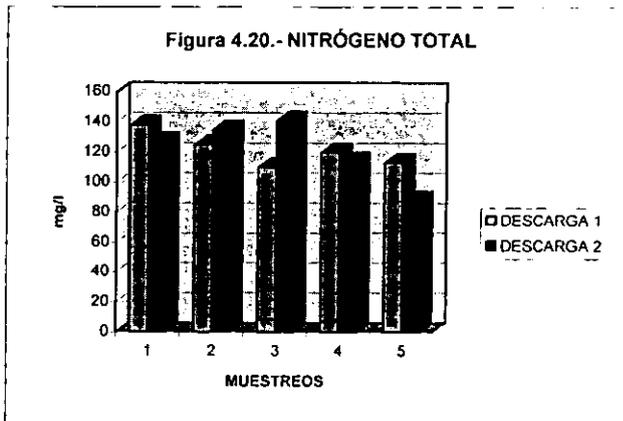
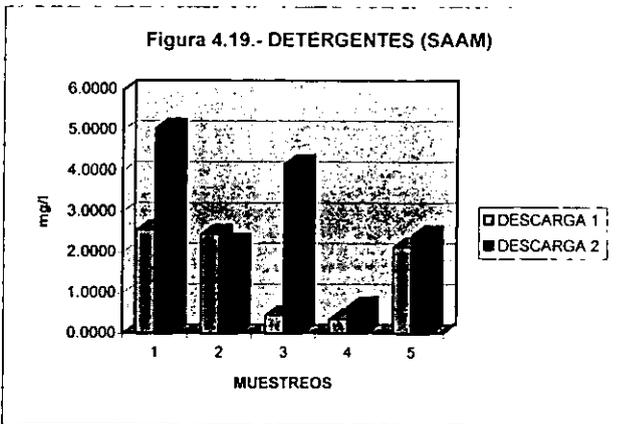


Figura 4.18.- GRASAS Y ACEITES

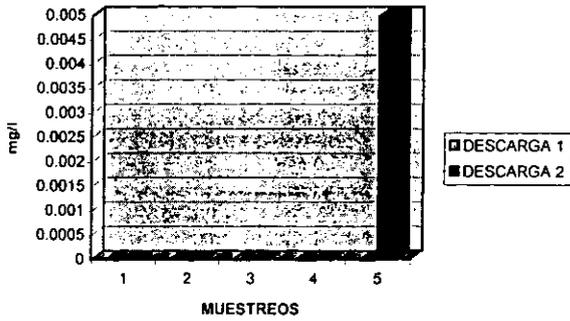


# AGENTES QUÍMICOS

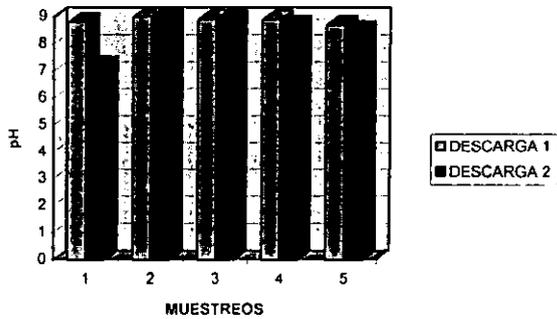


# AGENTES QUÍMICOS

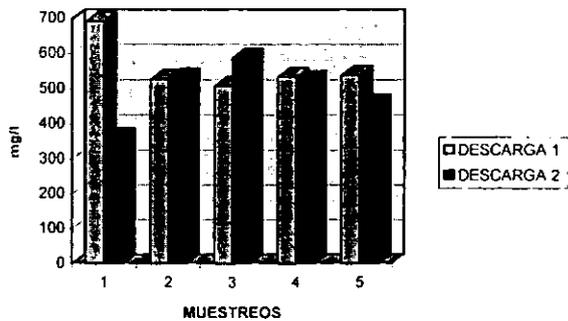
## Figura 4.22.- CIANUROS



## Figura 4.23.- pH



## Figura 4.24.- ALCALINIDAD TOTAL



## AGENTES QUÍMICOS

Figura 4.25.- DUREZA TOTAL

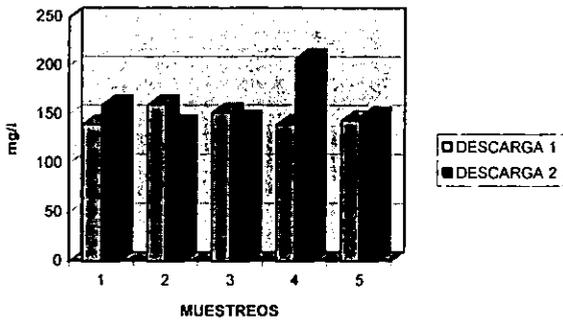


Figura 4.26.- DUREZA DE CALCIO

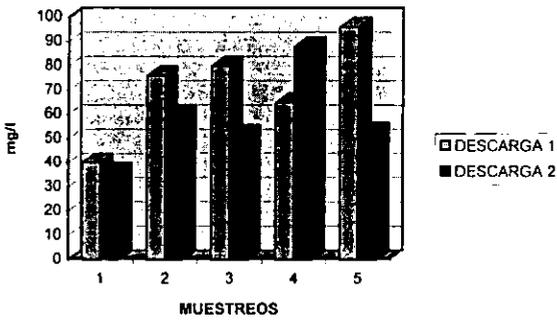
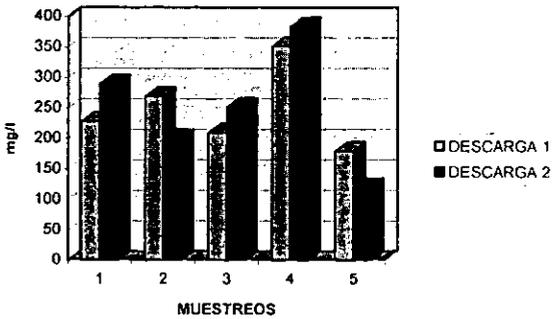


Figura 4.27.- CLORUROS



# AGENTES QUÍMICOS

Figura 4.28.- NITRATOS



# METALES

Figura 4.29.-ALUMINIO (Al)

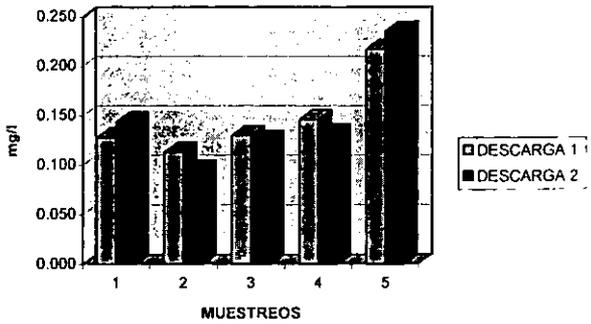


Figura 4.30.-ARSÉNICO (As)

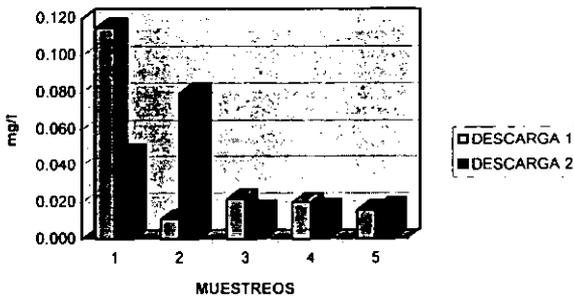


Figura 4.31.-BARIO (Ba)



# METALES

Figura 4.32.-CADMIO (Cd)

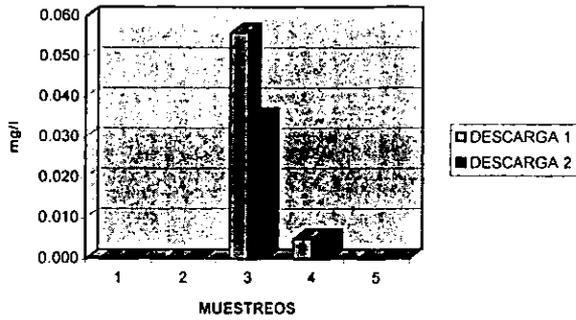


Figura 4.33.-COBRE (Cu)

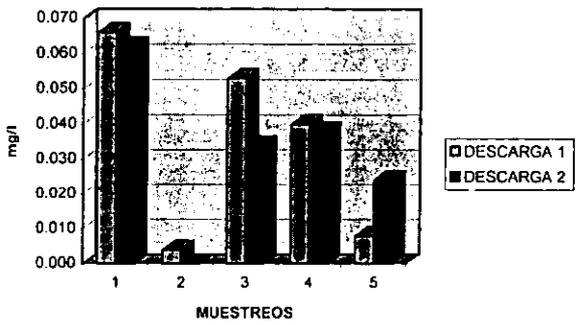
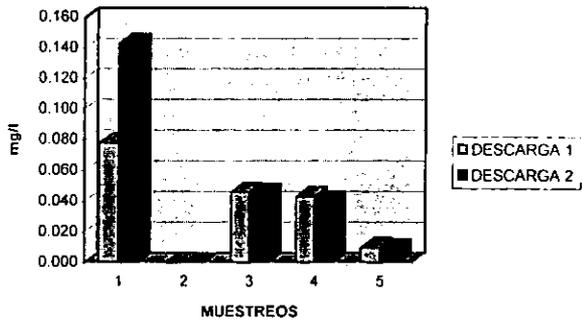


Figura 4.34.-CROMO (Cr)



# METALES

Figura 4.35.-CROMO HEXAVALENTE (Cr+VI)

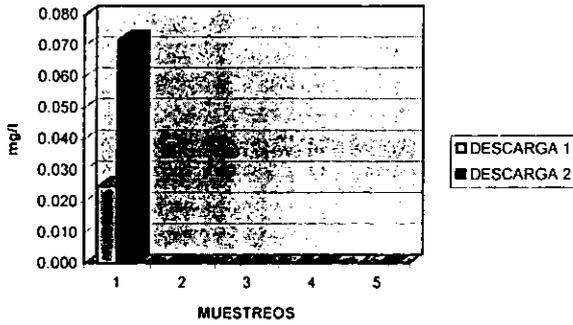
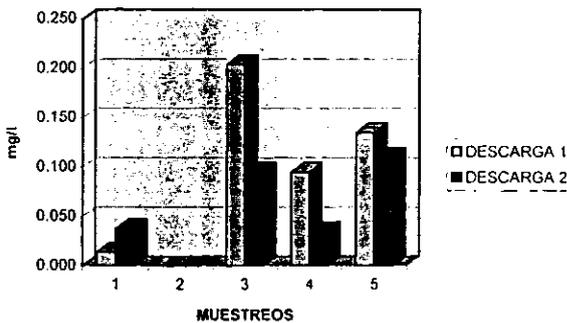


Figura 4.36.-HIERRO (Fe)

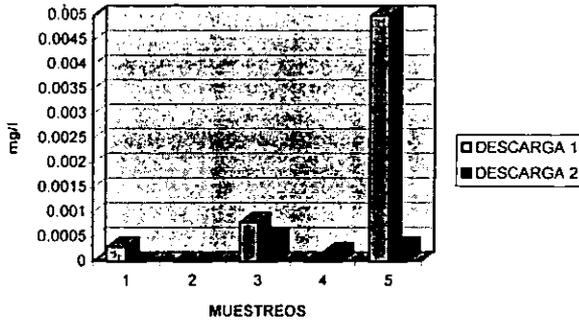


Figura 4.37.-MANGANESO (Mn)

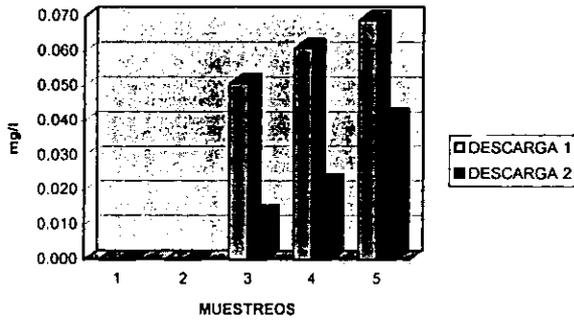


# METALES

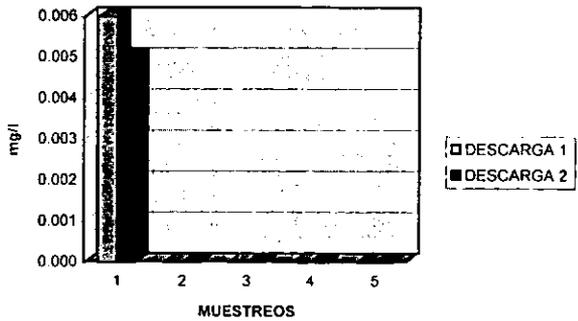
**Figura 4.38.-MERCURIO (Hg)**



**Figura 4.39.-NÍQUEL (Ni)**



**Figura 4.40.-PLATA (Ag)**



# METALES

Figura 4.41.-PLOMO (Pb)

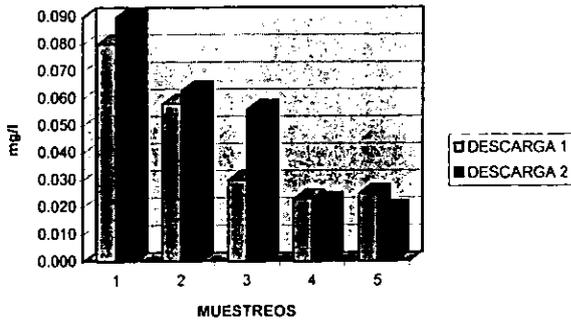


Figura 4.42.-SELENIO (Se)

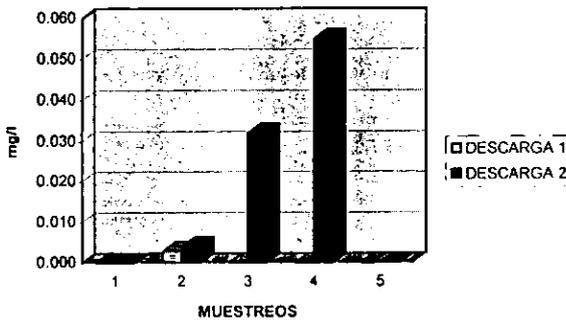
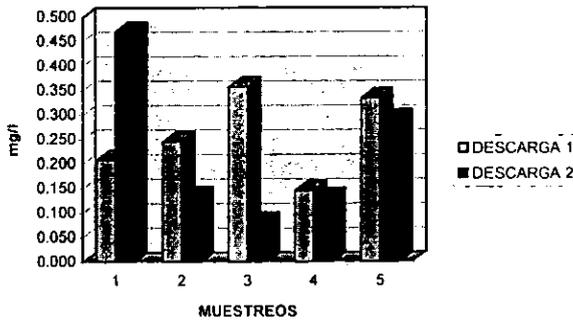
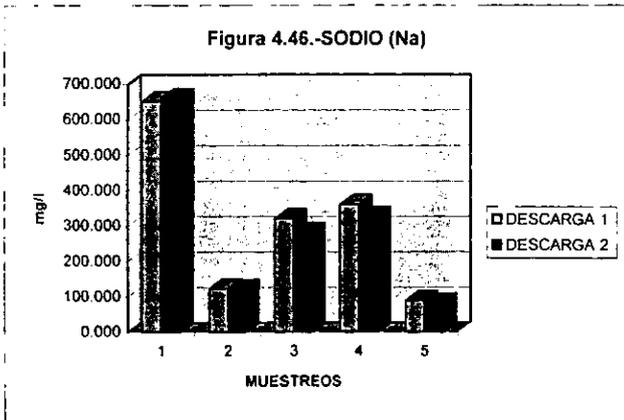
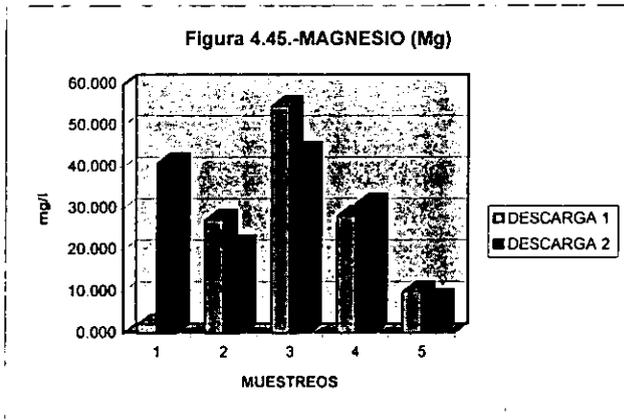
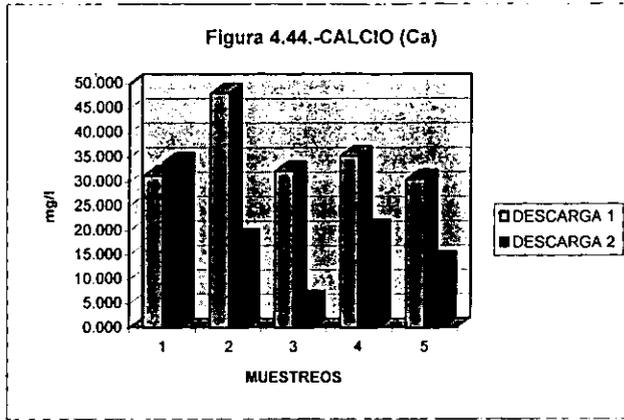


Figura 4.43.-ZINC (Zn)





# CONCLUSIÓN

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1, cuenta con dos descargas principales de agua residual que no se conectan en el interior del plantel, pero ambas vierten su contenido a los drenajes de la red municipal en la Av. Torre Eléctrica. Con base en el estudio realizado a éstas, se determinó que el volumen de agua residual descargado depende del horario establecido para las actividades académicas y de investigación a lo largo de los días de la semana. Los días de mayor afluencia son el martes para la descarga número 1 y el viernes para la descarga número 2. El horario de mayor flujo para la descarga número 1 es de 11 a 15 horas, mientras que para la descarga número 2 no se puede establecer un rango bien definido, por la variabilidad encontrada en los días de muestreo.

Se realizó una caracterización, lo más completa y representativamente necesaria para conocer la calidad del agua residual que nuestra institución vierte a la red municipal, y por medio de ésta concluimos que el agua residual de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1, presenta como principal característica un alto contenido de materia orgánica, que le proporciona un carácter altamente eutrificante a los cuerpos receptores. No obstante, el resto de los agentes contaminantes como los metales pesados, aún en bajas concentraciones, no se pueden dejar de lado por su conocido grado de toxicidad que presentan sobre los organismos vivos.

Los resultados obtenidos de la caracterización del agua residual de las dos descargas principales del Campo 1, no rebasan ningún límite máximo permisible de la NOM-CCA-031-ECOL/1993, lo que indica que legalmente la institución está cumpliendo ante la Secretaría del Medio Ambiente. No obstante en un apartado de esta misma norma se señala que cuando las autoridades del Distrito Federal, estatales o municipales, en el ámbito de su competencia, identifiquen técnicamente que alguna descarga a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales o en la calidad que éstas deben cumplir antes de su vertido al cuerpo, se podrán fijar condiciones particulares de descarga, en las que se establezcan límites máximos permisibles más estrictos para los parámetros previstos y en su caso, además límites máximos permisibles para aquellos parámetros no regulados que se consideran aplicables a la descarga.

El cumplir con la normatividad oficial establecida actualmente en el país, no indica que estemos dejando de contaminar y mucho menos que el agua residual pueda ser reutilizada en este estado sin un previo tratamiento. De acuerdo a las normas de calidad de agua renovada para su reuso dictadas por la DGCOH, hay parámetros que rebasan los límites máximos permisibles como DBO, DQO, detergentes, grasas y aceites, nitrógeno total, sólidos suspendidos totales y volátiles, sólidos disueltos volátiles y turbiedad. Considerando también que existe un alto riesgo para la salud pública desde el punto de vista microbiológico, lo que obliga a diseñar y a utilizar algún proceso de tratamiento para evitar de esta manera seguir contribuyendo a la contaminación del entorno ecológico.

# ANEXO I

## PROGRAMA DE MUESTREO

El muestreo es el elemento llave en un programa de monitoreo para asegurar datos válidos. La legislación que establece los métodos de muestreo se encuentran en las Normas Oficiales Mexicanas con los números NOM-AA-3-1980 para el muestreo de aguas residuales y la NOM-AA-14-1980 para cuerpos receptores.

Para un buen monitoreo, las muestras deben ser representativas de las condiciones que existen en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar las determinaciones correspondientes. La segunda condición es la responsabilidad del laboratorio, pero el procedimiento de muestreo está completamente bajo la responsabilidad de la persona que toma la muestra.<sup>(6)</sup>

Cada programa debe considerar:

- Objetivos del programa de muestreo.
- Localización de puntos de muestreo.
- Tipos de muestras.
- Métodos de colección de muestras.
- Medición de flujos.
- Procedimientos de campo.<sup>(5)(6)</sup>

### A.- OBJETIVOS DE UN PROGRAMA DE MUESTREO.

Hay cuatro grandes razones para un programa de muestreo y análisis: planeación, investigación o diseño, control de procesos y regulación. Estos objetivos de un programa de calidad de agua se interrelacionan y cubren diferentes etapas de planeación.

Un sistema hidráulico se monitorea generalmente para:

- Establecer bases representativas de las condiciones de la calidad del agua.
- Determinar capacidad de asimilación de corrientes.
- Efectos de un proyecto o actividad particular.
- Identificar fuentes de contaminación.
- Asignar longitud, período y dirección.
- Localizar la carga del residuo.
- Caracterizar el agua para proyectos futuros.
- Caracterización de influentes y efluentes de corrientes y lodos.
- Optimizar y mantener las variables físicas, químicas y biológicas de los procesos de control en un sistema de tratamiento.
- Efectuar análisis con el propósito de cumplir los requisitos o requerimientos de la Legislación Mexicana o Internacional en materia de aguas.<sup>(5)</sup>

## B.- LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.

Los puntos de muestreo seleccionados, deben ser sitios representativos. El término se define como la locación en aguas superficiales o aguas subterráneas en la cual parámetros o condiciones específicas pueden ser medidas de tal manera que caracterizan o aproximan la calidad o condición del cuerpo de agua, o una locación en procesos de agua o agua residual donde parámetros o condiciones específicas son medidos adecuadamente, que reflejan las condiciones reales.

Factores que influyen en la selección del punto de muestreo:

- Homogeneidad del agua.- Turbulencia y buen mezclado, resultado de saltos hidráulicos, brotes y caídas en lagos, mejora la homogeneidad y la distribución uniforme de los constituyentes en el cuerpo de agua.
- No homogeneidad del agua.- Pobre mezclado, por ejemplo estratificación en lagos o ríos corrientes abajo de una descarga de residuos. Diferentes densidades de los constituyentes, como aceites flotantes o sólidos suspendidos, reacciones químicas o biológicas, como desarrollo de algas en la superficie de los cuerpos de agua, causando cambios de pH.
- Otras consideraciones como pronunciada degradación de la calidad de agua en áreas específicas, seguridad para medición de flujos, conveniencia y acceso.<sup>(5)</sup>

## C.- TIPOS DE MUESTRAS

El tipo de muestras a realizar depende de la variabilidad del flujo, variabilidad de la calidad del agua, la exactitud requerida y la disponibilidad de fondos para conducir el muestreo y el programa analítico.

- Muestras simples.- Una muestra simple se define como una muestra discreta individual, colectada por un periodo de tiempo que no exceda los 15 minutos. Esta puede ser tomada manualmente, usando una bomba, vacío, dragas u otro mecanismo disponible. La colecta de una muestra simple es apropiada cuando se desea:
  1. Caracterizar la calidad del agua en un tiempo particular.
  2. Proveer información acerca de concentraciones máximas y mínimas.
  3. Permitir la colección de un volumen de muestra variable.
  4. Corroborar muestras compuestas.
  5. Conocer los requerimientos permitidos de una descarga.<sup>(5)(6)</sup>
- Muestra compuesta.- Una muestra compuesta se define como una muestra formada por mezclado de muestras discretas, tomadas en puntos periódicos de tiempo o proporcionales al gasto. El número de muestras discretas para realizar la compuesta depende de la concentración de contaminantes y del gasto.<sup>(5)(6)</sup>

## D.- MÉTODOS DE COLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras pueden ser colectadas manualmente o con muestreadores automáticos.

- Muestreo manual.- En este tipo el costo inicial es mínimo, el elemento humano es la llave del éxito o fracaso del programa de muestreo. Este es bueno para un pequeño número de muestras, pero el costo y el tiempo consumido por rutina aumenta en programas largos.
- Muestreadores automáticos .- El uso de muestreadores automáticos es cada vez mayor por efectividad, versatilidad, rapidez y gran frecuencia de muestreo. Se hallan disponibles con distintos niveles de sofisticación, mecanismos y costos. Estos muestreadores son utilizados generalmente para obtener muestras compuesta, con las especificaciones requeridas.<sup>(5)</sup>

## E.- MEDICIÓN DE FLUJOS ( GASTOS O CAUDALES )

Al tomar medidas del flujo ( gasto o caudal ), la elección del método dependerá de las instalaciones disponibles, del grado de precisión requerido y de las condiciones en que se construyó la alcantarilla y de su funcionamiento actual.

La descarga directa y el cálculo área - velocidad son los dos métodos principales utilizados en la medida del caudal.<sup>(5)</sup>

## F.- PROCEDIMIENTOS DE CAMPO

### a).- Determinaciones de campo.

Dentro de los procedimientos de campo existen ciertos parámetros que deben medirse en el sitio mismo de muestreo, usando equipo portátil especial.

Las determinaciones más frecuentes que se realizan en campo son:

- Temperatura ambiente.
- Temperatura de la muestra.
- pH.
- Oxígeno disuelto.
- Conductividad.
- Gasto instantáneo.<sup>(6)</sup>

### b).- Preservación de las muestras.

Generalmente entre la colección de las muestras y su análisis en el laboratorio existe un intervalo de tiempo que puede ser de horas o días. Durante este tiempo, toman lugar reacciones físicas, químicas o bioquímicas que cambian las características de la calidad del agua.<sup>(6)</sup>

La preservación completa de las muestras; como las de los desechos domésticos, los residuos industriales o las aguas naturales es prácticamente imposible. Prescindiendo de la naturaleza de la muestra, la estabilidad completa de muchos constituyentes nunca podrá ser conseguida. A lo más, las técnicas de preservación solamente podrán retardar los cambios químicos y biológicos que tengan lugar en una muestra, después de que fue tomada de su fuente original. Para mantener la integridad de la muestra, es necesario: La selección adecuada de los recipientes, pretratamiento de los recipientes si es necesario y los tiempos de muestreo, ya que es la parte integral del programa de la preservación de muestras.

Los métodos de preservación están relativamente limitados y generalmente están clasificados como:

- Retardo de la acción biológica.
- Retardo de la hidrólisis de compuestos y complejos químicos.
- Reducción de la volatilidad de los constituyentes.

Los métodos de preservación están generalmente limitados a: control de pH, refrigeración y congelamiento, las combinaciones de esos métodos son frecuentemente usados para la preservación de las muestras. <sup>(5)</sup>

c).- Etiquetado

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se permite el empleo de etiquetas pegadas o colgadas, o el numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro de campo. <sup>(3)</sup>

Estas etiquetas deben contener como mínimo:

- Cuerpo receptor en estudio.
- Número y nombre de la estación.
- Identificación de la descarga.
- Número de la muestra.
- Fecha y hora de muestreo.
- Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo.
- Análisis a efectuar.

Se debe utilizar papel y tintas tales, que no sufran alteraciones con el agua. <sup>(2)(3)</sup>

d).- Hoja de registro.

En todo muestreo se debe llenar una hoja de registro (cadena de custodia), que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos obtenidos en el campo para esa muestra. <sup>(6)(2)</sup>

La hoja de registro debe contener la siguiente información:

- Los datos citados en el apartado c.
- Resultados de pruebas de campo practicadas en la descarga muestreada.
- Descripción detallada del punto de muestreo. <sup>(2)(3)</sup>
- En esta hoja se especificarán también los grupos de determinaciones de laboratorio por efectuar a la muestra. <sup>(2)(3)</sup>

e).- Transporte de muestras.

El transporte de la muestra se realiza, en un recipiente apropiado, debidamente etiquetado, con la información adecuada para ser llevado al laboratorio correspondiente para su análisis. <sup>(6)</sup>

Para asegurar la integridad de los parámetros, es necesario un procedimiento especial de limpieza para evitar adsorción o contaminación debida a la interacción con las paredes del recipiente. <sup>(5)</sup>

# ANEXO II

## MEDICIÓN DEL FLUJO

El flujo se determinó por el método sección y velocidad. La determinación de la velocidad se realizó con un guía (unicel).

Material:

- Cronómetro
- Unicel
- Varilla métrica
- Flexómetro

Datos necesarios :

- Distancia de registro a registro ( m ).
- Diámetro del tubo ( m ).
- Tiempo de recorrido del unicel de registro a registro ( s ).
- Tirante del agua.
- Tabla de áreas.

Descripción del método:

1. Determinar la velocidad con la que recorre la distancia de registro a registro el guía (unicel). Se divide la distancia de registro a registro entre el tiempo de recorrido.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Distancia (m)}}{\text{Tiempo (s)}} = \text{ m/s}$$

2. Determinar el área del tirante de agua.

- Dividir el tirante ( $T$ ) entre el diámetro del tubo ( $DT$ ).

$$\frac{T}{DT} = X$$

- El valor ( $X$ ) se busca en la tabla de áreas en la columna  $h/D$ , el valor encontrado se relaciona con el de la columna  $A$ .
- El valor de  $A$  se multiplica por el diámetro del tubo elevado al cuadrado, expresado en metros. El producto de esta multiplicación es el área del tirante del tirante de agua.

$$A \times X (DT)^2 = \dot{A} \text{ (m}^2\text{)}$$

## ANEXO III

### MUESTRAS COMPUESTAS

El método utilizado es del tipo tiempo constante - volumen proporcional al flujo instantáneo.

Material:

- Recipientes de polietileno de 2 litros de capacidad para muestras simples.
- Recipientes de polietileno de 5 litros de capacidad para muestras compuestas.
- Probeta de 1 litro de capacidad.
- Embudo de plástico.

Datos:

- Flujos instantáneos a cada tiempo de colección de la muestra simple.
- Volumen deseado de la muestra compuesta.
- Alícuota a tomar de las muestras simples.

Descripción del método:

1. Determinar el volumen de alícuota a ser extraída de cada muestra simple, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$a = \frac{qi}{\sum qi} Vc$$

Donde:

$qi$  = Flujo instantáneo al tiempo de colección de la muestra simple.

$\sum qi$  = Sumatoria de flujos instantáneos.

$Vc$  = Volumen de la muestra compuesta.

2. Tomar la alícuota requerida de cada muestra simple y preparar la muestra compuesta, con la ayuda de una probeta y un embudo.

# ANEXO IV

## ETIQUETAS

Se diseñó la siguiente etiqueta para identificar los diferentes recipientes utilizados en el transporte.

<b>UNAM-CAMPUS CUAUTILÁN</b>	
<b>CENTRO DE ASIMILACIÓN TECNOLÓGICA</b>	
<b>LABORATORIO DE ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE</b>	
<b>AGUAS</b>	
DESCARGA:	
No. DE MUESTRA:	HORA:
FECHA :	pH:
TEMPERATURA	
CONDUCTIVIDAD	
NOMBRE Y FIRMA DEL MUESTREADOR	

# ANEXO V

## HOJA DE REGISTRO

UNAM-CAMPUS CUAUTITLÁN, CENTRO DE ASIMILACIÓN TECNOLÓGICA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE AGUAS

### CADENA DE CUSTODIA DE LA MUESTRA

MUESTREO Y ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE ACUERDO CON NOM-CCA-031-ECOL/1993

CÓDIGO DE LA MUESTRA: 000000	000	000
FECHA DE MUESTREO	No. DE DESCARGA	No. DE REGISTRO

### RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO PRACTICADAS EN LA DESCARGA MUESTREADA

HORA MUESTREO	DH	TEMP. °C	pH	MEDICIONES REALIZADAS PARA DETERMINAR EL CAUDAL					CAUDAL	DISTRIBUCIÓN MUESTRA COMPUESTA
				TIEM m/s	TIR	X	AT	Am <sup>2</sup>		
LONGITUD	m	DIÁMETRO	m	TOTAL:						

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

PARÁMETRO	RESULTADO	PARÁMETRO	RESULTADO
TEMPERATURA °C		DUREZA DE CALCIO	
pH		CLORUROS	
CONDUCTIVIDAD µmhos		NITRATOS	
TURBIEDAD		ALUMINIO	
SÓLIDOS TOTALES		ARSENICO	
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES		BARIO	
SÓLIDOS DISUELTOS		CADMIO	
SÓLIDOS DISUELTOS VOLÁTILES		COBRE	
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		CROMO	
SÓLID. SUSP. TOTALES VOLÁTILES		CROMO <sup>-IV</sup>	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES		HIERRO	
DQO		MANGANESO	
DBO <sub>5</sub>		MERCURIO	
GRASAS Y ACEITES		NIQUEL	
DETERGENTES (SAAM)		PLATA	
NITROGENO TOTAL		PLOMO	
FENOLES		SELENIO	
CIANUROS		ZINC	
ACIDEZ TOTAL		CALCIO*	
ALCALINIDAD TOTAL		MAGNESIO*	
DUREZA TOTAL		SODIO*	

\* DETERMINADOS POR ABSORCIÓN ATÓMICA

## ANEXO VI

# NORMATIVIDAD EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES

Como consecuencia del creciente deterioro ecológico que se ha venido observando en los últimos años a nivel mundial, y en cuanto a contaminación del agua se refiere, en prácticamente todos los países del mundo se ha buscado regular la presencia de sustancias no tóxicas y tóxicas en las aguas que son vertidas en los cuerpos de aguas naturales. Además, otras variables de tipo físico y biológico han sido también consideradas para buscar evitar o disminuir el deterioro de los ambientes acuáticos.<sup>(1)</sup>

En el país existe el Instituto Nacional de Ecología, perteneciente a la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, que se encarga de publicar las Normas Oficiales Mexicanas. En estas Normas se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en los diferentes tipos de descargas.

Hasta el año de 1996 permanecían vigentes 44 Normas Oficiales, de las cuales:

- 39 corresponden a descargas de diversos giros industriales.
- 1 para el control de descargas de hospitales y clínicas.
- 1 para descargas de aguas residuales municipales.
- 1 para el control de descargas a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal.
- 2 para el control de la calidad del agua residual usada en riego agrícola.

Debido a que se concibieron considerando únicamente el costo de su aplicación sin el análisis de su beneficio, donde además algunos parámetros son más exigentes que los establecidos en la unión americana e incluso que los nacionales para agua potable, siendo antieconómicas en virtud de que soslayan el tipo de cuerpo receptor de las descargas, y son incumplibles en los plazos exigidos al no considerar un avance gradual, se propuso una reformulación de la Normatividad en materia de descargas de aguas residuales, municipales e industriales. En esta reformulación se planteó sustituirlas 44 Normas publicadas y las que se encontraban en proceso de formulación con el mismo criterio, por únicamente tres.<sup>(1)</sup>

En el año de 1997 se aprobó la NOM-001, de las tres antes mencionadas, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, que tiene como objeto proteger la calidad de las aguas nacionales y posibilitar su uso benéfico, abrogándose 43 Normas Oficiales de las 44 que existían.

La única norma que permaneció vigente es la Norma Oficial NOM-CCA-031-ECOL/1993, que 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. Las descargas de aguas residuales a las que se refiere esta norma deben cumplir con las especificaciones que se indican en la tabla 1.1.

### 1.- METODOS DE PRUEBA.

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en las normas, se deberán aplicar los métodos que se establecen en las Normas Técnicas Mexicanas, así como métodos de prueba alternos de acuerdo a las necesidades del trabajo o proyecto. Las Normas Técnicas Mexicanas se muestran en la tabla 1.2.

Tabla 1.1.- Límites máximos permisibles establecidos por la NOM-CCA-031-ECOL/1993.

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
Temperatura (°C)	-----	40°C (313 °K)
pH (unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
Sólidos sedimentables (ml/L)	5	10
Grasas y aceites (mg/L)	60	100
Conductividad eléctrica (micromhos/cm)	5,000	8,000
Aluminio (mg/L)	10	20
Arsénico (mg/L)	0.5	1.0
Cadmio (mg/L)	0.5	1.0
Cianuros (mg/L)	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	5	10
Cromo hexavalente (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	50

Tabla 1.2 Normas Técnicas Mexicanas de los métodos de prueba

NOM-AA-4-1977	Determinación de Sólidos Sedimentables en aguas residuales.- Método del cono Imhoff.
NOM-AA-6-1980	Aguas - Determinación de Grasas y Aceites.- Método de extracción soxhlet.
NOM-AA-7-1973	Determinación de Materia Flotante en aguas residuales - Método visual con malla específica.
NOM-AA-8-1980	Aguas - Determinación de pH - Método potenciométrico.
NOM-AA-12-1980	Aguas - Determinación de Oxígeno Disuelto.- Método de Winkler simple o modificado.
NOM-AA-20-1980	Aguas - Determinación de Sólidos Disueltos Totales.- Método gravimétrico.
NOM-AA-26-1980	Aguas - Determinación de Nitrógeno Total.- Método Kjendahl.
NOM-AA-28-1981	Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno.- Método de incubación por diluciones.
NOM-AA-29-1981	Aguas - Determinación de Fósforo Total.- Método colorimétrico del azul de molibdeno o cloruro estano.
NOM-AA-30-1981	Análisis de aguas - Demanda Química de Oxígeno.- Método de reflujo del dicromato.
NOM-AA-34-1981	Determinación de Sólidos en agua.- Método Gravimétrico
NOM-AA-36-1980	Aguas - Determinación de Acidez total y Alcalinidad total.- Método potenciométrico y volumétrico.
NOM-AA-38-1981	Análisis de aguas - Determinación de la turbiedad en agua.- Método turbidimétrico de la bujía patrón.
NOM-AA-39-1980	Aguas - Determinación de Sustancia Activas al Azul de Metileno (detergentes).- Método colorimétrico del azul de metileno.
NOM-AA-44-1981	Determinación de Cromo hexavalente en agua .- Método colorimétrico de la difenil carbazida.
NOM-AA-50-1971	Determinación de Fenoles en agua .- Método de la 4-aminoantipirina.
NOM-AA-51-1981	Análisis de agua - Determinación de Metales.- Método espectrofotométrico de absorción atómica.
NOM-AA-58-1982	Análisis de agua - Determinación de Cianuros.- Método colorimétrico y titulométrico.
NOM-AA-72-1981	Análisis de aguas - Determinación de Dureza.- Método volumétrico con EDTA.
NOM-AA-73-1981	Análisis de agua - Determinación de Cloruros.- Método argentométrico.
NOM-AA-93-1984	Protección al ambiente - Contaminación del agua.- Determinación de la Conductividad Eléctrica.

NORMA Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993, que 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.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice Estados Unidos Mexicanos.-  
Secretaría de Desarrollo Social.

SERGIO REYES LUJAN, Presidente del Instituto Nacional de Ecología, con fundamento en los artículos 32 fracciones XXIV, XXV y XXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 5º Fracciones VIII y XV, 8º fracciones II y VLL, 36, 37, 117, 118, fracción II, 19 fracción I inciso a) 123, 171, y 173 de la ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63, y 64 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización 85, 86 fracciones I, III, y VII, 92 fracciones II y IV y 119 fracción I de la Ley de Aguas Nacionales. Primero y Segundo del Acuerdo mediante el cual se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología, la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas en materia de vivienda y ecología respectivamente. Y

#### 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.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CCA-031/93, que 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, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de junio de 1993, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo.

Que la Comisión Nacional de Normalización determinó en sesión de fecha 1º de julio de 1993, la sustitución de la clave NOM-PA-CCA-031/93, con que fue publicado el proyecto de la presente norma oficial mexicana por la clave NOM-CCA-031-ECOL/1993, que en lo subsecuente la identificará.

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico, estuvieron a disposición del público para su consulta.

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes. La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica, Volumen V número especial de octubre de 1993.

Que mediante oficio de fecha 13 de octubre de 1993, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos a través de la

Comisión Nacional del Agua, expresó su conformidad con el contenido y expedición de la presente norma oficial mexicana.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de septiembre del año en curso, he tenido a bien expedir la siguiente :

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CCA-031-ECOL/1993, QUE 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.**

#### PREFACIO

En la elaboración de esta norma oficial mexicana participaron:

- SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL
- Instituto Nacional de Ecología.
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
- SECRETARIA DE MARINA.
- Dirección General de Oceanografía Naval.
- SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL.
- Subsecretaría de Minas e Industria Básica
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.
- Comisión Nacional del Agua.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- SECRETARIA DE SALUD
- Dirección General de Salud Ambiental.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO.
- Secretaría de Ecología.
- PETROLEOS MEXICANOS.
- Gerencia de Protección Ambiental.

- CONFEDERACION PATRONAL DE LA REPUBLICA (COPARMEX).
- CONFEDERACION NACIONAL DE CAMARAS INDUSTRIALES (CONCAMIN)
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTIA DE LA TRANSFORMACION (CANACINTRA)

#### 1. OBJETO

Esta norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes de 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.

#### 2. CAMPO DE APLICACIÓN

La presente norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de 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.

#### 3. REFERENCIA

- NMX-AA-3 Aguas Residuales- Muestreo**
- NMX-AA-4** Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales-Método del cono Imhoff.
- NMX-AA-5** Aguas- Determinación de grasas y aceites- Método de extracción soxhlet.
- NMX-AA-7** Aguas- Determinación de la temperatura-Método visual con termómetro.
- NMX-AA-8** Aguas- Determinación de pH- Método potenciométrico.
- NMX-AA-39** Aguas- Determinación de sustancias activas al azul de metileno (detergentes)- Método colorimétrico del

- azul de metileno.
- NMX-AA-44** Determinación de cromo hexavalente en agua- Método colorimétrico de la difenil carbazida.
- NMX-AA-50** Determinación de fenoles en agua- Método espectrofotométrico bipirina de la 4-aminoantipirina.
- NMX-AA-51** Análisis de agua- Determinación de metales- Método espectrofotométrico bipirina de la 4-aminoantipirina.
- NMX-AA-58** Análisis de agua- Determinación de cianuros- Método colorimétrico y titulométrico.
- NMX-AA-77** Análisis de agua- Determinación de fluoruros- Método colorimétrico de SPADNS
- NMX-AA-78** Análisis de agua- Determinación del zinc- Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica.
- NMX-AA-93** Protección al ambiente- Contaminación del agua- Determinación de la conductividad eléctrica.
- NOM-CCA-001-ECOL** Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.

#### 4.DEFINICIONES

Para efectos de esta norma se asumen las definiciones que se mencionan en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y Reglamento para la Prevención y Control de la contaminación de Aguas, además de las siguientes.

##### 4.1.-Aguas residuales de actividades agroindustriales:

Las que provienen de las actividades de la elaboración de alimentos, crianza y reproducción ganadera, porcícola, avícola y establos.

##### 4.2.- Aguas residuales de los servicios.

Las que provienen de los servicios de reparación y mantenimiento automotriz gasolineras, tintorerías, lavanderías, baños públicos, hospitales, hoteles, restaurantes, revelado de fotografía, etc.

##### 4.3.- Aguas residuales industriales.

Las que provienen de los procesos de extracción, beneficio, transformación o generación de bienes de consumo o de actividades complementarias.

##### 4.4.- Muestra compuesta.

La que resulta de mezclar varias muestras simples.

##### 4.5.- Muestra simple

La que se toma ininterrumpidamente durante el período necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que éste resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido en el sitio y en el momento del muestreo.

## 4.6.- Sistema de alcantarillado

Es el conjunto de dispositivos y tuberías instalados con el propósito de recolectar, conducir y depositar en un lugar determinado las aguas residuales que se generan o se captan en una superficie donde hay una zona industrial, población o comunidad en general.

## 4.7 Parámetro

Unidad de medición, que al tener un valor determinado, sirve para mostrar de una

manera simple las características principales de un contaminante.

## 4. ESPECIFICACIONES

5.1.- 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 a que se refiere esta norma debe cumplir con las especificaciones que se indican en la tabla 1.

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
Temperatura (°C)	----	40°C (313 °K)
pH (unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
Sólidos sedimentables (ml/L)	5	10
Grasas y aceites (mg/L)	60	100
Conductividad eléctrica (micromhos/cm)	5000	8000
Aluminio (mg/L)	10	20
Arsénico (mg/L)	0.5	1.0
Cadmio (mg/L)	0.5	1.0
Cianuros (mg/L)	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	5	10
Cromo hexavalente (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

5.1.1 Para fines de la presente norma se entenderá por límite máximo permisible promedio diario, los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras compuestas de las aguas residuales.

5.1.2 Para fines de la presente norma se entenderá por límite máximo permisible instantáneo, los valores, rangos, y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras instantáneas de las aguas residuales.

5.1.3 En el caso de que el agua de abastecimiento contenga alguno de los parámetros que se encuentran regulados en esta norma, no será imputable al responsable de la descarga, y éste tendrá el derecho a que la autoridad competente le fije previa solicitud, condiciones particulares de descarga que tomen en consideración lo anterior.

5.2 No se deberán descargar o depositar en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, sustancias o residuos considerados peligrosos en las normas oficiales mexicanas correspondientes, sustancias sólidas o pastosas que puedan causar obstrucciones al flujo en dichos sistemas, así como los que puedan solidificarse, precipitarse o aumentar su viscosidad a temperaturas de entre 5°C (278 °K) a 40 °C (313 °K) o lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

5.3 Condiciones particulares de descarga

Cuando las autoridades del Distrito Federal, estatales o municipales en ámbito de su competencia, identifiquen

técnicamente que alguna descarga a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 1 de esta norma oficial mexicana, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales o en la calidad que éstas deben cumplir antes de su vertido al cuerpo receptor, podrán fijar condiciones particulares de descarga, en las que se establezcan límites máximos permisibles más estrictos para los parámetros previstos en la tabla 1 y, en su caso, además límites máximos permisibles para aquellos parámetros que se consideren aplicables a la descarga, como pueden ser entre otros, los siguientes.

- Color
- Fósforo total
- Sulfuros
- Nitrógeno total
- Alcalinidad/acidez
- Sólidos disueltos totales
- Tóxicos orgánicos
- Demanda química de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Sólidos suspendidos totales
- Metales pesados que no se incluyen en la tabla 1
- Hidrocarburos que no se incluyen en Tóxicos orgánicos.

5.3.1 Para el caso de tóxicos orgánicos y metales pesados se considerarán los incluidos en el anexo A de la norma oficial mexicana NOM-CCA-001-ECOL/1993 referida en el punto 3.

5.4 Los responsables de las descargas tendrán las siguientes obligaciones y derechos.

5.4.1 Tendrán la obligación de realizar una vez al año los análisis del total de los

parámetros comprendidos en la tabla 1 de esta norma oficial mexicana.

5.4.2 Tendrán el derecho de ser eximidos del punto anterior y de presentar futuros resultados de mediciones, respecto de aquellos parámetros que comprueben técnicamente que no se pueden generar en sus procesos productivos, ni derivar de sus materias primas, mediante un reporte técnico acompañado de un análisis representativo del efluente que comprenda todos los parámetros de la tabla 1.

5.4.3 Cuando el responsable de la descarga lleve a cabo cambios sustanciales en el proceso que tenga como consecuencia una modificación de las características de las descargas, deberá reportarlo inmediatamente a la autoridad, acompañado de un análisis de sus efluentes.

5.5 Los responsables de las descargas deberán incluir en los reportes de la calidad de las aguas residuales a que se refiere la tabla 1 de esta norma oficial mexicana, los valores de los parámetros que resulten procedentes de conformidad

con lo previsto en los puntos 5.2, 5.3 y 5.4 de esta norma oficial mexicana.

5.6 En el caso de que el responsable de la descarga, aún con tratamiento secundario compruebe que no existe una tecnología accesible para cumplir con alguno de los parámetros fijados en la Tala 1, tendrá el derecho de solicitar a la autoridad competente se le fijen condiciones particulares de descarga para este parámetro.

6.- MUESTREO

6.1 Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal provenientes de la industria, actividades agroindustriales, servicios y el tratamiento de aguas residuales a que se refiere esta norma oficial mexicana, se obtendrán del análisis de muestras compuestas, que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo de acuerdo con la tabla 2.

Tabla 2

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO DE MUESTRAS	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MINIMO	MAXIMO
HASTA 8	4	1	2
MAS DE 8 Y HASTA 12	4	2	3
MAS DE 12 Y HASTA 18	6	2	3
MAS DE 18 Y HASTA 24	6	3	4

6.2 En el caso de que en el periodo de operación del proceso generador de la descarga, ésta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración

de la autoridad competente la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los parámetros contaminantes.

6.3 El reporte de los valores de los parámetros de las descargas de aguas residuales obtenidos mediante el análisis de las muestras compuestas a que se refiere el punto 6.1, se integrará en los términos que establezca la autoridad competente.

## 7. METODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores de los parámetros señalados en la tabla 1, se deberán aplicar los métodos de prueba que se establecen en las normas mexicanas referidas en el punto 3.

En el caso de fuerza mayor, el responsable de la descarga puede solicitar la aprobación del método alternativo para determinar cianuros, a la autoridad competente.

## 8. VIGILANCIA

El Departamento del Distrito Federal, las Autoridades Estatales y Municipales correspondientes, en el ámbito de su competencia, son los encargados de vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

## 9. SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

## 10. BIBLIOGRAFIA

10.1. APHA, AWWA, WPCF, 1992  
Standard Methods for the Examination of water and Wastewater ( Métodos Normalizados para el Análisis del

Agua y Aguas Residuales). 18ª Edición. E.U.A.

- 10.2. Code of Federal Regulations 40 Protection of Environmental 1992. (Código de Normas Federales 40. Protección al Ambiente) E.U.A.
- 10.3. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, 1988 Gordon M. Fair, John Ch erey, Lymusa, México.
- 10.4. Industrial Water Pollution Control, 1989. (Control de la Contaminación Industrial del Agua). Eckenfelder W.W. Jr.2ª Edición McGraw-Hill International Editions. E.U.A.
- 10.5. Manual de Aguas para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell Ediciones Ciencia Y Técnica, S.A. 1ª Edición. Volúmenes 1 al 4. México.
- 10.6. Manual del agua, 1989. Frank N. Kemmer. Jhon McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 4. México.
- 10.7. U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974 (Documento de Desarrollo de la U.S.E.P.A. para Guías de Límites de Efluente y Estándares de Evaluación de nuevas Fuentes para 1974).
- 10.8. Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de Tratamiento de Agua) Degremont 6ª Edición Vol. I y II E.U.A.
- 10.9. Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse. 1991. (Ingeniería en el Tratamiento de Aguas Residuales, Disposición y Reuso). Metcalf and Eddy McGraw-Hill International Editions 3ª Edición E.U.A.

DIARIO OFICIAL

11. CONCORDANCIA CON  
NORMAS INTERNACIONALES

máximos permisibles de los parámetros señalados en esta norma.

11.1 Esta norma oficial mexicana no coincide con ninguna norma internacional.

12.2 Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la norma técnica acológica NTE-CCA-031/91, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 1991.

12. VIGENCIA

12.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación y queda a juicio de la autoridad competente, el plazo para el cumplimiento total o parcial de los límites

Dada en la Ciudad de México, Distrito federal, a los catorce días del mes de octubre de mil novecientos noventa y tres.- El Presidente del Instituto Nacional de Ecología, Sergio Reyes Lujan .-  
Rúbrica.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Curso para cumplir con la NOM-001-ECOL-1996. UNAM. México. (1996).
2. Diario Oficial. NOM-AA-3-1980. Aguas Residuales Muestreo.
3. Diario Oficial. NOM-AA-14-1980. Cuerpos Receptores Muestreo.
4. Diario Oficial. NOM-CCA-031-ECOL/1993.
5. Curso. Muestreo y preservación de Muestras de Agua y Agua Residual. Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. Edo. México. (1997).
6. Curso. Sistemas de Tratamiento y Diseño de Plantas para Depurar Aguas Residuales Municipales e Industriales. Comisión Estatal de Agua y Saneamiento. Edo. México. (1996).
7. García J. Rogelio. Caracterización Total del Agua Potable y Residual de la FES. Zaragoza. Campo 2. Tesis. FES Zaragoza. México. (1994).
8. Mark J. Hammer. Waste and Wastewater Technology. 2ª Edición. Edit. John Wiley & Sons. USA. (1986).
9. Velázquez H. Alejandro . Análisis de Metales Pesados del Efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual “ Macro Planta Toluca Norte” por Absorción Atómica. Tesis. FES. Cuautitlán. (1997).
10. Evaluación Epidemiológica de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales. O.P.S., O.M.S. Editorial LIMUSA. México. (1988).
11. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Colección Porrúa. Cuarta Edición. México. 1991.
12. Curso. Caracterización y Tratamiento de Efluentes Acuáticos Industriales. Dr. Julio Lansgrave. Dr. Alain Queré. Programa Universitario de Medio Ambiente. (1994).
13. Agua una Nueva Estrategia Para el Distrito Federal. Fundación para la conservación del Agua en México y Comisión de Aguas del Distrito Federal . México . D.F. (1994).
14. Secretaría de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Ecología . México Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994. México. D.F. (1994).

15. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18<sup>a</sup> Edición. USA. (1992).
16. Code of Federal Regulations 40. Protection of Environmental. USA. (1992).
17. U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974.
18. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin-Elmer Corporation. USA. (1982).
19. M. Navarrete L. Análisis de Aguas por Espectroscopia de Absorción Atómica. VARIAN. S.A. México. D.F. (1989).
20. Diario Oficial:
- |                |                                                                                                                           |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NOM-AA-4-1977  | Determinación de Sólidos Sedimentables en aguas residuales.- Método del cono Imhoff.                                      |
| NOM-AA-6-1980  | Aguas - Determinación de Grasas y Aceites.- Método de extracción soxhlet.                                                 |
| NOM-AA-7-1973  | Determinación de Materia Flotante en aguas residuales - Método visual con malla específica.                               |
| NOM-AA-8-1980  | Aguas - Determinación de pH.- Método potenciométrico.                                                                     |
| NOM-AA-12-1980 | Aguas - Determinación de Oxígeno Disuelto.- Método de Winkler simple o modificado.                                        |
| NOM-AA-20-1980 | Aguas - Determinación de Sólidos Disueltos Totales.- Método gravimétrico.                                                 |
| NOM-AA-26-1980 | Aguas - Determinación de Nitrógeno Total.- Método Kjendahl.                                                               |
| NOM-AA-28-1981 | Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno.- Método de incubación por diluciones.                                     |
| NOM-AA-29-1981 | Aguas - Determinación de Fósforo Total.- Método colorimétrico del azul de molibdeno o cloruro estanoso.                   |
| NOM-AA-30-1981 | Análisis de aguas - Demanda Química de Oxígeno.- Método de refluo del dicromato.                                          |
| NOM-AA-34-1981 | Determinación de Sólidos en agua.- Método Gravimétrico                                                                    |
| NOM-AA-36-1980 | Aguas - Determinación de Acidez total y Alcalinidad total.- Método potenciométrico y volumétrico.                         |
| NOM-AA-38-1981 | Análisis de aguas - Determinación de la turbiedad en agua.- Método turbidimétrico de la bujía patrón.                     |
| NOM-AA-39-1980 | Aguas - Determinación de Sustancia Activas al Azul de Metileno (detergentes).- Método colorimétrico del azul de metileno. |
| NOM-AA-44-1981 | Determinación de Cromo hexavalente en agua.- Método colorimétrico de la difenil carbazida.                                |
| NOM-AA-50-1971 | Determinación de Fenoles en agua.- Método colorimétrico de la 4-aminoantipirina.                                          |

NOM-AA-51-1981	Análisis de agua - Determinación de Metales.- Método espectrofotométrico de absorción atómica.
NOM-AA-58-1982	Análisis de agua - Determinación de Cianuros.- Método colorimétrico y titulométrico.
NOM-AA-72-1981	Análisis de aguas - Determinación de Dureza.- Método volumétrico con EDTA.
NOM-AA-73-1981	Análisis de agua - Determinación de Cloruros.- Método argentométrico.
NOM-AA-93-1984	Protección al ambiente - Contaminación del agua.- Determinación de la Conductividad Eléctrica.